

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE AHMED DRAIA D'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TECHNOLOGIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DEL'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER EN GÉNIE CIVIL

OPTION : Matériaux en Génie Civil

Thème :
Méthodes de la formulation des bétons.
(Etude Théorique)

Présenté par : KADI Abdelghani
NAAMAOUI Tahar

L'évaluation de ce mémoire est conformément à l'Arrêté n°633 du 26/08/2020, portant les articles 06/07. Il est évalué par l'encadrant et deux examinateurs.

le membre de jury composé de:

| | | | |
|---|-------------------------------|----------------|--------------|
| ☞ | Pr. KHELAFI Hamid | U.A.D. D'ADRAR | Examineur 1 |
| ☞ | Mme KALLOUM AIT-HammoudaUniv. | U.A.D. D'ADRAR | Examineur 2 |
| ☞ | Pr. SEMCHA Abdelaziz | U.A.D. D'ADRAR | Encadreur |
| ☞ | Mr. ABDELDJALIL Mhammed | U.A.D. D'ADRAR | Co-Encadreur |

Année Universitaire : 2019 / 2020

DEDICACES

Je dédie les fruits de ce travail à ceux qui m'ont appris que l'ambition est la base du succès, pour une personne au grand cœur et une grande patience

Abi Hajj que Dieu le protège.

À mon ange dans la vie, à celle qui m'a porté neuf mois et m'a appris le sens de l'amour, de la tendresse et de l'optimisme, Elle qui m'a guidé avec amour et m'a nourri avec tendresse et m'a orienté vers les mystères de l'existence et le secret de la réussite, Elle qui a brûlé pour illuminer le chemin de ma vie avec un cœur blanc brillant . . . que Dieu a préféré et magnifié pour la mentionner dans le Saint Coran,

Ma chère mère,

que Dieu la protège et qu'il soit présent dans son cœur,

Je t'aime, maman.

À ceux qui partagent mes joies et mes peines et partagent ma vie : À mes sœurs et nièces

À mes maîtres et à tous ceux qui m'ont appris quelque chose

Merci à tous

KADI Abdelgani

DEDICACES

Je dédie les fruits de ce travail à ceux qui m'ont appris que l'ambition est la base du succès, pour une personne au grand cœur et une grande patience

Abi Hajj que Dieu le protège.

À mon ange dans la vie, à celle qui m'a porté neuf mois et m'a appris le sens de l'amour, de la tendresse et de l'optimisme, Elle qui m'a guidé avec amour et m'a nourri avec tendresse et m'a orienté vers les mystères de l'existence et le secret de la réussite, Elle qui a brûlé pour illuminer le chemin de ma vie avec un cœur blanc brillant . . . que Dieu a préféré et magnifié pour la mentionner dans le Saint Coran,

Ma chère mère,

que Dieu la protège et qu'il soit présent dans son cœur,

Je t'aime, maman.

À ceux qui partagent mes joies et mes peines et partagent ma vie : À mes sœurs et nièces

À mes maîtres et à tous ceux qui m'ont appris quelque chose

Merci à tous

NAAMA OUI Tahar

REMERCIEMENTS

Nous ne remercierons jamais assez ALLAH, le tout puissant de nous avoir permis de mener à bien ce modeste travail.

*En premier lieu, nous remercions le Professeur
Abdelaziz SEMCHA, Mr.*

*Mhammed ABDEL DJALIL, Enseignants au Département des
Sciences et Technologie de l'Université d'ADRAR qui ont
bien voulu proposer ce thème de Master, pour leur aide précieuse
et leur disponibilité durant toute la durée de notre projet.*

*Je remercie également les membres du jury pour l'honneur qu'ils
nous font en acceptant de juger notre travail.*

*A tous nos enseignants et à toute personne ayant participé de près
ou de loin à la réalisation de ce travail,*

Nous disons Merci

Table de matière

DEDICACES

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Liste des symboles

Introduction Générale 1

CHAPITRE 1: Généralités sur les Bétons

| | |
|-------------------------------------------------|----|
| 1.1Généralités : | 4 |
| 1.2. Définition..... | 4 |
| 1.3. Les composants d'un béton | 4 |
| 1.3.1. Les granulats..... | 4 |
| 1.3.1.2. Le sable..... | 5 |
| 1.3.2.Le ciment..... | 6 |
| 1.3.3LES ADJUVANT | 7 |
| 1.3.3.1Définition des adjuvants | 7 |
| 1.3.3.2Catégories d'adjuvants..... | 7 |
| 1.3.4. L'eau de gâchage | 8 |
| 1.4. Les différents types du béton..... | 8 |
| 1.4.1. Béton auto plaçant (BAP)..... | 8 |
| 1.4.2. Le béton a haute performance (BHP) | 8 |
| 1.4.3. Béton ordinaire | 8 |
| 1.4.4. Béton de poudre réactive (BPR)..... | 8 |
| 1.4.5. Béton de fibre | 9 |
| 1.4.6. Béton armé..... | 9 |
| 1.4.7. Béton léger..... | 9 |
| 1.4.8. Béton lourd | 9 |
| 1.4.9. Béton préfabriqué | 9 |
| 1.4.10. Béton compacte au rouleau (BCR)..... | 9 |
| 1.4.12. Béton de terre..... | 10 |
| 1.4.13. Béton à durcissement rapide | 10 |
| 1.5. Propriétés fondamentales d'un béton..... | 10 |
| 1.5.1. Propriétés du béton Modulable :..... | 10 |
| 1.5.2. Propriétés essentielles..... | 10 |

| | |
|-----------------------------------------------------|----|
| 1.5.2.1. Béton frais Ouvrabilité (ou maniabilité) : | 10 |
| 1.5.3 Béton durci Résistance mécanique : | 11 |
| I.6. Résistance à la compression : | 11 |
| I.6.1 Généralités..... | 11 |
| I.6.2. Essai de résistance à la compression | 12 |
| 1.6.3 Dosage de ciment..... | 13 |

Chapitre 2: Méthodes de formulation du béton

| | |
|---------------------------------------------|----|
| 2.1. Introduction..... | 16 |
| 2.2 Différentes méthodes | 16 |
| 2.2.1. Méthode de Faury | 16 |
| 2.2.2. Méthode de Bolomey..... | 16 |
| 2.2.3. Méthode de LA VALETTE | 17 |
| 2.2.4. Méthode de Caquot..... | 17 |
| 2.2.5. Méthode de Joisel | 17 |
| 2.2.6. Méthode Japonaise..... | 18 |
| 2.2.7. Méthode américaine..... | 19 |
| 2.2.8. Méthode britannique (BRE 1988) | 20 |
| 2.2.9. Méthode de coefficient G/S | 21 |

Chapitre 03: Une Lecture Sur Des Résultats Expérimentaux

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| SELON Par : MOSBAHI Lamia | 25 |
| et SOLTANI Khedidja..... | 25 |
| 3.1. Introduction..... | 27 |
| 3.2. Matériaux utilisés..... | 27 |
| 3.2.1. Sable | 27 |
| 3.2.2. Ciment..... | 27 |
| 3.2.3. Gravier | 27 |
| 3.2.4. Eau | 27 |
| 3.2.5. Adjuvant (Super plastifiant) | 27 |
| 3.3. Caractérisation des matériaux..... | 28 |
| 3.3.1. Essais sur granulats..... | 28 |
| 3.3.1.1. Analyse Granulométrique (NF P 18-560 septembre 1990) | 28 |
| 3.3.1.2. Masse volumique (NF P 94-064 Novembre 1993)..... | 31 |
| 3.3.1.3. Module de finesse de sable (norme NF P18-304) | 33 |
| 3.3.1.4. Equivalant de sable (NF P 18-598 Octobre 1991)..... | 33 |
| 3.3.1.5. Coefficient volumétrique | 35 |
| 3.3.2. Formulation de béton..... | 35 |
| 3.3.2.1. La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse..... | 35 |

| | |
|----------------------------------------------------------|----|
| 3.3.2.2. La formulation selon la méthode de Faury | 46 |
| 3.3.2.3. Méthode de coefficient G/S | 52 |
| 3.3.2.4. La formulation selon la méthode de Bolomey..... | 54 |
| 3.4. Conclusion | 65 |

Chapitre 4: Lecture de la comparative des résultats expérimentaux

| | |
|------------------------|----|
| 4.1. Introduction..... | 67 |
| 4.2. Résultats..... | 67 |
| 4.3. Conclusion | 76 |

Conclusion générale

Références bibliographiques

Liste des Tableaux

| | | |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7..... | 1 Classes de ciment [...] -Tableau I | |
| 11..... | Tableau I- 2 Vibration recommandé en fonction de l'ouvrabilité du béton [...] | |
| 13..... | Tableau I- 3 Classe de ciment [...] | |
| 13..... | Tableau I- 4 Classe granulaire tamis [...] | |
| 14..... | Tableau I- 5 Dosage en ciment Kg/m3 [...] | |
| Tableau III- 1 | Quelque caractéristique de SIKAPLAST BV+40 [...] | 27 |
| Tableau III- 2 | Analyse granulométrique du sable [...] | 29 |
| Tableau III- 3 | Analyse granulométrique du gravier 3/8 [...] | 30 |
| Tableau III- 4 | Analyse granulométrique du gravier 8/15 [...] | 30 |
| Tableau III- 5 | Analyse granulométrique du gravier 15/25 [...] | 31 |
| Tableau III- 6 | Les masses volumiques des matériaux employés [...] | 32 |
| Tableau III- 7 | Coefficient volumétrique [...] | 35 |
| Tableau III- 8 | 7 La composition du béton de Dreux–Gorisse(Kg/m ³) [...] | 46 |
| Tableau III- 9 | Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 380 (méthode de Faury) [...] | 47 |
| Tableau III- 10 | Les pourcentages des tamisâtes du mélange 380 [...] | 47 |
| Tableau III- 11 | Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 350 (méthode de Faury) [...] | 49 |
| Tableau III- 12 | Les pourcentages des tamisâtes du mélange 350 [...] | 49 |
| Tableau III- 13 | Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 400 kg sans adjuvant (méthode de Faury) [...] | 51 |
| Tableau III- 14 | Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 400 avec adjuvant (méthode de Faury) [...] | 52 |
| Tableau III- 15 | 14 La composition du béton de Faury (Kg/m3) [...] | 52 |
| Tableau III- 16 | La composition du béton donné par la formulation G/S (Kg/m3) [...] | 54 |
| Tableau III- 17 | Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 380 kg (méthode de Bolomey) [...] | 56 |
| Tableau III- 18 | Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 350 (méthode de Bolomey) [...] | 57 |
| Tableau III- 19 | Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 400 sans adjuvant (méthode de Bolomey) [...] | 58 |
| Tableau III- 20 | Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 400 avec adjuvant E/C=0,45 (méthode de Bolomey) [...] | 59 |
| Tableau III- 21 | La composition du béton de Bolomey (Kg/m3) [...] | 59 |
| Tableau III- 22 | Les affaissements [...] | 62 |

Liste des Figures

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure3. 1 Courbe granulométrique du sable utilisé..... | 30 |
| Figure3. 2 Courbe granulométrique du gravier utilisé..... | 31 |
| Figure3. 3 Mesure de l'équivalent de sable | 34 |
| Figure3. 4 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 d'Abrams) | 36 |
| Figure3. 5 Courbe granulaire de Dreux-Gorisse (dosage 380 kg)..... | 37 |
| Figure3. 6 Courbe granulaire de Dreux-Gorisse (dosage 350 kg)..... | 40 |
| Figure3. 7 Courbe granulaire de Dreux-Gorisse sans adjuvant (dosage 400 kg) | 42 |
| Figure3. 8 Courbe granulaire de Dreux-Gorisse avec adjuvant (dosage 400 kg) | 45 |
| Figure3. 9 Courbe granulaire de Faury (dosage 380) | 48 |
| Figure3. 10 Courbe granulaire de Faury (dosage 350) | 50 |
| Figure3. 11 Courbe granulaire de Bolomey (dosage 380)..... | 55 |
| Figure3. 12 Courbe granulaire de Bolomey (dosage 350)..... | 57 |
| Figure.4. 11 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode Dreux-Gorisse) | 67 |
| Figure.4. 2 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode G/S répartition des graviers selon Dreux-Gorisse) | 67 |
| Figure.4. 3 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode Faury) | 68 |
| Figure.4. 4 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode G/S répartition des graviers selon Faury)..... | 68 |
| Figure.4. 5 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode Bolomey)..... | 69 |
| Figure.4. 6 Résistance à la compression des bétons dosage 380 (Méthodes : Dreux-Gorisse, Faury, Bolomey et G/S) en fonction d'âge..... | 69 |
| Figure.4. 7 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode Dreux-Gorisse)..... | 70 |
| Figure.4. 8 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode G/S Dreux-Gorisse)..... | 70 |
| Figure.4. 9 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode de Faury) | 71 |
| Figure.4. 10 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode G/S Faury)..... | 71 |
| Figure.4. 11 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode de Bolomey) | 72 |
| Figure.4. 12 Résistance à la compression des bétons dosage 350 (Méthodes : Dreux-Gorisse, Faury, Bolomey et G/S) en fonction d'âge | 72 |
| Figure.4. 13 Résistance à la compression du béton dosage 400 sans adjuvant (Méthode Dreux-Gorisse)..... | 73 |
| Figure.4. 14 Résistance à la compression du béton dosage 400 sans adjuvant (Méthode Faury | 74 |
| Figure.4. 15 Résistance à la compression du béton dosage 400 sans adjuvant (Méthode Bolomey) | 74 |
| Figure.4. 16 Résistance à la compression des bétons dosage 400 sans adjuvant (Méthodes | 74 |
| Figure.4. 17 Résistance à la compression du béton dosage 400 avec adjuvant (Méthode Dreux-Gorisse) | 75 |
| Figure.4. 18 Résistance à la compression du béton dosage 400 avec adjuvant (Méthode Faury) | 75 |
| Figure.4. 19 Résistance à la compression du béton dosage 400 avec adjuvant (Méthode Faury) | 76 |
| Figure.4. 20 Résistance à la compression des bétons dosage 400 avec adjuvant (Méthodes : Dreux-Gorisse, Faury et Bolomey) en fonction d'âge | 76 |

Liste des photos

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Photo3. 1 Les matériaux utilisés..... | 28 |
| Photo3. 2 Tamisage par une tamiseuse électrique..... | 29 |
| Photo3. 3 Essai équivalent de sable..... | 34 |
| Photo3. 4 Essai coefficient volumétrique..... | 35 |
| Photo3. 5 Essai de cône d'ABRAMS..... | 39 |
| Photo3. 6 Moule cylindrique (16×32) cm..... | 60 |
| Photo3. 7 Etapes de préparation..... | 60 |
| Photo3. 8 Essai d'affaissement..... | 61 |
| Photo3. 9 La conservation des éprouvettes avant démoulage..... | 62 |
| Photo3. 10 Le démoulage des éprouvettes..... | 63 |
| Photo3. 11 Conservation des éprouvettes dans un bassin d'eau..... | 63 |
| Photo3. 12 Machine d'essai de la compression..... | 63 |
| Photo3. 13 La mise en place dans la machine..... | 64 |
| Photo3. 14 La rupture de l'éprouvette..... | 64 |

ملخص

تتميز الجزائر بعدة مناخات في الشمال والجنوب وكذلك على مدار الفصول. تشارك مواد البناء بشكل مباشر في المخاطر المناخية و لا يمكن تصور أن يتم تصميم و فكر المواد الخراسانية بنفس الطريقة في جميع مناطق بلدنا الشاسع، وأكبر مساحة فيها هي الصحراء (الصحراء)حيث تكون الاختلافات في درجات الحرارة و الرطوبة النسبية خاصة. جودة مواد البناء المستخدمة في تقنيات المواد الخراسانية خاصة بالمناطق الجافة.

وبالتالي، فإن هذا العمل هو جزء من برنامج بحث نظري يعتمد لتوضيح تأثير طبيعة المكونات على جودة الخليط و خاصة على مقاومة الضغوط، و التي تبقى للمهندس أهم خاصية. باستثناء مؤشرات الاستدامة. لذلك اقترحنا تنفيذ برنامج مكثف لدراسة مدى مقاومة للخرسانة وفق ما ينطبق عليها دولياً. تم تنفيذ هذه العمليات و فق قواعد مختلفة نشرها العديد من الباحثين، قررنا اختيار رقم معين، وهي القواعد الأكثر تقديراً من قبل المهندسين.

اخترنا الدارسة لعديد من الأساليب الأكثر شيوعاً للطرق صياغة الخرسانة و هي Joisel, Faury, Féret, Paulomey, Dreux-Gorisse, Valette، بالإضافة لطريقة اليابانية و الفرنسية او البريطانية او السويدية والأمريكية. لسوء الحظ، تم إغلاق مختبرنا في ظروف الاحتواء الخاصة بعد الجائحة العالمية التي لوحظت هذا العام. دفعنا هذا إلى العمل في ظل ظروف طارئة محدودة وقررنا استخدام أسلوب-Faury " Dreux Gorisse فقط، وهما الأكثر استخداماً في جنوب الجزائر.

النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها زودتنا بقاعدة بيانات تسمح لنا بصياغة مخطط يبدو سهل الاستخدام للمقارنة، من خلال التحليل الإحصائي لنتائج التجريبية.

الكلمات المفتاحية: طرق الصياغة، الخرسانة، مقاومة الإجهاد ، المناخ، مقاومة الانضغاط

الكلمات المفتاحية: طرق الصياغة، الخرسانة، مقاومة الإجهاد، المناخ، مقاومة الانضغاط

Résumé

L'Algérie se caractérise par plusieurs climats au nord et au sud ainsi qu'au fil des saisons. Les matériaux de construction se trouvent directement impliqués dans les aléas climatiques et il n'est pas concevable que le matériau béton soit conçu et pensé de la même façon dans toutes les régions de notre vaste pays, dont la plus grande superficie est désertique (Sahara), où les écarts de température et l'humidité relative sont particulières. La qualité des matériaux de construction utilisés, dans les technologies des matériaux en béton est spécifique aux régions sèches et arides.

Ainsi, ce travail s'inscrit dans un programme de recherche théorique accrédité pour clarifier l'effet de la nature des composants sur la qualité du mélange et surtout sur la résistance aux contraintes, qui reste pour l'ingénieur la caractéristique la plus importante, à l'exception des indicateurs de durabilité.

Par conséquent, nous avons proposé de réaliser un vaste programme pour étudier l'étendue de la résistance à la compression de bétons, selon ce qui lui est internationalement applicable. Ces opérations ont été effectuées selon différentes règles publiées selon plusieurs chercheurs, nous avons décidé d'en choisir un certain nombre, qui sont les règles les plus appréciées des ingénieurs.

Nous avons opté pour l'étude de plusieurs méthodes les plus populaires dans les régions désertiques, notamment: Joisel, Faury, Féret, Paulomey, Dreux-Gorisse, Japonaise, La Valette, Française, Britannique, Suédoise, Américaine. Malheureusement, les conditions particulières de confinement suite à la pandémie mondiale observée cette année, notre laboratoire a fermé. Cela nous a poussé à travailler dans des conditions restreintes d'urgence et nous avons décidé d'utiliser seulement les deux méthodes « Faury-Dreux-Gorisse », qui sont les plus utilisées dans le sud algérien.

Les résultats expérimentaux obtenus nous ont fourni une base de données. Cela nous a permis de formuler un schéma qui paraît facile à utiliser pour comparer, par analyse statistique des résultats expérimentale.

Mots clés: méthodes de formulation, béton, résistance aux contraintes, climat, résistance à la compression.

Abstract

Algeria is characterized by several climates in the north and in the south as well as over the seasons. Construction materials are directly involved in climatic hazards and it is not conceivable that concrete material is designed and thought out in the same way in all regions of our vast country the largest area of which is desert (Sahara). where temperature differences and relative humidity are particular. The quality of the construction materials used in concrete materials technologies is specific to dry and arid regions.

Thus, this work is part of an accredited theoretical research program to clarify the effect of the nature of the components on the quality of the mixture and especially on the resistance to stresses, which remains for the engineer the most important characteristic. except for sustainability indicators..

Therefore, we have proposed to carry out an extensive program to study the extent of the compressive strength of concrete, according to what is internationally applicable to it. These operations were carried out according to different rules published according to several researchers, we decided to choose a certain number, which are the rules most appreciated by engineers..

We opted to study several of the most popular methods in desert regions, including: – Joisel –Faury - Féret - Paulomey - DreuxGorisse - Japanese - Valletta - French - British - Swedish - American. Unfortunately, the special conditions of containment following the global pandemic observed this year, our laboratory has closed. This prompted us to work under limited emergency conditions and we decided to use only the two "Faury-DreuxGorisse" methods, which are the most used in southern Algeria.

The experimental results obtained provided us with a database. This allowed us to formulate a scheme which seems easy to use for comparing, by statistical analysis, of the experimental results.

Keywords: formulation methods, concrete, stress resistance, climate, compressive strength.

Introduction Générale

Introduction Générale

Le béton est, aujourd'hui, le matériau le plus consommé sur la planète après l'eau. Il constitue un monopole quasi total par rapport aux autres matériaux de construction. Le béton, que nous connaissons actuellement, est le résultat de plusieurs années d'études et d'expérimentation. Les Romains et les Egyptiens utilisaient déjà des matériaux comparables pour leurs constructions. Toutefois, c'est au XIX^{ème} siècle que le béton connaît les plus grandes avancées.

Le béton est ainsi utilisé de nos jours, à l'échelle mondiale pour tous types de construction. Cela est dû notamment à un marché économique qui s'est fortement développé ces dernières années et à des spécificités qui lui sont propres. Cette évolution du béton amène aujourd'hui à une production annuelle mondiale de plus de 6 milliards de mètres cubes.

Le béton est à l'heure actuelle au centre d'enjeux économiques, politiques, technologiques et environnementaux importants. Le béton de ciment notamment, est l'un des matériaux de construction le plus utilisé au monde (deux tiers des habitations dans le monde). Le béton est un mélange soigneusement dosé de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants et il peut varier en fonction de ses utilisations.

Alors que les pays développés sont connus pour une croissance significative de la technologie du béton, notamment en ce qui concerne la composition et l'amélioration des performances mécaniques et de durabilité ainsi que la qualité des composants.

Bien que les ateliers et les chantiers de construction dans notre pays agissent conformément aux règles en vigueur dans le monde, nous avons constaté beaucoup de désordres lors des catastrophes naturelles (séismes, tempêtes ...). La qualité du béton se trouve alors au centre des polémiques. Cela est probablement dû à la nature de conception et de confection du béton. En effet, la résistance effective du matériau béton n'est obtenue traditionnellement que suite à sa destruction (essais d'écrasement d'éprouvettes).

De nos jours, les professionnels du béton ont suffisamment de recul et de résultats expérimentaux, pour affirmer et prédire la résistance d'un béton avant son écrasement. De nombreuses formulations ont vu le jour en fonction de la résistance et des performances du béton recherché pour le type d'ouvrage projeté. Nous avons vu apparaître les bétons ordinaires, les bétons à hautes performances et même à très hautes performances.

Aujourd'hui le type de béton est ciblé en fonction du type de construction envisagée et aussi dans le milieu dans lequel l'ouvrage va évoluer. La composition et la formulation du béton est alors au centre de notre problématique, étant donné que notre pays, qui est en pleine construction, consomme un tonnage important de matériau béton.

Toutefois, son utilisation est la cause de multiples dégradations de l'environnement. Sa mise en œuvre ainsi que son utilisation consomme d'énormes quantités d'énergie. Malgré la bonne santé économique des cimenteries, la croissance continue sur le marché de la construction. La géopolitique, la limitation prochaine des ressources naturelles et la lutte contre l'effet de serre posent d'énormes défis au secteur de la construction. Par ailleurs, pour certains types de construction (habitations individuelles, locaux publics tels que des

Introduction Générale

bibliothèques, des lycées ...) l'utilisation de matériaux plus respectueux de l'environnement est privilégiée. Une nouvelle économie se met dès lors progressivement en place.

De nombreux scientifiques mènent des travaux de recherche sur le béton. Ils espèrent développer de nouveaux "types" aux propriétés encore plus intéressantes d'ici quelques années. De nouvelles formulations, prémices de futurs « bétons verts », commencent à être expérimentées.

