

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculty of Sciences and Technology

قسم الهندسة المدنية

Department of Civil Engineering

N° d'ordre: M/GC/2022

Mémoire de Master académique

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structure

Etude comparative entre trois méthodes de formulation de béton ordinaire

Présenté par :

- Boudjelal Rania

- Bourahla Fatima

Présidente : BELAS Nadia Professeure UMAB Mostaganem

Examineur : BELARIBI Omar M.C.A UMAB Mostaganem

Encadrant : MEBROUKI Abdelkader Professeur UMAB Mostaganem

Année Universitaire : 2021 / 2022

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mon cher père « LAID » et à ma chère mère « AICHA » qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études en signe de reconnaissance qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

À toute ma famille

Et À ma sœur Zahiro et mes frères,

Et mes amies «Soumia, Chaimaa, Nawal, Fatima, Zahira, Charazed, Asma, Sara, Hafsa, Ines, Manel, Sabrina»

Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie.

Boudjelal Rania

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*À mon père « **MOHAMED** » et à ma mère « **KADIA** » pour Patience, amour, soutien et encouragement. Et pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études*

*À mes frères « **ABDELLAH** » et « **HAMZA** ».*

*À ma sœur « **Wafa** ».*

*À tous mes amis « **B.ZAHIRA, B.CHAHRAZED, N.ASMA, N.SARA, B.RANIA, C. NAWAL, B.HAFSA ET SA FILLE** »*

À tous les collègues de l'école primaire à l'université.

À toute ma famille Surtout mon grand-père, ma grand-mère et ma tante.

À tous les enseignants du département de génie civil.

Sans parler de tous les enseignants, qu'ils soient à l'école primaire,

Enseignement moyen, secondaire ou supérieur.

À tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement pour qu'il puisse y parvenir

Le travail est possible.

Merci

Bourahla Fatima

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadrant Professeur **MEBROUKI Abdelkader**, pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nous remercions beaucoup Professeure **BELAS Nadia** et Docteur **BELARIBI Omar** qui ont accepté de faire partie de notre jury, leurs critiques et conseils seront très utiles.

Nos vifs remerciements vont également à l'Unité BPE-GICA Mostaganem à travers Le Directeur d'unité Monsieur **MAAREF Mohamed** et son Monsieur **RAOUYA Maamar** Responsable du laboratoire Matériaux et Béton pour avoir accepté de nous recevoir et nous fournir en matériaux.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont contribué à notre formation au sein du Département de Génie Civil et qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le mélange de béton dépend de la qualité et de la détermination du mélange optimal de divers composants pour obtenir un bon béton et une résistance élevée.

Dans ce mémoire, nous avons traité de la méthode de détermination des quantités de matériaux pour béton par trois méthodes de formulation, respectivement, Dreux-Gorisse faury et Scramtaiev.

Nous avons fixé des doses de ciment de 300 kg/m^3 , une résistance à la compression en 28 jours avec 25 MPa et le diamètre maximal des granulats est de 15 mm. Avec une modification du module granulaire G/S et du rapport E/C.

Les résultats obtenus ont montré que le béton mélangé avec la méthode de Dreux-Gorisse avait une meilleure résistance à la compression que les deux méthodes, Scramtaiev et faury, respectivement.

Mots clés : Béton Ordinaire, Formulation, état frais, état durci ,résistance à la compression.

Abstract

Concrete mixture depends on the quality and determination of the optimal mixture of various components to achieve good concrete and high resistance.

In this memoir, we dealt with the method of determining the quantities of materials for concrete by three methods of formulation, respectively, Dreux-Gorisse faury and Scramtaiev.

We set cement doses of 300 kg/m^3 , a compressive strength in 28 days with 25 MPa and the maximum aggregate diameter is 15 mm.

With a modification of the G/S granular modulus and the E/C ratio.

The results obtained showed that the concrete mixed with the Dreux-Gorisse method had better compressive strength than the two methods, Scramtaiev and faury, respectively

Keys words: Ordinary concrete, Formulation, Fresh state, Hardened state, compressive strength.

ملخص

تعتمد تركيبة الخرسانة على نوعية وتحديد المزيج الأمثل لمختلف المكونات لتحقيق خرسانة جيدة ومقاومة عالية. في هذه المذكرة، تناولنا طريقة تحديد كميات المواد للخرسانة بثلاث طرق للصياغة على التوالي Dreux-Gorisse faury و Scramtaiev. حددنا جرعات الأسمنت 300 كم / م³، وقوة ضغط في 28 يومًا 25 ميغا باسكال وأقصى قطر للركام 15 ملم. مع تغير المعامل G / S الحبيبي ونسبة E / C في كل طريقة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الخرسانة المخلوطة بطريقة Dreux-Gorisse كانت لها مقاومة الضغط أفضل من الطريقتين Scramtaiev و faury على التوالي.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة العادية, الصياغة, الحالة الطازجة, الحالة الصلبة, مقاومة الضغط.

SOMMAIRE

Introduction générale.

CHAPITRE I : Analyse bibliographique

I.1. Introduction	4
I.2. Définition de Béton ordinaire	4
I.3. Composition du béton ordinaire.....	4
I.3.1. Ciment.....	4
<i>I.3.1.1. Les grandes types de ciment</i>	<i>5</i>
I.3.2. Granulats	5
<i>I.3.2.1. Classification des granulats</i>	<i>6</i>
I. 3.3. Adjuvants	7
I.3.4. EAU	7
I.4. Propriétés du béton ordinaire	7
I.4.1. Propriétés à l'état frais	7
<i>I.4.1.1. L'aptitude du moulage</i>	<i>8</i>
<i>I.4.1.2. La maniabilité ou l'ouvrabilité.....</i>	<i>8</i>
I.4.2. Propriétés à l'état durci	9
<i>I.4.2.1. la résistance mécanique</i>	<i>9</i>
<i>A. les type de résistance du béton</i>	<i>9</i>
<i>B. classe de résistance</i>	<i>10</i>
<i>I.4.2.2. La durabilité.....</i>	<i>10</i>
I.5. Formulation du béton.....	10
I.5.1. Méthode de Dreux-Gorisse	11
A). <i>Critère de formulation</i>	<i>11</i>
<i>1. Critère de maniabilité</i>	<i>11</i>
<i>2. Critère de résistance</i>	<i>12</i>
<i>3. Choix du ciment</i>	<i>12</i>
<i>4. Choix des granulats</i>	<i>12</i>
B). <i>Procédé formulation de Dreux.....</i>	<i>13</i>
<i>1. Détermination du rapport C/E.....</i>	<i>14</i>
<i>2. Détermination de C.....</i>	<i>14</i>
<i>3. Détermination de E</i>	<i>16</i>
<i>4. Correction sur le dosage en ciment et en eau</i>	<i>16</i>
<i>5. Détermination du mélange optimal à minimum de vide</i>	<i>16</i>
<i>6. Détermination des pourcentages en volume absolus de matériaux</i>	<i>18</i>

7. Détermination de la compacité du béton	19
8. Détermination des masses de granulats.....	21
9. Obtention de la formulation théorique de béton	21
I.5.2. Méthode de Faury	22
I.5.3. Méthode de scamtaiev	23
I.5.3.1. Le calcul de la composition du béton	24
1. Détermination du rapport C/E.....	24
2. Détermination de la dépense en eau	25
3. Détermination de dépense au ciment	25
4. Détermination de la dépense en gros granulats.....	26
5. Détermination de la dépense en sable	26
I.5.4. Méthode de Joisel	27
I.5.5. Méthode de Fuller-Thompson.....	27
I.5.6. Méthode de Bolomey	28
I.5.7. Méthode de Vallete	28
I.6. Conclusion	30

CHAPITRE II :Matériaux & Méthodes

II.1. Introduction	34
II.2. Matériaux.....	34
II.2.1. Le ciment	34
II.2.1.1. Composition du ciment	34
II.2.1.2. Caractéristiques du ciment	34
II.2.2. Eau de gachage.....	36
II.2.3. Granulat	36
II.2.3.1. Le gravier	36
II.2.3.2. Le sable.....	36
II.3. Essais sur granulats.....	37
II.3.1. Analyse granulométrique par tamisage	37
II.3.1.1. But	37
II.3.1.2. Principe de l'essai.....	37
II.3.1.3. Matériel utilisés	37

II.3.1.4. Mode opératoire	38
II.3.1.5. Module de finesse	38
II.3.2. Equivalant de sable	45
II.3.2.1. But.....	45
II.3.2.2. Principe de l'essai	45
II.3.2.3. Matériel utilisé.....	45
II.3.2.4. Mode opératoire	46
II.3.2.5. Interprétation des résultats et qualité sable	47
II.3.3. Essai au Bleu de méthylène	48
II.3.3.1. But	48
II.3.3.2. Principe de l'essai	48
II.3.3.3. Matériel utilisé.....	48
II.3.3.4. Mode opératoire	49
II.3.4. Masses volumiques	50
II.3.4.1. Masse volumique apparente (MVa).....	51
II.3.4.2. La masse volumique absolue ou réelle (MVr)	51
II.4. Formulation du béton	51
II.4.1. Méthode de Dreux-Gorisse.....	52
1. Détermination de résistance	52
2. Détermination de rapport C/E.....	52
3. Correction sur le dosage C et E.....	52
4. Tracés de la droite de référence et détermination de pourcentage	53
5. Détermination de la compacité de béton	55
6. Détermination de volume et la masse	55
II.4.2. Méthode de Faury.....	56
II.4.3. Méthode de Scramtaiev	59
II.4.3.1. Détermination de la teneur en eau.....	59
II.4.3.2. Détermination du rapport C/E.....	59
II.4.3.3. Détermination de la teneur en gros granulats	60
II.4.3.4. Détermination de la teneur en sable	60
II.5. Etapes de confection du béton	61
II.5.1. Préparation de mélange	61
II.5.2. La résistance à la compression	64
II.5.3. La conduite de l'essai.....	64
II.6. Influence de la dimension des éprouvettes	64
II.6.1. Corrélations entre éprouvettes moulées.....	64
II.6.2. Corrélations entre éprouvettes carottées et éprouvette de référence.....	66

II.7. Conclusion	67
------------------------	----

CHAPITRE III : Résultats & discussion

III.1. Introduction	69
III.2. Formulation de béton par la méthode Dreux-Gorisse	69
III.3. Formulation de béton par la méthode Faury	72
III.4. Formulation de béton par la méthode Scramtaiev	75
III.5. Comparaison entre les résultats des trois méthodes	75
III.6. Conclusion	87

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I-1: Echantillon d'un ciment.....	4
Figure I-2: Types de granulats.....	6
Figure I-3: Etat frais de béton.....	8
Figure I-4: Etat durci	9
Figure I-5: Abaque permettant la détermination de Copt.....	15
Figure I-6: Détermination de pourcentage en volume absolue de matériau.....	19

CHAPITRE II

Figure II-1: Echantillon de ciment (CPJ CEM II 42.5).....	34
Figure II-2: Echantillon de gravie FROHA 3/8 et 8/15.....	36
Figure II-3: Echantillon de sable OZMERT 0/1 et 0/3.....	36
Figure II-4: Les tamis d'analyse granulométrique	38
Figure II-5: Courbe analyse Granulométrique de gravie 3/8.....	39
Figure II-6: Courbe analyse Granulométrique du gravie 8/15	40
Figure II-7: Courbe analyse Granulométrique du sable 0/1	41
Figure II-8: Courbe analyse granulométrique du sable 0/3	42
Figure II-9: Granulométrie de sablon corrigé et le sable corrigé.....	43
Figure II-10: Courbe analyse granulométrique de sable mélange	44
Figure II-11: Essai d'équivalent de sable	46
Figure II-12: Essai de bleu méthylène.....	49
Figure II-13: La masse volumique apparent.....	51
Figure II-14: Essai de cone d'Abrams.....	53
Figure II-15: Courbe granulaire de Dreux-Gorisse	54
Figure II-16: Courbe granulaire de Faury	57
Figure II-17: Les mole 15*15*15cm ³	61
Figure II-18: Malaxeur.....	62
Figure II-19: Essai d'étalement.....	62
Figure II-20: La mise en place du béton.....	63
Figure II-21: Démoulage	63
Figure II-22: Machine d'essai de la compression.....	64

CHAPITRE III

Figure III-1: Courbe de la résistance à la compression (Dreux-Gorisse).....	70
Figure III-2: Diagramme de la résistance à la compression de fonction de temps.....	70
Figure III-3: Variation des masses en fonction du temps.....	71
Figure III-4: Courbe de la résistance à la compression (Faury)	73
Figure III-5: Diagramme de la résistance à la compression en fonction de temps.....	74
Figure III-6: Variation des masses en fonction du temps.....	74
Figure III-7: Courbe de la résistance à la compression (Scramataiev).....	76

Figure III-8: Diagramme de la résistance à la compression en fonction du temps.....	77
Figure III-9: Variation des masses en fonction du temps.....	77
Figure III-10: Ouvrabilité des trois bétons	79
Figure III-11: Diagramme de la résistance à la compression en fonction du temps des différents formulation.....	80

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau I-1: Type et classe de granulat.....	7
Tableau I-2: Les classe de résistance du béton ordinaire.....	10
Tableau I-3: Affaissement au cone conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser	11
Tableau I-4: Correspondance entre classe varie et dénomination normalisée des ciments	12
Tableau I-5: Détermination Dmax en fonction du ferrailage et de l'enrobage.	13
Tableau I-6: Coefficient granulaire G' en fnction de la qualité et de la taille maximale granulats.....	14
Tableau I-7: Correction sur le dosage de pate en fonction de Dmax.	16
Tableau I-8: Fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment	18
Tableau I-9: Compacité du béton en fonction de Dmax de la consistance et du serrage	20
Tableau I-10: Le choix du paramètre A.	23
Tableau I-11: Valeur des coefficient A et A1 en fonction du liant et agrégat.....	24
Tableau I-12: Quantité d'eau nécessaire au béton(l/m ³) par rapport à la grosseur du gravier.....	25
Tableau I-13: Valeur de α , coefficient d'écartement des grains des pierres concassées	26
Tableau I-14: Le coefficient A en fonction de la consistance de béton.....	28