CHAPITRE 1:

Généralités sur les

Bétons

1.1 Généralités :

Plus de quatre milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année dans le monde. Ce matériau permet de construire des ouvrages de toute nature et, notamment, des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires ainsi que des plates-formes d'exploitation pétrolière off shore.

Le développement de l'emploi d'un matériau de construction repose sur des critères techniques et économiques. La résistance mécanique et la durabilité du matériau fondent les principaux critères de choix techniques. La disponibilité et le faible coût des matières premières, la facilité d'emploi et le prix de revient du matériau valident les conditions économiques.

1.2. Définition

Le béton est un matériau composite aggloméré, constitué de granulats durs de diverses dimensions collés entre eux par un liant. Les composants sont très différents: leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1 pour l'eau à plus de 3 pour le ciment (en t/m^3). En bref le béton est un : Mélange d'agrégat (sable plus granulat) et de la pâte composée de ciment, d'eau et d'adjuvant. [2]

Pâte 30 % à 40 %

Ciment 7 % à 15 % par volume

Eau 14 % à 21 % par volume

Agrégats 60 % à 80 % Gros granulats et Granulats fins

Adjuvants chimique ; En faible quantité

1.3. Les composants d'un béton

1.3.1. Les granulats

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125mm. Les granulats 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 en principe inertes mais peuvent, dans certains cas, 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 économique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange eau/ciment. 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 NA452 sont les suivantes:.[1]

Fillers 0/D où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm

- Sablons 0/D où $D < 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm
- Sables 0/D où $1 < D < 6,3$ mm
- Graves 0/D où $D > 6,3$ mm
- Gravillons d/D où $d > \text{let } D < 125$ mm
- Ballasts d/D où $d > 25$ mm et $D < 50$ mm.

1.3.1.1. Le gravier

Les matériaux les plus usuels pour les mortiers et bétons sont d'origine alluvionnaire (dits roulés), semi-concassés ou concassés obtenus à partir de roches massives.

Les gravillons 5,6/20 qui sont les plus usuels ont une granulométrie adaptée à la composition des bétons. Les tout-venants de rivière ou de carrière possèdent ou trop ou pas assez d'éléments fins (sables), ce qui les rend impropres à l'usage pour des bétons en élévation

Grains de dimensions allant de 1 à 125mm, d'après la norme (NF P 18-591, 1990) 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 ≤ 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 la norme (NF P 18-591, 1990) fixe à 5 % la valeur maximale pour les bétons hydrauliques

1.3.1.2. Le sable

C'est un produit provenant de la désagrégation naturelle de la pierre siliceuse (quartz) et/ou du silex (silicium), Il se compose de grains meubles n'ayant aucune cohésion.

La dimension des grains peut varier de 0.15 à 4.76 mm ; si le grain est plus petit que 0.6 mm on parle de « sable fin » ; s'il atteint presque 1.2 mm c'est un sable moyen « sable moyen » et s'il atteint enfin presque 4.76 mm, c'est le « gros sable » ; ce dernier ayant des grains de plus de 2 mm ressemble à du gravier fin, appelé alors « sable graveleux ». D'autant meilleur qu'il est composé de grains de dimension différentes ; les grains moyens bouchent les vides entre les plus gros et les très fins bouchent entre les moyens, on obtient ainsi une bonne consistance, et on prescrit les modules de finesse suivants :

- Sable pour béton pour structure : entre 1.40 et 3.40 - Sable pour béton maigre pour fondations : entre 0.90 et 3.40
- Sable pour mortier de maçonnerie : entre 0.90 et 1.70
- Sable pour mortier de carrelage : entre 0.90 et 1.70
- Sable pour plafonnage : entre 0.90 et 3.40

- Sable pour couche de fondation pour dallage : entre 0.90 et 2.50 Un sable de bonne granulométrie doit contenir à la fois des grains fins, moyens et gros.

Les sables très fins, de dunes ou marins sont à éviter.

Les sables doivent être propres. La propreté est fournie par l'essai d'équivalent de sable (norme NF EN 933-8)[13]

Les sables peuvent être classés, selon leurs provenances comme suit Sable des rivières : il se caractérise par sa forme arrondie et sa dureté, et il provient de l'action de l'eau sur les rochers.

- Sable de mer : qui provient de roches sous-marines, il est particulièrement chargé en sel.

L'utilisation de ce type de sable nécessite un rinçage minutieux et peut être à l'origine d'éventuelles efflorescences.

- Sable de carrière : extrait des sablonnières et à la forme angulaire. Le sable de carrière est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière.
- Sable de feuilles : est un sable fin, comportant de nombreux vides d'air qui imposent lors de son utilisation une association avec d'autres sables. Ce sable est récupéré sur les reliefs montagneux.
- Sables artificiels : les sables artificiels comprennent les sables résultant du concassage de blocs de laitier des hauts-fourneaux, le sable concassé obtenu de façon identique mais sans filler, le laitier

1.3.2. 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 [02] : -Les silicates tricalciques (alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C3S]

- Les silicates bis calciques (bélite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C2S]
- Les aluminates tris calciques : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ [C3A]
- Les alumine-ferrites tétra calciques : $4\text{CaO} \cdot \text{AlO}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ [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 cm^2/g et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge.

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 [10] donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en types principaux à savoir

CEM I: Ciment Portland Artificiel;

- CEM II: Ciment Portland composes;
- 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, [10] classe les ciments courants d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme EN 1961, mesurée à 28 jours en six classes de résistance.

Tableau I -1 Classes de ciment[3]

| Classe des ciments | Résistance à 2jours (MPa) | Résistance minimale à 28 jours (MPa) | Résistance maximale à 28 jours (MPa) |
|--------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 32.5N | / | ≥ 32.5 | ≤ 52.5 |
| 32.5R | ≥ 13.5 | ≥ 32.5 | ≤ 52.5 |
| 42.5N | ≥ 12.5 | ≥ 42.5 | ≤ 62.5 |
| 42.5R | ≥ 20 | ≥ 42.5 | ≤ 62.5 |
| 52.5N | ≥ 20 | ≥ 52.5 | / |
| 52.5R | ≥ 30 | ≥ 52.5 | / |

1.3.3 LES ADJUVANT [7]

1.3.3.1 Définition des adjuvants

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5% en masse du poids de ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et/ou à l'état durci

1.3.3.2 Catégories d'adjuvants

- **Adjuvants modificateurs de la rhéologie du béton**
 - Plastifiants réducteurs d'eau
 - Super plastifiants haut réducteurs d'eau
- **Adjuvants modificateurs de prise et de durcissement du béton**
 - Accélérateurs de prise
 - Accélérateurs de durcissement
 - Retardateurs de prise
- **Autres catégories normalisées d'adjuvants**
 - Hydrofuges de masse
 - Entraîneurs d'air
- **Autres catégories :**
 - Rétenteurs d'eau.

1.3.4. L'eau de gâchage

Pour gâcher le béton, l'eau potable est toujours utilisable mais de plus en plus souvent, nous sommes placés devant la nécessité d'avoir recours à une eau non potable. Une eau de gâchage non adéquate va ralentir la prise, réduire la résistance mécanique, favoriser la corrosion des armatures. Les impuretés, telles que les composés chimiques relativement réactifs ou les particules en suspension, indésirables du fait de leur quantité ou de leur qualité, vont influencer négativement sur les propriétés du béton et des armatures.

1.4. Les différents types du béton[5]

Le matériau, fait l'exception pour le remplacer dans la construction ; techniquement et économiquement. Nous assistons à différents types de béton d'où :

1.4.1. Béton auto plaçant (BAP)

Un béton auto plaçant est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuent par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en œuvre par vibration

1.4.2. Le béton a haute performance (BHP)

Se caractérisent par une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 50 MPa sur cylindre; un rapport eau efficace/liant équivalent inférieur à 0,4.

Ils présentent une structure très dense, une faible porosité et une très bonne résistance à la pénétration d'agents agressifs

1.4.3. Béton ordinaire

Est un ensemble homogène obtenu par le mélange du ciment, de l'eau, des granulats et quelque fois d'adjuvants. Sa masse volumique se situe aux alentours de 2500 Kg/m³. Les bétons peuvent être armés ou non, ou même précontraints.

Ses performances (durabilité, résistance au feu, etc.) varient selon ses composants. C'est un matériau dont le moulage est assez facile et il est adapté à tous les types de formes d'ouvrage [02].

1.4.4. Béton de poudre réactive (BPR)

Est un matériau à matrice cimentaire pour lequel le nombre, la nature, la morphologie et le dosage des différents composants granulaires ont été optimisés afin d'obtenir 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.

Le BPR peut également être utilisé pour la réalisation de structures précontraintes par pré- ou post-tension

1.4.5. Béton de fibre

Ce sont des bétons dans lesquels ont été incorporées des fibres de nature, dimension et géométrie diverses, dans le but de leur conférer certaines propriétés. De façon générale, ces bétons présentent : une meilleure résistance à la traction, une amélioration des résistances mécaniques (jeune âge, chocs, cisaillement, usure, abrasion...), une bonne maîtrise de la fissuration, une amélioration en matière de plasticité, de moulage et d'aspect de surface [02].

1.4.6. Béton armé

Le béton armé associe intimement un béton avec des armatures métalliques pour obtenir un matériau qui cumule les qualités de résistance en compression et en traction. -Il allie la résistance à la compression du béton à la résistance à la traction de l'acier. -Le choix des éléments d'armature, leur ancrage et leur répartition dans le béton est capitale. -Un enrobage soigné des armatures est nécessaire pour les préserver des phénomènes d'oxydation [02].

1.4.7. Béton léger

Les bétons légers offrent une densité très inférieure à celle d'un produit classique : de 300 à 1800 kg/m³, contre 2300 kg/m³ pour un béton classique. Pour certains bétons légers, elle peut descendre jusqu'à des densités voisines de 0,4kg/m³.

La résistance d'un béton léger est très inférieure à celle d'un béton traditionnel. Pour les densités les plus basses, il ne peut être question de béton "structurel" mais seulement de béton de « remplissage ». Ces bétons légers possèdent un pouvoir isolant sur le plan thermique et acoustique

1.4.8. Béton lourd

Les bétons lourds possèdent une masse volumique supérieure à 3000 kg/m³ contre 2300 kg/m³ pour un béton classique.

Les bétons lourds permettent la réalisation d'ouvrages de protection contre les radiations (rayons X, gamma et autres rayons radioactifs) ou la réalisation de culées et de contrepoids

1.4.9. Béton préfabriqué

La fabrication est une solution technique qui consiste à fabriquer à l'avance des produits (éléments de construction) généralement en grand nombre répétitif soit en usine ou sur chantier pour être montés sur place par la suite

1.4.10. Béton compacte au rouleau (BCR)

Essentiellement les mêmes composants de béton comme les autres, mais avec des rapports différents, avec un remplacement partiel du ciment par des cendres volantes et beaucoup moins d'eau. Le mélange est très sec et a 0 de marasme, qui rend plus difficile le mélange

1.4.11. Béton réfractaire

Sont des bétons pouvant résister à des températures très élevées (allant jusqu'à 1800 °C).

Les bétons réfractaires peuvent généralement être utilisés dans le milieu industriel pour créer des revêtements homogènes pour tous les types de fours ou de cheminées

1.4.12. Béton de terre

Est un matériau de construction à base de terre crue argileuse, traditionnellement connu sous les termes de pisé ou de torchis

1.4.13. Béton à durcissement rapide

La rapidité de prise et de durcissement exceptionnelle permet de sécuriser rapidement (entre 15 et 90 minutes selon le dosage du mortier et le temps de début de prise choisis) les ouvrages par rapport aux intempéries, au froid, à la remise en service rapide

1.5. Propriétés fondamentales d'un béton

1.5.1. Propriétés du béton Modulable :[8]

C'est-à-dire qu'on peut lui faire prendre facilement des formes volumiques assez simples, une grande variété des formes qu'il peut épouser c'est à cause de la maniabilité. Durci : avec le temps le béton doit devenir un matériau dur et relativement indéformable c'est-à-dire mécaniquement résistant. Compacité : La résistance à la compression d'un béton contenant suffisamment de liant croit avec sa compacité. Maniabilité et résistance mécanique sont deux (02) objectifs contraires :

- * Eau en excès et bonne maniabilité, mauvaise résistance.
- * Granulat roulé bonne maniabilité, mauvaise résistance.
- * Granulats concassés mauvaise maniabilité, bonne résistance.

Pour réaliser un béton qui répond aux deux critères, il faut optimiser tous les facteurs

1.5.2. Propriétés essentielles

Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés à l'état frais et à l'état durci.

1.5.2.1. Béton frais Ouvrabilité (ou maniabilité) :[8]

C'est qualité du béton ; qui se traduit par la capacité du béton de bien remplir tous l'espace du coffrage et d'assurer un bon enrobage des armatures. L'ouvrabilité d'un béton est couramment appréciée par le test du cône d'Abrams, ou le béton est mis dans un moule conique, l'affaissement du béton une fois le moule enlever donne une appréciation sur sa maniabilité.

La mise en place du béton dans le moule se fait en 4 couches d'épaisseurs égales, piquer à l'aide d'une tige à raison de 25 coups pour chaque couche. Le cône est ensuite enlevé doucement sans secousses

Le tableau suivant montre les différentes formes de béton selon leur affaissement trouvé
Tableau 7: Vibration recommandé en fonction de l'ouvrabilité du béton

Tableau I- 2Vibration recommandé en fonction de l'ouvrabilité du béton[8]

| Affaissement | Béton | Mise en œuvre |
|---------------------|--------------|----------------------|
| 0– 2cm | Très ferme | Vibration puissante |
| 3 – 5cm | Ferme | Bonne vibration |
| 6 – 9cm | Plastique | Vibration courante |
| 10 – 13cm | Mou | Piquage |
| >13cm | Très Mou | Leger piquage |

1.5.3 Béton durci Résistance mécanique :

La résistance mécanique la plus importante pour le béton étant la résistance à la compression, elle est couramment mesurée sur des éprouvettes cylindriques 16x32cm (16cm de diamètre et 32cm de hauteur) ou 15x30cm. Le béton reste toujours avec leurs inconvénients tels que : Temps de durcissement relativement long, une exécution peu précise et difficulté de reprise des ouvrages en cas de transformations. Le Béton de ciment présente une excellente résistance à la compression, mais une faible résistance à la traction, et donc aussi à la flexion à peu près 1/10 de sa valeur de compression

I.6. Résistance à la compression :

I.6.1 Généralités

Le béton a une résistance en traction très faible, qui n'est que rarement mise en valeur dans les structures (exception faite par exemple dans le domaine routier). C'est donc en général la résistance en compression qui sert de caractérisation de base du béton durci.

Cette résistance en compression est déterminée suivant la norme européenne NF.

La résistance à 28 jours après un mûrissement à l'eau sert en général de référence.

La norme EN 206 définit différentes classes sous la forme CX/Y (ex: C25/30).

X est la résistance caractéristique (c'est-à-dire garantie dans 95% des cas) mesurée sur cylindre 16x32 cm, tandis que Y est la résistance (du même béton) mesurée sur cube 15x15 cm.

La résistance à la compression s'explique par la réaction d'hydratation du ciment Portland, mélange de clinker et de gypse finement Co-broyés.

Le clinker se compose principalement des quatre minéraux suivants dans des proportions variables : silicate tricalcique C3S, silicate bi calcique C2S, aluminate tricalcique C3A et aluminoferritetétracalcique C4AF.

La réaction du C2S et du C3S avec l'eau conduit à la formation d'hydrates dont les principaux sont les cristaux de C-S-H ($\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$), qui sont en majeure partie responsables du durcissement de la pâte de ciment, permettant à cette dernière de reprendre les charges extérieures et donc de participer à la résistance macroscopique du béton ([Regourd, 1982] [Foliot et Bueil, 1982]).

La liaison entre la pâte durcie et les granulats qu'elle enrobe conditionne également la résistance mécanique du béton.

On observe, autour des granulats dans le béton durci, une zone de pâte hydratée particulière : l'auréole de transition. Cette auréole a des propriétés différentes de la pâte dans sa masse, en fonction de la porosité des granulats.

Dans le cas de granulats non poreux, l'auréole comporte une couche de cristaux de grandes dimensions, très poreuse et de cohésion faible, générant des zones de faiblesse pour les bétons soumis à des actions mécaniques [Maso, 1982]. 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, la porosité du béton et le facteur E/C, rapport du dosage en eau au dosage en ciment, etc

I.6.2. Essai de résistance à la compression [13]

Le plus courant des essais sur béton durci est la résistance à la compression, en partie parce que cet essai est facile à exécuter et aussi parce que de nombreuses caractéristiques du béton, mais pas toutes, peuvent être qualitativement reliées à sa résistance. Toutefois, la raison principale de cet essai est l'importance intrinsèque de la résistance à la compression lors de la conception structurale. Même s'il est universellement utilisé dans le domaine de la construction, l'essai de résistance à la compression présente quelques inconvénients, mais il constitue, un élément du bagage culturel de l'ingénieur [Rossi et Wu, 1994]. Les résultats de l'essai de résistance à la compression peuvent être affectés par différents paramètres : le type d'éprouvette et ses dimensions, le type de moule, de mûrissement, la préparation des faces d'essai sur lesquelles s'exerce la compression, la rigidité de la presse, la vitesse d'application de la charge.

Pour toutes ces raisons, les essais doivent être effectués selon une procédure bien précise sans dévier des spécifications imposées.

Les essais de résistance à la compression effectués sur des éprouvettes préparées de façon normalisée, incluant un serrage ou un compactage à 100% et un mûrissement dans l'eau pendant une période donnée, donnent des résultats représentant la qualité du béton. Bien sûr, le béton dans la structure peut présenter une qualité inférieure, par exemple, par suite d'une mauvaise mise en œuvre, d'un compactage ou vibration inadéquats, d'un phénomène de ségrégation ou d'un mauvais mûrissement.

Ces effets sont importants si l'on désire savoir à quel moment on peut décoffrer, pour suivre la construction ou mettre la structure en service. Pour cette raison, les éprouvettes d'essai sont mûries dans des conditions se rapprochant le plus possible de celles existant dans la structure réelle. Les éprouvettes doivent être des éprouvettes cylindriques.

Les plateaux ou contre-plateaux de la presse doivent avoir des dimensions égales ou légèrement supérieures à celles des faces de l'éprouvette soumise à l'essai.

Le temps d'attente entre le moment où les éprouvettes sont sorties de l'eau et celui de l'exécution de l'essai de compression ne doit pas dépasser une heure, afin d'éviter la dessiccation des éprouvettes, sinon, des précautions doivent être prises

1.6.3 Dosage de ciment

Tableau ci-après, tiré de l'article B.1.1 des règles BAEL 91 modifié 99, fournit, à titre indicatif, les dosages en kg de ciment par m³ de béton permettant d'obtenir dans la grande majorité des cas les résistances caractéristiques requises.

Les indications correspondent à des bétons présentant un affaissement de l'ordre de 10 cm à l'essai normalisé c'est-à-dire des bétons très plastiques .

Tableau I- 3 Classe de ciment[5]

| Classe de ciment | | 32.5et32.5R | | 42.5et42.5R | |
|------------------|--------|-------------|-----|-------------|-----|
| | | CC | AS | CC | AC |
| Fc28 (MPa) | 16 MPa | 300 | | | |
| | 20 MPa | 300 | 325 | 325 | 300 |
| | 25 MPa | (3) | 400 | 375 | 350 |
| | 30 MPa | non admis | (3) | (3) | (3) |

-CC conditions courantes de fabrication des bétons ; -AS conditions courantes de fabrication des bétons avec autocontrôle surveillé. (3) Cas à justifier par une étude appropriée. Par ailleurs le dosage en ciment peut être estimé en fonction du coefficient granulaire C_g et du degré d'exposition de l'ouvrage, ainsi pour les ouvrages exposés et sans agressivité particulière les dosages en ciment sont donnés par la formule $550 \sqrt{C_g}$

Tableau I- 4 Classe granulaire tamis[5]

| Classe granulaire tamis | Classe granulaire passoire | Dosage minimal Kg/m ³ |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 10 | 12.5 | 350 |
| 16 | 20 | 300 |
| 20 | 25 | 290 |

Pour les ouvrages exposés à des conditions particulières : (eau de mer, eaux séléniteuses) les dosages minimaux en ciment portland sont donnés par la formule $700 \sqrt{C_g}$ ce qui conduit à multiplier les valeurs du tableau précédent par 1.28.

Pour les ouvrages de catégorie A et B, il est en outre imposé, à défaut de justification particulière, un dosage minimal de 350 Kg/ m³.

Notons que :

- Les ouvrages classés A sont les constructions de moindre importance ne comportant que deux étages sur RDC et un sous-sol et ne comportant que des éléments courants de portée limitée, sans porte à faux important et sans poteau élancé.

-Les ouvrages classés B sont les constructions de petite importance comportant au plus cinq étages sur RDC et un sous-sol et ne comportant que des éléments courants de petite portée limitée, sans porte à faux important et sans poteau élancé.

A titre d'indication les dosages en ciment en fonction de la classe des ouvrages sont donnés par le tableau suivant :

Tableau I- 5 Dosage en ciment Kg/m³[5]

| Dosage en ciment Kg/m ³ | Sans justification spécial | | Avec justification spécial |
|---------------------------------------|----------------------------|----------|-------------------------------|
| | ClasseA | ClasseB | |
| 350 | 16 MPa | 18 MPa | 20 MPa |
| 400 | 20 MPa | 22.5 MPa | 25 MPa |

Chapitre 2

Méthodes de la formulation du béton

2.1. Introduction

L'étude de la composition d'un béton, consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et eau, afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de partie d'ouvrage en cause. Les méthodes de composition se subdivisent en deux types:

- ✓ Les méthodes à « granularité continue », si la courbe sur le graphique granulométrique s'élevant d'une façon continue ; autrement dit du plus petit grain de ciment de dimension $d_c=6.3 \mu\text{m}$ au plus gros grain D des graviers.
- ✓ Les méthodes à « granularité discontinue », lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un palier qui équivaut à un manque d'élément intermédiaire.

La granularité continue permet d'obtenir des bétons plus plastiques et de bonne ouvrabilité; par contre la granularité discontinue conduit à des bétons présentant en général, des résistances en compression un peu supérieures mais au détriment de l'ouvrabilité; il semble toutefois que la plus part des bétons actuellement utilisés sont à granularités continue.

2.2 Différentes méthodes

2.2.1. Méthode de Faury[5]

La particularité de cette méthode est qu'elle est applicable à tous les granulats, quelle que soit la masse volumique. Faury a distingué des grains fins et moyens des ceux gros et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux courbes, il adopta aussi une échelle des abscisses graduée en $5\sqrt{d^5}$.

L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée $D/2$ et son ordonnée par la formule

$$Y=A+17,\sqrt{D5BRD}-0,75$$

Où:

A : constante, traduisant la maniabilité du béton ;

B : constant traduisant l'importance du serrage du béton ;

D : plus grande dimension de tamis ;

R : rayon moyen du moule.

2.2.2. Méthode de Bolomey[5]

Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et d'où on s'efforce de réaliser avec des granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris), dont la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique.

La formule de base est la suivante :

$$P=A+(100-A)\sqrt{d/D}$$

P : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d ;

D : est le diamètre des plus gros grains ;

A : la valeur de A dépendra de :

- la consistance souhaitée de béton ;
- la provenance des granulats.

Elle varie de 6 à 16, étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins à une granularité continue

2.2.3. Méthode de LA VALETTE [12]

LA VALETTE a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite un certain nombre de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum des sables » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ». On calcule d'abord le dosage de sable et du ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment. On ajoute ensuite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment

Puisque la méthode est essentiellement expérimentale elle repose donc, sur l'appréciation de l'opérateur concernant la convenance du béton, il doit être un praticien connaisseur en la matière.

2.2.4. Méthode de Caquot[12]

Caquot cité dans [Dreux et Festa, 1998] a proposé, dès 1937, une approche théorique pour déterminer une courbe granulométrique quasi optimale, pour un mélange granulaire non borné (en termes de diamètre maximal et minimal), puis pour une étendue granulaire donnée. Cette approche néglige toutefois les conditions de mise en œuvre, la forme des granulats et fait des hypothèses fortes sur les interactions (effet de paroi et de desserrement) entre les grains.