CHAPITRE II

Tableau II-1: Paramètres physico-chimique du ciment.....	35
Tableau II-2: Caractéristiques chimiques du ciment.	35
Tableau II-3: Résultat analyse granulométrique du gravier 3/8	39
Tableau II-4: Résultat analyse granulométrique du gravier 8/15	40
Tableau II-5: Résultat analyse granulométrique du sable 0/1.	41
Tableau II-6: Résultat analyse granulométrique du sable 0/3	42
Tableau II-7: Résultat analyse granulométrique du mélange de sable..	44
Tableau II-8: Résultat et qualité de sable	47
Tableau II-9: Résultat d'équivalent de sable 0/1	47
Tableau II-10: Résultat d'équivalent de sable 0/3	48
Tableau II-11: Résultat d'essai bleu méthylène du sable 0/1	50
Tableau II-12: Résultat d'essai bleu méthylène du sable 0/3	50
Tableau II-13: Résultat d'essai de la masse volumique	51
Tableau II-14: Les composante en volume et en masse (Dreux-Gorisse).....	56
Tableau II-15: Les coefficients granulaires (G/S)	56
Tableau II-16: Les composante en volume et en masse (Faury)	58
Tableau II-17: Les coefficients granulaires (G/S)	59
Tableau II-18: Les composante en volume et en masse (Scramtaiev)	60
Tableau II-19: Les coefficients granulaires (G/S)	61
Tableau II-20: Equivalence des résistances obtenues sur cubes de 100 et cylindre Ø 113mm et Ø 150mm	65
Tableau II-21: Equivalence des résistances obtenues sur cubes des 100 et cubes de 150 mm	65
Tableau II-22: Equivalence des résistances obtenues sur cylindres Ø160× 320 mm et sue différentes dimensions de cubes.....	66
Tableau II-23: Equivalence des résistances obtenues sur carottes et cube 150mm.....	66

Tableau II-24: Capacité de machine d'essai recommandée en fonction de la contrainte à la rupture. 67

CHAPITRE III

Tableau III-1: Composante de béton selon (Deux-Gorisse).....	69
Tableau III-2: Résultat des résistances à la compression (Dreux-Gorisse).....	70
Tableau III-3: Convesion de la résistance à la compresion (Dreux-Gorisse).....	72
Tableau III-4: Composante de béton selon (Faury).....	72
Tableau III-5: Résultats des résistances à la compression (Faury).....	73
Tableau III-6: Convesion de la résistance à la compresion(Faury).....	75
Tableau III-7: Composante de bétonselon (Scramtaiev).....	75
Tableau III-8: Résultats des résistances à la compression (Scramtaiev).....	76
Tableau III-9: Convesion de la résistance à la compresion(Scramtaiev).....	78
Tableau III-10: Composition de trois méthodes de formulations.....	79
Tableau III-11: Les résistances à la compression de trois méthodes.....	80

Liste des abréviations

GICA : Groupe Industriel des Ciments d'Algérie.

CEM I : Le ciment portland.

CEM II : Le ciment portland composé.

CEM III : Le ciment haut fourneau.

CEM IV/A ou B : Le ciment pouzzolane.

CEM V/A ou B : Le ciment composé.

D : Grand diamètre de granulats

C : Concrète

N/mm² : Newton par millimètre carré (unité de mesure de contrainte).

σ' ₂₈ : Résistance moyenne en compression du béton à 28jours en MPa.

f_c₂₈ : Résistance de compression à 28 jours.

σ' _c : Classe vraie du ciment à 28jours en MPa.

E_h : Espacement horizontal entre armatures horizontales.

E_v : Espacement vertical entre lits d'armatures horizontales.

D : Enrobages des armatures.

r : Rayon moyen du ferrailage.

H_m : Hauteur ou épaisseur minimale.

E : Eau.

C : Dosage en ciment en kg par m³ de béton.

G' : Coefficient granulaire fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Y : Est donné en pourcentage de passants cumulés.

K_s : Correction supplémentaire fonction de la granularité di sable.

Kp : Correction supplémentaire si le béton est pompable.

Kg/m³: Kilogramme par mètre cube (unité de masse volumique).

S : Sable.

G : Gravier.

g : Gravillon.

Vs : Volume de sable.

Vg : Volume de gravillon.

VG : Volume de gravier.

ρ : Masse volumique.

D : Grosseur maximum de l'agrégat en mm.

R : Rayon moyen du coffrage

Rb : La classe de résistance requise de béton.

Af : Affaissement.

G : Dépense en gros granulats.

ρ_g : Porosité des pierres concassées ou du gravier à l'état meuble (est substitué dans la formule sous forme d'une valeur relative).

ρ_{app.g}: Masse volumique apparente de la pierre concassée ou du gravier

ρ_{abs.g} : Masse volumique absolue de la pierre concassée ou du gravier

α : Coefficient d'écartement des grains des pierres concassées

P : Pourcentage en poids passant à travers la passoire de diamètre d en mm

A : Est un coefficient donné selon la plasticité et la nature des agrégats

CPJ : Ciment portland j

g : Gramme (unité de masse).

SM : Sable de mer.

SC : Sable carrière.

Mf : Module de finesse.

ES : Equivalent de sable à vue.

Esp : Equivalent de sable à piston.

°C : Degré celsius (unité de température)

tr/min : Tour par minute.

Min : Minute

MVa : Masse volumique apparente.

MVr : Masse volumique réelle.

Vt : Volume total.

VG : Volume de granulat.

Vc : Volume de ciment.

L : Litre (unité de volume).

mc : La masse de ciment.

G/S : Granulat sur sable (coefficient granulaire).

Ø : Dimension d'éprouvette.

MPa : Méga pascal (unité de pression).

Rc : Résistance à la compression

Cyl : Cylindres

Moy : Moyenne.

J : Jour.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

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

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

Le béton est en réalité un matériau composite, avec une grande diversité d'applications et de méthodes de formulations. Les bétons font l'objet de beaucoup de recherches en effet, la relation entre la composition du béton et sa résistance mécanique a intéressé les chercheurs depuis toujours. La caractéristique essentielle d'un béton à l'état durci est la résistance mécanique en compression à l'âge de 28 jours.

Ce travail consiste à une étude comparative entre trois méthodes de la formulation du béton ordinaire, qui sont la méthode de DREUX-GORISSE et la méthode de FAURY et la méthode de SCRAMTAIEV, et l'optimisation de la composition et son ajustement, sont ensuite obtenus par des essais de compression sur des éprouvettes cubiques pour voir l'influence de la méthode de la formulation sur la résistance à la compression du béton étudié.

Notre mémoire sera composé de trois chapitres qui sont comme suit:

Le chapitre (I) « recherche bibliographique » visera une étude bibliographique sur le béton ordinaire et ses composants essentiel, leur méthodes de formulation et ainsi que sa résistance à la compression.

Le chapitre (II) « matériaux & méthodes » sera consacré à les essais faites sur les matériaux utilisé dans ce travail, et les calculs des trois méthodes de formulation.

Le chapitre (III) « résultat & discussion » dernièrement nous allons présenter les résultats et les graphes de chaque méthode pour béton à l'état durci.

Enfin nous avons clôturé ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I : Analyse Bibliographique

Chapitre I : Analyse bibliographique

I.1. Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre de recherche bibliographique quelques notions sur le béton ordinaire et ses composants, ses propriétés et aussi sur quelques méthodes de formulation.

I.2. Définition de béton ordinaire :

Le béton est un ensemble homogène obtenu par le mélange du ciment, de l'eau, des granulats et quelque fois d'adjuvant. 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 adapté à tous les types de formes d'ouvrage (**Site Maçonnerie bilp**).

I.3. Composition du béton ordinaire :

I.3.1. Ciment :

Le ciment est un matériau pulvérulent, à base de silicates de chaux et d'aluminates, obtenu par cuisson dans des proportions variables selon les matières premières(**Site : Futur science**)

Les matières premières de base sont le calcaire et l'argile. Ce sont des produits secondaires qui sont broyés et éventuellement ajoutés.



FigureI-1 : Échantillon d'un ciment.

1.3.1.1. Les grands types de ciment :

Selon la littérature (Tout sur le béton), les principaux types de ciments sont cités ci-dessous

- **Le ciment portland : CEM I**

Il contient au moins 95% de clinker et au plus 5% de composants secondaire.

- **Le ciment portland composé : CEM II**

Il contient au moins 65%de clinker et au plus 35% d'autres composants : laitier de haut fourneau, fumée de silice, pouzzolane, cendres volantes, calcaires, constituants secondaires.

- **Le ciment haut fourneau : CEM III**

CEM III/A ou B : contient entre 36% et 80% de laitier et 20% à 64% de clinker.

CEM III/C : contient au moins 81% de laitier et 5% à 19% de clinker.

- **Le ciment pouzzolane : CEM IV/A ou B**

Il contient 45% de clinker et 11% à 55% de pouzzolanes.

- **Le ciment composé : CEM V/A ou B**

Il contient 20% à 64% de clinker, 18% à 49% de produits laitiers et 18% à 49% de cendres ou pouzzolanes.

I.3.2. Granulats :

L'agrégat est un groupe de grains minéraux et c'est un composant essentiel du béton, en raison des propriétés intrinsèques telles que la résistance mécanique et physique.

Chapitre I : Analyse bibliographique

Les éléments sont obtenus par concassage de grosses roches et tamisage d'origine alluvionnaire, ou par recyclage de produits comme le béton de démolition et leur nature et leurs formes varient.

Il est classé selon sa taille en analysant la taille des particules à l'aide des tamis.



Figure I-2 : Les granulats.

1.3.2.1. Classification des granulats

Les granulats sont classés en fonction de leur grosseur déterminée sur les tamis à mailles carrées dont la dimension inférieure est exprimée en millimètre. On appelle « tamisât » la partie des granulats qui est passée à travers le tamis et « refus » la partie qui est restée sur le tamis. Le terme « Granulats d/D » est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de «d» pour le petit élément à « D » pour les gros éléments. La norme P18-540 précise les appellations de différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles (**Dreux, 1979**).

Chapitre I : Analyse bibliographique

Tableau I-1 : Types et classes de granulat.

Familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	D < 2mm avec au moins 85% de passant à 1.25mm et 70% de passant à 0.063mm
Sablons	0/D	D ≤ 1mm avec moins de 10% de passant à 0.063mm
Sables	0/D	0mm < D ≤ 4mm
Graves	0/D	D < 6.3mm
Gravillons	d/D	d ≥ 2mm et D ≤ 63mm
Ballasts	d/D	d ≥ 31.5mm et D = 50 ou 63mm

I.3.3. Adjuvants :

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à une dose inférieure ou égale à 5% en masse de ciment du béton, pour modifier les propriétés du béton à l'état frais et durci (**Site info ciment**).

I.3.4. Eau :

L'eau de gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de béton et est un facteur critique pour l'obtention d'un béton de qualité acceptable.

I.4. Propriétés des bétons :

I.4.1. A l'état frais

Le béton frais est le mélange humide des composants de base (granulats, ciment, eau) avant qu'il ne commence à prendre, c'est-à-dire qu'il est l'état plastique du béton, il a la capacité de se déformer et de s'écouler, ce qui lui permet d'être déplacé ou pompé et de remplir moules (**Site Planète TP**).



FigureI-3 : État frais de béton.

Le béton frais a deux propriétés de base :

1.4.1.1. L'aptitude au moulage

La manipulation du béton frais lui permet de prendre toutes les formes possibles, à partir de composants individuels. Une bonne maniabilité est essentielle pour une production de béton économique et de haute qualité.

1.4.1.2. La maniabilité ou l'ouvrabilité

La consistance est un aspect de l'ouvrabilité lié aux caractéristiques bétons frais. C'est un indicateur de la fluidité ou de l'humidité du mélange et est mesuré par le test de stagnation. Le béton frais est placé dans un cône métallique, et lorsque le cône est retiré, le béton s'abaisse d'une certaine quantité ; en fonction de sa fluidité. et un mélange doux et humide glisse plus qu'un mélange plus sec et plus rigide cette propriété est indispensable pour garantir un parfait remplissage des moules et des coffrages dont les formes sont parfois complexes et un bon enrobage des armatures. Les paramètres influent sur la maniabilité sont la nature et le dosage en ciment, la forme des granulats, le dosage en eau et l'emploi des adjuvants.

I.4.2. A l'état durci :



Figure I-4 : État durci de béton.

Le béton durci se caractérise par plusieurs propriétés en particulier :

I.4.2.1. Résistance mécanique :

La résistance du béton est la résistance du béton à résister aux intempéries, aux attaques chimiques et à la corrosion tout en conservant les caractéristiques techniques requises. Différents bétons nécessitent différents degrés de durabilité en fonction de l'environnement d'exposition et des caractéristiques requises. Par exemple, le béton exposé à l'eau de mer marémotrice aura des exigences différentes de celles des planchers de béton internes.

A. Les types de résistances du béton sont :(Site guide béton)

- Résistance à la compression
- Résistance à la flexion
- Résistance à la traction

B. Classe de résistance :

Chapitre I : Analyse bibliographique

La classe de résistance indique sa résistance requise pour la construction. Par exemple, La classe de résistance C 20 / 25 signifie : La première lettre de la classe «C» correspond au Concrète, 20 correspond à la résistance mesurée sur une éprouvette cylindrique en N/mm² et Le 25 correspond à la résistance mesurée sur une éprouvette cubique en N/mm².

Tableau I-2 : les classes de résistance du béton ordinaire (Site Pave béton).

Classe de résistance à la compression	Caractéristique minimale résistance du cylindre N/mm ²	Caractéristique minimale résistance du cube N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50

I.4.2.2. Durabilité :

Le béton offre une grande durabilité face aux agressions physiques et chimiques du milieu environnant. Il est particulièrement adapté à la construction de structure qui doit résister à des conditions difficiles et rudes. Plus le béton est compact (ou moins poreux) plus ses performances et sa durabilité sont élevées. Le compactage du béton est amélioré en optimisant la taille et l'agrégation des agrégats et en réduisant la quantité d'eau.