2.2.5. Méthode de Joisel[12]

S'inspirant comme Faury de la théorie de Caquot mais en la généralisant, Joisel propose de considérer que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale, est fonction de \sqrt{dm} m dépend de la compacité avec laquelle se serre un granulat de dimension uniforme selon les moyens de serrage ; m peut alors varier de 3 à 10.

Joisel prend comme échelle en abscisse, la \sqrt{dm} au lieu de \sqrt{d} 5 (Faury) ou m variant avec le serrage des matériaux. Comme dans la méthode de Faury, on aboutit donc en principe à une granularité continue sauf, bien entendu, si les granulats dont on dispose en pratique présentent une discontinuité.

Toutefois, pour éviter la cassure de la droite de référence au point d'abscisse $D/2$, Joisel a déterminé l'échelle de l'intervalle D_2 / D de façon à n'avoir qu'une simple et unique droite, c'est l'avantage de cette méthode. En revanche, il faut employer un graphique dont l'échelle des abscisses est variable d'une échelle à l'autre, d'un type de granulat à un autre.

C'est ensuite par une méthode graphique dont nous nous inspirons que se déterminent les pourcentages des divers granulats [Dreux et Festa, 1998].

2.2.6. Méthode Japonaise[5]

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcoût engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main d'œuvre. Les principes de formulation et leur application sont les suivants

1. Dosage des gravillons :

Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m^3 de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage. A défaut d'indication, nous avons choisi de la mesurer en suivant la procédure du LCPC. La compacité est pour chaque gravillon d'environ 0,57. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/10 mm, le volume du gravillon est donc posé à 285 l/m^3 . Dans le cas de la formule de granulométrie 0/14 mm, nous choisissons de répartir ce volume pour moitié en 6/10 et en 10/14.

2. Dosage du sable :

Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.

3. Dosage du liant :

La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m^3).

Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

4. Dosage de l'eau et du super plastifiant :

Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir.

b)- Méthode Suédoise:

Proposée par [Pettersson et al, 1996] [5]: La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995] [5]. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées.

Les fines, l'eau et le super plastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat.

c)- Méthode Française : [6]

Méthode française (LCPC) : proposée par [De Larrard et al, 1994] : Au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

- les distributions granulaires
- les proportions du mélange
- la compacité propre
- la densité apparente

La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante :

- la proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple)
- le dosage, à saturation, du super plastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente.
- le besoin en eau de ce mélange (en présence du super plastifiant) est déterminé
- les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effet de paroi).

La viscosité est fixée de manière arbitraire à 5.104 La teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion liant/filleret maintenue constante. Les proportions granulats/ phase liante sont optimisées.

Une formulation de béton auto plaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle. La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en super plastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton auto plaçant sont atteintes.

2.2.7. Méthode américaine[9]

Cette méthode [ACI 211] est probablement l'une des plus populaire au monde. Elle est basée essentiellement sur les travaux de chercheurs américains (Abrams et Powers). Ces étapes sont les suivantes

Etape 1 : choix de l'affaissement

Etape 2 : choix de taille maximale des granulats (D)

Etape 3 : estimation de la quantité d'eau et d'air. L'eau est déterminée par Det par l'affaissement requis, alors que l'air dépend de Dmax .

Etape 4: sélection du rapport eau/ciment. Ce rapport est choisi en tenant compte de la durabilité (valeur maximale spécifiée) et de la résistance à la compression. Pour cette dernière, une table est donnée pour trouver le rapport eau/ciment en fonction de la résistance requise.

Etape 5: calcul de la quantité de ciment. Ce calcul est simplement fait à partir de la quantité d'eau et du rapport eau/ciment déterminé précédemment.

Etape 6: estimation de la quantité de gravillon. La masse volumique en vrac du gravillon, mesurée selon une méthode normalisée (piquage à sec), est déterminée en premier. Elle est alors multipliée par un coefficient tabulé, qui dépend de la taille maximale du granulat et du module de finesse du sable.

Etape 7: calcul de la quantité de sable. Cette quantité est calculée par différence entre le volume unité de la gâchée et les autres volumes calculés précédemment.

Etape 8: ajustements finaux

2.2.8. Méthode britannique (BRE 1988)[9]

La méthode du Département de l'Environnement, révisée en 1988 ([BRE 1988, citée par [Neville 1995]), comporte les étapes suivantes :

Etape 1: détermination du rapport eau/ciment. Une première contrainte concerne la durabilité (valeur maximale du rapport e/c). Le rapport eau/ciment est ensuite déduit de la résistance à la compression requise, pour des âges compris entre 3 et 91 jours.

Le type de ciment (durcissement lent ou durcissement rapide) et de granulats (concassé ou roulé) est aussi pris en compte dans une table et un abaque.

Etape 2: détermination de la quantité d'eau. Le principe est très similaire à celui adopté dans la méthode ACI 211 (paragraphe 4.6.1). Un raffinement supplémentaire consiste à considérer la forme des grains (anguleux ou non), qui est supposée contrôler la demande en eau, en plus de D_{max} et de l'affaissement requis.

Etape 3: calcul de la quantité de ciment, en divisant la quantité d'eau par le rapport eau/ciment. A ce stade, une limite inférieure concernant la durabilité est prise en compte.

Etape 4: détermination de la masse totale de granulat. L'utilisateur peut lire dans un tableau la "densité du béton à l'état frais" en fonction de la quantité d'eau et de la densité des granulats.

De cette densité, les masses (pour un volume unité) de ciment et d'eau sont soustraites.

Etape 5: détermination du rapport sable/sable + gravillon. Dans une série de tables, on trouve ce rapport en fonction de la maniabilité requise (exprimée par l'affaissement ou par le temps d'écoulement Vebe), de D_{max} , du rapport eau/ciment et de la quantité de passants du sable au tamis de 0,6 mm.

Quand le gravillon est livré en plusieurs coupures, les pourcentages de chaque coupure par rapport à la masse totale de gravillon sont proposés dans une autre table.

2.2.9. Méthode de coefficient G/S[9]

Cette méthode de composition des bétons est purement expérimentale et basée sur les nombreux essais effectués sur des bétons les plus divers fabriqués dans ce laboratoire.

Dans le cas le plus courant d'un béton binaire, constitué à partir de deux granulats (un poids S de sable et poids G de gravier), le dosage se trouve défini par la connaissance du rapport G/S une fois fixé le dosage en ciment C d'après les indications du paragraphe précédent.

La valeur courante du rapport G/S peut, en général, être prise égale à 2,0 ; mais on peut la faire varier entre 1,5 et 2,4, en tenant compte des principes suivants : Plus G/S est élevé, plus le béton présentera des résistances mécaniques élevées ; par contre, il est sensible à la ségrégation et présente des difficultés de mise en œuvre par manque d'ouvrabilité ou par effet de paroi important. Pour un béton très plastique, riche en mortier, de bonne ouvrabilité, donnant des parements de bonne apparence avec mise en œuvre facile, mais ne permettant pas des résistances exceptionnelles, on peut prendre : $1,5 \leq G/S \leq 1,7$

1.7.2.5. Méthode de Dreux-Gorisse

C'est une méthode pratique qui simplifie et rend la formulation du béton plus pragmatique. Elle consiste à rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité désirée à partir des données de base essentielles pour la formulation du béton telles que la dimension des granulats(D). La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport E/C ^[24].

a. Données de base

✓ Nature de l'ouvrage

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrillé. Il sera nécessaire de connaître l'épaisseur minimale et les dispositions des armatures dans les zones les plus ferrillées : distance minimale entre elles et couvertures par rapport au coffrage. □ Résistance souhaité

En général on demandera une résistance f_{c28} en compression à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique, il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours :

$$f_c \text{ supérieur à } f_{c28} \quad \text{car : } f_{c28} = f_c - 0,8s$$

Si l'on admet en coefficient de variation moyen de l'ordre de 20 %. On pourra adopter la règle approximative pour la résistance moyenne à viser : $f_{c28} = f_c - 15\%$ □ Ouvrabilité désirée

Elle est fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massifs ou plus ou moins ferrillé), de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage etc.. Elle peut se définir en général par la plasticité désirée mesurée par affaissement au cône comme indiqué (Annexe1).

b. Dosage en ciment

On commencera par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne désirée f_c .

$$f_c = G \cdot F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

Avec : f_c : résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en MPa.

F_{CE} : classe vraie du ciment (à 28 jours) en MPa.

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

E : dosage en eau totale sur matériaux secs (en litre pour m^3).

G : coefficient granulaire (Annexe 2).

c. Dosage en eau

L'abaque de la (figure 1.2), donne l'allure générale de la variation du dosage en eau en fonction de l'affaissement au cône et du test d'ouvrabilité C.E.S. Il ne s'agit bien entendu que d'ordre de grandeur pour des bétons courants et permettant de dégrossir rapidement une formule de composition mais comme pour tous les facteurs de cette composition c'est par des essais sur des éprouvettes que les divers éléments constitutifs, et l'eau tout particulièrement, peuvent être définitivement dosée.

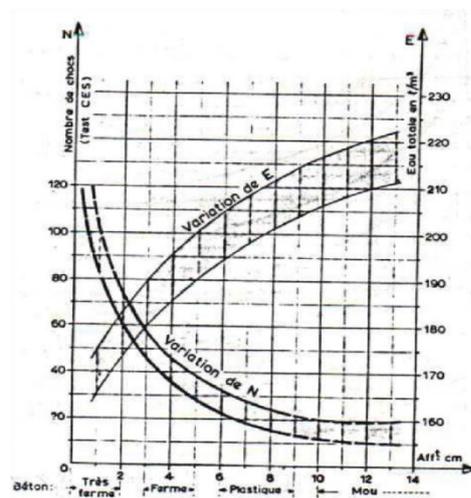


Figure 1.2 Variation relatives moyennes du dosage en eau E et du nombre de chocs du test [9] d'ouvrabilité C.E.S en fonction de l'affaissement dans le cas des bétons composés suivant la présente méthode (le dosage en sable augmente quand le dosage en ciment diminue)

d. Analyses granulométriques des granulats

Sur un graphique d'analyse granulométrique, on trace la courbe granulaire de référence AOB.

- Le point 0 est repéré par ses coordonnées : [0,01 ; 0]
- Le point B est repéré par ses coordonnées suivantes : [D ; 100], (D: le diamètre du plus gros granulats).
- Le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies:
 - ✓ En abscisse (à partir de la dimension D tamis)
- si $D < 20\text{mm}$ l'abscisse est $D/2$

- si $D \geq 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du « Segment gravier » limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à D.

✓ En ordonné

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

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage de ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassé (et c'est surtout le sable dont l'influence est ici prépondérante) et également du module de finesse du sable.

e. Dosage des granulats

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur la même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g_1 , g_2 et g_3 , par exemple si C est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est : $V_c = \frac{C}{3,1}$ (en admettant une masse spécifique de 3.1 pour les grains de ciment, valeur moyenne habituellement admise).

On choisira dans (Annexe 4) une valeur convenable du coefficient de compacité γ en fonction de D, de la consistance et de l'efficacité du serrage.

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est : $V_G = (1000 \times \gamma) - V_c$

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite :

$$V_1 \geq g_1 V_G$$

$$V_2 \geq g_2 V_G$$

$$V_3 \geq g_3 V_G$$

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont ω_1, ω_2 et ω_3 les masses de chacun deux sont:

$$P_1 = V_1 \omega_1$$

$$P_2 = V_2 \omega_2$$

$$P_3 = V_3 \omega_3$$

Masse totale des granulats $G = (P_1 + P_2 + P_3)$

2.3. Conclusion

On peut conclure que la formulation d'un béton dépend de plusieurs paramètres, à savoir :

- La granulométrie ;

- La qualité des granulats ;
- Les masses volumiques des granulats ;
- La classe du ciment ;
- L'environnement.
- Le rapport C/E
- La maniabilité (affaissement) désirée.
- La compacité désirée

Chapitre03

Une Lecture Sur Des
Résultats Expérimentaux

’’Cas des travaux de’’ :

L. MOSBAHI

&

K. SOLTANI

Attirer l'attention:

La situation particulière de cette année universitaire 2019/2020, marquée par la propagation de la pandémie du « COVID-19 » et la fermeture des laboratoires universitaires et nationaux, la partie expérimentale de ce projet de fin d'études n'a pas pu se faire. Nous nous sommes contentés, suivant les directives et recommandations du confinement, de restreindre le travail à sa partie théorique.

Toutefois, la partie expérimentale est inspirée des résultats réalisés par un autre projet de fin d'études de Master réalisé par Mosbahi Lamia et SoltaniKhedidja[5]. Les résultats suivants ont été réalisés dans ce cadre :

PFE de master en GC intitulé :

« Les différentes méthodes de formulation du béton ordinaire. Etude comparative »

Réalisé en année universitaire 2017/2018

Université LARBI TEBESSI de TEBESSA

Auteurs :MOSBAHI Lamiaet SOLTANI Khedidja

3.1. Introduction

Le béton est constitué par un mélange intime de matériaux inertes, appelés « granulats » (sable, graviers, pierres cassées...) avec du ciment et de l'eau. Grâce à l'action du ciment, le mélange ainsi obtenu, appelé « béton frais », commence à durcir après quelques heures et acquiert progressivement ses caractères de résistances

Dans ce chapitre, nos travaux de laboratoire se sont limités à des : essais des granulats utilisés selon des normes, formulation de quatre méthodes les plus usuelles : Dreux-Gorisse, Faury, Bolomey et la méthode G/S (1,9). En utilisant les dosages 350, 380 et 400kg.

3.2. Matériaux utilisés

3.2.1. Sable

Dans tous les mélanges de notre étude, nous avons utilisé un sable local prélevé de El Malabiod situé à 27 Km de la ville de Tébessa, il s'agit d'un sable siliceux de classe granulaire (0/3.15 mm) et utilisé couramment dans la confection du béton dans cette région.

3.2.2. Ciment

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment portland composée **CPJ-CEM II/A-M (P-L)42,5N**. Il provient de la cimenterie d'El Malabiod (Wilaya de Tébessa). Ce produit Convient pour : les bétons armés et non armés, préfabriqués ou précontraints, étuvés et auto étuvés; le génie civil (ouvrages et routes) et les constructions (logements, locaux commerciaux et industriels).

3.2.3. Gravier

Pour assurer une bonne maniabilité (fluidité) à notre béton, nous avons choisi trois types de gravier, il s'agit de gravier de type (3/8), gravier (8/15) et gravier (15/25) de nature calcaire, provenant pour notre région du gisement d'El Malabiod situé à 27 km ou Tébessa.

3.2.4. Eau

L'eau utilisée est celle du robinet de laboratoire d'université de Tébessa.

3.2.5. Adjuvant (Super plastifiant)

L'adjuvant utilisé est SIKAPLAST BV40+ qui est un super plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de poly carboxylates modifiés.

Tableau III- 1 Quelque caractéristique de SIKAPLAST BV+40[5]

| Caractéristique | Forme | Couleur | PH | Densité |
|-----------------|---------|---------|-------------|------------------|
| Résultat | liquide | Marron | $4,7 \pm 1$ | $1,04 \pm 0,015$ |

Le dosage adopté est de 2% par rapport au poids du ciment. Le super plastifiant est utilisé pour un béton dosé à 400 Kg/m³.



Photo3. 1Les matériaux utilisés[5]

3.3. Caractérisation des matériaux

3.3.1. Essais sur granulats

3.3.1.1. Analyse Granulométrique (NF P 18-560 septembre 1990)[5]

La connaissance de la courbe granulaire des granulats est nécessaire pour déterminer la composition optimale du béton.

a. But de l'essai

L'analyse granulométrique a pour but de définir la répartition des grains constitutifs d'un sol par classe de taille; elle est réalisée :

- Par un tamisage mécanique pour les grains supérieurs à 0.080 mm.
- Par un essai de sédimentation pour les particules inférieures à 0.080 mm.

Cette classification donne des informations intéressantes sur la composition des granulats qui constituent l'échantillon, c'est-à-dire les composantes de sable et de gravier.

b. Principe de l'essai

Pour un échantillon donné, il s'agit, au moyen d'une série de tamis, de séparer les grains en fonction de leur dimension.

On utilise généralement une série de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissant du haut vers le bas. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision projetée. Les masses des différents refus (ou, par soustraction, celles des différents tamisats) sont rapportées à la masse initiale de matériau. Les pourcentages, ainsi obtenus, sont exploités soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

c. Le calcul

On note les masses des refus partiels (M_i), on calcule les pourcentages des refus partiels donné par la relation suivante::

$$\text{Refus}(i) \% = \frac{M_i}{M_t} \times 100$$

la masse totale de l'échantillon



Photo3. 2Tamisage par une tamiseuse électrique[5]

On trace la courbe granulométrique après le calcul de pourcentage des tamisât partiels par la formule suivant :

$$\text{Tamisas (i)} = 100 - \text{refus (i)} \%$$

Les résultats des différents tamisages sont présentés dans les tableaux suivants :

- Nous avons utilisé une masse de 2000 g du sable

Tableau III- 2Analyse granulométrique du sable[5]

| Dimension des tamis en (mm) | Refus En (g) | Refus partiel en (g) | Refus cumulés en (g) | Refus cumulés en (%) | Tamisas (%) |
|-----------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 3,15 | 10 | 0,005 | 0,005 | 0,5 | 99,5 |
| 2,5 | 40 | 0,02 | 0,025 | 2,5 | 97,5 |
| 1,25 | 262 | 0,131 | 0,156 | 15,6 | 84,4 |
| 0,63 | 428 | 0,214 | 0,37 | 37 | 63 |
| 0,315 | 688 | 0,344 | 0,714 | 71,4 | 28,6 |
| 0,2 | 302 | 0,151 | 0,865 | 86,5 | 13,5 |
| 0,08 | 68 | 0,034 | 0,899 | 89,9 | 10,1 |
| Fond | 200 | 0,1 | 0,999 | 99,9 | 0,1 |

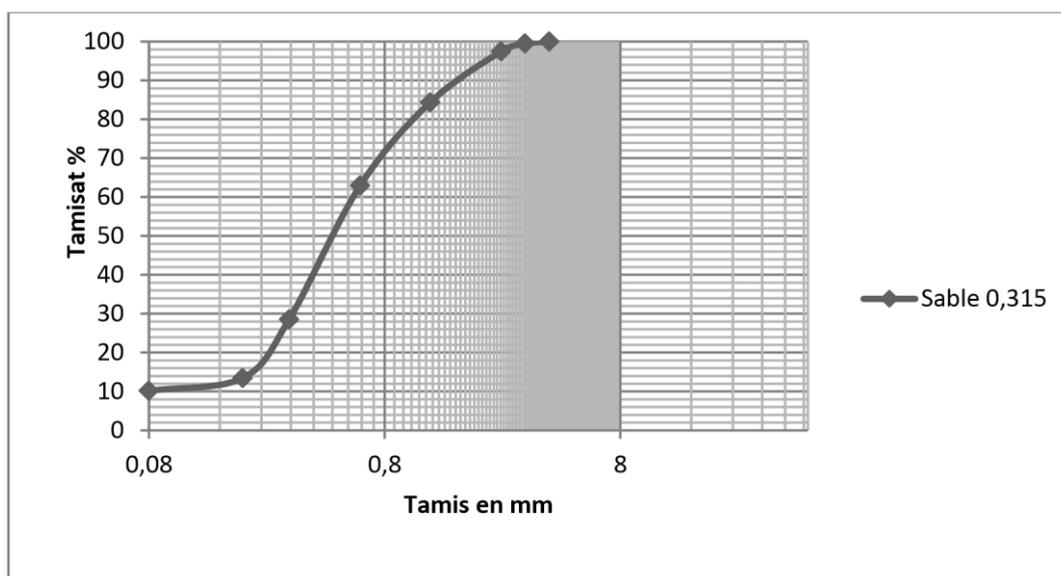


Figure3. 1 Courbe granulométrique du sable utilisé[5]

- Nous avons utilisé une masse de 3000 g du gravier 3/8

Tableau III- 3 Analyse granulométrique du gravier 3/8[5]

| Dimension des tamis (mm) | Refus (g) | Refus partiel (g) | Refus cumulés (g) | Refus cumulés (%) | Tamisas (%) |
|--------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 8 | 20 | 0,0066 | 0,0066 | 0,66 | 99,34 |
| 5 | 255 | 0,085 | 0,0916 | 9,16 | 90,84 |
| 4 | 1226 | 0,4086 | 0,5002 | 50,02 | 49,98 |
| 3,15 | 1245 | 0,415 | 0,9152 | 91,52 | 8,48 |
| 2,5 | 198 | 0,066 | 0,9812 | 98,12 | 1,88 |
| Fond | 56 | 0,0186 | 0,9998 | 99,98 | 0,02 |

- Nous avons utilisé une masse de 5000 g du gravier 8/15

Tableau III- 4 Analyse granulométrique du gravier 8/15[5]

| Dimension des tamis (mm) | Refus (g) | Refus partiel (g) | Refus cumulés (g) | Refus cumulés (%) | Tamisas (%) |
|--------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 130 | 0,026 | 0,026 | 2,6 | 97,4 |
| 14 | 920 | 0,184 | 0,21 | 21 | 79 |
| 12,5 | 2250 | 0,45 | 0,66 | 66 | 34 |
| 10 | 589 | 0,1178 | 0,7778 | 77,78 | 22,22 |
| 8 | 957 | 0,1914 | 0,9692 | 96,92 | 3,08 |
| 5 | 127 | 0,0254 | 0,9946 | 99,46 | 0,54 |
| Fond | 19 | 0,0038 | 0,9984 | 99,84 | 0,16 |

➤ Nous avons utilisé une masse de 5000 g du gravier 15/25

Tableau III- 5 Analyse granulométrique du gravier 15/25[5]

| Dimension des tamis (mm) | Refus (g) | Refus partiel (g) | Refus cumulés (g) | Refus cumulés (%) | Tamisés (%) |
|--------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|
| 31,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 25 | 122 | 0,0244 | 0,0244 | 2,44 | 97,56 |
| 20 | 1654 | 0,3308 | 0,3552 | 35,52 | 64,48 |
| 16 | 2983 | 0,5966 | 0,9518 | 95,18 | 4,82 |
| 14 | 195 | 0,039 | 0,9908 | 99,08 | 0,92 |
| 12,5 | 32 | 0,0064 | 0,9972 | 99,72 | 0,28 |
| Fond | 11 | 0,0022 | 0,9994 | 99,94 | 0,06 |

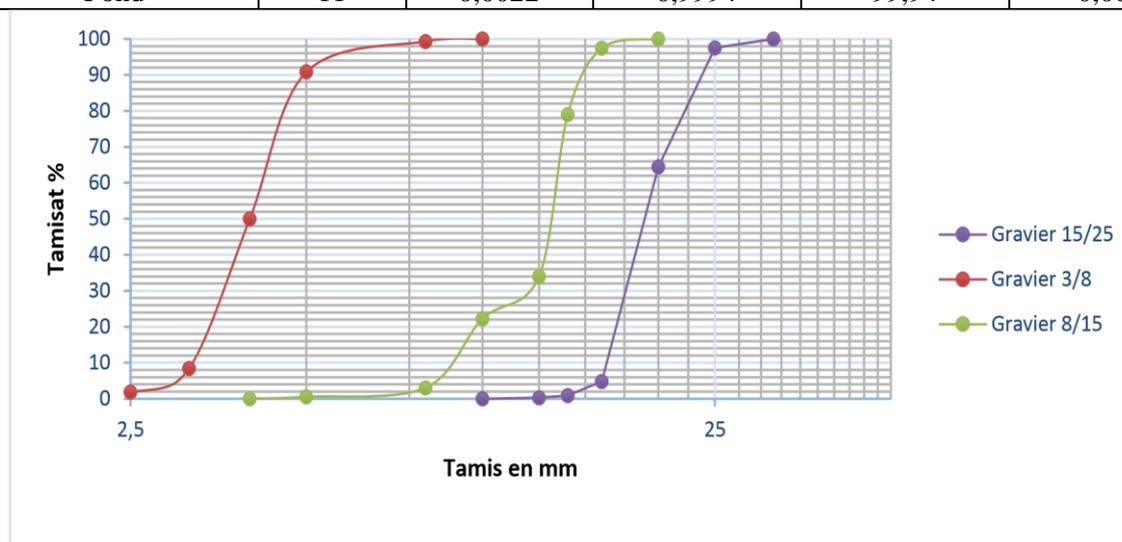


Figure3. 2 Courbe granulométrique du gravier utilisé[5]

2.3.1.2. Masse volumique (NF P 94-064 Novembre 1993)[5]

La masse volumique d'un granulat est le rapport entre sa masse et son volume. Pour un granulat donné, ce rapport est une constante qui est propre aux caractéristiques physiques du granulat. Elle permet d'établir un lien entre sa masse et son volume. La masse volumique permet donc de connaître le volume d'un granulat lorsque l'on connaît sa masse et réciproquement.

L'observation d'un granulat montre que les grains qui le constituent sont entourés de vide. Par conséquent le volume d'un granulat peut désigner deux choses :

- Le volume des grains avec l'air (masse volumique apparente).
- Le volume des grains seuls (masse volumique absolue).

Ainsi, on peut constater, qu'il existe deux volumes pour désigner un granulat. Il existe alors deux masses volumiques.

La masse volumique apparente

a. But de l'essai

Cet essai permet de déterminer la masse volumique apparente d'un corps (sable, gravier). C'est à dire la masse en kg de ce corps, pour 1m³ de volume. Cette masse volumique intègre les grains de l'agrégat ainsi que les vides compris entre les grains.

b. Principe de l'essai

L'essai de mesure de la masse volumique apparent consiste à remplir, des agrégats, un récipient de volume et de masse préalablement connus (récipient homologué). Les agrégats y est déversé jusqu'à remplir complètement le récipient. Le niveau des agrégats est ajusté à celui du récipient par arasage. La masse des agrégats est divisée par le volume du récipient pour donner la masse volumique apparente du matériau.

c. Calcul

La formule qui permet de calculer ce paramètre est : $\rho_a = \frac{M}{V_a}$

Tels que : ρ_a : la masse volumique apparente (g/cm³).

M : la masse d'échantillon (g).

V_a : le volume apparent de l'échantillon (cm³).

➤ La masse volumique absolue

a. But de l'essai

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

b. Principe de l'essai

Le volume absolu d'un corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide (en général d'eau) que déplace l'introduction de corps.

c. Calcul

La masse volumique absolue est déterminé par la relation suivant $\rho_s = \frac{M}{V_s}$

Tels que : ρ_s : la masse volumique absolue (g/cm³).

M : la masse d'échantillon(g).

V_s : le volume absolu de l'échantillon (cm³).

Tableau III- 6 Les masses volumiques des matériaux employés[5]

| Caractéristique physique | Sable | Gravier | | |
|---------------------------------------------------|-------|---------|------|-------|
| | | 3/8 | 8/15 | 15/25 |
| masse volumique apparente en (g/cm ³) | 1,451 | 1,41 | 1,46 | 1,5 |
| masse volumique absolue en (g/cm ³) | 2,5 | 2,14 | 2,31 | 2,73 |

3.3.1.3. Module de finesse de sable (norme NF P18-304)[5]

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF).

Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins.

Le module de finesse est égal au $\frac{1}{100}$ de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : (0,2 - 0,315 - 0,63-1,25 - 2,5 - 3,15) mm.

Lorsque MF est comprise entre :

$$MF = \frac{1}{100} \sum Refuscumulesen \% destamis(0,2 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 3,15)$$

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins,
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel,
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

$$MF = \frac{86,5+71,4+37+15,6+2,5+0,5}{100} = 2.135$$

Donc notre sable est un sable à majorité de grains fins

3.3.1.4. Equivalant de sable (NF P 18-598 Octobre 1991)[5]

a. But de l'essai

L'essai équivalent de sable permet de mettre en victoire la proportion de poussière fine nuisible dans un matériau. Et surtout utilisé par les matériaux routiers et les sables à béton. Car il permet de séparer les sables et graviers des particules fines comme les limons et argiles.

L'essai équivalent de sable révèle très intéressant au laboratoire et sur chantier grâce à sa simplicité, sa rusticité, son faible coût et sa rapidité.

b. Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0.315 mm du matériau étudié. Le tamisage se fait par voie humide pour ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon selon un processus normalisé et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 min, on mesure les éléments suivants :

- La hauteur h_1 : sable propre + éléments fins.
- La hauteur h_2 : sable propre seulement.

Il y a 2 façons de mesurer h_2 , soit visuellement pour déterminer ESV (équivalent de sable à vue), soit avec un piston pour déterminer ES.

Le mode opératoire à une grande influence sur le résultat donc il faut le suivre scrupuleusement.

L'essai est effectué avec 120 g de grains. Il est préférable d'utiliser un échantillon humide, pour éviter les pertes des éléments fins du sable.

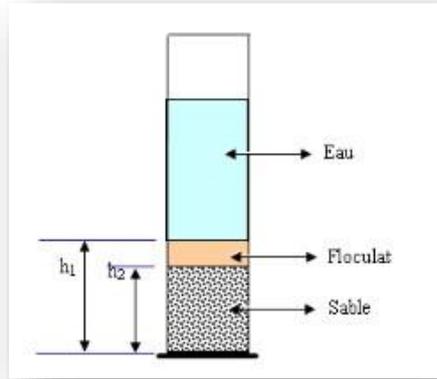


Figure3. 3 Mesure de l'équivalent de sable[5]

c. Calcul

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

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$



Photo3. 3 Essai équivalent de sable[5]

Photo 2.3

Eprouvette 1 : $h_1 = 14,9 \text{ cm}$
 $h_2 = 9,6 \text{ cm}$ } $ES_1 = 64,43 \%$ $\longleftrightarrow ES_{\text{moy}} = 66 \%$

Eprouvette 2 : $h_1 = 13,6 \text{ cm}$
 $h_2 = 9,1 \text{ cm}$ } $ES_2 = 66,91 \%$

On remarque que $60 \% \leq ES \leq 70 \%$. Donc notre sable est légèrement argileux, mais utilisable pour les mortiers et les bétons courants.

3.3.1.5. Coefficient volumétrique

Le but de cette manipulation est de déterminer le coefficient volumétrique d'un gravier. Le coefficient volumétrique d'un gravier est le rapport du volume V du grain sur le volume V_i de la plus petite sphère circonscrite.

Si d est la plus grande dimension diamétrale du grain c'est-à-dire la plus grande distance séparant deux plans parallèles tangents à celui-ci alors le volume V_i de la sphère circonscrite est ^[25] : $V_i = \frac{\pi d^3}{6}$

Le coefficient volumétrique d'un gravier constitué de n grains de volume total V est :

$$CV = \frac{\sum V_i}{\sum \left(\frac{\pi d^3}{6}\right)}$$

une valeur courante de ce coefficient est 0,20 et il ne faut jamais descendre au-dessous de 0,15 puisque cette valeur caractérise un gravier plat incompatible avec l'adhérence recherchée.

Tableau III- 7 Coefficient volumétrique[5]

| | 3/8 | 8/15 | 15/25 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| Coefficient volumétrique | 0,283 | 0,230 | 0,346 |

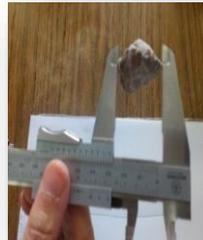


Photo3. 4 Essai coefficient volumétrique[5]

3.3.2. Formulation de béton

Pour l'étude expérimentale de la formulation du béton, on a utilisé les 4 méthodes : la méthode de DREUX-GORISSE, FAURY, BOLOMEY et le coefficient G/S nous avons respecté les étapes et le mode opératoire de laboratoire. Afin de voir l'influence de la méthode de composition sur la résistance à la compression.

3.3.2.1. La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse[5]

⇒ 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: $f_{c28} = 25$ MPa
- La résistance visée vaut alors: $f_{c28} = f_{c28} + 15\% = 25 + 3,75 = 28,75$ MPa

Chapitre 03 Etude expérimentale SELON Par :Abdelghani Tahar

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

Avec : $G = 0,4$ (qualité des granulats passable (Annexe 2)).

$D_{max} = 31,5 \text{ mm}$

Le ciment employé est de la classe 42,5, mais il a une résistance vraie moyenne à 28 jours $F_{CE} = 52 \text{ MPa}$.

L'ouvrabilité désirée est caractérisée par un affaissement au cône A = 8cm (Béton plastique, vibration courante (Annexe 1)). $28,75 = 0,4 \times 52 \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$ $f_c = G \cdot F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$

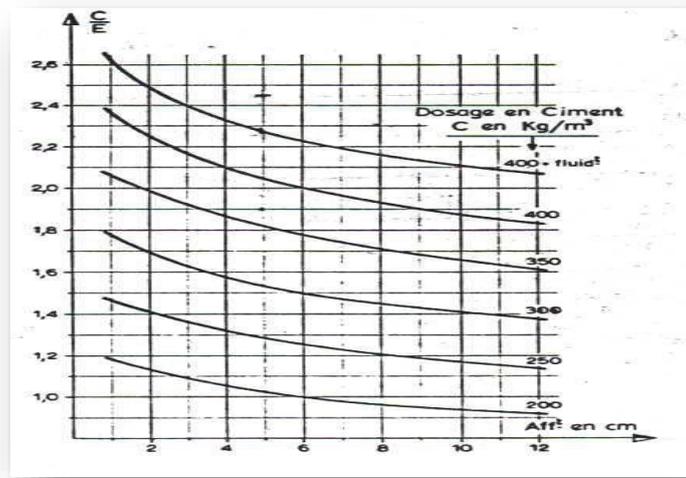


Figure3. 4Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône d'Abrams)[5]

➤ Pour un affaissement théorique = 8cm et pour $C/E = 1,88$ l'abaque de la (figure 2.4) donne un dosage en ciment $C = 380 \text{ kg/m}^3$.

⇒ Dosage en eau

Le dosage en eau totale sur matériaux secs sera approximativement : $E = \frac{380}{1,88} \Rightarrow E = 202 \text{ L}$.

Tracé de la courbe granulaire de référence AOB

Nous traçons une courbe de référence OAB avec :

- Le point 0 est repéré par ses coordonnées : [0,01 ; 0]
- Le point B est repéré par ses coordonnées suivantes : [D ; 100]
- Si $D > 20 \text{ mm}$ l'abscisse est située au milieu du « Segment gravier » limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D.

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

En abscisse

Chapitre 03 Etude expérimentale SELON Par :Abdelghani Tahar

Le plus gros granulat est $D = 31,5$ mm (module 46), donc le point de brisure à pour abscisse : $A = 12,5$ mm.

En ordonnée

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

Pour notre 1^{ère} cas $K = + 3$ (Annexe 3).

$K_p = 0$ (puisque notre béton n'est pas pompable).

La correction en fonction du module de finesse du sable $MF = 2,315$ et $K_s = 6MF - 15 = - 2,19$

$$\text{Alors : } Y = 50 - \sqrt{31,5} + 3 - 2,19 = 45,19 \%$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : $[12,5 ; 45,19]$

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

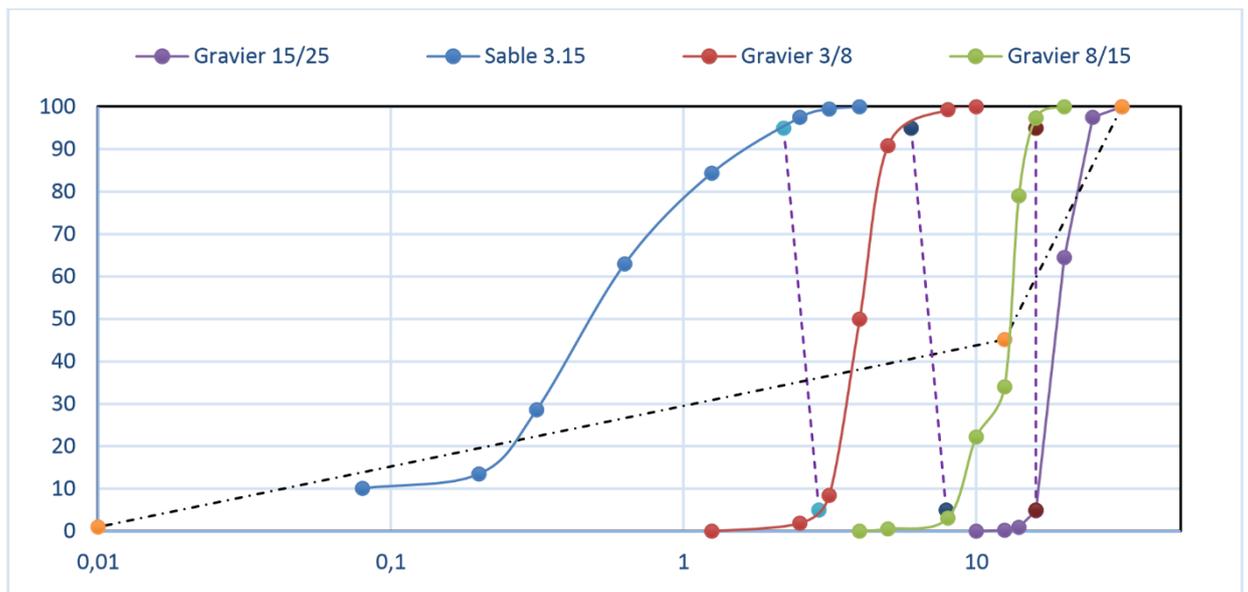


Figure3. 5 Courbe granulométrique de Dreux-Gorisse (dosage 380 kg)[5]

Les pourcentages des granulats

| | | |
|------------|---------------|------|
| suivants : | Gravier 3/8 | 7 % |
| | Gravier 8/15 | 18 % |
| | Gravier 15/25 | 40 % |

⇒ 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 vante 1 m^3 : $V_{\text{abs}} = V_s + V_g + V_c$

$$V_c = \frac{C}{3,1} = \frac{380}{3,1} = 123 \text{ L}$$

On adoptant pour le coefficient de compacité dans (Annexe 4) ($D_{\max} = 31,5$ mm, béton plastique, vibration faible) la valeur $\gamma = 0,825$

Volume absolu de granulats

De la relation $\gamma = V_s + V_g + V_c$ en remplaçant le volume de granulats $V_s + V_g$ par la valeur V_G , alors : $\gamma = V_c + V_G$ où : $V_G = (1000 \times \gamma) - V_c$

V_G : Volume absolu des granulats en litre ($V_G + V_g + V_s$)

γ : Coefficient de compacité (sable roulé et gravier concasse : - 0,01)

$$\gamma = 0,825 - 0,01 = 0,815$$

$$\text{Alors : } V_G = (1000 \times 0,815) - 123 = 692 \text{ L}$$

Volume de sable

$$V_s = 35 \% \times 692 = 242,2 \text{ L}$$

Volume des graviers

$$V_G = 65 \% \times 692 = 449,8 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier}(3/8) = 7 \% \times 692 = 48,44 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier}(8/15) = 18 \% \times 692 = 124,56 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier}(15/25) = 40 \% \times 692 = 276,8 \text{ L}$$

⇔ Détermination de la composition pondérale sèche en kg :

$$\text{Masse de ciment} \quad C = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masse d'eau} \quad E = 202 \text{ L/m}$$

$$\text{Masse de sable} \quad S = V_s \times M_{\text{vabs}} = 242,2 \times 2,5 = 605,5 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masse de gravier} \quad G = V_G \times M_{\text{vabs}}$$

$$G_{3/8} = 48,44 \times 2,14 = 103,66 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{8/15} = 124,56 \times 2,31 = 287,73 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{15/25} = 276,8 \times 2,73 = 755,66 \text{ kg/m}^3$$

Remarquons que l'affaissement réel $A = 5$ cm trouvé lors de l'essai du cône d'Abrams est inférieur à l'affaissement théorique $A = 8$ cm.



Photo3. 5Essai de cône d'ABRAMS[5]

➤ **Dosage en ciment C=350 Kg/m³**

Pour un dosage en ciment C=350 Kg/m³ et pour C/E = 1,88 l'abaque de la (figure 2.4) donne l'affaissement théorique A= 4cm.

⇒ Dosage en eau

Le dosage en eau totale sur matériaux secs sera approximativement : $E = \frac{350}{1,88} \Rightarrow E = 186 \text{ L}$

L'affaissement réel trouvé par l'essai du cône d'Abrams est supérieur à l'affaissement théorique soit *Affaissement réel* = 5 cm.

Tracé de la courbe granulaire de référence AOB

Nous traçons une courbe de référence OAB avec :

- Le point 0 est repéré par ses coordonnées : [0.01 ; 0]
- Le point B est repéré par ses coordonnées suivantes : [D ; 100]
- Si D > 20mm l'abscisse est située au milieu du « Segment gravier » limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à D.

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

En abscisse

Le plus gros granulat est D = 31,5 mm (module 46), donc le point de brisure à pour abscisse : A = 12,5 mm.

En ordonnée

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

Pour notre 2^{ème} cas K = + 4 (Annexe3).

K_p = 0 (puisque notre béton n'est pas pompable).

La correction en fonction du module de finesse du sable MF = 2,315 et K_s = 6MF - 15 = - 2,19

$$\text{Alors : } Y = 50 - \sqrt{31,5} + 4 - 2,19 = 46,20 \%$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : [12,5 ; 46,20]

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

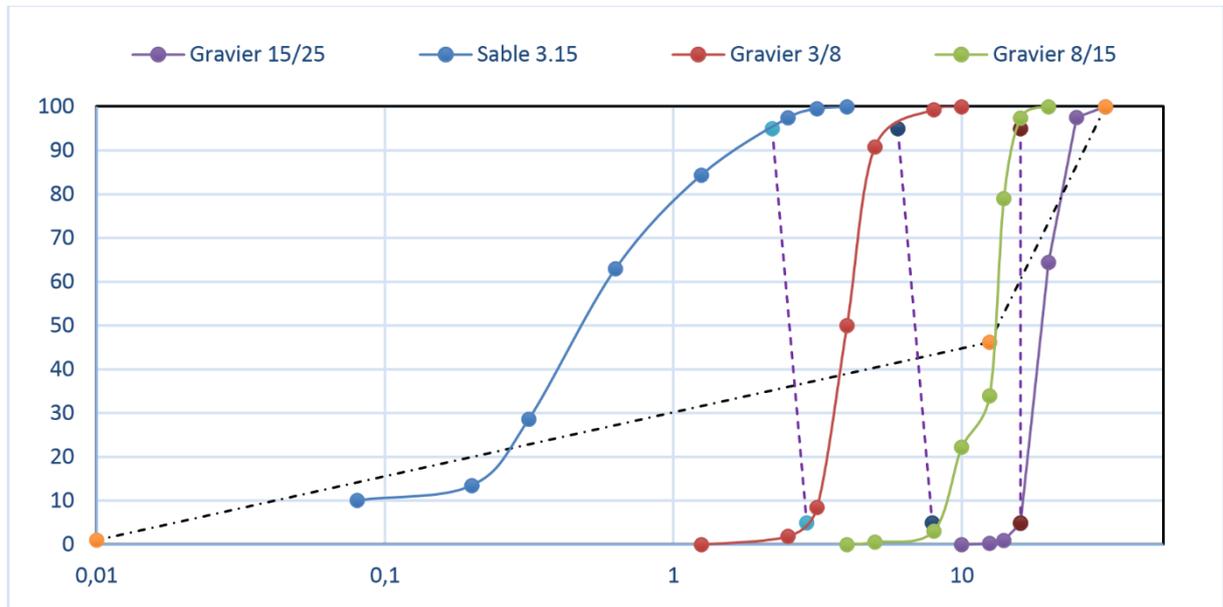


Figure3. 6 Courbe granulair de Dreux-Gorisse (dosage 350 kg)[5]

Les pourcentages des granulats suivants :

| | | |
|---|--------------|------|
| } | Sable | 36 % |
| | Gravier 3/8 | 7 % |
| | Gravier 8/15 | 17 % |

Gravier 15/25 40 %

⇒ Détermination de la composition en volume absolue

- Le dosage en béton est déterminer pour obtenir un mètre cube de béton en place cela signifie que le volume de matière vante 1 m³ : $V_{abs} = V_s + V_g + V_c$

$$V_c = \frac{C}{3,1} = \frac{350}{3,1} = 113 \text{ L}$$

On adoptant pour le coefficient de compacité dans (Annexe 4) ($D_{max} = 31,5$ mm, béton plastique, vibration faible) la valeur $\gamma = 0,825$

Volume absolu de granulats

De la relation $\gamma = V_s + V_g + V_c$ en remplaçant le volume de granulats $V_s + V_g$ par la valeur V_G , alors :

$$\gamma = V_c + V_G \text{ où } V_G = (1000 \times \gamma) - V_c$$

V_G : Volume absolue des granulats en litre ($V_G + V_g + V_s$)

γ : Coefficient de compacité (sable roulé et gravier concasse : - 0,01)

$$\gamma = 0,825 - 0,01 = 0,815$$

$$\text{Alors : } V_G = (1000 \times 0,815) - 113 = 702 \text{ L}$$

Volume de sable

$$V_s = 36 \% \times 702 = 252,72 \text{ L}$$

Volume des graviers

$$V_G = 64\% \times 702 = 449,28 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier}(3/8) = 7\% \times 702 = 49,14 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier}(8/15) = 17\% \times 702 = 119,34 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier}(15/25) = 40\% \times 702 = 280,80 \text{ L}$$

⇨ Détermination de la composition pondérale sèche en kg :

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

$$\text{Masse d'eau } E = 186 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Masse de sable} \quad S = V_s \times M_{\text{vabs}} = 252,72 \times 2,5 = 631,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masse de gravier } G = V_G \times M_{\text{vabs}}$$

$$G_{3/8} = 49,14 \times 2,14 = 105,16 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{8/15} = 119,34 \times 2,31 = 275,67$$

$$\text{kg/m}^3 \quad G_{15/25} = 280,8 \times 2,73 = 766,58 \text{ kg/m}^3 \text{ } \mathbf{\gg \underline{\underline{Dosage 400 kg/m}^3}}$$

✓ Sans adjuvant

⇨ 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: $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$
- La résistance visée vaut alors : $f_{c28} = f_{c28} + 15\% = 30 + 4,5 = 34,5 \text{ MPa}$

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

$$f_c = G \cdot F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

Avec : $G = 0,4$ (qualité des granulats passable (Annexe 2))

$$D_{\text{max}} = 31,5 \text{ mm}$$

Le ciment employé est de la classe 42,5, mais il à une résistance vraie moyenne à 28 jours :

$$F_{CE} = 52 \text{ MPa} \cdot 34,5 = 0,4 \times 52 \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad \frac{C}{E} = 2,16 \Leftrightarrow \text{ Dosage en eau}$$

L'abaque de la (figure 2.4) donne pour $C/E = 2,16$ et un dosage $C=400 \text{ Kg/m}^3$ un affaissement théorique $A = 3 \text{ cm}$.

Le dosage en eau totale sur matériaux secs sera approximativement : $E = \frac{400}{2,16} \Leftrightarrow E = 185 \text{ L}$.

L'affaissement réel trouvé par l'essai du cône d'Abrams est supérieur à l'affaissement théorique soit *Affaissement réel = 5 cm*.

Chapitre 03 Etude expérimentale SELON Par :Abdelghani Tahar

Tracé de la courbe granulaire de référence AOB

Nous traçons une courbe de référence OAB avec :

- Le point 0 est repéré par ses coordonnées : [0,01 ; 0]
- Le point B est repéré par ses coordonnées suivantes : [D ; 100]
- Si $D > 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du « Segment gravier » limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D.

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

En abscisse

Le plus gros granulat est $D = 31,5\text{ mm}$ (module 46 mm), donc le point de brisure à pour abscisse :
 $A = 12,5\text{mm}$.

En ordonné

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

Pour notre 3^{ème} cas $K = +2$ (Annexe 3).

$K_p = 0$ (puisque notre béton n'est pas pompable).