I.5. Formulation du béton :

Plusieurs méthodes de formulation sont offertes pour déterminer les quantités adéquates selon les paramètres initialement posés en hypothèses (résistance à 28 jours, maniabilité...), parmi ces méthodes celles qui sont présentées ci-dessous.

I.5.1. Méthode de Dreux Gorisse :(Dreux, 1979)

Chapitre I : Analyse bibliographique

Une méthode de la représentation globale de la granulométrie des agrégats à l'aide d'un indice numérique appelé « module de finesse » a été donnée, en 1918, par Abrams, ce module est la somme des refus en poids divisée par 100, obtenus par certains tamis américains de la série Tyler qui a été remplacée par les tamis ASTM (Georges Dreux, 1979). Cette méthode est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse global pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Le module de finesse du mélange est choisi de manière que les vides dans ce mélange soient en principe, réduits au minimum ; les modules optimaux pour béton de granulat roulés, déterminés expérimentalement par Abrams, sont indiqués en fonction du dosage en ciment et la dimension D du granulat le plus gros.

A) Critères de formulation :

1. Critère de maniabilité

La maniabilité est caractérisée, entre autre, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams. Elle est choisie en fonction du type d'ouvrage à réaliser, du mode de réalisation et des moyens de vibration disponibles sur chantier (voir tableau I-3)

Tableau I-3 : Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser.

Affaissement en cm	plasticité	désignation	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	Ferme	F	Puissante	Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normal	Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	TP	Faible	Ouvrage courant
>16	Fluide	FL	Léger piquage	Dalles et voiles

2. Critère de résistance :

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique σ'_{28} .

Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15% à la résistance minimale en compression f_{c28} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

$$\sigma'^{28} = 1,15 f_{c28} \quad (1)$$

3. Choix du ciment :

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

Tableau I-4 : correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.

Dénomination normalisée	32,5MPa	42,5MPa	52,5MPa
Classe vraie ($\sigma'c$)	45MPa	55MPa	>60MPa

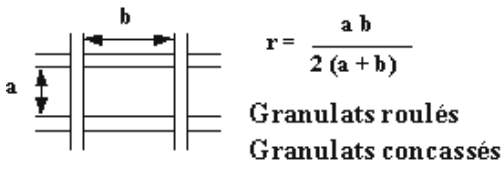
4. Choix des granulats :

Les granulats à utiliser dans la fabrication du béton doivent permettre la réalisation d'un squelette à minimum de vides. Il faut en conséquence utiliser des granulats de toutes tailles pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. Pour permettre une mise en œuvre correcte du béton, il est important que la taille des plus gros granulats D_{max} ne s'oppose pas au déplacement des grains entre les armatures métalliques du ferrailage. Le tableau donne une borne supérieure de D_{max}

Chapitre I : Analyse bibliographique

est les diamètres du plus gros granulats entrant dans la composition du béton. Sa valeur peut être lue sur la feuille d'analyse granulométrique des granulats correspondants.

Tableau I-5 : Détermination de Dmax en fonction du ferrailage et de l'enrobage.

Caractéristiques de la pièce à bétonner		Dmax
Eh	Espacement horizontal entre armatures horizontales	$\leq e_h / 1,5$
Ev	Espacement vertical entre lits d'armatures horizontales	$\leq e_v$
D	Enrobages des armatures : Ambiance très agressive ≥ 5 cm Ambiance moyennement agressive ≥ 3 cm Ambiance peu agressive ≥ 3 cm Ambiance non agressive ≥ 1 cm	$< d$
r	Rayon moyen du ferrailage  $r = \frac{a \cdot b}{2(a + b)}$ Granulats roulés Granulats concassés	$\leq 1,4 r$ $\leq 1,2 r$
Hm	Hauteur ou épaisseur minimale	$\leq H_m / 5$

B) Procédé de la formulation de Dreux-Gorisse :

La formulation théorique se base sur les étapes suivantes :

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

Chapitre I : Analyse bibliographique

1. Détermination du rapport C/E :

Le rapport C/E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'c \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad (2)$$

Avec :

σ'_{28} : Résistance moyenne en compression du béton à 28jours en MPa.

$\sigma'c$: Classe vraie du ciment à 28jours en MPa.

C : Dosage en ciment en kg par m³ de béton.

E : dosage en eau total sur matériau sec en litre par m³ de béton.

G' : coefficient granulaire (Tableau I-6) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau I-6 : coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale granulats Dmax.

Qualité des granulats	Dimension Dmax des granulats		
	Fins Dmax < 12,5 mm	Moyens 20 < Dmax < 31,5	Gros Dmax > 50 mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe)

2. Détermination de C :

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.

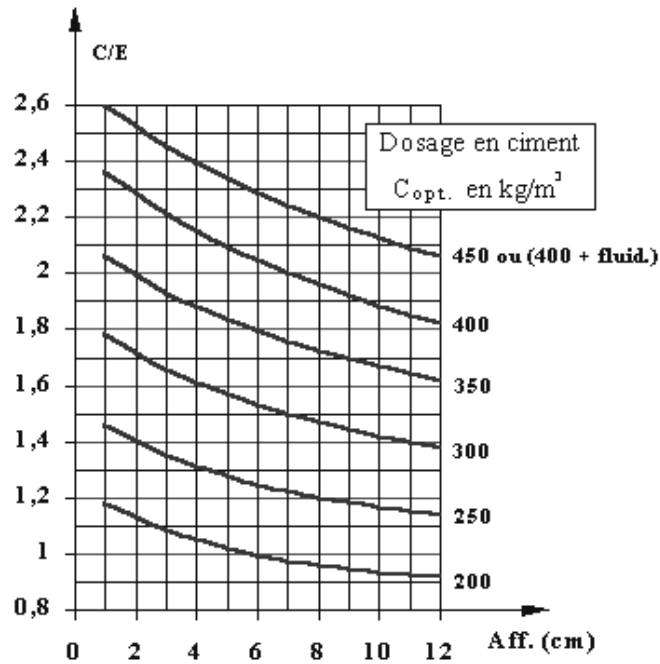


Figure I-5 : Abaque permettant la détermination de C_{opt} .

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

Le dosage effectif de ciment C à retenir doit être supérieur ou égal à C_{opt} , et aux valeurs minimales C_{min} données par les formules 1 à 3 pour les bétons non normalisés (formule 1 lorsque le béton est en milieu non exposé, formule 2 pour un milieu exposé sans agressivité particulière et formule 3 pour milieu agressif).

(1) : milieu non exposé avec $\sigma'_{c_{28}}$ et D_{max} en mm.

$$C_{min}(kg/m^3) = \frac{250 + 10\sigma'_{28}}{\sqrt[5]{1,25D_{max}}} \quad (3)$$

(2) : milieu exposé sans agressivité particulière.

$$C_{min}(kg/m^3) = \text{Max} \left[\frac{250 + 10\sigma'_{28}}{\sqrt[5]{1,25D_{max}}} \cdot \frac{550}{\sqrt[5]{1,25D_{max}}} \right] \quad (4)$$

Chapitre I : Analyse bibliographique

(3) : milieu agressif.

$$C_{min}(kg|m^3) = \max \left[\frac{250+10\sigma'_{28}}{\sqrt[5]{1,25D_{max}}} \cdot \frac{700}{\sqrt[5]{1,25D_{max}}} \right] \quad (5)$$

3. Détermination de E :

La quantité d'eau E nécessaire à la confection du béton se calcule grâce aux valeurs de C/E et de C

4. Corrections sur le dosage en ciment C et le dosage en eau E :

Lorsque la dimension maximale des granulats Dmax est différente de 20mm, une correction sur la quantité de pâte est nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. Les corrections (Tableau I-7) sont à apporter sur les quantités d'eau et de ciment (le rapport C/E reste inchangé).

Tableau I-7 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de Dmax.

Dimension maximale des granulats (Dmax en mm)	5	8	12,5	20	31,5	50	80
Correction sur le dosage de pâte (en %)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

5. Détermination du mélange optimal à minimum de vides :

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable, de gravillons et de cailloux qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum de vides peut être schématisée par une droite brisée. La démarche proposée par Dreux pour déterminer le mélange optimum à minimum de vide est la suivante :

- Tracé de la droite brisée de référence.
- Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux.

Chapitre I : Analyse bibliographique

➤ Tracé de droite de référence de Dreux

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vide. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y :

En abscisse :

Si $D_{max} \leq 20\text{mm}$ alors $X = D_{max} / 2$

Si $D_{max} > 20\text{mm}$ alors $\text{Module}(X) = (\text{Module}(D_{max}) + 38) / 2$

En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{1,25(D_{max})} + k' \quad \text{ou} \quad k' = k + k_s + k_p \quad (5)$$

Y : est donné en pourcentage de passants cumulés

K : est un coefficient donné par le Tableau I-8.

Ks et Kp étant des coefficients correctifs définis par :

Ks (correction supplémentaire fonction de la granularité du sable) :

Ks = (6Mfs - 15) avec Mfs le module de finesse du sable.

Kp (correction supplémentaire si le béton est pompable) :

Kp = +5 à +10 selon le degré de plasticité désiré.

Chapitre I : Analyse bibliographique

Tableau I-8 : fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

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

La droite de Dreux a pour origine le point 0 ; l'origine du graphe ; et pour extrémité le point Dmax caractéristique des plus gros granulats.

6. Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux :

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide il est nécessaire de tracer comme indiqué sur la figure II-6 des droites reliant deux à deux les courbes granulométriques des matériaux du mélange.

Ces droites sont définies par 5% de refus pour le matériau à forte granularité et par 5% de passant pour le matériau à faible granularité. L'intersection des droites ainsi tracées avec la droite brisée de Dreux permet, par prolongement sur l'axe des ordonnées, de déterminer les pourcentages en volumes absolus de chaque matériau. Ces pourcentages doivent permettre l'obtention d'un mélange dont la courbe granulométrique est proche de la droite brisée de Dreux. Si la courbe du mélange obtenue est trop éloignée de la courbe de Dreux, un ajustement de ces pourcentages peut s'avérer nécessaire.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

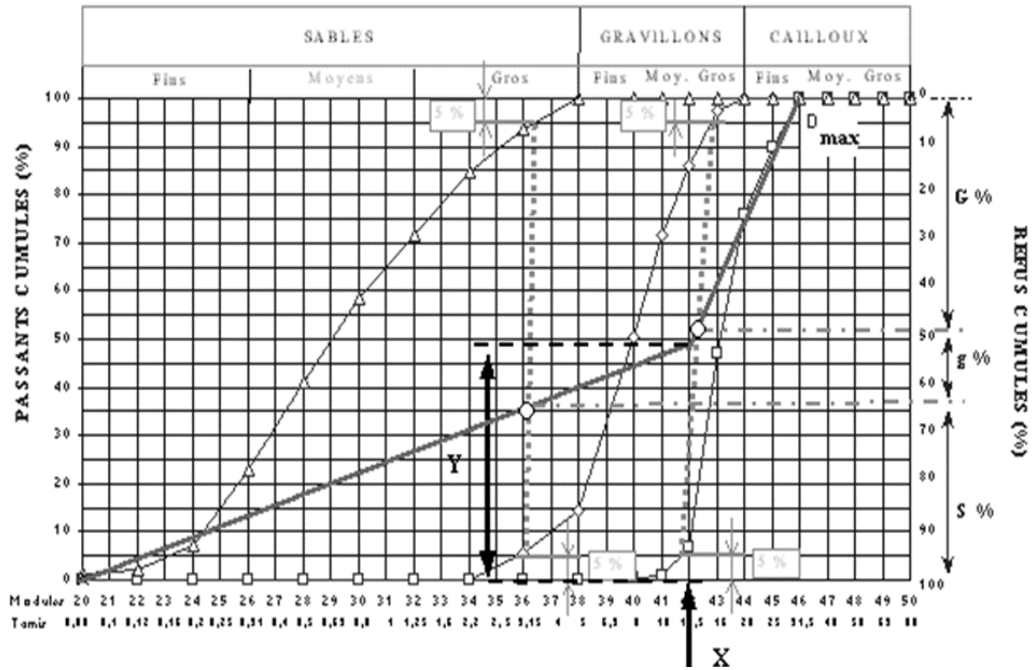


Figure I-6 : Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau.

7. Détermination de la compacité du béton :

Pour déterminer les masses de granulats entrant dans la composition de béton, il est nécessaire de déterminer la compacité du béton qui correspond au volume absolu en m³ de solide contenu dans un mètre cube de béton (volumes absolus de ciment, de sable, de gravette et de gravier). Sa valeur de base c₀ est fonction de la taille des granulats, de la consistance du mélange et des moyens de vibration mis en œuvre tableau II-9. Des corrections (c₁, c₂ et c₃) fonction de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment, doivent être apportées tableau II-9 :

$$C = c_0 + c_1 + c_2 + c_3 \quad (6)$$

La valeur de la compacité c du béton permet de déterminer le volume total absolu V de granulats intervenant dans la formulation du béton : $V = (c - V_c) / \rho_c$ ou V_c est le volume de ciment défini par $V_c = C / \rho_c$ est sa masse volumique absolue du ciment utilisé

Tableau I-9 : compacité du béton en fonction de D_{max}, de la consistance et du serrage.

Consistance	Serrage	Compacité (c ₀)
-------------	---------	-----------------------------

Chapitre I : Analyse bibliographique

		Dmax=5	Dmax=8	Dmax=12,5	Dmax = 20	Dmax=31,5	Dmax = 50	Dmax = 80
Molle (TP-FI)	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique (P)	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme (F)	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Chapitre I : Analyse bibliographique

Note :

- * Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes : - Sable roulé et gravier concassé ($c_1 = - 0,01$)
- Sable et gravier concassé ($c_1 = - 0,03$)
- * Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0,03 les valeurs de c : ($c_2 = -0,03$)
- * Pour un dosage en ciment $C \neq 350 \text{ kg/m}^3$ on apportera le terme correctif suivant : ($c_3 = (C - 350) / 5000$)

8. Détermination des masses de granulats :

Connaissant le volume total absolu des granulats (V) et les pourcentages en volume absolue de sable ($S\%$), de gravillon ($g\%$) et de gravier ($G\%$), il est alors possible de déterminer de déterminer les volumes de sable (V_s) de gravillon (V_g) et de gravier (V_G) ainsi que leurs masses respectives (S , g et G) :

$$\begin{aligned}V_s &= V * S\% & S &= V * S\% * \rho_s(S) \\V_g &= V * g\% & g &= V * g\% * \rho_s(g) \\V_G &= V * G\% & G &= V * G\% * \rho_s(G)\end{aligned} \quad (7)$$

A défaut de renseignements précis concernant les masses volumiques absolues des matériaux, on peut en première approximation utiliser les valeurs suivantes :

$$\rho(c) = 3.1 \text{ t/m}^3, \rho(S) = 2.6 \text{ t/m}^3, \rho(g) = 2.6 \text{ t/m}^3 \text{ et } \rho(G) = 2.6 \text{ t/m}^3$$

9. Obtention de la formulation théorique de béton

La formulation théorique de béton recherchée est définie par les quantités d'eau E , de sable S , de gravillon g et de gravier G . la masse totale d'un mètre cube de béton $\Delta = (E + C + S + g + G)$ est pour un béton courant comprise entre $2,3 \text{ t/m}^3$ et 2.5 t/m^3 .

La formulation obtenue reste théorique et il convient de la tester et de la corriger par des essais de laboratoire avant d'être utilisée.

I.5.2. Méthode de Faury :(Kedjour, 2003)

Chapitre I : Analyse bibliographique

Cette méthode, qui date de 1941, s'inspire des travaux de Caquot. Faury prend comme échelle des abscisses pour ses graphiques, la racine cinquième de D. L'ordonnée est graduée en échelle décimale suivant le pourcentage en volume absolu de matière passant à travers les passoires correspondantes (ciment compris). Il peut tenir compte de l'effet de paroi et du mode de serrage, c'est-à-dire de la consistance du béton.

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{[(R|D)^{-0.75}]} \quad (8)$$

D : grosseur maximum de l'agrégat en mm.

R : rayon moyen du coffrage (moule) en mm (partie de l'ouvrage les plus ferraiillées).

A : coefficient tenant compte de la forme des agrégats et de la consistance du béton.

B : dépend du serrage. Il varie de 1, pour une vibration puissante, à 2 pour un serrage moyen.

La valeur de A pour des serrages considérés comme très puissante actuellement peut descendre jusqu'à 16 pour les sables et gravillons roulés et jusqu'à 20 pour les concassés (Tableau I-10).

Une fois la courbe de référence tracée. Il faut réaliser un béton ayant une granulométrie s'en rapprochant le plus possible (surtout en ce qui concerne les éléments fins). Pour cela Faury a mis au point une méthode dite « des indices pondéraux », qui permet de calculer les proportions des différents constituants à employer afin de suivre la courbe de référence. Cette méthode se ramène à la résolution d'un système linéaire d'équation.

Chapitre I : Analyse bibliographique

Tableau I-10 : Le choix du paramètre A.

	Sables et graviers roulés usuels	Sables roulés et graviers de broyage usuels	Sables et graviers de broyage usuels
Consistance très fluides et mise en œuvre sans serrage	32 et au-dessus	34 et au-dessus	38 et au-dessus
Consistance fluides pour faible serrage	30-32	32-34	36-38
Consistance molle pour serrage moyen	28-30	30-32	34-36
Consistance ferme pour serrage soigné	26-28	28-30	32-34
Consistance très ferme pour serrage puissant	24-26	26-28	30-32
Consistance de terre humide pour serrage très puissant	22-24	24-26	28-30
Serrage exceptionnellement puissant	au-dessous de 22 (à déterminer dans chaque cas)	au-dessous de 24 (à déterminer)	au-dessous de 28 (à déterminer)

I.5.3.Méthode de Scramtaiev :(Naceri, 2004)

Cette méthode repose sur le fait qu'un béton lourd, damé à l'état frais, se rapproche de la compacité absolue, ce qui signifie que la somme des volumes absolus des matériaux d'origine dans un m³ est égale au volume de la composition du béton damée. Avant d'aborder le calcul de la composition il faut déterminer la qualité des matériaux d'origine : ciment, eau, sable et pierres concassées conformément aux normes. Les données servant à calculer la composition du béton sont : la classe de résistance requise (R_b), le degré de fluidité ou de consistance ainsi que les caractéristiques des matériaux d'origine : activité (R_c) et masse spécifique du ciment, masses volumiques et spécifiques du sable, des pierres concassées ou du gravier et la porosité des pierres concassées ou du gravier.

Chapitre I : Analyse bibliographique

I.5.3.1. Calcul de la composition du béton

Le calcul de la composition du béton se pratique dans l'ordre suivant :

1. **Détermination du rapport C/E** : Ce rapport assure l'obtention d'un béton de résistance requise (R_b), suivant les expressions :

a) Pour bétons à $C/E \leq 2,5$ (béton plastique et très plastique) :

$$R_b = A \cdot R_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \quad (9)$$

D'où résulte

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{A \cdot R_c} + 0.5 \quad (10)$$

b) Pour bétons à $C/E > 2,5$ (béton ferme et très ferme) :

$$R_b = A \cdot R_c \left(\frac{C}{E} + 0.5 \right) \quad (11)$$

D'où résulte

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{A \cdot R_c} - 0.5 \quad (12)$$

Tableau I-11 : Valeurs des coefficients A et A1 en fonction du liant et agrégat

Les valeurs des coefficients A et A1 en fonction du liant et agrégat	A	A1
Bon	0.65	0.43
Moyen	0.60	0.40
Mauvais	0.55	0.37

Chapitre I : Analyse bibliographique

2. **Détermination de la dépense en eau** : Elle est fonction de la consistance (Af) du béton et du diamètre maximal des granulats Dmax, approximativement d'après le Tableau I-12 ci-après :

Tableau I-12 : Quantité d'eau nécessaire au béton (l/m³) par rapport à la grosseur du gravier

3. **Détermination de la dépense en ciment** :

Caractéristique du mélange du béton		Quantité d'eau au béton (l/m ³) par rapport à la grosseur du gravier, en mm		
Affaissement du cône (Af) en cm	Maniabilité en s	10	20	40
0	150 à 200	145	130	120
0	90 à 120	150	135	125
0	60 à 80	160	145	130
0	30 à 50	165	150	135
0	15 à 30	175	160	145
1	15 à 30	185	170	155
2	15 à 30	190	175	160
3	15 à 30	195	180	165
5	15 à 30	200	185	170
7	15 à 30	205	190	175
8	15 à 30	210	195	180
10	15 à 30	215	200	185

Remarque : les données du tableau sont justes pour les bétons au ciment portland, au sable moyen et au gravier utilisé comme gros agrégat. Dans des conditions différentes la quantité d'eau indiquée au tableau, augmente :

- En cas d'utilisation d'un portland pouzzolanique, de 15 à 20 l/m³
- Si le gravier est remplacé par les pierres concassées, de 10 l/m³
 - Pour le sable fin, de 10 l/m³

Après avoir défini la valeur de C/E et la quantité d'eau E nécessaire au mélange du béton, la dépense en ciment est calculée en kg par m³ de béton.

$$C = \frac{C}{E} \cdot E \text{ kg/m} \quad (13)$$

4. **Détermination de la dépense en gros granulats** :

Chapitre I : Analyse bibliographique

$$G = \frac{1000}{\frac{\rho_g}{\rho_{app.G}} \alpha + \frac{1}{\rho_{abs.G}}} \text{kg/m} \quad (14)$$

$$\rho_g = 1 - \frac{\rho_{app.G}}{\rho_{abs.G}} \quad (15)$$

G : Dépense en gros granulats.

ρ_g : Porosité des pierres concassées ou du gravier à l'état meuble (est substitué dans la formule sous forme d'une valeur relative).

$\rho_{app.G}$: Masse volumique apparente de la pierre concassée ou du gravier, en kg/l.

$\rho_{abs.G}$: Masse volumique absolue de la pierre concassée ou du gravier, en kg/

α : Coefficient d'écartement des grains des pierres concassées (ou de l'excès de mortier).

Tableau I-13 : Valeurs de α , coefficient d'écartement des grains des pierres concassées

Dépense en ciment, kg/m ³	Valeur de α en fonction d'E/C et C					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	-	1,30	1,38	1,42	-
350	-	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,31	1,40	1,46	-	-	-
500	1,44	1,52	1,56	-	-	-
600	1,52	1,56	-	-	-	-

5. Détermination de la dépense en sable :

La détermination de la quantité de sable peut être faite par la relation suivante :

$$S = \left(1000 - \left(\frac{C}{\rho_{abs.c}} + E + \frac{G}{\rho_{abs.g}} \right) \right) \rho_{abs.s} \text{ skg/m}^3 \quad (16)$$

I.5.4. Méthode de Joisel : (Dreux, 1979)

Chapitre I : Analyse bibliographique

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

Afin d'obtenir une courbe granulométrique de référence qui se réduit à une simple droite l'échelle des abscisses n'est plus systématiquement proportionnelle à $\sqrt[5]{d}$ (Faury) mais à $\sqrt[m]{d}$, 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 mais, par contre, il faut employer un graphique dont l'échelle des abscisses est variable d'une étude à l'autre, d'un type de granulat à l'autre. C'est ensuite par méthode graphique dont nous inspirons que se déterminent les pourcentages des divers granulats.

Comme pour la méthode Faury le dosage en ciment déterminé par cette méthode est minimal correspondant théoriquement sur le plan granulométrique, à la compacité maximale ; ce dosage est en général nettement inférieur (150 à 200kg /m³) au dosage nécessaire ou exigé (250 à 400kg/m³ dans la plupart des cas). Une correction doit être apportée dans ce sens.

I.5.5.Méthode de Fuller-Thompson :(Kedjour, 2003)

Le principe de la méthode se base essentiellement sur la variation du pourcentage en poids des granulats utilisés selon les équations suivantes :

$$P\% = 100(d|D)^m \quad (17)$$

Où l'exposant m est voisin de 0.5, d'où la parabole de Fuller :

$$P\% = 100(d|D)^{0.5} \quad (18)$$

P : pourcentage en poids passant à travers la passoire de diamètre d en mm

Chapitre I : Analyse bibliographique

D : grosseur maximum de l'agrégat en mm

I.5.6.Méthode de Bolomey :(Kedjour, 2003)

La courbe de Bolomey tient compte de la consistance que doit présenter le béton. Elle est semblable à celle du Fuller-Thompson, et son équation est la suivant :

$$P\% = A + (100 - A)(d/D)^{0.5} \quad (19)$$

P : pourcentage en poids passant à travers la passoire de diamètre d en mm

D : grosseur maximum de l'agrégat en mm

A : est un coefficient donné selon la plasticité et la nature des agrégats (Tableau I-14)

Tableau I-14 : le coefficient A en fonction de la consistance de béton (Brahma, 1996).

Consistance du béton	Nature de granulat	
	Roulé	Concassé
Sec (béton vibré)	8 à 10	10 à 12
Plastique (béton non vibré)	10	12
Mou (béton coulé)	12 à 14	14 à 16

La méthode de Bolomey donne des bétons riches en éléments fins, assez plastique et donc maniables. Son emploi est fréquent pour les travaux routiers, et pour les bétons devant être mis en place par pompage.

I.5.7.Méthode de Vallete : (Dreux, 1979)

R. Vallete a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite cependant un certain nombre de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons minimum de sable » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

La méthode Vallet proprement dite est quelquefois utilisée avec certaines variantes. Le principe de cette méthode est basée sur :

Chapitre I : Analyse bibliographique

Dans le cas les plus courants ou partira en général de deux granulats : un sable 0/5 mm et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité avec le sable, un 16/25 mm par exemple.

On calcule d'abord le dosage de sable et ciment devant donner en principe le mortier plein à minimum de ciment, ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable par un volume égal de pâte pure 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. C'est la partie essentiellement expérimentale de la méthode et elle repose sur l'appréciation de l'opérateur sur la « convenance » du béton ; il doit donc être un praticien connaisseur en la matière. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé (en ciment). Les dosages en ciment auxquels on aboutit ainsi sont presque toujours très nettement au-dessous des dosages nécessaires pour obtenir les résistances souhaitées, la plasticité nécessaire, l'étanchéité ou autre qualités. Pour déterminer la composition du béton de dosage en ciment suffisant pour la résistance à obtenir on fixe a priori dans certains cas, ou en évalue par un volume plein mouillé de sable.

Nous nous inspirons de cette méthode de cette méthode quant à son côté expérimental, la formule de composition que nous aurons calculée devant être nécessairement testée par des essais d'études et de convenance.

Pour vallette « le meilleur béton est celui qui, une fois réalisé et mis en place avec les moyens de mise en œuvre dont on dispose, constitue un béton plein avec un minimum de grains fins »

Cette méthode donne un bon béton, d'une grande compacité, mais elle exige des matériaux très homogènes et de caractéristiques constantes.

I.6.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons mentionné toutes les informations sur les bétons, leur composition et leurs caractéristiques.

Chapitre I : Analyse bibliographique

Les principales méthodes de formulation des bétons ordinaires ont été présentées et leur démarches expliquées. Seulement trois méthodes seront choisies pour application et comparaison.

Problématique & axe de recherche

Problématique & axe de recherche

La formulation d'un béton consiste à déterminer les quantités des paramètres de composition (dosage en ciment, sable, graviers et eau). Ces quantités ont une influence directe sur les caractéristiques des bétons à l'état frais (ouvrabilité) et à l'état durci (essentiellement les résistances mécaniques).

Le choix de la méthode de formulation la plus convenable pose toujours problème aux fournisseurs de béton. Plusieurs méthodes sont disponibles dans la littérature.

Dans cette étude, une comparaison entre trois méthodes de formulation de bétons ordinaires sera faite. La première est celle de DREUX-GORISSE, c'est la plus connue et la plus utilisée par les laboratoires et les centrales de préparation de béton prêt à l'emploi (BPE). Cette méthode est purement technique, elle a l'avantage de poser au départ une valeur souhaitée de résistance à la compression à 28 jours (R_{c28}). La détermination graphique des quantités des paramètres de composition du béton à confectionner peuvent être corrigés afin d'obtenir au minimum cette résistance.