La correction en fonction du module de finesse du sable $MF = 2,315$ et $K_s = 6MF - 15 = - 2,19$

$$\text{Alors : } Y = 50 - \sqrt{31,5} + 2 - 2,19 = 44,19\%$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : [12,5 ; 44,19]

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

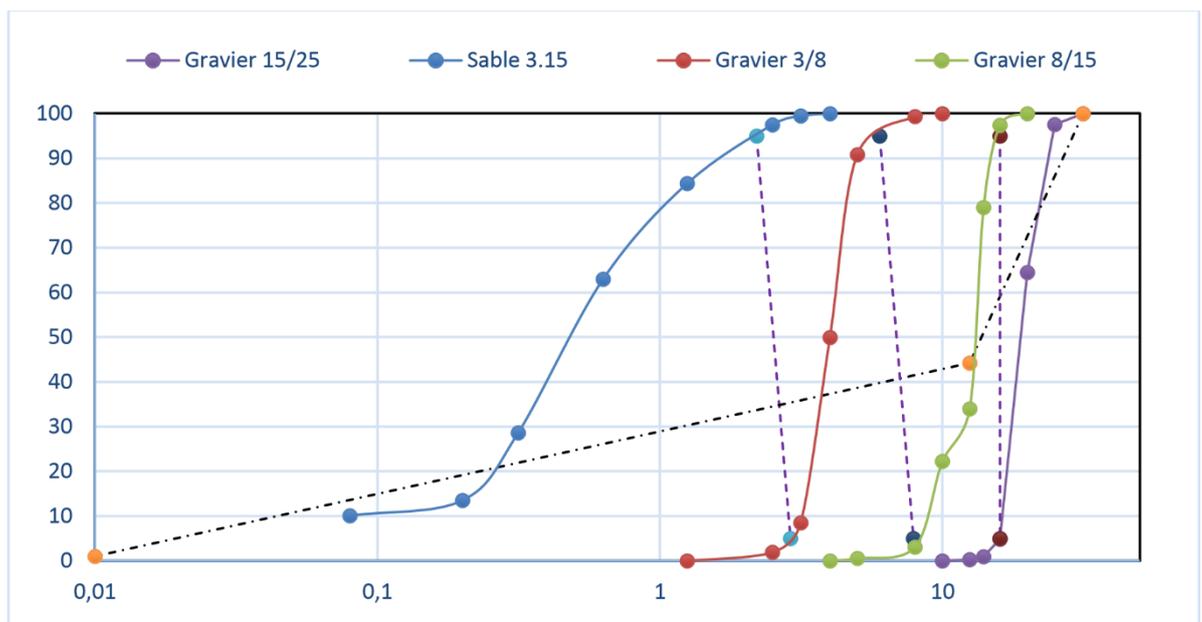


Figure3. 7 Courbe granulaire de Dreux-Gorisse sans adjuvant (dosage 400 kg)[5]

Les pourcentages des granulats suivants :

| | | |
|---|-------------|------|
| } | Sable | 35 % |
| | Gravier 3/8 | 6 % |
| | | 42 |

Gravier 8/15 19 %

Gravier 15/25 40 %

⇒ 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 vante 1 m^3 : $V_{\text{abs}} = V_s + V_g + V_c$

$$V_c = \frac{C}{3,1} = \frac{400}{3,1} = 129 \text{ L}$$

On adoptant pour le coefficient de compacité dans (Annexe 4) ($D_{\text{max}} = 31,5 \text{ mm}$, béton plastique, vibration faible) la valeur $\gamma = 0,825$

Volume absolu de granulats

De la relation $\gamma = V_s + V_g + V_c$ en remplaçant le volume de granulats $V_s + V_g$ par la valeur V_G , alors :

$$\gamma = V_c + V_G \text{ où } V_G = (1000 \times \gamma) - V_c$$

V_G : Volume absolu des granulats en litre ($V_G + V_g + V_s$)

γ : Coefficient de compacité (sable roulé et gravier concasse : -0,01)

$$\gamma = 0,825 - 0,01 = 0,815$$

$$\text{Alors : } V_G = (1000 \times 0,815) - 129 = 686 \text{ L}$$

Volume de sable

$$V_s = 35 \% \times 686 = 240,1 \text{ L}$$

Volume de graviers

$$V_G = 65 \% \times 686 = 445,9 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier (3/8)} = 6 \% \times 686 = 41,16 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier (8/15)} = 19 \% \times 686 = 130,34 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier (15/25)} = 40 \% \times 686 = 274,4 \text{ L}$$

⇒ Détermination de la composition pondérale sèche en kg

$$\text{Masse de ciment} \quad C = 400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masse d'eau} \quad E = 185 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Masse de sable} \quad S = V_s \times M_{\text{vabs}} = 240,1 \times 2,5 = 600,25 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masse de gravier} \quad G = V_G \times M_{\text{vabs}}$$

$$G_{3/8} = 41,16 \times 2,14 = 88,08 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{8/15} = 130,34 \times 2,31 = 301,09 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{15/25} = 274,4 \times 2,73 = 749,11 \text{ kg/m}^3$$

➤ Dosage 400 Kg/m³

✓ Avec adjuvant L'abaque de la (figure 2.4) donne pour $E_{-} =$

$$\frac{C}{E} = 0,45 \text{ soit } \frac{C}{E} = 2,22, \text{ donne } A = 6 \text{ cm}$$

⇒ Dosage en eau

Le dosage en eau totale sur matériaux secs sera approximativement : $E = \frac{400}{2,22} \Rightarrow E = 180$

L.L'affaissement réel trouvé par l'essai du cône d'Abrams est supérieur l'affaissement théorique

Soit *Affaissement réel* = 7 cm.

Tracé de la courbe granulaire de référence AOB

Nous traçons une courbe de référence OAB avec :

- Le point O est repéré par ses coordonnées : [0,0 ; 0]
- Le point B est repéré par ses coordonnées suivantes : [D ; 100]
- Si $D > 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du « Segment gravier » limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à D.

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

En abscisse

Le plus gros granulat est $D = 31,5 \text{ mm}$ (module 46), donc le point de brisure à pour abscisse : $A = 12,5 \text{ mm}$

En ordonné

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

Pour notre 4^{ème} cas $K = 0$ (Annexe 3).

$K_p = 0$ (puisque notre béton n'est pas pompable).

La correction en fonction du module de finesse du sable $MF = 2,315$ et $K_s = 6MF - 15 = - 2,19$

$$\text{Alors : } Y = 50 - \sqrt{31,5} + 0 - 2,19 = 42,20 \%$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : [12,5 ; 42,20]

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

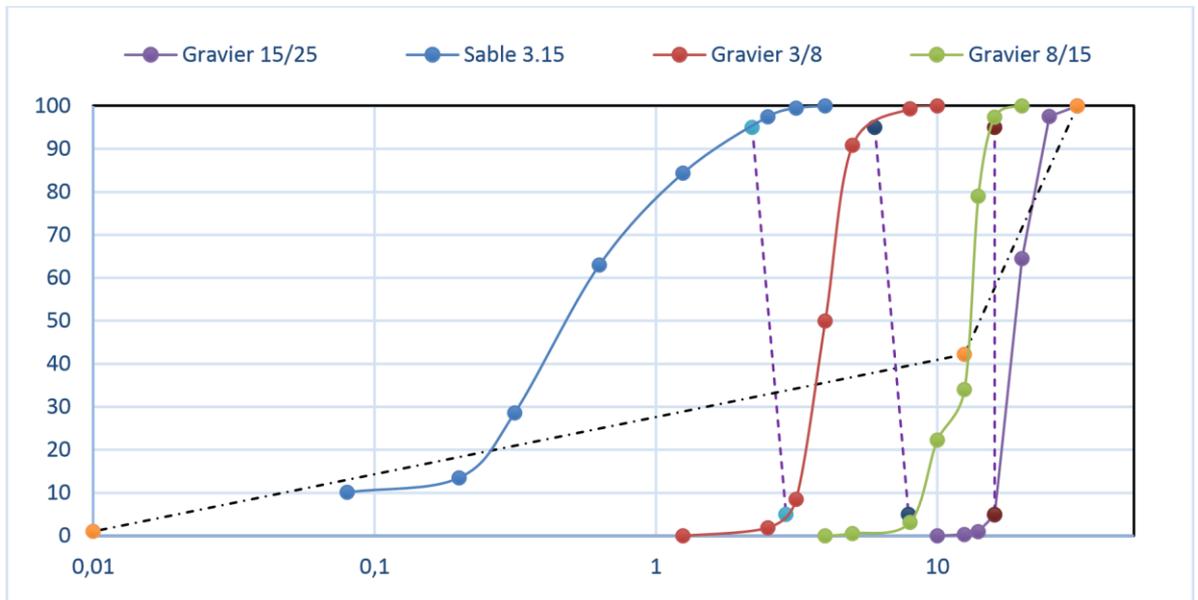


Figure3. 8 Courbe granulair de Dreux-Gorisse avec adjuvant (dosage 400 kg)[5]

Les pourcentages des granulats suivants :

| | | |
|---|---------------|------|
| } | Sable | 33 % |
| | Gravier 3/8 | 5 % |
| | Gravier 8/15 | 20 % |
| | Gravier 15/25 | 42 % |

⇒ Détermination de la composition en volume absolu

- Le dosage en béton est déterminer pour obtenir un mètre cube de béton en place cela signifie que le volume de matière vante 1 m^3 : $V_{\text{abs}} = V_s + V_g + V_c$

$$V_c = \frac{C}{3.1} = \frac{400}{3.1} = 129L$$

On adoptant pour le coefficient de compacité dans (Annexe 4) ($D_{\text{max}} = 31,5 \text{ mm}$, béton plastique, vibration faible) la valeur $\gamma = 0,825$.

Volume absolu de granulats

De la relation $\gamma = V_s + V_g + V_c$ en remplaçant le volume de granulats $V_s + V_g$ par la valeur V_G , alors :

$$\gamma = V_c + V_G \text{ où } V_G = (1000 \times \gamma) - V_c$$

V_G : Volume absolu des granulats en litre ($V_G + V_g + V_s$)

γ : Coefficient de compacité (sable roulé et gravier concasse : - 0,01)

$$\gamma = 0,825 - 0,01 = 0,815$$

$$\text{Alors : } V_G = (1000 \times 0,815) - 129 = 686 \text{ L}$$

Volume de sable

$$V_s = 33 \% \times 686 = 226,38 \text{ L}$$

Volume des graviers

$$V_G = 67 \% \times 686 = 459,62 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier}(3/8) = 5 \% \times 686 = 34,3 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier}(8/15) = 20 \% \times 686 = 137,2 \text{ L}$$

$$\text{Volume de gravier}(15/25) = 42 \% \times 686 = 288,12 \text{ L}$$

⇒ Détermination de la composition pondérale sèche en kg

Chapitre 03 Etude expérimentale SELON Par :Abdelghani Tahar

Masse de ciment $C = 400 \text{ kg/m}^3$
 Masse d'eau $E = 180 \text{ L/m}^3$
 Masse de sable $S = V_s \times M_{\text{vabs}} = 226,38 \times 2,5 = 565,95 \text{ kg/m}^3$
 Masse de gravier $G = V_G \times M_{\text{vabs}}$
 $G_{3/8} = 34,3 \times 2,14 = 73,40 \text{ kg/m}^3$
 $G_{8/15} = 137,2 \times 2,31 = 316,93 \text{ kg/m}^3$
 $G_{15/25} = 288,12 \times 2,73 = 786,57 \text{ kg/m}^3$

Tableau III- 8 7 La composition du béton de Dreux-Gorisse(Kg/m³)[5]

| Composants | Dosage DREUX GORISSE | | | |
|--------------------|----------------------|--------|-------------|-------------|
| | 350 | 380 | 400 | |
| | | | S. adjuvant | A. adjuvant |
| Ciment | 350 | 380 | 400 | 400 |
| Sable | 631.86 | 605.5 | 600,25 | 565,95 |
| G _{3/8} | 105.16 | 103.66 | 88,08 | 73,4 |
| G _{8/15} | 275.67 | 287.73 | 301,09 | 316,93 |
| G _{15/25} | 766.58 | 875.66 | 749,11 | 786,57 |
| Eau | 186 | 202 | 185 | 180 |
| G/S | 1.81 | 2.09 | 1.89 | 2.07 |
| E/C | 0.53 | 0.53 | 0.47 | 0.45 |

3.3.2.2. La formulation selon la méthode de Faury

$D_{\text{max}} = D_{n-1}(1 + x)$ D_{n-1} : le diamètre qui correspond au tamis n-1 2y
 X : le refus sur le tamis n-1 $X = 100 - 97,56 = 2,44$ $D_{n-1} = 25$ (refus = 97,56)
 Y : le refus entre D_{n-1} et D_n $Y = 97,56 - 0,28 = 97,28$ $D_n = 12,5$ (refus = 0,28)2

Alors $D_{\text{max}} = 25 + (1 + \frac{2,44}{2}) \times 97,28 = 25,3$
 $Y \frac{D_{\text{max}}}{2} = A + 17.8 \sqrt[5]{D_{\text{max}}} + \frac{B}{\frac{R}{1.25D} - 0.75} = 28 + 17.8 \sqrt[5]{25.3} + 3.5 = 65.46 \text{ mm}$

A : constante qui traduit la maniabilité du béton [$A = 28$ béton plastique, gravier concassé (Annexe 5)].

$B = 1$ (serrage énergétique)

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

$$[0,0065 ; 1], [\frac{D}{2}; Y \frac{D_{\text{max}}}{2}], [D_{100\%} ; 100\%]$$

Alors les trois points ont les coordonnées suivantes : [0,0065 ; 1], [12,5 ; 65,46], [25 ; 100%]

➤ Dosage 380 kg/m³

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

$$E = \frac{0,39}{\sqrt[5]{D}} \times 1000 \quad \Rightarrow \quad E = 204 \text{ L}$$

⇒ Détermination des éléments secs

Eléments secs : $1000 - E = 1000 - 204 = 796 \text{ L}$

Pour notre 1^{ère} cas on a choisi le dosage de ciment à 380 Kg /m³ pour pouvoir comparer avec la méthode de Dreux-Gorisse, sa densité égal à 3100 kg/m³.

Donc le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal à : $\frac{380}{3,1} = 122,58 \text{ L}$

⇒ Les pourcentages

Chapitre 03 Etude expérimentale SELON Par :Abdelghani Tahar

D'après les graphes on obtient :

- Le pourcentage de sable + ciment 44 %
- Le pourcentage de gravier (3/8) 12 %
- Le pourcentage de gravier (8/15) 20 %
- Le pourcentage de gravier (15/25) 24 % -

$$\text{Pourcentage de ciment } \frac{122,58}{796} = 15,3 \%$$

$$\text{-Pourcentage de sable } 44 - 15,3 = 28,7 \%$$

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

$$\text{Sable} = 28,7\% \times 796 = 228,45 \text{ L}$$

$$\text{Gravier (3/8)} = 12\% \times 796 = 95,52 \text{ L}$$

$$\text{Gravier (8/15)} = 20\% \times 796 = 159,2$$

$$\text{Gravier (15/25)} = 24\% \times 796 = 191,04 \text{ L}$$

$$\text{Ciment} = 122,58 \text{ L}$$

$$\text{Eau} = 204 \text{ L}$$

Tableau III- 9 Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 380 (méthode de Faury)[5]

| Composants | % | $\frac{1000 - eau}{100}$ | Volumes absolues | Masses volumiques Absolues | Composition en masse | Masses volumiques apparente | Compositions en volumes apparente |
|--------------------|------|--------------------------|------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | 2×3 | | 4×5 | | 6/7 |
| Ciment | 15,3 | 7,96 | 121,78 | 3,1 | 377,52 | 1 | 380 |
| Sable | 28,7 | 7,96 | 228,45 | 2,5 | 571,12 | 1,45 | 393,87 |
| G _{3/8} | 12 | 7,96 | 95,52 | 2,14 | 204,41 | 1,41 | 144,97 |
| G _{8/15} | 20 | 7,96 | 159,2 | 2,31 | 367,75 | 1,46 | 251,88 |
| G _{15/25} | 24 | 7,96 | 191,04 | 2,73 | 521,53 | 1,5 | 347,68 |
| Eau | / | / | 204 | 1 | 204 | 1 | 204 |
| Totaux | 100 | | 1000 | | 2246,33 | | |

Tableau III- 10 Les pourcentages des tamisâtes du mélange 380[5]

| | | 0,08 | 0,2 | 0,315 | 0,63 | 1,25 | 2,5 | 3,15 | 4 | 5 |
|--------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Ciment | 15,3 % | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 |
| Sable | 28,7 % | 2,9 | 3,87 | 8,2 | 18,08 | 24,22 | 27,98 | 28,55 | 28,7 | 28,7 |
| G_{3/8} | 12 % | | | | | | 0,22 | 1,017 | 6 | 10,9 |
| G_{8/15} | 20 % | | | | | | | | | 0,108 |
| G_{15/25} | 24 % | | | | | | | | | |
| Σ | 100 % | 18,22 | 19,17 | 23,5 | 33,38 | 39,52 | 43,5 | 44,86 | 50 | 55 |

| | | 8 | 10 | 12,5 | 14 | 16 | 20 | 25 | 31,5 |
|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Ciment | 15,3 % | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 |
| Sable | 28,7 % | 28,7 | 28,7 | 28,7 | 28,7 | 28,7 | 28,7 | 28,7 | 28,7 |
| G3/8 | 12 % | 14,92 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| G8/15 | 20 % | 0,616 | 4,44 | 6,8 | 15,8 | 19,48 | 20 | 20 | 20 |
| G15/25 | 24 % | | | 0,07 | 0,22 | 1,15 | 15,47 | 23,41 | 24 |
| Σ | 100 % | 59,53 | 60,44 | 62,87 | 72,02 | 76,63 | 91,47 | 99,41 | 100 |
| | | | | | | | | | |

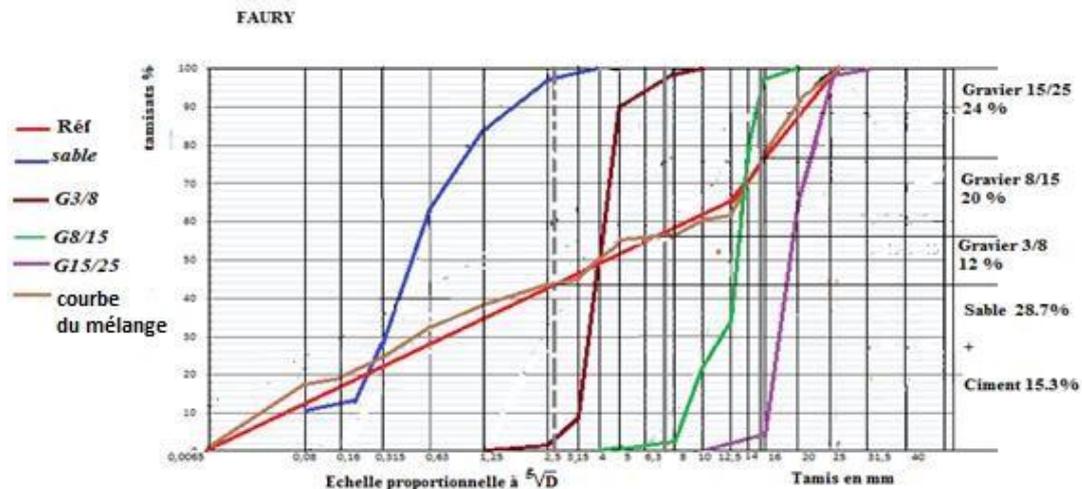


Figure3. 9 Courbe granulaire de Faury (dosage 380)[5]

➤ **Dosage 350 kg/m³**

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

$$E = \frac{0,39}{\sqrt[5]{D}} \times 1000 \Rightarrow E = 204 \text{ L}$$

⇒ Détermination des éléments secs ; $1000 - E = 1000 - 204 = 796 \text{ L}$

Pour notre 2^{ème} cas on a choisi un béton dosé à 350 Kg /m³ de ciment, sa densité égal à 3100 kg/m³.

Donc le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal à : $\frac{350}{3,1} = 112,90 \text{ L}$

⇒ Les pourcentages

D'après les graphes on obtient :

- Le pourcentage de sable + ciment 44 %
- Le pourcentage de gravier (3/8) 12 %
- Le pourcentage de gravier (8/15) 20 %
- Le pourcentage de gravier (15/25)

-Pourcentage de ciment $\frac{112,90}{796} =$

14,18 %

-Pourcentage de sable $44 - 14,18 = 29,82 \%$

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

Sable = $29,82\% \times 796 = 237,37 \text{ L}$

Gravier (3/8) = $12\% \times 796 = 95,52 \text{ L}$

Gravier (8/15) = $20\% \times 796 = 159,2 \text{ L}$

Chapitre 03 Etude expérimentale SELON Par :Abdelghani Tahar

$$\text{Gravier (15/25)} = 24\% \times 796 = 191,04 \text{ L}$$

$$\text{Ciment} = 112,90 \text{ L}$$

$$\text{Eau} = 204 \text{ L}$$

Tableau III- 11 Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 350 (méthode deFaury)[5]

| Composants | % | $\frac{1000 - eau}{100}$ | Volumes absolues | Masses volumiques absolues | Composition en masse | Masses volumiques apparente | Compositions en volumes Apparente |
|--------------------|-------|--------------------------|------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | 2×3 | | 4×5 | | 6/7 |
| Ciment | 14,18 | 7,96 | 112,87 | 3,1 | 349,90 | 1 | 350 |
| Sable | 29,82 | 7,96 | 237,36 | 2,5 | 593,4 | 1,45 | 409,24 |
| G _{3/8} | 12 | 7,96 | 95,52 | 2,14 | 204,41 | 1,41 | 144,97 |
| G _{8/15} | 20 | 7,96 | 159,2 | 2,31 | 367,75 | 1,46 | 251,88 |
| G _{15/25} | 24 | 7,96 | 191,04 | 2,73 | 521,53 | 1,5 | 347,68 |
| Eau | / | / | 204 | 1 | 204 | 1 | 204 |
| Totaux | 100 | | 1000 | | 2240,99 | | |

Tableau III- 12Les pourcentages des tamisâtes du mélange 350[5]

| | | 0,08 | 0,2 | 0,315 | 0,63 | 1,25 | 2,5 | 3,15 | 4 | 5 |
|--------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ciment | 14,18 % | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 |
| Sable | 29,82 % | 3,01 | 4,03 | 8,53 | 18,79 | 25,17 | 29,07 | 29,07 | 29,07 | 29,07 |
| G_{3/8} | 12 % | | | | | | 0,22 | 1,017 | 6 | 10,9 |
| G_{8/15} | 20 % | | | | | | | | | 0,108 |
| G_{15/25} | 24 % | | | | | | | | | |
| Σ | 100 % | 17,19 | 18,21 | 22,71 | 32,97 | 39,35 | 43,48 | 44,81 | 50 | 55 |

| | | 8 | 10 | 12,5 | 14 | 16 | 20 | 25 | 31,5 |
|--------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ciment | 14,18 % | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 | 14,18 |
| Sable | 29,82 % | 29,07 | 29,07 | 29,07 | 29,07 | 29,07 | 29,07 | 29,07 | 29,07 |
| G_{3/8} | 12 % | 14,92 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| G_{8/15} | 20 % | 0,616 | 4,44 | 6,8 | 15,8 | 19,48 | 20 | 20 | 20 |
| G_{15/25} | 24 % | | | 0,07 | 0,22 | 1,15 | 15,47 | 23,41 | 24 |
| Σ | 100 % | 56,62 | 60,44 | 62,87 | 72,02 | 76,63 | 91,47 | 99,41 | 100 |

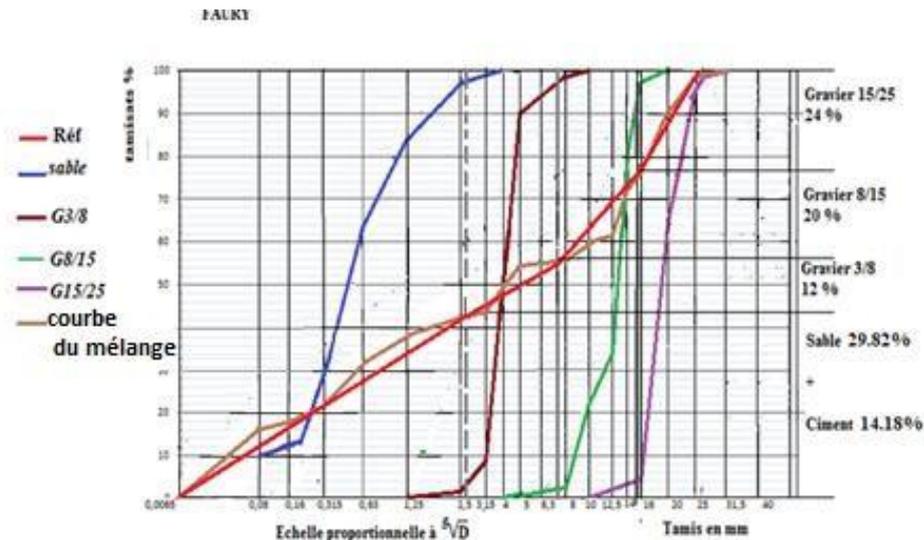


Figure3. 10 Courbe granulatoire de Faury (dosage 350)[5]

➤ **Dosage 400 kg/m³**

✓ **Sans adjuvant**

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

$$E = \frac{0,39}{\sqrt[5]{D}} \times 1000 \quad \Rightarrow \quad E = 204 \text{ L}$$

⇒ Détermination des éléments secs

Eléments secs : $1000 - E = 1000 - 204 = 796 \text{ L}$

Pour notre 3^{ème} cas on a choisi le dosage de ciment à 400 Kg /m³, sa densité égal à 3100 kg/m³. Donc

le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal à : $\frac{400}{3,1} = 129 \text{ L}$

⇒ Les pourcentages

D'après les graphes on obtient :

- Le pourcentage de sable + ciment 44 %
- Le pourcentage de gravier (3/8) 12 %
- Le pourcentage de gravier (8/15) 20 %
- Le pourcentage de gravier (15/25) 24 %

-Pourcentage de ciment $\frac{129}{796} = 16,2 \%$

-Pourcentage de sable $44 - 16,20 = 27,8 \%$

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

- Sable = 27,8% × 796 = 221,28 L
- Gravier (3/8) = 12% × 796 = 95,52 L
- Gravier (8/15) = 20% × 796 = 159,2 L
- Gravier (15/25) = 24% × 796 = 191,04 L
- Ciment = 129 L
- Eau = 204 L

Tableau III- 13 Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 400 kg sans adjuvant (méthode de Faury)[5]

| Composants | % | $\frac{1000 - eau}{100}$ | Volumes absolues | Masses volumiques absolus | Composition en masse | Masses volumiques apparente | Compositions en volumes Apparente |
|--------------------|-------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
| | | 4 | | | | | |
| | | 3 | 2×3 | | 4×5 | | 6/7 |
| Ciment | 16,20 | 7,96 | 128,95 | 3,1 | 399,75 | 1 | 400 |
| Sable | 27,8 | 7,96 | 221,28 | 2,5 | 553,2 | 1,45 | 381,51 |
| G _{3/8} | 12 | 7,96 | 95,52 | 2,14 | 204,41 | 1,41 | 144,97 |
| G _{8/15} | 20 | 7,96 | 159,2 | 2,31 | 367,75 | 1,46 | 251,88 |
| G _{15/25} | 24 | 7,96 | 191,04 | 2,73 | 521,53 | 1,5 | 347,68 |
| Eau | / | / | 204 | 1 | 204 | 1 | 204 |
| Totaux | 100 | | 1000 | | 2250,64 | | |

✓ Avec adjuvant

On prend $E/C=0,45$

L'abaque de la (figure 2.4) donne pour $E/C = 0,45$ donc $E=0,45 \times 400=180$ L

⇒ Détermination des éléments secs

Eléments secs : $1000 - E = 1000 - 180 = 820$ L

Pour notre 4^{ème} cas on a choisi le dosage de ciment à 400 Kg/m^3 , sa densité égal à 3100 kg/m^3 .

Donc le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal à : $\frac{400}{3,1} = 129$ L

⇒ Les pourcentages

D'après les graphes on obtient :

-Le pourcentage de sable + ciment 44 %

-Le pourcentage de gravier (3/8) 12 %

-Le pourcentage de gravier (8/15) 20 %

-Le pourcentage de gravier (15/25) 24 %

-Pourcentage de ciment $\frac{129}{820} = 15,73$ %

-Pourcentage de sable $44 - 15,73 = 28,27$ %

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

Sable = $28,27\% \times 820 = 231,81$ L

Gravier (3/8) = $12\% \times 820 = 98,4$ L

Gravier (8/15) = $20\% \times 820 = 164$ L

Gravier (15/25) = $24\% \times 820 = 196,8$ L

Ciment = 129 L

Eau = 180 L

Tableau III- 14 Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 400 avec adjuvant (méthode de Faury)[5]

| Composants | % | $\frac{1000 - eau}{100}$ | Volumes absolues | Masses volumiques absolus | Composition en masse | Masses Volumiques Apparente | Compositions en volumes Apparente |
|--------------------|-------|--------------------------|------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| | | 3 | | | | | |
| | | | 2×3 | | 4×5 | | 6/7 |
| Ciment | 15.73 | 8.2 | 128.98 | 3,1 | 399.85 | 1 | 400 |
| Sable | 28.27 | 8.2 | 231.84 | 2,5 | 579.53 | 1,45 | 399.67 |
| G _{3/8} | 12 | 8.2 | 98.4 | 2,14 | 210.57 | 1,41 | 149.34 |
| G _{8/15} | 20 | 8.2 | 164 | 2,31 | 378.84 | 1,46 | 259.47 |
| G _{15/25} | 24 | 8.2 | 196.8 | 2,73 | 537.26 | 1,5 | 358.26 |
| Eau | / | / | 180 | 1 | 180 | 1 | 180 |
| Totaux | 100 | | 1000 | | 2250,64 | | |

Tableau III- 15 14 La composition du béton de Faury (Kg/m³)[5]

| Composants | Dosage Faury | | | |
|--------------------|--------------|--------|-------------------|-------------------|
| | 350 | 380 | 400 sans adjuvant | 400 avec adjuvant |
| Ciment | 350 | 380 | | |
| Sable | 593.4 | 571.12 | 553,2 | 579.53 |
| G _{3/8} | 204,41 | 204,41 | 204,41 | 210.57 |
| G _{8/15} | 367,75 | 367,75 | 367,75 | 378.84 |
| G _{15/25} | 521,53 | 521,53 | 521,53 | 537.26 |
| Eau | 204 | 204 | 204 | 180 |
| G/S | 1.84 | 1.91 | 1.97 | 1.94 |
| C/E | 0.582 | 0.53 | 0.51 | 0.45 |

3.3.2.3. Méthode de coefficient G/S

Cette méthode donne la quantité totale des graviers sans départager entre les différents familles (3/8,8/15,15/25) aussi pour trouver les différents quantités pour les différents graviers on a pris les pourcentages trouvés par la formulation Dreux puis par la formulation de Faury.

a)-Partage des graviers avec les pourcentages trouvés par la formulation de Dreux-Gorisse

➤ Dosage 380 kg/m³

| | | |
|--------------------------------|---|--------------------------|
| Les pourcentages des granulats | { | Gravier 3/8 7% |
| | | Gravier 8/15 18 % |
| | | Gravier 15/25 42 % |
| Pour un E/C = 0,53 ⇒ E = | { | 0,53C = 0,53×380 = 202 L |

A partir de l'abaque (Figure1.3) pour $1\text{m}^3 : G \Rightarrow 1125 \text{ kg/m}^3$ $S = 590 \text{ kg}$ ($G/s = 1,9$)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{G_{8/15}}{G_{15/25}} = \frac{18}{42} = 0,42 \\ \frac{G_{3/8}}{G_{8/15}} = \frac{7}{18} = 0,38 \end{array} \right. \Rightarrow \begin{array}{l} G_{8/15} = 0,42 G_{15/25} \\ G_{3/8} = 0,38 G_{8/15} \end{array}$$

$$G_{15/25} + 0,42 G_{15/25} + 0,38 G_{15/25} = 1125 \text{ kg}$$

$$1,8 G_{15/25} = 1125 \text{ kg} \Rightarrow G_{15/25} = \frac{1125}{1,8} = 625 \text{ kg}$$

$$G_{8/15} = 0,42 G_{15/25} = 0,42 \times 625 = 262,5 \text{ kg}$$

$$G_{3/8} = 0,38 G_{8/15} = 0,38 \times 262,5 = 99,75 \text{ kg}$$

➤ **Dosage 350 kg/m³**

Gravier 3/8 6 %

Les pourcentages des granulats

: Gravier 8/15 17 %
Gravier 15/25 40 %

Pour un E/C = 0,53 $\Rightarrow E = 0,53C = 0,53 \times 350 = 185,5 \text{ L}$

A partir de l'abaque(Figure1.3) pour $1\text{m}^3 : G = 1150 \text{ kg/m}^3$ $S = 605 \text{ kg}$ ($G/S = 1,9$)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{G_{8/15}}{G_{15/25}} = \frac{17}{40} = 0,425 \\ \frac{G_{3/8}}{G_{8/15}} = \frac{6}{17} = 0,353 \end{array} \right. \Rightarrow \begin{array}{l} G_{8/15} = 0,425 G_{15/25} \\ G_{3/8} = 0,353 G_{8/15} = 0,15 G_{15/25} \end{array}$$

$$G_{15/25} + 0,425 G_{15/25} + 0,15 G_{15/25} = 1150 \text{ kg}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,575 G_{15/25} = 1150 \text{ kg} \Rightarrow G_{15/25} = \frac{1150}{1,575} = 730,158 \text{ kg} \\ G_{8/15} = 0,425 G_{15/25} = 0,425 \times 730,158 = 310,317 \text{ kg} \\ G_{3/8} = 0,15 G_{15/25} = 0,15 \times 730,158 = 109,523 \text{ kg} \end{array} \right.$$

b). partage des graviers avec les pourcentages trouvés par la formulation de Faury

Les pourcentages des granulats

Gravier 3/8 12 %
: Gravier 8/15 20 %
Gravier 15/25 24 %

➤ **Dosage 380 kg/m³**

On prend E/C = 0,53 $\Rightarrow E = 0,53C = 0,53 \times 380 = 202 \text{ L}$

A partir de l'abaque (Figure1.3) pour 1m^3 : pour un G/S=1,9 et un C=380kg/m³, on trouve G = 1125 kg/m³ $S = 590 \text{ kg}$

$$\frac{G_{8/15}}{G_{15/25}} = \frac{20}{24} = 0,833 \Rightarrow G_{8/15} = 0,833 G_{15/25}$$

$$\frac{G_{3/8}}{G_{8/15}} = \frac{12}{20} = 0,6$$

$$G_{3/8} = 0,6 G_{8/15} = 0,5 G_{15/25}$$

$$G_{15/25} + 0,833 G_{15/25} + 0,5 G_{15/25} = 1125 \text{ kg}$$

$$2,328 G_{15/25} = 1125 \text{ kg} \Rightarrow G_{15/25} = \frac{1125}{2,328} = 483,24 \text{ kg}$$

$$G_{8/15} = 0,83 G_{15/25} = 0,83 \times 483,24 = 401,08 \text{ kg}$$

$$G_{3/8} = 0,498 G_{15/25} = 0,498 \times 483,24 = 240,65 \text{ kg}$$

➤ Dosage 350 kg/m³

On prend $E/C = 0,53$ $E = 0,53C \Rightarrow 0,53 \times 350 = 185,5$ L

A partir de l'abaque (Figure 1.3) pour 1m^3 : pour un $G/S=1,9$ et un $C=350\text{ kg/m}^3$, on a $G = 1150\text{ kg/m}^3$

$S = 605\text{ kg}$

$$\frac{G_{8/15}}{G_{15/25}} = \frac{20}{24} = 0,833 \Rightarrow G_{8/15} = 0,833 G_{15/25}$$

$$\frac{G_{3/8}}{G_{8/15}} = \frac{12}{20} = 0,6 \Rightarrow G_{3/8} = 0,6 G_{8/15} = 0,5 G_{15/25}$$

$$G_{15/25} + 0,833 G_{15/25} + 0,5 G_{8/15} = 1150\text{ kg}$$

$$2,333 G_{15/25} = 1150\text{ kg} \Rightarrow G_{15/25} = \frac{1150}{2,333} = 492,927\text{ kg}$$

$$G_{8/15} = 0,833 G_{15/25} = 0,833 \times 492,927 = 410,608\text{ kg}$$

$$G_{3/8} = 0,5 G_{15/25} = 0,5 \times 492,927 = 246,463\text{ kg}$$

Tableau III- 16 La composition du béton donné par la formulation G/S (Kg/m³)[5]

| Composants | Dosage G/S (répartition par Dreux) | | Dosage G/S (Répartition par Faury) | |
|--------------------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| | 380 | 350 | 380 | 350 |
| Ciment | 380 | 380 | 350 | 350 |
| Sable | 590 | 605 | 590 | 605 |
| G _{3/8} | 237,5 | 109,52 | 240,65 | 246,46 |
| G _{8/15} | 262,5 | 310,31 | 401,08 | 410,60 |
| G _{15/25} | 625 | 730,15 | 483,24 | 492,92 |
| Eau | 202 | 185,5 | 202 | 185,5 |
| G/S | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 1.9 |
| C/E | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |

3.3.2.4. La formulation selon la méthode de Bolomey[5]

Applicable aux granulats dont la masse volumique est comprise entre 2,5 et 2,7 t/m³, mais comme on ne peut pas faire le choix des granulats et qu'on doit travailler avec ceux dont dispose le laboratoire des matériaux, on a appliqué cette méthode à toute fin utile et afin de pouvoir la vulgariser et la comparer avec les autres méthodes et surtout que c'est une méthode très répandue.

⇒ Déterminer la courbe optimale

- La valeur d'A (Annexe 6) pour notre cas $A=12$ (Béton armé, G concassés).
- Masse totale des éléments secs : elle ne peut être déterminée à priori. Il faut donc faire une hypothèse : enfin d'étude, les corrections utilisées seront faites.

➤ Dosage 380 kg/m³

L'expérience montre que, pour 1m^3 de béton, la masse totale des éléments secs est de l'ordre de 2200 kg. Nous établirons les calculs sur cette base :

$$C = \frac{\text{Dosage de ciment}}{2200} \times 100 = \frac{380}{2200} \times 100 = 17,27\%$$

$$S+C = 40\%$$

$$C = 17,27\%$$

S= 22,73 %

$$G = 100 - (S+C) = 100 - (22,73+17,27) = 60 \%$$

- La quantité d'eau sera déterminée par des formules empiriques soit ;

$$\text{Eau} = \frac{K \cdot \text{poids des éléments secs} \geq 0,16}{1,17 \sqrt[3]{0,16 \cdot D'}} + E(D < 0,16 \text{ mm})$$

- ✓ D < 0,16 mm
- Ciment380 kg
- Sable fin : la courbe granulométrique indique (Ligne de sable, colonne 0,16) qu'il y en a 10 % de 2200.....220 kg
- Totale à mouiller.....600 kg × 0,23 = 138 kg
- ✓ □ D ≥ 0,16 mm
- Le coefficient de k (Annexe 7) K = 0,1 (béton vibré, granulats concassés).
 d₁ = 0,16 mm d₂ = 25,1 mm
- Poids totales des éléments secs.....2200 kg
- Dont inférieurs à 0,16 mm.....600 kg

Reste supérieurs ou égaux à 0,16 mm.....1600kg

$$\text{Eau} = K \frac{\text{éléments secs} \geq 0,16}{1,17 \sqrt[3]{0,16 \cdot D'}} = \frac{0,1 \times 1600}{1,17 \sqrt[3]{0,16 \times 25,1}} \cdot \text{poids des} = 86 \text{ kg}$$

Soit au totale = 86+138 = 224 kg pour 1m³ de béton, valeur que nous retenons comme hypothèse de calcul.

⇒ Pourcentage d'eau

Il faut que la quantité d'eau soit exprimée comme pour li ciment et les granulats, en pourcentage par rapport au total des éléments secs.

Nous pourrions calculer comme pour le ciment : $E = \frac{224}{2200} \times 100 = 10,18 \%$

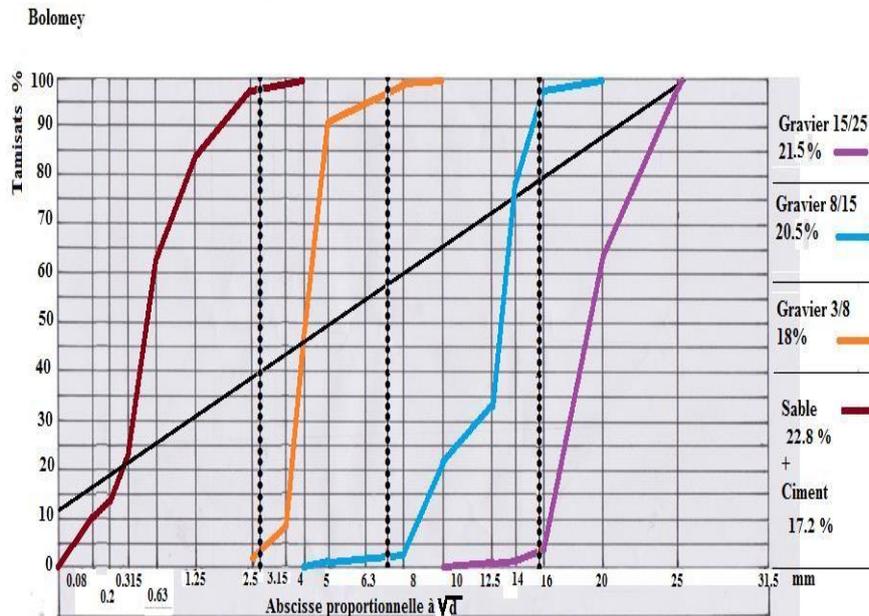


Figure3. 11 Courbe granulair de Bolomey (dosage380)[5]

Tableau III- 17 Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 380 kg (méthode de Bolomey)[5]

| Composants | Composants en poids | Masses Volumiques absolues | Composants en volumes absolues | Masses Volumiques du béton | Poids en % | Composants en poids | Masses volumiques apparente | Composition en volumes apparente |
|--------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | | 2/3 | | $2/\sum 2$ | 5×6 | | 7/8 |
| Ciment | 17,2 | 3,1 | 5,55 | $\frac{110,2}{50} = 2,2 \text{ m}^3$ | 15,16 | 343 | 1 | 380 |
| Sable | 22,8 | 2,5 | 9,12 | | 20,69 | 455,18 | 1,45 | 313,91 |
| G _{3/8} | 18 | 2,14 | 8,41 | | 16,33 | 359,26 | 1,41 | 254,79 |
| G _{8/15} | 20,5 | 2,31 | 8,87 | | 18,16 | 409,2 | 1,46 | 280,27 |
| G _{15/25} | 21,5 | 2,73 | 7,87 | | 19,51 | 429,22 | 1,5 | 286 |
| Eau | 10,18 | 1 | 10,18 | | 9,24 | 203,28 | 1 | 203,28 |
| Totaux | 110,2 | | 50 | | 100 | 2236,614 | | |

➤ **Dosage 350 kg/m³**

L'expérience montre que, pour 1m³ de béton, la masse totale des éléments secs est de l'ordre de 2200 kg. Nous établirons les calculs sur cette base :

$$C = \frac{\text{Dosage deciment}}{2200} \times 100 = \frac{350}{2200} \times 100 = 16 \%$$

S+C = 40 %

C = 16%

S = 24%

G = 100 - (S+C) = 100 - (16+24) = 60 %

-La quantité d'eau sera déterminée par des formules empiriques soit ;

$$\text{Eau} = K \cdot \text{poids des éléments secs} \geq 0,16 \cdot \frac{1,17^3 \sqrt{0,16 \cdot D}}{1,17^3 \sqrt{0,16 \cdot D}} + E(D < 0.16 \text{mm})$$

✓ **D < 0,16 mm**

- Ciment 350 kg

- Sable fin : la courbe granulométrique indique

(Ligne de sable, colonne 0,16) qu'il y en a 10 % de 2200 220 kg

Totale à mouiller.....570 kg $\times 0,23 = 131,1$ kg

✓ **D ≥ 0,16 mm**

- Le coefficient de k (Annexe 7) K = 0,1 (béton vibré, granulats concassés).

$$d_1 = 0,16 \text{ mm} \quad d_2 = 25,1 \text{ mm}$$

- Poids totales des éléments secs.....2200 kg

Dont inférieurs à 0,16 mm.....570 kg

Reste supérieurs ou égaux à 0,16 mm.....1630 kg

$$\text{Eau} = K \frac{\text{éléments secs} \geq 0,16}{1,17^3 \sqrt{0,16 \cdot D}} = \frac{0,1 \times 1630}{1,17^3 \sqrt{0,16 \times 25,1}} = 87,3 \text{ ,poids des kg}$$

Soit au totale = 87,3+131,1 =218 ,4 kg pour 1m³ de béton, valeur que nous retenons comme hypothèse de calcul.

⇨ Pourcentage d'eau

Chapitre 03 Etude expérimentale SELON Par :Abdelghani Tahar

Il faut que la quantité d'eau soit exprimée comme pour le ciment et les granulats, en pourcentage par rapport au total des éléments secs. Nous pourrions calculer comme pour le ciment : $E = 218,4 \times 100 = 9,92 \%$ 2200

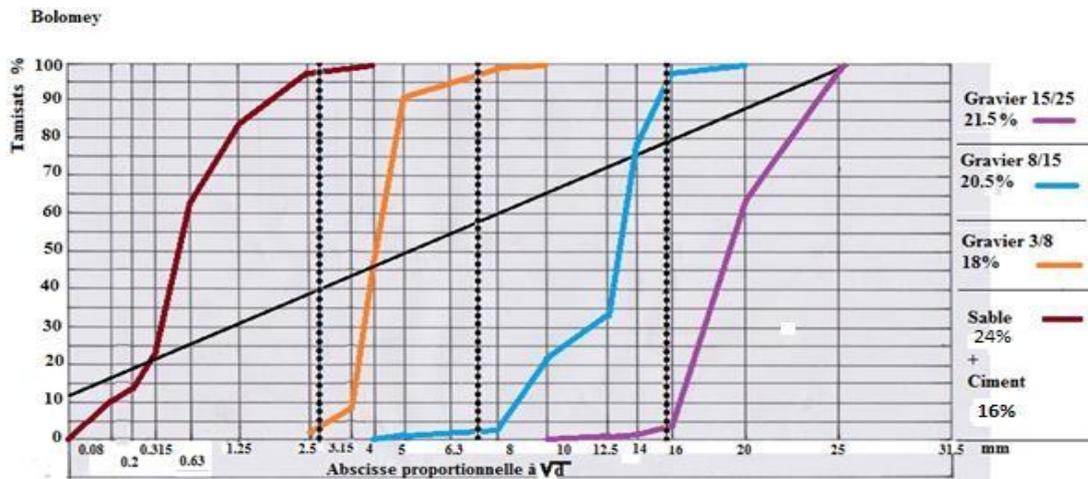


Figure3. 12 Courbe granulatoire de Bolomey (dosage 350)[5]

Tableau III- 18 Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 350 (méthode de Bolomey)[5]

| Composants | Composants en poids | Masses Volumiques Absolues | Composants en volumes absolues | Masses Volumiques du béton | Poids en % | Composants en poids | Masses volumiques apparente | Composition en volumes apparente | |
|--------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| | | | 2/3 | $\frac{109,92}{49,83} = 2,205m^3$ | $2 \sum 2$ | 5×6 | | $7/8$ | |
| Ciment | 16 | 3,1 | 5,16 | | 14,55 | 320,82 | | 1 | 350 |
| Sable | 24 | 2,5 | 9,6 | | 21,83 | 481,35 | | 1,45 | 331,96 |
| G _{3/8} | 18 | 2,14 | 8,41 | | 16,37 | 361 | | 1,41 | 256,02 |
| G _{8/15} | 20,5 | 2,31 | 8,87 | | 18,65 | 402,02 | | 1,46 | 275,35 |
| G _{15/25} | 21,5 | 2,73 | 7,87 | | 19,55 | 431,07 | | 1,5 | 287,38 |
| Eau | 9.92 | 1 | 9.92 | | 9.02 | 198.89 | | 1 | 198.89 |
| Totaux | 109.92 | | 49.83 | | 100 | 2224,33 | | | |

✓ Dosage 400 kg/m³

✓ Sans adjuvant

L'expérience montre que, pour 1m³ de béton, la masse totale des éléments secs est de l'ordre de 2200

kg. Nous établirons les calculs sur cette base : $C = \frac{\text{Dosage de ciment}}{2200} \times 100 = \frac{400}{2200} \times 100 = 18,18 \%$

2200

2200

S+C = 40 %

C = 18,18 %

S = 21,82 %

G = 100 - (S+C) = 100 - (18,18+21,82) = 60 %

Qu'un praticien expérimenté peut évaluer directement la quantité d'eau nécessaire qu'une détermination expérimentale est aléatoire, et que le calcul peut donner un ordre de grandeur acceptable.