La seconde méthode est celle de FAURY fondée sur la détermination graphique des paramètres de composition en fonction du grand diamètre de granulat D_{max} . Et du dosage en ciment.

La troisième et dernière méthode sera celle de SCRAMTAIEV, la moins connue mais la plus simple d'utilisation, elle est basée sur les masses volumiques absolues des éléments de composition du béton et aussi du dosage initial de ciment.

Tous les bétons confectionnés seront de compositions quaternaires, aucun adjuvant n'a été utilisé.

Nous essayerons de répondre aux questions suivantes :

- Quelle méthode parmi les trois citées, donnera la meilleure résistance ?
- Avec les paramètres fixés initialement, quelle serait la méthode la plus simple à utiliser ?
- Quelles seront les variations des masses au cours du temps, des éprouvettes confectionnées avec les différentes méthodes ?

CHAPITRE II : Matériaux & Méthodes

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, le but est de présenter les différents matériaux utilisés pour la confection du béton ordinaire. Les matériaux utilisés pour notre plan expérimental sont présentés et identifiés. Dans cette partie aussi, certaines méthodes d'essais conformes aux normes sont détaillées. Ces expériences ont été faites en groupe **GICA W. Mostaganem**.

II.2. Matériaux

II.2.1. Le ciment :

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé (**CPJ CEM II 42.5**) de provenance du groupe GICA extraite de la cimenterie de Zahana . Ce choix a été imposé pour sa disponibilité. Le même ciment sera utilisé dans toutes les confections des bétons quelque soit la méthode utilisée.



Figure II-1 : Échantillon de ciment (CPJ CEM II 42.5).

II.2.1.1. Composition du ciment : (Norme NA 442)

Le ciment Portland composé CPJ-CEM II/A 42.5 est constitué de 80 à 94% de clinker Portland, de 6 à 20% maximum d'ajouts (calcaire pur) et de Constituants secondaires (0 à 5% sulfate de calcium comme régulateur de prise).

II.2.1.2. Caractéristiques du ciment :

Les caractéristiques physico-mécaniques de ciment utilisé sont présentées dans le Tableau II-1 suivant : avec $MVr=3.1g/cm^3$.

Tableau II-1 : Paramètres physico-chimique du ciment

Paramètres	Résultats			Norme
	Mini	Maxi	Moye	
physico-mécaniques				NA 442
S S Blaine cm ² /g	3464	4035	3702	-
Consistance (%)	25.60	27.00	26.01	-
Début de prise (mn)	148	185	165	≥60mn
Compression 02 jours (MPa)	19.62	23.54	21.32	≥10
Compression 07 jours (MPa)	35.34	41.61	38.06	-
Compression 28 jours (MPa)	42.75	49.93	45.62	≥42.5
Flexion 2 jours (MPa)	3.96	4.71	4.31	-
Flexion 7 jours (MPa)	5.37	6.27	5.91	-
Flexion 28 jours (MPa)	6.12	7.05	6.56	-
Expansion à chaud sur pate (mm)	0.38	5.00	1.72	≤10

Les caractéristiques chimiques du ciment sont données par le Tableau II. 2 ci-dessous.

Tableau II-2 : Caractéristiques chimiques du ciment.

Paramètres chimiques	Résultats			Norme
	Mini	Maxi	Moye	
Perte au feu (%)	6.20	8.98	7.73	-
CaO libre(%)	0.35	1.40	0.67	-
SiO ₂ (%)	17.04	20.14	18.00	-
Al ₂ O ₃ (%)	4.01	4.90	4.32	-
Fe ₂ O ₃ (%)	2.79	3.26	3.15	-
CaO(%)	62.10	64.14	63.06	-
MgO(%)	0.81	0.94	0.84	≤5
SO ₃ (%)	1.72	2.94	2.15	≤4
Cl ⁻ (%)			<0.01	≤0.1
Insolubles (%)	-		0.79	-

II.2.2. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour la fabrication des bétons est l'eau distribuée par le réseau de service public (potable).

Chapitre II : Matériaux & méthodes

II.2.3. Granulats :

On a utilisé quatre classes granulaires dans ce mélange de béton ordinaire qui sont : gravier 3/8, gravier 8/15, sable de carrière 0/3 et sable de mer 0/1 provenance du groupe GICA.

II.2.3.1. Gravier :

Le gravier est ramené de cette étude de la carrière FROHA wilaya de MASCARA.



Figure II-2 : Échantillon de gravier 3/8 et 8/15.

II.2.3.2. Sables : Le sable de carrière 0/3 provient de la carrière de OZMERT (W ; Mascara) et sable de mer 0/1 provient de la carrière de Achaacha. (W. Mostaganem)



Figure II-3 : Échantillon de sable 0/1 et 0/3.

II.3.Essais sur granulat :

II.3.1.Analyse granulométrique : (Norme français EN 933-1)

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat. Pour cela l'analyse consiste à séparer et classer à l'aide de tamis ces grains selon leur diamètre.

II.3.1.1.But :

- Détermination la grosseur et le pourcentage en poids de différentes formes de granulats consistants les échantillons.
- Tracer la courbe granulométrique.

II.3.1.2.Principe de l'essai :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis ou passoires reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes. Le matériau étudié en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

II.3.1.3.Matériels utilisés :

- Une série de tamis.
- Une machine à tamiser.
- Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamisât.
- Un récipient.
- Une pelle pour le remplissage.

- Une balance.



Figure II-4 : les tamis d'analyse de granulométrie.

II.3.1.4. Mode opératoire :

On prend une quantité de l'échantillon à étudier à l'étuve à 105° pendant 24h après on a lavée des fins en tamis 80 μm . on le repasse à l'étuve pendant 24h on sort le matériau que l'on verse sur le tamis disposés comme dans l'appareillage et on secoue à la main ou au vibreur de tamis il y a aura un passage selon le diamètre des tamis. On enlève chaque tamis et on pèse le refus et mesuré en faisant un cumul sur le tamis suivant.

II.3.1.5. Module de finesses :

Est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

- 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.

Le Tableau II-3 présentes les résultats de l'essai granulométrique effectué sur les graviers.

Chapitre II : Matériaux & méthodes

Tableau II-3 : Résultat analyse granulométrique du gravier 03/08.

Tamis en mm	Poids total sec (g)=1397		
	Masse refus cumulé (g)	% refus cumulé	% passant cumulé
10	0	0	100
8	0	0	100
6,3	155	11,09	88,91
5	491	35,14	64,86
4	844	60,41	39,59
3,15	1197	85,68	14,31
2,5	1304	93,34	6,66
1,25	1356	79,06	2,94
1	1358	97,20	2,8
0,063	1360	97,35	2,65
Fond Tamis	1366	97,78	2,22

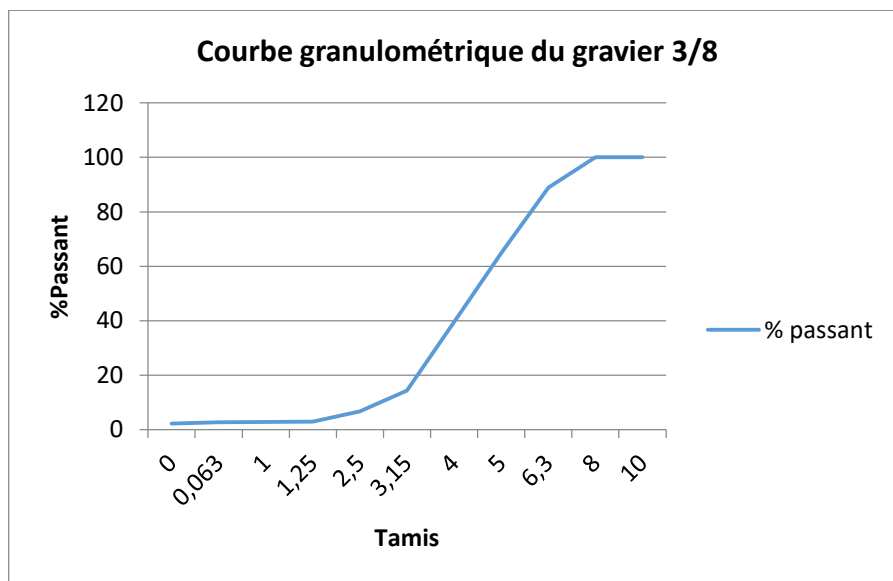


Figure II-5 : Courbe d'analyse granulométrique de gravier 3/8.

Le tableau II-4 présente les résultats de l'analyse granulométrique faite sur les graviers 8/5.

Chapitre II : Matériaux & méthodes

Tableau II-4 : Résultat analyse granulométrique du gravier 08/15.

Tamis en mm	Poids totale sec (g)=2031g		
	Masse refus cumulé en (g)	% de Refus cumulé	% Passant cumulé
20	0	0	100
16	35	1,72	98,27
14	161	7,22	92,07
12,5	406	19,99	80,00
10	986	48,54	51,45
8	1519	74,79	25,20
6,3	1931	95,08	4,92
5	1964	96,70	3,29
4	1978	97,39	2,60
0,063	1997	98,32	1,67
Fond Tamis	2002	98,57	1,42

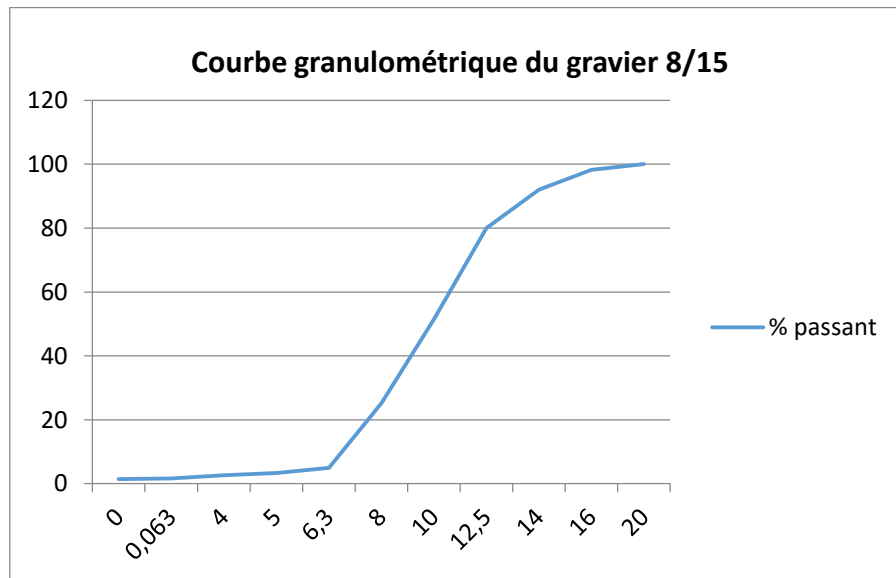


Figure II-6 : Courbe d'analyse granulométrique de gravier 08/15.

Le Tableau II-5 présente les résultats de l'essai granulométrique effectué sur le sable 0/1.

Chapitre II : Matériaux & méthodes

Tableau II-5 : Résultat analyse granulométrique de sable 0/1.

Tamis en mm	Poids totale sec (g)= 626g		
	Masse de refus cumulé (g)	% de refus cumulé	% de passant cumulé
5	0	0	100
4	0	0	100
3,15	0	0	100
2,5	4	0,63	99,36
2	4	0,63	99,36
1,25	4	0,63	99,36
1	7	1,11	98,88
0,63	7	1,11	98,88
0,5	9	1,43	98,56
0,315	37	5,91	94,08
0,25	273	43,60	56,38
0,125	606	96,80	3,19
0,063	614	98,03	1,91
Module de finesse	1,4		

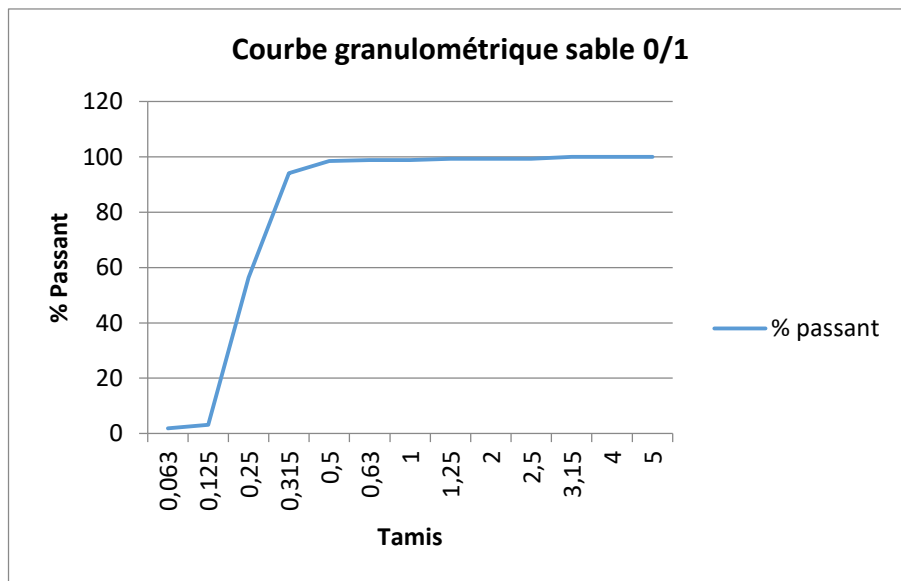


Figure II-7 : Courbe d'analyse granulométrique de sable 0/1.

Le Tableau II-6 donne les résultats de l'essai granulométrique effectué sur le sable 0/3.

Chapitre II : Matériaux & méthodes

Tableau II-6 : Résultat analyse granulométrique de sable 0/3.