Chapitre 03 Etude expérimentale SELON Par :Abdelghani Tahar

✓ D < 0,16 mm

- Ciment 400 kg
- Sable fin : la courbe granulométrique indique
(Ligne de sable, colonne 0,16) qu'il y en a 10% de 2200.....220kg

Totale à mouiller $620\text{kg} \times 0,23 = 142,6 \text{ kg}$

✓ D ≥ 0,16 mm

-Le coefficient de k (Annexe 7) K = 0,1 (béton vibré, granulats concassés).

- Poids totales des éléments secs 2200kg
- Dont inférieurs à 0,16 mm620kg
- Reste supérieurs ou égaux à 0,16 mm 1580kg

$$\text{Eau} = K \frac{\text{éléments secs} \geq 0,16}{1,17^3 \sqrt{0,16 \cdot D'}} = \frac{0,1 \times 1580}{1,17^3 \sqrt{0,16 \times 25,1}} = 85 \text{ ,poids des kg}$$

Soit au totale = 85+142,6 =227kg pour 1m³ de béton, valeur que nous retenons comme hypothèse de calcul. ⇔ Pourcentage d'eau

Il faut que la quantité d'eau soit exprimée comme pour li ciment et les granulats, en pourcentage par rapport au total des éléments secs.

Nous pourrions calculer comme pour le ciment : $E = \frac{227}{2200} \times 100 = 10,31 \%$

Tableau III- 19 Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 400 sans adjuvant (méthode de Bolomey)[5]

| Composants | Composants en poids | Masses Volumiques Absolues | Composants en volumes absolues | Masses Volumiques du béton | Poids en % | Composants en poids | Masses volumiques apparente | Composition en volumes apparente |
|------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | | 2/3 | $\frac{110,31}{50,04} = 2,2 \text{ m}^3$ | $2 \sum 2$ | 5×6 | | $7/8$ |
| Ciment | 18,18 | 3,1 | 5,86 | | 16,48 | 363,21 | 1 | 400 |
| Sable | 21,82 | 2,5 | 8,72 | | 19,78 | 435,95 | 1,45 | 300,65 |
| G 3/8 | 18 | 2,14 | 8,41 | | 16,32 | 360 | 1,41 | 255,32 |
| G8/15 | 20,5 | 2,31 | 8,87 | | 18,6 | 409,94 | 1,46 | 280,78 |
| G15/25 | 21,5 | 2,73 | 7,87 | | 19,49 | 429,55 | 1,5 | 286,36 |
| Eau | 10,31 | 1 | 10,31 | | 9,34 | 205,85 | 1 | 205,85 |
| Totaux | 110,31 | | 50,04 | | 100 | 2204,5 | | |

✓ Avec adjuvant

L'expérience montre que, pour 1m³ de béton, la masse totale des éléments secs est de l'ordre de 2200

kg. Nous établirons les calculs sur cette base $C = \frac{E \text{ Dosage de ciment}}{C2200} \times 100 = \frac{400E}{2200} 400 \times 100 =$

18,18 %

2200

2200

S+C = 40 %

C = 18,18 %

S = 21,82 %

Chapitre 03 Etude expérimentale SELON Par :Abdelghani Tahar

$$G = 100 - (S+C) = 100 - (18,18+21,82) = 60 \%$$

$$\text{Dosage en Eau: on prend } \frac{E}{C} = 0.45 \rightarrow E = 180L$$

C

⇒ Pourcentage d'eau

Il faut que la quantité d'eau soit exprimée comme pour le ciment et les granulats, en pourcentage par rapport au total des éléments secs.

Nous pourrions calculer comme pour le ciment : $E = \frac{180}{2200} \times 100 = 8.18 \%$

Tableau III- 20 Calcul de la composition d'un mètre cube de béton selon le dosage 400 avec adjuvant E/C=0,45 (méthode de Bolomey)[5]

| Composants | Composants en poids | Masses Volumiques Absolues | Composants en volumes absolues | Masses Volumiques du béton | Poids en % | Composants en poids | Masses volumiques apparente | Composition en volumes apparente |
|--------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | | 2/3 | $\frac{108,18}{47,91} = 2,257 \text{ m}^3$ | $2/\sum 2$ | 5×6 | | 7/8 |
| Ciment | 18,18 | 3,1 | 5,86 | | 16,8 | 379 | 1 | 400 |
| Sable | 21,82 | 2,5 | 8,72 | | 20,1 | 453,65 | 1,45 | 300,65 |
| G _{3/8} | 18 | 2,14 | 8,41 | | 16,63 | 375,33 | 1,41 | 255,32 |
| G _{8/15} | 20,5 | 2,31 | 8,87 | | 18,94 | 427,47 | 1,46 | 280,78 |
| G _{15/25} | 21,5 | 2,73 | 7,87 | | 19,87 | 448,46 | 1,5 | 286,36 |
| Eau | 8,18 | 1 | 8,18 | | 8,18 | 184,62 | 1 | 180 |
| Totaux | 108,18 | | 47,91 | | 100 | 2268 | | |

Tableau III- 21 La composition du béton de Bolomey (Kg/m3)[5]

| Composants | Dosage | | | |
|--------------------|--------|--------|-------------------|-------------------|
| | 350 | 380 | 400 sans adjuvant | 400 avec adjuvant |
| Ciment | 350 | 380 | 400 | 400 |
| Sable | 481.35 | 455.18 | 435.95 | 453.65 |
| G _{3/8} | 361 | 359.26 | 360 | 375.33 |
| G _{8/15} | 402.02 | 409.2 | 409.94 | 427.47 |
| G _{15/25} | 431.07 | 429.22 | 409.55 | 448.46 |
| Eau | 198.89 | 203.28 | 205.85 | 184.62(180) |
| G/S | 2.48 | 2.63 | 2.70 | 2.75 |
| E/C | 0.56 | 0.53 | 0.47 | 0.45 |

2.3.3. Les étapes de confection du béton

Dans cette partie de notre travail nous expliquons la procédure d'étude à suivre. Par la suite nous détaillons le calcul des quantités des composants d'un mètre cube à mètre en œuvre des bétons. Après le mélange et la vibration, nous obtiendrons un produit de forme cylindrique, mesurant (16×32) cm.



Photo3. 6Moule cylindrique (16×32) cm[5]

✓**Préparation des mélanges**

Le béton utilisé est un béton ordinaire : rassemblement des composants quantifiés (mesurer), prendre le tout dans un malaxeur ; jusqu'à avoir un ensemble homogène.



Photo3. 7 Etapes de préparation[5]

✓**Mise en place du béton en moule**

Afin de procéder au mélange, on mesure l'affaissement au cône d'Abrams pour avoir une idée sur la maniabilité ; nous remplissons le contenant, cylindrique, en couches équilibrées, chaque couche reçoit 25 coups de bane. Après avoir aplani la face supérieure de l'éprouvette (NF P 18-451 de 1981) et lissé cette dernière avec méthode. Enfin on a mis les éprouvettes sur la table de vibration pour avoir un béton compact.



Photo3. 8 Essai d'affaissement[5]

✓**Les affaissements**

Après le malaxage des éprouvettes on a effectué des essais d'Abrams sur le béton et les affaissements trouvés pour chaque formulation sont donnés par le tableau suivant :

Tableau III- 22 Les affaissements[5]

| | Dreux | | Faury | | Bolomey | G/S(Dreux) | G/S(Faury) |
|----------------|-------|------|-------|------|---------|------------|------------|
| | théo | Réel | Théo | Réel | | | |
| 350 | 4 | 5 | 5-8,5 | 5 | 5,5 | 2 | 2 |
| 380 | 8 | 5 | 5-8,5 | 5 | 6,5 | 2 | 2 |
| 400 | 3 | 5 | 5-8,5 | 5 | 6,5 | / | / |
| 400+adj | 6 | 7 | 5-8,5 | 7 | 9 | / | / |

On peut remarquer que :

- La formulation de Bolomey donne des affaissements plus importants que ceux donnés par les autres méthodes
- La méthode G/S donne des affaissements très petits donc un béton ferme
- Les affaissements réels obtenus par les formulations de Dreux et Faury sont différents des affaissements théoriques.

✓La conservation des éprouvettes avant démoulage

Les bétons resteront 24 heures dans leurs moules (éprouvettes) au niveau du laboratoire avec sa température ambiante ainsi les bétons durcissent et deviennent consistants. Les éprouvettes seront numérotées et datées selon les méthodes utilisées.



Photo3. 9 La conservation des éprouvettes avant démoulage[5]

✓Conservation après démoulage

Après les 24 heures de conservation à l'air ambiant du labo. Le durcissement acquis dans des conditions méthodiques. Les éprouvettes de béton sont transférées et plongées dans bassin d'eau à une température entre 21°C et 23°C pendant les périodes requises soit : 7, 14 et 28 jours.

Les éprouvettes sortent du bassin 24 heures avant le délai requis et seront exposées à la température ambiante, afin de classer l'air. Cette opération nous permettra de faire une comparaison de la résistance à la compression sur l'éprouvette (pour tracer les courbes de la résistance).



Photo3. 10Le démoulage des éprouvettes[5]



Photo3. 11 Conservation des éprouvettes dans un bassin d'eau[5]

✓La résistance à la compression

Cet essai à été réalisé sur une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester et conformément à la norme NF P 18-406 et à la norme EN 1961-1.

Pour les différents mélanges de béton, trois éprouvettes par échéance ont été utilisées pour effectuer l'essai.



Photo3. 12 Machine d'essai de la compression[5]

✓Comment faire l'opération de la compression

L'éprouvette à essayer est mise sur machines et bloquée par les mâchoires et nous appliquons la force voulue sur notre béton.



Photo3. 13 La mise en place dans la machine[5]

✓**La mise en charge**

Le contact de l'éprouvette avec le plateau supérieur comportant la rotule doit être uniforme .La machine de compression doit subir une charge : continuée et uniforme sans chocs afin d'éviter les accroissements uniforme jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



Photo3. 14 La rupture de l'éprouvette[5]

3.4. Conclusion

- La formulation est basée sur la granulométrie des granulats, le coefficient C/E, la résistance et la maniabilité désirée.
- On peut remarquer que la quantité de sable utilisé est inversement proportionnelle au dosage en ciment, aussi l'introduction de l'adjuvant fait diminuer considérablement cette quantité;
- G3/8 diminue en fonction du dosage pour Dreux, G/S (FAURY) et il est pratiquement constant pour toutes les autres formulations
- G8/15 augmente en fonction du dosage pour Dreux, Bolomey à l'inverse de G/S et il augmente avec l'ajout du super plastifiant
- En ce qui concerne la méthode de Faury les quantités de gravier restent constantes.
- En comparant les quantités des matériaux secs obtenus pour les méthodes suscitées, on voit clairement que la méthode de Dreux-Gorisse consomme plus de sable et plus de gravier que la méthode de Faury, La méthode de Bolomey quant à elle consomme moins de sable et plus de gravier que tous les autres méthodes alors que la méthode G/S consomme plus de gravier que les deux premières méthodes et moins de sable que la méthode de Dreux-Gorisse (Annexe 8).

Chapitre 4 :
Lecture de la comparative
des résultats expérimentaux

4.1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre les résultats obtenus lors des essais de compression sur les éprouvettes confectionnées selon les formulations obtenues en appliquant les différentes méthodes étudiées : Dreux-Goisse, Faury, Bolomey et la méthode G/S pour différents dosages en ciment C.

4.2. Résultats



Dosage 380

Dreux Gorisse et G/S avec répartition des graviers selon les pourcentages obtenus selon Dreux Gorisse

Tableau.4. 1 Résultats de la résistance à la compression dosage 380 (Méthode Dreux et G/S)[5]

| | Dreux-Gorisse | | | G/S graviers répartis selon Dreux | | |
|----------------|---------------|----------|----------|-----------------------------------|----------|----------|
| | 7 jours | 14 jours | 28 jours | 7 jours | 14 jours | 28 jours |
| R1 | 14,96 | 19,28 | 20,02 | 18,05 | 17,90 | 21,21 |
| R2 | 14,72 | 17,55 | 20,30 | 16,51 | 18,70 | 22,39 |
| R3 | 14,48 | 21,19 | 20,58 | 18,17 | 18,40 | 20,83 |
| Moyenne | 14,72 | 19,34 | 20,30 | 17,58 | 18,33 | 21,48 |

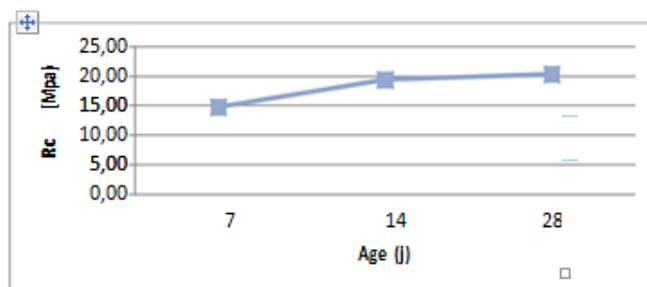


Figure.4. 11 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode Dreux-Gorisse) [2]

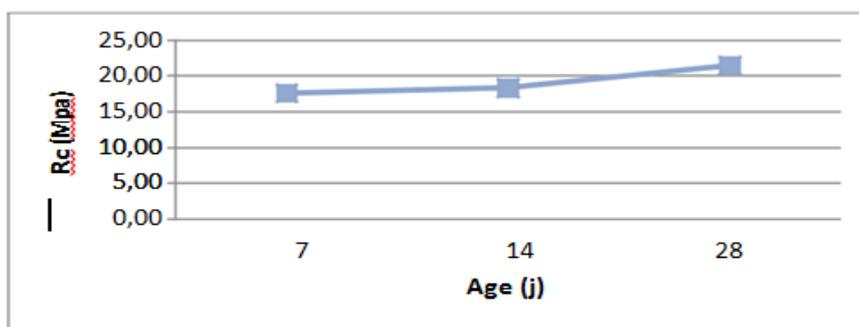


Figure.4. 2 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode G/S répartition des graviers selon Dreux-Gorisse)[5]

Commentaire :

Sur la figure (4) et (4.2) ci-dessus, nous présentons les Résultats de la résistance à la compression dosage 380 (Méthode Dreux et G/S)

Chapitre 4 Etude Comparative entre méthodes de composition

D'après le tableau et les figures on note que la résistance mécanique du béton dosage 380 est augment on rythme soutenu en fonction dans le temps nous laissons sécher avec un petit différence entre les deux

Faury et G/S avec répartition des graviers selon les pourcentages obtenus selon Faury

Tableau.4. 2 Résultats de la résistance à la compression dosage 380 (Méthode Faury et G/S)[5]

| | Faury | | | G/S graviers répartis selon Faury | | |
|----------------|---------|----------|----------|-----------------------------------|----------|----------|
| | 7 jours | 14 jours | 28 jours | 7 jours | 14 jours | 28 jours |
| R1 | 18,77 | 20,51 | 18,99 | 17,17 | 16,12 | 18,24 |
| R2 | 17,66 | 18,73 | 21,24 | 16,56 | 19,25 | 18,31 |
| R3 | 18,60 | 19,04 | 21,02 | 17,20 | 16,48 | 19,27 |
| Moyenne | 18,35 | 19,43 | 20,42 | 16,98 | 17,28 | 18,61 |

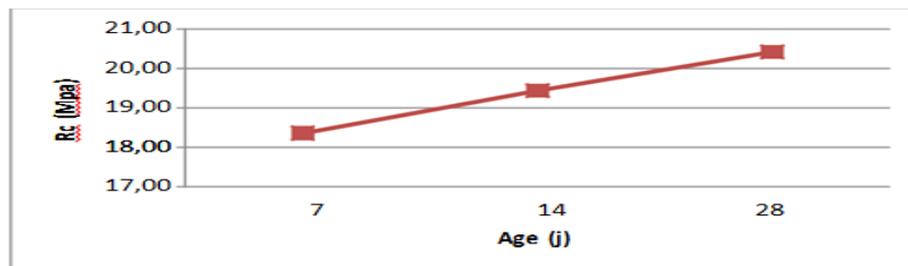


Figure.4. 3 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode Faury)[5]

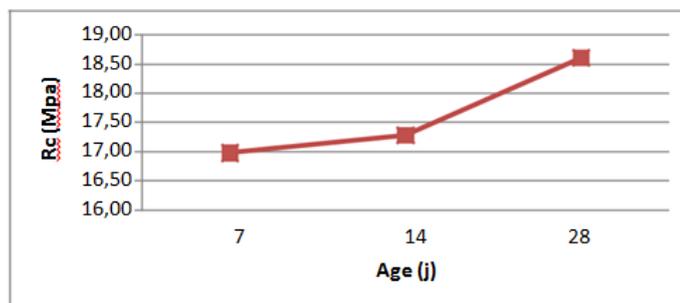


Figure.4. 4 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode G/S répartition des graviers selon Faury)[5]

Commentaire :

Sur la figure (4.3) et (4.4) ci-dessus, nous présentons les Résultats de la résistance à la compression dosage 380 (Méthode faury)

Les courbe présente une relation linéaire entre la résistance mécanique et le temps de séchage un accroissement en faveur du premier mélange, ce qui signifié que le mélange à base du méthode faury présente une meilleure mélange..

Bolomey avec répartition des graviers selon les pourcentages obtenus selon Bolomey

Tableau.4. 3 Résultats de la résistance à la compression dosage 380 (Méthode de Bolomey)[5]

| | 7 jours | 14 jours | 28 jours |
|----------------|---------|----------|----------|
| R1 | 19,29 | 22,33 | 23,27 |
| R2 | 18,60 | 20,83 | 25,18 |
| R3 | 21,83 | 18,69 | 22,82 |
| Moyenne | 19,91 | 20,62 | 23,76 |

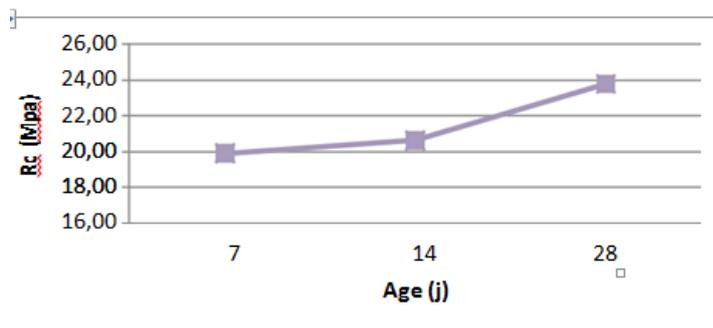


Figure.4. 5 Résistance à la compression du béton dosage 380 (Méthode Bolomey)[5]

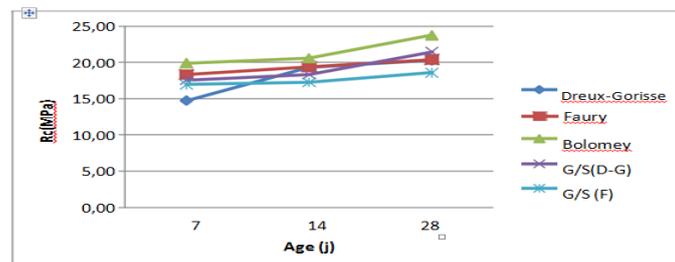


Figure.4. 6 Résistance à la compression des bétons dosage 380 (Méthodes : Dreux-Gorisse, Faury, Bolomey et G/S) en fonction d'âge[5]

Le jumelage des courbes citées auparavant, montre que la méthode de Bolomey donne une plus grande résistance à la compression par rapport à celles données par les autres méthodes suivie par celle de G/S quand les graviers sont répartis selon les pourcentages donnés par Dreux-Gorisse.

La méthode de Faury donne de meilleurs résultats par rapport à celle de Dreux Gorisse.

Commentaire :

-Sur la figure (4.5) et ci-dessus, nous présentons les Résultats de la résistance à la compression dosage 380 (Méthode bolomey)

-la figure (4.6) et ci-dessus, présente les Résultats de la résistance à la compression dosage 380 (Méthodes : Dreux-Gorisse, Faury, Bolomey et G/S)

Chapitre 4 Etude Comparative entre méthodes de composition

La courbe obtenue 4.5 présente une relation linéaire entre la résistance mécanique et le temps de séchage

Dans la figure 4.6 on compare entre les différents méthodes de mélange, notice que la méthode de bolomey signifié la meilleure choix pour obtenir la résistance souhait.



Dosage 350

Dreux Gorisse et G/S avec répartition des graviers selon les pourcentages obtenus selon Dreux

Tableau.4. 4 Résultats de la résistance à la compression dosage 350 (Méthode Dreux-Gorisse et G/S)[5]

| | Dreux-Gorisse | | | G/S graviers répartis selon Dreux | | |
|----------------|---------------|----------|----------|-----------------------------------|----------|----------|
| | 7 jours | 14 jours | 28 jours | 7 jours | 14 jours | 28 jours |
| R1 | 16,14 | 20,32 | 19,04 | 21,54 | 23,41 | 24,10 |
| R2 | 16,42 | 16,88 | 19,02 | 21,70 | 17,87 | 23,80 |
| R3 | 17,18 | 18,54 | 19,50 | 17,90 | 19,98 | 24,00 |
| Moyenne | 16,58 | 18,58 | 19,19 | 20,38 | 20,42 | 23,97 |

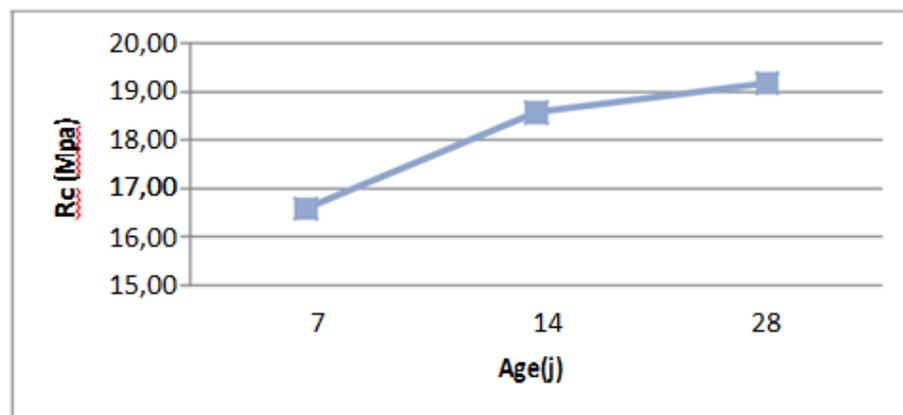


Figure.4. 7 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode Dreux-Gorisse)[5]

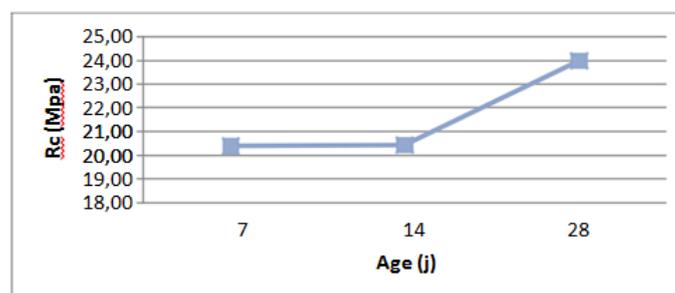


Figure.4. 8 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode G/S Dreux-Gorisse)[5]

Commentaire :

Sur la figure (4.7) et (4.8) ci-dessus, nous présentons les Résultats de la résistance à la compression dosage 350 (Méthode Dreux et G/S)

D'après le tableau et les figures on note que la résistance mécanique du béton dosage 380 est augment on rythme soutenu en fonction dans le temps nous laissons sécher avec une différence entre les deux (le premier est la meilleure)

Faury et G/S avec répartition des graviers selon les pourcentages obtenus selon Faury

Tableau.4. 5 Résultats de la résistance à la compression dosage 350 (Méthode Faury et G/S)[5]

| | Faury | | | G/S graviers répartis selon Faury | | |
|----------------|---------|----------|----------|-----------------------------------|----------|----------|
| | 7 jours | 14 jours | 28 jours | 7 jours | 14 jours | 28 jours |
| R1 | 14,06 | 18,89 | 21,06 | 20,33 | 23,07 | 25,66 |
| R2 | 15,43 | 15,55 | 23,78 | 16,43 | 20,02 | 23,99 |
| R3 | 14,64 | 18,46 | 20,25 | 20,05 | 21,31 | 23,30 |
| Moyenne | 14,71 | 17,63 | 21,70 | 18,93 | 21,46 | 24,32 |

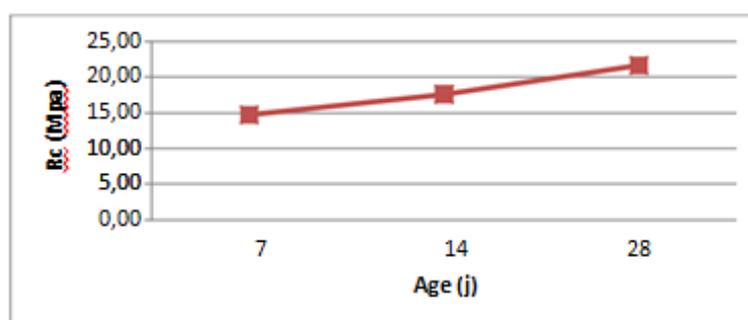


Figure.4. 9 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode de Faury)[[2]]

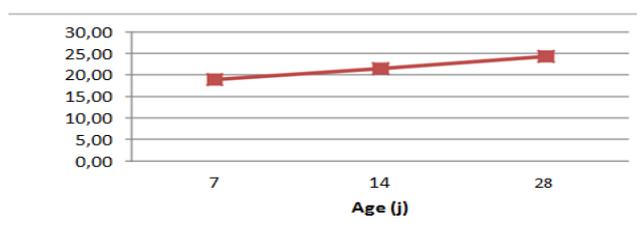


Figure.4. 10 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode G/S Faury)[2]

Commentaire

Sur la figure (4.9) et (4.10) ci-dessus, nous présentons les Résultats de la résistance à la compression dosage 350 (Méthode faury)

Les courbes présente une relation linéaire entre la résistance mécanique et le temps de séchage un accroissement en faveur du premier mélange, ce qui signifié que le mélange de G/S du méthode faury présente une meilleure mélange..