Tamis en mm	Poids totale sec (g) = 911g		
	Masse de refus cumulé (g)	% de refus cumulé	% de passant cumulé
5	5	0,55	99,45
4	22	2,41	97,59
3,15	130	14,26	85,74
2,5	225	24,70	75,3
2	319	35,02	64,98
1,25	494	54,23	45,77
1	549	60,26	39,74
0,63	641	70,36	29,64
0,5	679	74,53	25,47
0,315	730	80,13	19,87
0,25	749	82,22	17,78
0,125	789	86,61	13,39
0,063	808	88,69	11,31
Module de finesse		3,4	

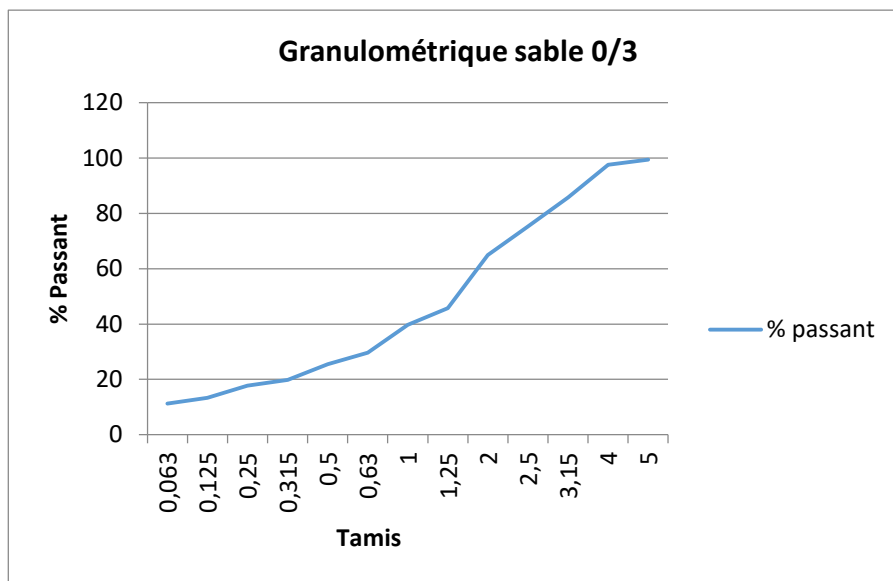


Figure II-8 : Courbe d'analyse granulométrique de sable 0/3.

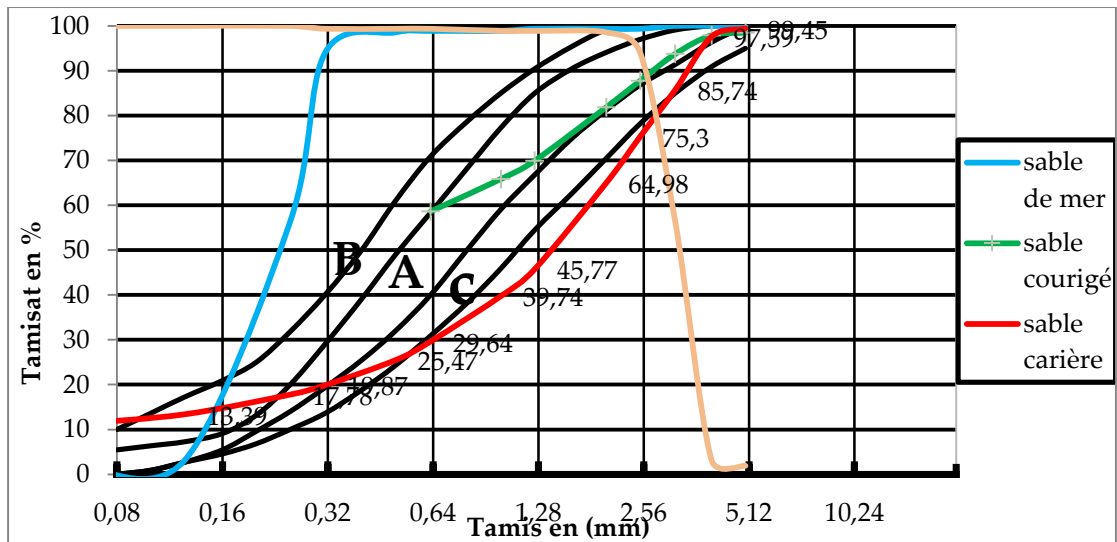


Figure II-9 : Granulométrie de sable non corrigé et le sable corrigé.

Nous remarquons que le courbe de sable de carrière n'appartient pas au fuseau privilégié pour cette raison on a effectué des corrections par le sable de mer en utilisant la méthode de module de finesse comme suit :

En utilisant la règle d'Abrams, on a utilisé un SC de module de finesse important $Mf_2=3,4$ et $Mf_1=1,4$ pour un SM. Pour but d'obtenir un mélange dont le module de finesse serait $Mf=2,6$ les proportions des deux sables composant sont les suivant :

$$SC = \frac{(Mf_1 - Mf)}{(Mf_1 - Mf_2)} = \frac{(1,4 - 2,6)}{(1,4 - 3,4)} = 0,6 = 60\%$$

$$SM = \frac{(Mf - Mf_2)}{(Mf_1 - Mf_2)} = \frac{(2,6 - 3,4)}{(1,4 - 3,4)} = 0,4 = 40\%$$

Chapitre II : Matériaux & méthodes

Tableau II-7 : Résultat analyse granulométrique de mélange de sable.

Tamis en mm	Poids totale sec (g)= 2000g		
	Masse de refus cumulé en mm	% de refus cumulé	% de passant cumulé
5	30	1,5	98,5
4	42	2,1	97,9
3,15	125	6,25	93,75
2,5	245	12,25	87,75
2	363	18,15	81,85
1,25	601	30,05	69,95
1	683	34,15	65,85
0,63	827	41,35	58,65
0,5	894	44,7	55,3
0,315	1163	58,15	41,85
0,25	1482	74,1	25,9
0,125	1804	90,2	9,8
0,063	1845	92,25	7,75
Module de finesse		2,6	

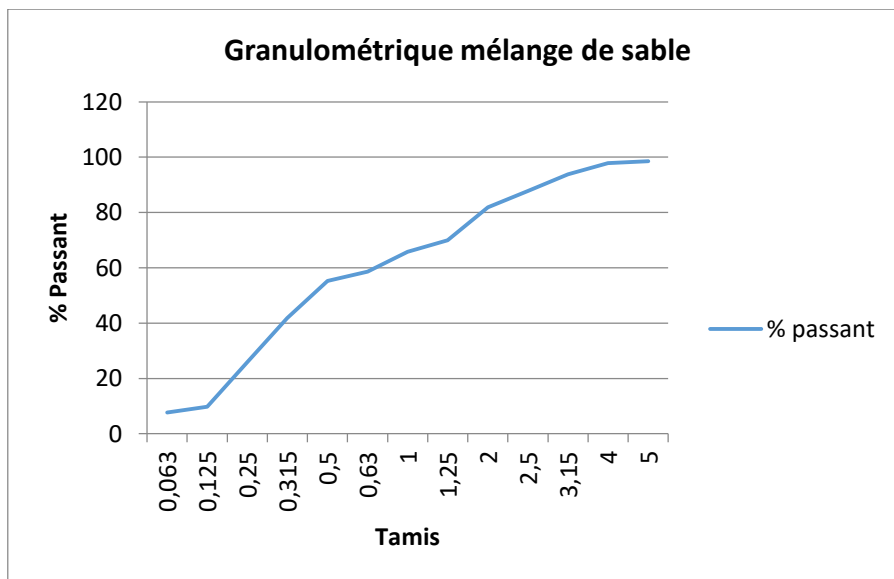


Figure II-10 : Courbe d'analyse granulométrique mélange de sable.

II.3.2. Essai d'équivalent de sable : (Norme français P18-597)

L'équivalent sable est un indicateur utilisé en géotechnique qui caractérise la propreté du sable ou du gravier. Il désigne la teneur en granulés, éléments de diamètre inférieur à 0,5 mm, d'origine argileuse, végétale ou organique à la surface du grain.

II.3.2.1. But :

L'essai d'équivalent sable mesure la propreté du sable (PS) et identifie le rapport volumique d'argile et de matériaux très fins dans le sable, ainsi que leur aptitude à être utilisés dans des structures en béton.

II.3.2.2. Principe de l'essai :

Le test consiste à verser un échantillon de sable avec une petite fraction et une petite quantité de solution de floculant dans un cylindre gradué et à le secouer pour briser les couches Argile toutes les particules de sable dans l'échantillon. Ceci est ensuite terminé en utilisant le reste de la solution de floculant pour élever les particules de granulés en suspension au-dessus du sable. Après 20 minutes, les hauteurs des produits sont mesurées. L'équivalent sable est le rapport de la hauteur de sable à la hauteur totale, exprimé en pourcentage.

II.3.2.3. Matériel utilisé :

3 éprouvettes cylindriques avec 2 traits de repère.

- un bouchon en caoutchouc s'adaptant sur les éprouvettes
- un entonnoir à large ouverture pour transvaser l'échantillon
- un piston
- un réglelet métallique gradué
- Un flacon de 5 litres muni d'un siphon (placé à 1 mètre au-dessus de la table de travail) contenant une solution lavant à base de solution concentrée (chlorure de calcium + glycérine + solution aqueuse de formaldéhyde)
- un tube laveur relié au flacon avec un robinet d'arrêt
- une machine agitatrice manuelle
- un chronomètre
- une balance, précision 1g.

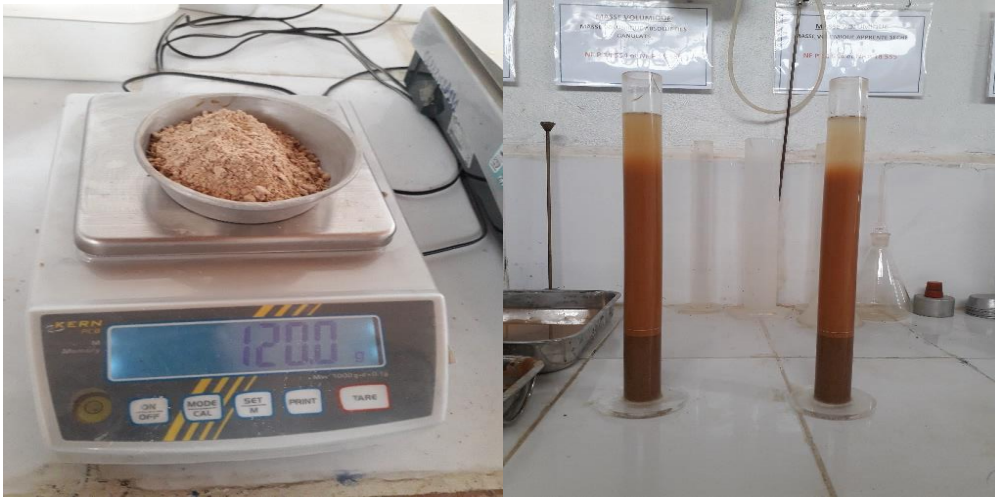


Figure II-11 : Essai d'équivalent de sable.

II.3.2.4. Mode opératoire :

Nous apportons un échantillon de sable d'un diamètre granulaire inférieur à 5 mm et d'une humidité inférieure à 2 et vérifions que la masse sèche est de 120 grammes.

Remplissez chacun des deux éprouvettes graduées d'une solution lavage, jusqu'au trait repère inférieur figurant sur l'éprouvette. Il verse une éprouvette de matériau dans chaque éprouvette à l'aide d'un entonnoir, puis laisse reposer pendant 10 min pour humidifier l'éprouvette. Après avoir fermé cette dernière, il le dispose ensuite sur une machine d'agitation et procède à l'agitation de chaque éprouvette pendant 30 secondes. Ou déplacez- le manuellement l'échantillon est déplacé 90 fois.

Le tube de lavage de l'échantillon est ensuite abaissé de manière à ce qu'il traverse les sédiments au fond du cylindre. L'échantillon est maintenu en position droite et l'opérateur sable sauvagement la solution de lavage, ce qui améliore la hauteur des fines et des éléments argileux. Tout en exposant l'échantillon à un mouvement de rotation lent, l'opérateur déplace lentement le tube de purification vers le haut.

Remplissez ensuite éprouvette l'échantillon avec la solution et laissez chaque échantillon testé pendant 20 minutes.

Après 20 minutes, la hauteur h_1 du niveau supérieur du frittage est mesurée par rapport au fond de l'échantillon gradué. Le piston est ensuite abaissé dans l'échantillon jusqu'à ce que la base se dépose sur les sédiments, ce qui permet de mesurer la hauteur h_2 .

Chapitre II : Matériaux & méthodes

II.3.2.5. Interprétation des résultats et qualité du sable :

Tableau II-8 : Résultat et qualité de sable.

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES <65%	ES <60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité.
$65\% \leq ES < 75\%$	$65\% \leq ES < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$75\% \leq ES < 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES \geq 80%	ES \geq 80%	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

⇒ L'équivalent de sable est donné par la formule suivante :

$$Es = 100 * h_2 / h_1$$

⇒ L'équivalent de sable piston est donné par la formule suivante :

$$Esp = 100 * h'_2 / h_1$$

Tableau II-9 : Résultat d'équivalent du sable 0/1.

	Éprouvette 1	Éprouvette 2
h₁	12,4	12,7
h₂	9,5	9,5
h'₂	8,7	8,9
E.S.V	76,61	74,80
E.S.P	70,16	70,07

Moyenne Es(%)= 72,91 %

Tableau II-10 : Résultat d'équivalent de sable 0/3

	Éprouvette 1	Éprouvette 2
h₁	11.0	11.6
h₂	8.5	8.5
h'₂	8.4	8.1
E.S.V	77.27	73.27
E.S.P	76.36	69.82
Moyenne ES(%) = 74.18%		

D'après les résultats qu'on a trouvé $75\% \leq ESV \leq 85\%$ et $70\% \leq ESP \leq 80\%$ selon la norme le sable utilisé est propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

II.3.3.Essai au Bleu de méthylène : (Norme EN 933-9)

Test au bleu de méthylène Le "essai au bleu" est un test utilisé en géo technologies pour déterminer la propreté des sables et granulats en général et des différentes argiles qu'ils contiennent.

II.3.3.1.But :

L'essai au bleu de methylene permet de mesurer la capacite d'adsorption ionique d'un sol et a pour but de caracteriser la fraction argileuse contenue dans ce sol ou ce granulat.