Bolomey avec répartition des graviers selon les pourcentages obtenus selon Bolomey

Tableau.4. 6 Résultats de la résistance à la compression dosage 350 (Méthode Bolomey)[5]

| | 7 jours | 14 jours | 28 jours |
|----------------|---------|----------|----------|
| R1 | 17,43 | 18,76 | 24,59 |
| R2 | 19,97 | 19,02 | 25,80 |
| Moyenne | 18,70 | 18,89 | 25,20 |

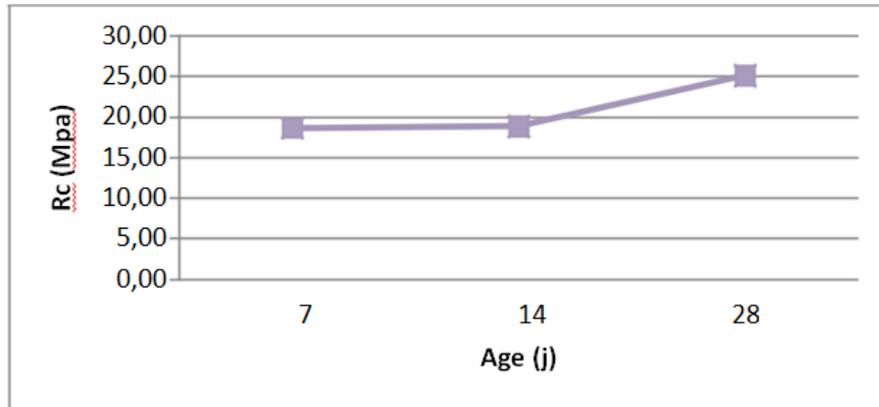


Figure.4. 11 Résistance à la compression du béton dosage 350 (Méthode de Bolomey)[5]

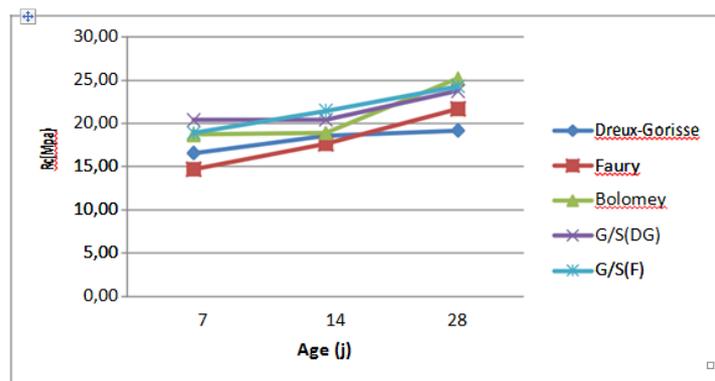


Figure.4. 12 Résistance à la compression des bétons dosage 350 (Méthodes : Dreux-Gorisse, Faury, Bolomey et G/S) en fonction d'âge[5]

Même avec un dosage de 350 Kg/m³, la méthode de Bolomey donne une plus grande résistance à la compression à 28 jours par rapport à celles données par les autres méthodes suivies par celle de G/S quand les graviers sont répartis selon les pourcentages donnés par Faury. La méthode de Faury donne une plus grande résistance à la compression que celle de Dreux-Gorisse.

Commentaire :

-Sur la figure (4.11)et ci-dessus, nous présentons les Résultats de la résistance à la compression dosage 380 (Méthode bolomey)

-la figure (4.12)et ci-dessus, présente les Résultats de la résistance à la compression dosage 380 (Méthodes : Dreux-Gorisse, Faury, Bolomey et G/S)

La courbe obtenue 4.11 présente une relation linéaire entre la résistance mécanique et le temps de séchage

Dans le figure 4.12 on compare entre les différents méthodes de mélange Notez que les résultats sont proches pourtant la méthode de G/S Dreux signifié la meilleure choix pour obtenir la résistance souhait .



Dosage 400



Sans adjuvant

Tableau.4. 7 Résultats de la résistance à la compression dosage 400 sans adjuvant (Méthodes : [5])

| | méthode Dreux-Gorisse | | | méthode Faury | | | méthode Bolomey | | |
|----------------|-----------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | 7 | 14 | 28 | 7 | 14 | 28 | 7 | 14 | 28 |
| | jours | jours | jours | jours | jours | jours | jours | jours | jours |
| R1 | 19,02 | 20,36 | 27,5 | 21,18 | 21,41 | 27,14 | 23,2 | 25,50 | 32,1 |
| R2 | 21,69 | 20,25 | 26,2 | 20,2 | 20,14 | 28,64 | 23,4 | 26,1 | 30,02 |
| R3 | 15,12 | 25,89 | 27,39 | 21,77 | 22,59 | 29,34 | 23,7 | 25,7 | 30,34 |
| Moyenne | 18,61 | 22,17 | 27,03 | 21,05 | 21,38 | 28,37 | 23,43 | 25,76 | 30,82 |

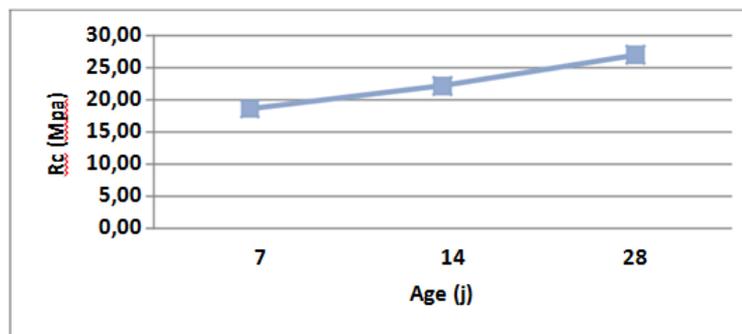


Figure.4. 13 Résistance à la compression du béton dosage 400 sans adjuvant (Méthode Dreux-Gorisse [5])

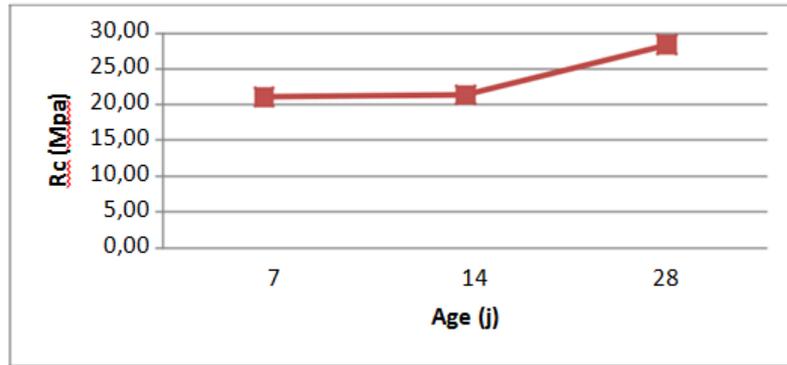


Figure.4. 14 Résistance à la compression du béton dosage 400 sans adjuvant (Méthode Faury)[5]

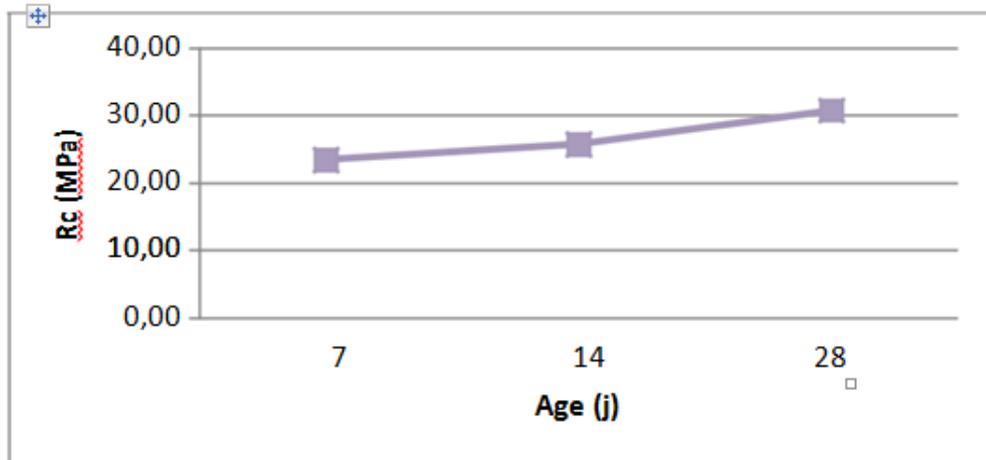


Figure.4. 15 Résistance à la compression du béton dosage 400 sans adjuvant (Méthode Bolomey)[5]

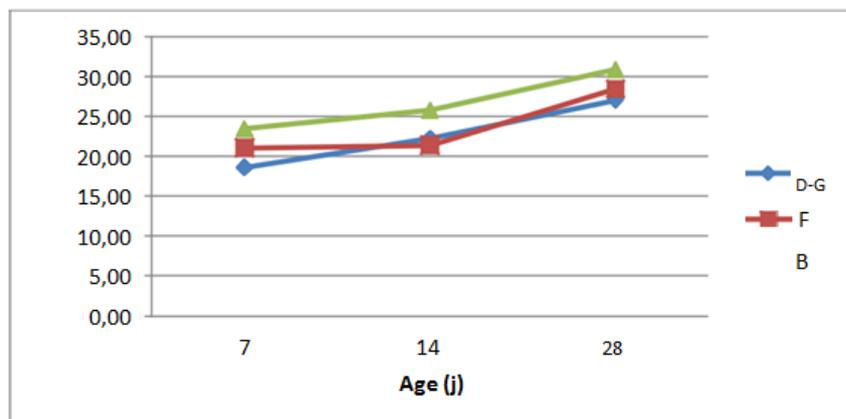


Figure.4. 16 Résistance à la compression des bétons dosage 400 sans adjuvant (Méthodes)[5]

Commentaire

Les figure 4.13, 4.14, 4.15, ci-dessus, présentent les résultats de la résistance à la compression dosage 380 selon les Méthode dreux, Méthode faury, Méthode bolomey.

-la figure (4.16) et ci-dessus, présente les Résultats de la résistance à la compression dosage 380 selon les méthodes : Dreux-Gorisse, Faury, Bolomey .

Ces courbes présente une relation linéaire entre la résistance mécanique et le temps de séchage

Chapitre 4 Etude Comparative entre méthodes de composition

Dans le figure 4.16 on compare entre les différents méthodes de mélange Notez que les résultats sont proches pourtant la méthode de Bolomey signifié la meilleure choix pour obtenir la résistance souhait .

✓ Avec adjuvant

Tableau.4. 8 Résultats de la résistance à la compression dosage 400 avec adjuvant (Méthodes Dreux-Gorisse et Faury et Bolomey)

| | méthode Dreux-Gorisse | | | méthode Faury | | | méthode Bolomey | | |
|----------------|-----------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | 7 | 14 | 28 | 7 | 14 | 28 | 7 | 14 | 28 |
| | jours | jours | jours | jours | jours | jours | jours | jours | jours |
| R1 | 19,49 | 20,04 | 27.60 | 22 | 25,95 | 29,65 | 24,2 | 27,3 | 34,1 |
| R2 | 20,37 | 20,34 | 26.80 | 21 | 23,93 | 30,89 | 25,3 | 28,2 | 35,3 |
| R3 | 19 | 20,71 | 27.41 | 21,49 | 24,79 | 29,98 | 26,2 | 27,9 | 36,3 |
| Moyenne | 19,62 | 20,36 | 27,27 | 21,5 | 24,89 | 30,17 | 25,23 | 27,8 | 35,23 |

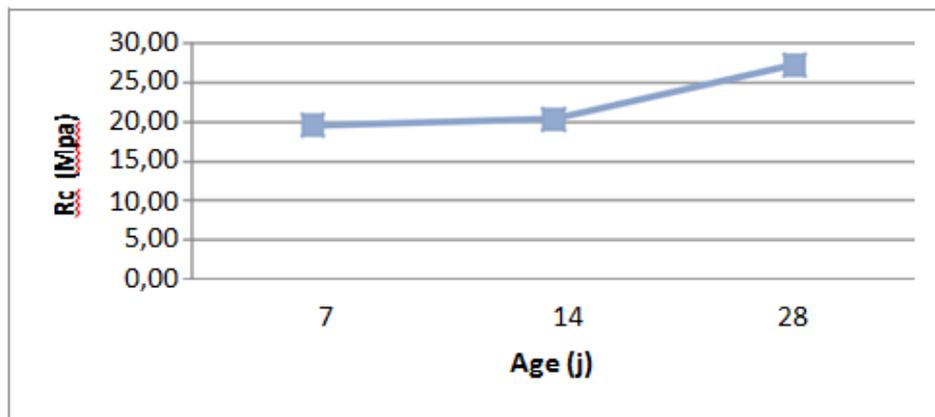


Figure.4. 17 Résistance à la compression du béton dosage 400 avec adjuvant (Méthode Dreux-Gorisse)[5]

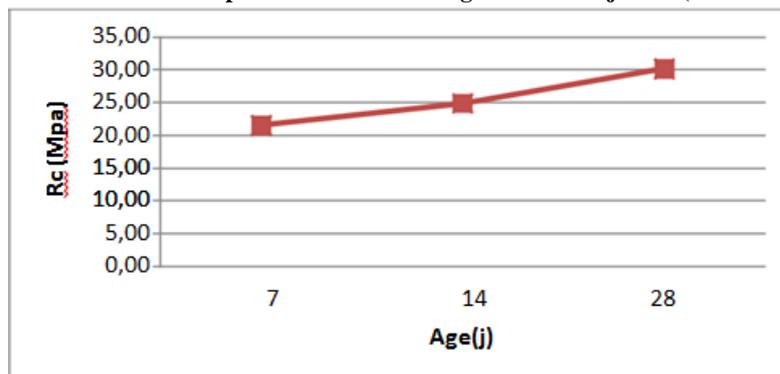


Figure.4. 18 Résistance à la compression du béton dosage 400 avec adjuvant (Méthode Faury)[5]

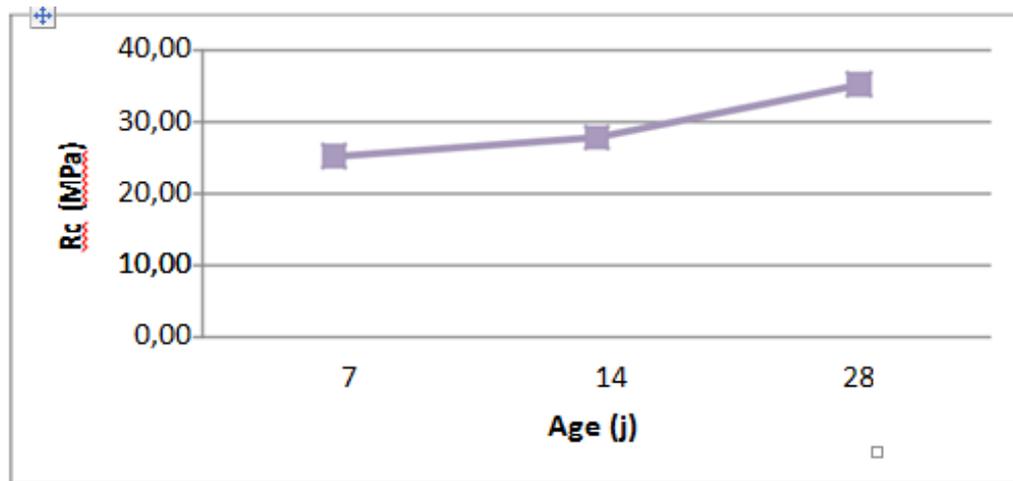


Figure.4. 19 Résistance à la compression du béton dosage 400 avec adjuvant (Méthode Faury)[5]

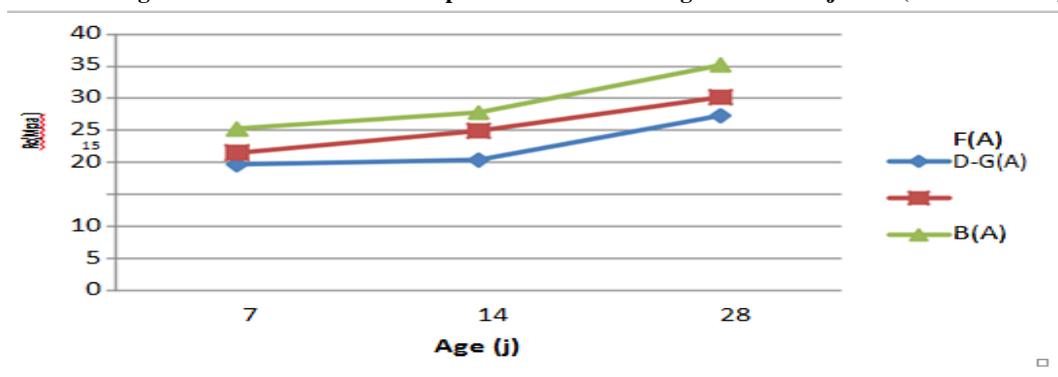


Figure.4. 20 Résistance à la compression des bétons dosage 400 avec adjuvant (Méthodes : Dreux-Gorisse, Faury et Bolomey) en fonction d'âge[5]

Commentaire

- Le tableau 4.8, et les courbes des figures de 18 à 20, présente des résultats de la résistance à la compression de dosage 400 avec adjuvant selon les Méthodes Dreux-Gorisse et Faury et Bolomey.

4.3. Conclusion

On remarque que :

- le béton formulé par la méthode de Bolomey donne une résistance plus grande que celles données par les autres formulations ;
- la méthode de Faury donne une résistance à la compression à 28 jours plus grande que celle de Dreux-Gorisse.
- Toute fois l'utilisation du super plastifiant avec un dosage de 2 % par rapport au poids du ciment a fait évoluer considérablement la maniabilité mais en revanche n'a pas fait augmenter considérablement la résistance à la compression. Donc il est recommandé de diminuer le dosage du super plastifiant si on veut obtenir une plus grande résistance à la compression tout en gardant la même valeur de E/C. Aussi il est à remarquer que le ciment utilisé a perdu ses caractéristiques mécaniques vu qu'il est mal conservé au laboratoire c'est pour ça que les différences entre les résultats obtenus à 7j, 14j et 28 j ne sont pas assez grands.

Conclusion générale

Conclusion Générale :

Notre recherche documentaire nous permet de dire que les chantiers de construction dans notre pays agissent conformément aux règles en vigueur dans le monde, mais nous avons constaté beaucoup de désordres lors des catastrophes naturelles (séismes, tempêtes ...).

La qualité du béton se trouve alors au centre des polémiques. Cela est probablement dû à la nature de conception et de confection du béton. En effet, la résistance effective du matériau béton n'est obtenue traditionnellement que suite à sa destruction (essais d'écrasement d'éprouvettes).

Les recherches sur la qualité du béton ont abouti à des formulations diverses qui se valent du point de vue technologique, mais qui ne s'appliquent pas et n'aboutissent pas aux mêmes résultats. Nous avons constaté que chaque formulation est spécifique aux conditions du milieu de ses inventeurs. Nous avons recherché dans ce travail, par comparaison des résultats d'un certain nombre de formulations, celles pouvant s'appliquer à nos régions sahariennes, à climats chauds et secs.

La partie expérimentale a été inspirée de travaux antérieurs, dont les résultats ont été jugés satisfaisants, et nous avons ainsi pensé à palier aux exigences du confinement imposé et en dehors de notre volonté. Ce qui fait que le travail initialement prévu sur de bases expérimentales s'est réduit à une recherche bibliographique et une analyse de travaux antérieurs. Ainsi ce travail peut constituer un recueil riche en informations dans l'axe prévu.

Références Bibliographiques

- 01-** Lucien, Pliskin. Propriétés des béton (partie le béton) 2000 .p.58.
- 02-** S-Laldji.Cours ETS. Caractéristiques fondamentales du béton : hiver 2015.
- 03-** Benamrane, Dounia zed : L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton. 28Juin 2017 : université KasdiMerbeh.Ouragla.
- 04-** DemriMouloud,Kerrafi Mohammed, Université Ahmed Draïa ADRAR Master En Génie Civil étude comparative des compositions de béton selon les méthodes de Dreux-Gorisse et Foury 2018-2019
- 05-** MOSBAHI Lamia, SOLTANIKhedidja, Université Larbi Tébessi – Tébessa Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique Les différentes méthodes usuelles de formulation du béton ordinaire Etude comparative2018
- 06-** AISSAOUI Walid, l'Université 8 Mai 1945 Guelma Mémoire de Master Etude expérimentale des propriétés mécaniques des bétons élaborés à base de granulats en caoutchouc Juin 2018
- 07-** Abdelkader DALIL, Athman BABOUZID, Université Ahmed Draïa ADRAR Master En Génie Civil Étude théorique et comparative des matériaux locaux de la région d'Adrar, application aux matériaux cimentaires dans une zone
- 08-** TAYEB HAMMANI Karima, BOUYAHIA Chérifa, Université Ahmed Draïa ADRAR Master En Génie Civil Influence des effets de température et de conservation sur la résistance mécanique du béton 2017-2018
- 09-** BOUKLI HACEN Sidi Mohammed El Amine, Thèse de Doctorat Sujet de thèse " CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RESISTANCE CARACTERISTIQUE DES BETONS DE LA REGION DE TLEMCEM -"Soutenue en 2009.
- 10-** Norme NF EN 197-1 Avril 2012, P15-101-1, Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants
- 11-** Jean, Festa; Georges,Dreux. Nouveau guide du béton et de ses constituants. Eyrolles.2002
- 12-** AMRANE ANIS. HADDAD Hayat Université Abderrahmane Mira de Bejaia Faculté de la Technologie Département de Génie civil Etude de l'influence de la margine d'olive sur les caractéristiques physico-mécanique du béton. 2015-2016
- 13-** Norme NF EN 933-8 : 1999 - Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 8 : Évaluation des fines — Équivalent de sable, Paris, Association Française de Normalisation (AFNOR), août 1999. Remplace les normes expérimentales françaises P. 18-597, (1990) et P. 18-598, (1991).