II.3.3.2.Principe de l'essai:

De méthylène permet de déterminer la propreté d'un sol et de connaître le type d'argile qu'il contient (sensibles à l'eau = gonflement). L'essai consiste à mesurer la capacité d'absorption des particules argileuses du matériau

II.3.3.3.Matériel utilisé :

- Un Burette.
- papier filtre.
- tige de verre.
- entraînement de lames, capable de contrôler des vitesses de rotation variables jusqu'à 600 tr/min avec un diamètre de 3 ou 4 lames de 75 mm.
- chronomètre, tamis à deux trous mm, bécber d'une capacité de environ. . litre à 2 litres, bécber de 1 litre.

- four ventilé.
- thermomètre.
- cuillère et séchoir.



Figure II-12 : Essai bleu méthylène.

II.3.3.4. Mode opératoire :

Préparez un échantillon de gravats d'une manière qui contient 200 grammes de sable 0/2 mm. Il est séché à 110°C, refroidi à température ambiante, puis passé à travers un tamis de 2 mm et toutes les particules retenues dans un tamis sont éliminées de 2.

Versez 500 ml d'eau distillée ou d'eau minéralisée dans la tasse et ajoutez l'échantillon séché en remuant bien à l'aide de la cuillère.

Agiter la solution à la vitesse de 600 tr/min pendant 5 min, puis agiter continuellement à 400 tr/min pendant la poursuite de l'essai.

Après chaque injection de colorant à l'aide de la burette (5ml toutes les minutes), le test à la tache consiste à prélever à l'aide de la tige de verre une goutte de la suspension et de la déposer sur le papier filtre disposé au fond du bécher. La tache qui se forme est composée d'un dépôt central de matériau, en général d'une couleur bleu foncé, entouré d'une zone humide incolore.

La valeur de bleu de méthylène, MB, exprimée en grammes de colorant par kg de fraction 0/2 mm est obtenue à l'aide de l'équation suivante ;

Chapitre II : Matériaux & méthodes

$$MB = 10. \frac{V1}{M1}$$

M1 : la msse l'échantillon.

V1 : le volume totale de solution de colorant.

Tableau II-11: Résultat d'essai bleu de méthylène de sable 0/1.

Masse sèche de la prise d'essai de la fraction granulométrique 0/1 mm (au gramme près) M1	M1=200g
Quantité totale de solution de colorant ajoutée, V1	V1=16ml
Valeur MB, exprimée en gramme de colorant par kg de grains de fraction 0/1 mm	MB=0.85%

Tableau II-12 : Résultat d'essai bleu de méthylène de sable 0/3.

Masse sèche de la prise d'essai de la fraction granulométrique 0/3 mm (au gramme près) M1	M1=200g
Quantité totale de solution de colorant ajoutée, V1	V1= 3ml
Valeur MB, exprimée en gramme de colorant par kg de grains de fraction 0/3 mm	MB=0.15%

II.3.4.Masses volumiques : (Norme français P18-555)

La densité est une caractéristique qui représente la quantité de matière (masse) dans une zone donnée (une unité de volume).

Chapitre II : Matériaux & méthodes

II.3.4.1. La masse volumique apparente (MVa) :

La masse volumique apparente ou plus précisément masse volumique apparente sans tassement, souvent appelée improprement densité apparente, est une grandeur utilisée essentiellement avec les substances se présentant sous forme de granulés, afin de rendre compte de la masse de matériau contenue dans un volume donné, comprenant le volume d'air interstitiel.



Figuer II-13 : La masse volumique apparente.

II.3.4.2. La masse volumique absolue ou réelle (MVr) :

La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, y compris les vides contenus dans les grains (volume réel).

Les résultats obtenus des essais de mesure de ces masses volumiques sont donnés dans le Tableau II-13 ci-dessous.

Tableau II-13 : Résultat d'essai de la masse volumique.

Types de granulats	Sable 0/1	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15
MVa (g/cm ³)	1,09	1,4	1,3	1,3
MVr (g/cm ³)	2,42	2,48	2,32	2,32

II.4. Formulation du béton :

Pour l'étude expérimentale de la formulation du béton, on a utilisé trois méthodes, la méthode de Dreux-Gorisse, Faury et Scramtaiev. Nous avons pris considération la fixation de dosage en ciment C= 300kg/m³, la résistance de 25MPa à 28 jours et le

Chapitre II : Matériaux & méthodes

diamètre maximale $D_{max}=15mm$ pour voir l'influence de les méthodes de composition sur la résistance à la compression.

II.4.1. La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse :

1. Détermination de résistance :

Par sécurité la résistance on doit majorée de 15% par rapport à la résistance que nous souhaitons.

$$\sigma'_{28} = 1,15f_{c28}$$

$$\sigma'_{28} = 1,15 \times 25 = 28,75MPa$$

2. Détermination de rapport C/E :

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

$$R_{c28} = G' \times \sigma'c \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$$R_{c28} = 28,75MPa$$

$$\sigma'c = 55MPa \text{ (tableau I-4)}$$

$$G' = 0,465 \text{ (tableau I-6)}$$

$$28,75 = 55 \times 0,465 \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$$\frac{C}{E} - 0,5 = \frac{28,75}{0,465 \times 55}$$

$$\frac{C}{E} = 1,62$$

$$C = 300kg/m^3$$

$$\text{Donc : } E = \frac{300}{1,62} = 185,18L$$

3. Correction sur le dosage C et E :

Correction sur le dosage de pate : 2,67% (tableau I-7)

$$E' = 185,18 \times 2,67\%$$

Chapitre II : Matériaux & méthodes

$$E' = 190,12L$$

$$\frac{C'}{E'} = 1,62 \rightarrow C' = 1,62 \times 190,12$$

$$C' = 307,99kg/m^3$$

Cette quantité est confirmée par le calcul théorique par le rapport C/E et pratiquement par l'affaissement souhaité A au cône d'ABRAMS, nous déduisons, grâce à l'abaque C/E en fonction de A , le dosage en eau correspondant



Figure II-14 : essai de cône d'Abrams

4. *Tracé de la droite de référence de et détermination de pourcentages* : est définie par son abscisse X et son ordonnée Y

$$X_A = \frac{D_{max}}{2} = \frac{15}{2} = 7,5$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{D_{max}} + K' \quad \text{Avec} \quad K' = K + K_s + K_p$$

Chapitre II : Matériaux & méthodes

D'après chapitre I on dégage :

K	Dosage de ciment 300, granulats concassé et vibration normal	+4
Ks	6Mfs-15	0,6
Kp	Le béton non pompable	0

$$K' = 4 + 0,6 + 0 = 4,6$$

$$YA = 50 - \sqrt{15} + 4,6 = 50,72$$

$$\Rightarrow \mathbf{A (7,5 ; 50,72)}$$

$$\Rightarrow \mathbf{B (Dmax ; 100\%)}$$

On dessine les points A et B et déterminer les pourcentage :

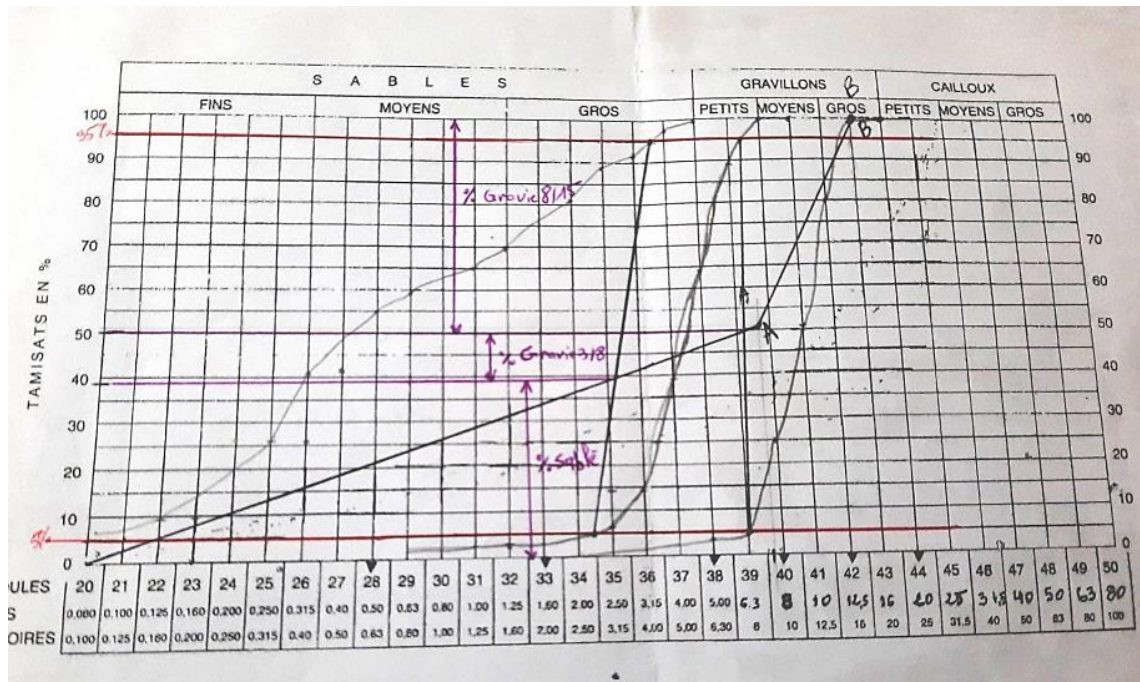


Figure II-15 : courbe granulatoire de Dreux-Gorisse.

- Sable : 39%
- Gravier 03/08 : 11%
- Gravier 08/15 : 50%

Chapitre II : Matériaux & méthodes

5. Détermination de la compacité :

$$C = C0 + C1 + C2 + C3$$

D'après le Tableau I-9 :

C0	Béton plastique avec vibration normale	0,82
C1	Sable et gravier concassé	-0,03
C2	Granulat lourds	0
C3	Dosage du ciment déficient de 350Kg/m ³	-0,01

$$C = 0,82 - 0,03 + 0 - 0,01 = 0,78$$

6. Détermination de volume et la masse :

On détermine les volumes absolus des constituants du béton :

De la relation de = on en déduit Vg et Vs en remplaçant le volume de granulats Vs+Vg par la valeur VG, alors VG=Vs+Vg.

$$VT = 1000 \times C$$

$$VT = Vc + VG = 1000 \times 0,78$$

$$VT = 780L$$

$$VG = 780 - Vc$$

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} \rightarrow V_c = \frac{m_c}{\rho_c} = \frac{309,99}{3,1} = 99,35L$$

$$VG = 780 - 99,35 = 680,65L$$

Chapitre II : Matériaux & méthodes

A : constante qui traduit la maniabilité du béton (Tableau I-10)

B = 2 (serrage moyen)

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

$$\left[0,0065 ; 1\right], \left[\frac{D}{2}; Y \frac{D_{max}}{2}\right], [D100\% ; 100\%]$$

Alors les trois points ont les coordonnées suivantes : [0,0065 ; 1], [7,5 ; 67,1], [Dmax ; 100%]

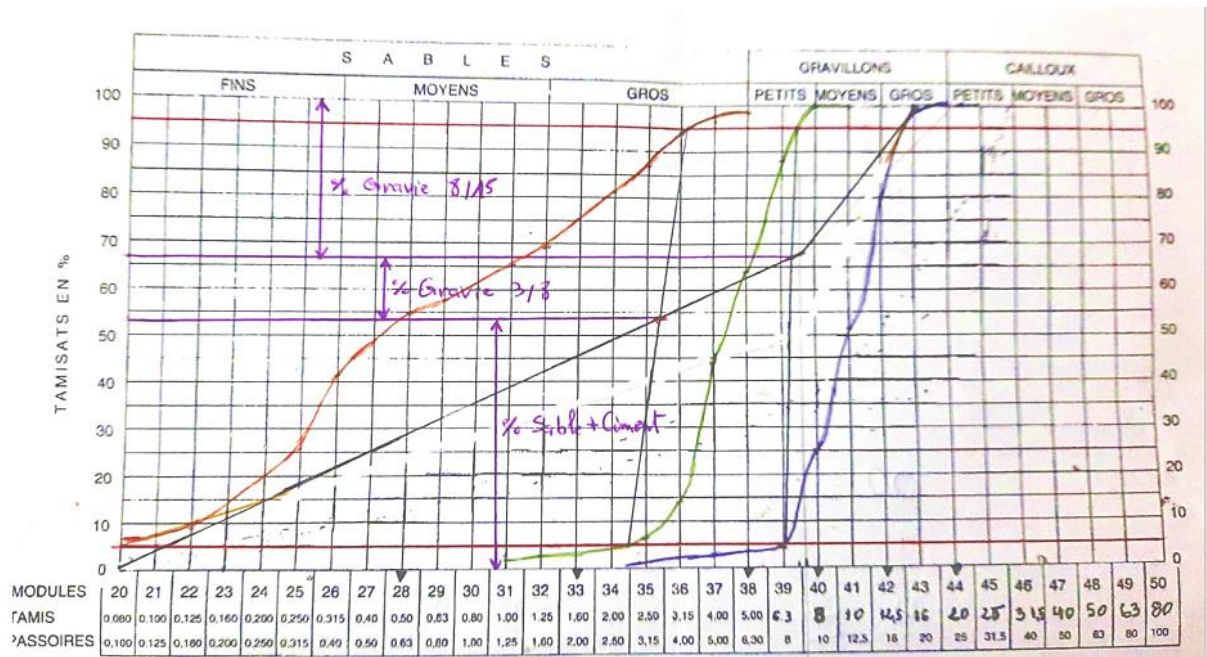


Figure II-16 : Courbe granulair de Faury

Dosage 300 kg/m³

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

$$E = \frac{0,39}{\sqrt[5]{16}} \times 1000 = \frac{0,39}{\sqrt[5]{16}} \times 1000$$

$$E = 223,9 \text{ L}$$

Chapitre II : Matériaux & méthodes

⇒ Détermination des éléments secs

Eléments secs : $1000 - E = 1000 - 223,9 = 776,1 \text{ L}$

Pour notre 1^{ère} cas on a choisi le dosage de ciment à 300 Kg /m^3 pour voir comparer avec la méthode de Dreux-Gorisse, sa densité égale à 3100 g/m^3 .

Donc le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal à : $\frac{300}{3,1} = 96,77 \text{ L}$

⇒ Les pourcentages

D'après les graphes on obtient :

- Le pourcentage de sable+ ciment 52%
- Le pourcentage de gravier (3/8) 14 %
- Le pourcentage de gravier (8/15) 34 %

Pourcentage de ciment $\frac{96,77}{776,1} = 12,46 \%$

Pourcentage de sable $52 - 12,46 = 39,54 \%$

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

Sable = $39,54\% \times 776,1 = 306,88 \text{ L}$

Gravier (3/8) = $14\% \times 776,1 = 108,66 \text{ L}$

Gravier (8/15) = $34\% \times 776,1 = 263,88 \text{ L}$

Ciment = $96,77 \text{ L}$

Eau = $223,9 \text{ L}$

Tableau II-16 : Les composante en volume et en masse (Faury)

	Volume pour 1m ³ (L)	Masse pour 1m ³ (kg)
Ciment	96,77	300
Sable 0/1	122,752	297,1
Sable 0/3	184,128	456,63
Gravie 3/8	108,66	252,09
Gravie 8/15	263,88	612,20
Eau	223.9	223.9

Tableau II-17 : les coefficients granulaires (G/S)

Les rapports granulaires	
G/S	1,14
g _{3/8} /S	0,33
g _{8/15} /S	0,81
g _{3/8} /g _{8/15}	0,41

Le rapport E/C =0.74

II.4.3.La formulation de la méthode de Scramtaiev :

Pour : un dosage en ciment de 300kg/m³.

D_{max} =15cm.

Le dosage du ciment étant une donnée, l'étape (3) est ignorée. Le reste des étapes de la formulation de Scramtaiev sont conduites mais pas dans le même ordre : (2), (1), (4) puis (5).

II.4.3.1.Détermination de la dépense en eau (2) : en fonction de la consistance (Af) du béton et du diamètre maximal des granulats D_{max}, approximativement d'après le tableau I-11.

E=192,5l/m³

II.4.3.2.Détermination du rapport C/E (1) :

$$\frac{C}{E} = \frac{300}{192,5} = 1,56 \rightarrow \frac{E}{C} = 0,64$$

$$\frac{C}{E} = 1,56 < 2,5 \rightarrow R_b = A \cdot R_c \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$$A = 0,65 \quad (\text{tableau I - 11})$$

$$R_b = 0,65 \cdot 42,5 \left(\frac{300}{192,5} - 0,5 \right) = 29,23 \text{ MPa}$$

II.4.3.3. Détermination de la dépense en gros granulats (4)

$$P_g = 1 - \frac{P_{app.G}}{P_{abs.G}} = 1 - \frac{1,30}{2,32} = 0,44$$

$\alpha = 1,38$ (tableau I.13)

$$G = \frac{1000}{\frac{P_g}{P_{app.G}\alpha + P_{abs}}} \text{ kg/m}^3 ; G = \frac{1000}{\frac{0,44}{1,30} \cdot 1,38 + \frac{1}{2,32}} = 1113,45 \text{ Kg/m}^3$$

Nous avons deux fractions granulométrique de gravier (03/08) et (08/15). Le mélange de ces fractions doit assurer la composition granulométrique admissible aux bétons. Nous avons choisis des proportions de 35 et 65%.

II.4.3.4. Détermination de la dépense en sable (5) :

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_{abs.c}} + E + \frac{G}{\rho_{abs.g}} \right) \right] \rho_{abs.s} \text{ skg/m}^3$$

$$S = \left[1000 - \left(\frac{300}{3,1} + 192,5 + \frac{1113,45}{2,32} \right) \right] \cdot 2,45 = 565,44 \text{ Kg/m}^3$$

Tableau II-18: Les composante en volume et en masse

	Volume pour 1m ³ (L)	Masse pour 1m ³ (kg)
Ciment	96,77	300
Eau	192,5	192,5
Sable 0/1	93,46	226,17
Sable 0/3	136,79	339,26
Gravier 3/8	167,97	389,71
Gravier 8/15	311,96	723,74

Tableau II-19 : Les coefficients granulaires.

Les rapports granulaires	
G/S	1,96
g _{3/8} /S	0,68
g _{8/15} /S	1,27
g _{3/8} /g _{8/15}	0,53

Le rapport E/C =0.64

II.5. Étapes de confection du béton :

Dans cette partie on explique le mode de travail de notre étude, après la détermination des quantités des composants de chaque méthode pour un mètre cube de béton, on doit transférer les quantités pour un volume d'éprouvette de 15*15*15cm³.



Figure II-17 : les moule 15*15*15 cm³.

II.5.1. Préparation de mélange :

Les bétons réalisés ont été confectionnés conformément



Figure II-18 : Malaxage des granulats secs.

Mise en place du béton dans les moules : le choix du mode de mise en place dépend de la consistance du béton mesurée par l'essai d'affaissement à la norme NF P18-451.



Figure II-19 : Essai d'étalement.

Nous avons procédé à la mise en place du béton dans le moule cubique 15*15cm en deux couches et nous accompagnons de mouvement de répartition par la table vibrante prend 10 seconds.





Figure II-20 : La mise en place du béton.

En fin, nous procédons à l'arasement de la surface supérieure de l'éprouvette à l'aide d'une règle d'arasement.

La conservation des éprouvettes avant démoulage : l'arasement terminé, les éprouvettes sont conservées, sans être déplacées pendant 24heurs ± 1 heur au sein de notre laboratoire à la température d'environ $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Conservation après démoulage : le démoulage des éprouvettes s'est effectué avec le plus grand soin pour ne pas épauférer les arrêtes.



Figure II-21 : Le démoulage des éprouvettes.

Après le démoulage, les éprouvettes ont été conservées à la même température sous l'eau.

II.5.2. La résistance à la compression :

Déterminer la résistance caractéristique du béton. Ce test est considéré comme une mesure de contrôle de la qualité de la production de béton et de la viabilité des granulats pour béton en identifiant l'effet des impuretés sur la résistance du béton. Ce test est effectué après 2, 7, 14, 21, 28 ou 90 jours.

II.5.3. La conduite d'essai :

L'essai pour la détermination de la résistance à la compression des éprouvettes, est exécuté conformément aux prescriptions de la norme NF EN12 390-3.



Figure II-22 : Machine d'essai de la compression.

II.6. Influence de la dimension des éprouvettes :

Lors d'une comparaison entre les résultats d'essais sur éprouvettes, il convient bien entendu de vérifier la nature des éprouvettes testées par les laboratoires : cylindres, cubes, moulées ou carottées...

II.6.1. Corrélations entre éprouvettes moulées :

Différentes dimensions des éprouvettes sont décrites dans les normes de référence. Les coefficients ci-dessous permettent d'établir une correspondance entre les résultats obtenus d'un type d'éprouvette vers un autre pour des essais à 28 jours. Ils sont issus de l'amendement national à la norme NF EN 206-1 et sont repris dans la norme NF EN 13369 - Règles communes pour les produits préfabriqués en béton. Ils sont également repris dans les normes EN 1168 - Produits préfabriqués en béton - Dalles alvéolées et EN 13225 - Produits Préfabriqués en béton - Éléments de structure linéaires.

Tableau II-20 : Équivalence des résistances obtenues sur cubes de 100 et cylindre Ø 113 mm et Ø 150 mm

Dimensions des éprouvettes (mm)	Résistance à la compression f_c correspondant à un cylindre de diamètre Ø160 mm
Cube 100× 100	$f_{c,cyl(\text{Ø}160)} = 0,90 \times R_{cyl(100)}$
Cylindre Ø 113 × 226	$f_{c,cyl(\text{Ø}160)} = 0,98 \times R_{cyl(113)} \rightarrow \text{si } 50\text{MPa} \leq R_{cyl(\text{Ø}113)}$

Chapitre II : Matériaux & méthodes

	$f_{c,cyl(\varnothing 160)} = R_{cyl(113)} - 1 \rightarrow \text{si } R_{cyl(113)} < 50 \text{ MPa}$
Cylindre $\varnothing 150 \times 300$	$f_{c,cyl(\varnothing 160)} = R_{cube(150)}$

Tableau II-21 : Équivalence des résistances obtenues sur cubes des 100 et cubes de 150 mm

Dimension des éprouvettes (mm)	Résistance à la compression correspondant à un cube
Cube 100 × 100	$f_{c,cub(\varnothing 150)} = 0,97 \times R_{cube(100)} \rightarrow \text{si } 50 \text{ MPa} \leq R_{cube(\varnothing 100)}$
	$f_{c,cub(\varnothing 150)} = R_{cube(100)} - 1,5 \rightarrow \text{si } R_{cube(100)} < 50 \text{ MPa}$

R : résistance de l'éprouvette testée.

Selon le règlement technique des structures et ossatures CSTBat (1997)

Tableau II-22 : Équivalence des résistances obtenues sur cylindres $\varnothing 160 \times 320$ mm et sur différentes dimensions de cubes.

Cube (mm)	Rapport résistance cylindre/cube	
	à la détensions	à 28 jours
100×100	0,83	0,90
141× 141	0,87	0,92
150 ×150	0,875	0,925
158× 158	0,88	0,93
200 ×200	0,90	0,95

II.6.2. Corrélations entre éprouvettes carottées et éprouvettes de référence :

Chapitre II : Matériaux & méthodes

Le tableau ci-après donne la relation entre les différentes dimensions d'éprouvettes carottées par rapport aux dimensions d'éprouvettes de référence $\varnothing 150 \times 300$ mm (cylindre) et 150×150 mm (cube).

Tableau II-23 : Équivalence des résistances obtenues sur carottes et cube 150mm

Carotte d'élancement 1	Diamètre de la carotte (d)	Résistance équivalente sur cube 150 x 150mm
(h=d±10mm)	$100\text{mm} \leq d \leq 150\text{mm}$	$f_{c,cub}=f_{c,carotte}$
	$50\text{mm} < d < 100\text{mm}$	$f_{c,cub}=[(0,002 \times d)+0,8] \times f_{c,carotte}$
	50mm	$f_{c,cub}=0,90 \times f_{c,carotte}$
	d < 50mm éprouvette ne pouvant être utilisée	-
Carotte d'élancement 2	Diamètre de la carotte (d)	Résistance équivalente sur cylindre $\varnothing 150 \times 300$mm
(h=2d±10mm)	$100\text{mm} \leq d \leq 150\text{mm}$	$f_{c,cylindre}=f_{c,carotte}$
	<50mm éprouvette ne pouvant être utilisée	-

Avec :

d: diamètre de la carotte (mm)

h : hauteur de la carotte (mm)

R : résistance de la carotte (mm)

En fonction des dimensions des éprouvettes utilisées, il convient de choisir une machine d'essais possédant des échelles de mesure adaptées aux résistances à mesurer.

Le tableau ci-dessous présente quelques repères sur les charges de rupture en fonction des dimensions des éprouvettes.

Chapitre II : Matériaux & méthodes

Tableau II-24 : capacité de machine d'essai recommandée en fonction de la contrainte à la rupture.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="transform: rotate(-45deg); transform-origin: left top; white-space: nowrap;">Résistance en compression</div> <div style="text-align: right;">50 MPa</div> <div style="text-align: right;">100MPa</div> <div style="text-align: right;">150MPa</div> <div style="text-align: right;">50MPa</div> <div style="text-align: right;">100MPa</div> <div style="text-align: right;">150MPa</div> </div>						
	Dimension éprouvette	Estimation charge à la rupture (KN)			Capacité machine d'essai recommandée (KN)	
Ø150× 300mm	880	1760	2650	>1500	2600	4000
Ø113 ×226mm	400	785	1180	>1000	1200	1750

Le choix de la dimension des éprouvettes conditionne simultanément le diamètre des rehausses, afin de maintenir le même mode de rupture.

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les caractéristiques des différents matériaux (gravier, sable,... etc.) Utilisés dans le béton à travers les essais in-situ que nous avons réalisé au laboratoire du groupe « GICA ».

Ensuite nous avons présenté les graphes et les tableaux ainsi que les classes granulaires et propriété de sable, ainsi que les quantités de matériaux dues pour chaque mode formulation et réalisation de béton.

Chapitre III : Résultats & discussion

III.1.Introduction :

Dans ce dernier chapitre, nous présentons les résultats obtenus sur les bétons frais (maniabilité cône d'Abrams) pour définir la classe du béton puis sur les bétons durci tels que les résultats de résistances mécaniques. Ces essais concerneront les bétons formulés par les trois méthodes choisies : Formulations par la méthode de DREUX-GORISSE, par la méthode de FAURY et enfin, par la méthode de SCRAMTAIEV.

III.2.Formulation des bétons par la méthode DREUX-GORISSE :

La formulation du béton par cette méthode a déjà été établie précédemment (démarche et calculs). Le tableau III-1 présente pour rappel, la composition du béton trouvée.

Tableau III-1 : Composante du béton selon (DREUX-GORISSE).

	Volume pour 1m ³ (L)	Masse pour 1m ³ (kg)
C	99,35	307,99
Sable 0/1	106,18	256,95
Sable 0/3	159,27	394,98
Gravier 3/8	74,87	173,69
Gravier 8/15	340,32	789,5
Eau	190.12	190.12

A l'état frais, l'essai de l'ouvrabilité au cône d'Abrams a permis de mesurer un affaissement de 150 mm. Ce qui permet de classer ce béton à la classe S3 (Béton très plastique).

Des éprouvettes cubiques de dimensions 15 x 15 x 15 cm³ ont été confectionnées, sur lesquelles en plus des mesures des pertes de masses à différentes échéances (2j, 7j, 14j et 28j) suivies des essais d'écrasement.

Les résistances à la compression ont été mesurées jusqu'à l'âge de 28 jours sur des éprouvettes cubiques (15x15x15) cm³, pour les différentes méthodes de formulation.

Dans le Tableau III-2, sont données les valeurs des résistances à la compression des bétons formulés par la méthode DREUX-GORISSE. Les valeurs affichées représentent la moyenne des valeurs mesurées sur 3 éprouvettes à la même échéance.

Chapitre III : Résultats & discussion

Tableau III-2 : Résultat des résistances à la compression (DREUX-GORISSE).

	2J	7J	14J	28J
Rc (moy)	11,21	23,37	26,38	31,37

Les variations des résistances à la compression en fonction du temps pour ces bétons sont présentées dans les figures (III-1) et (III-2) suivantes :

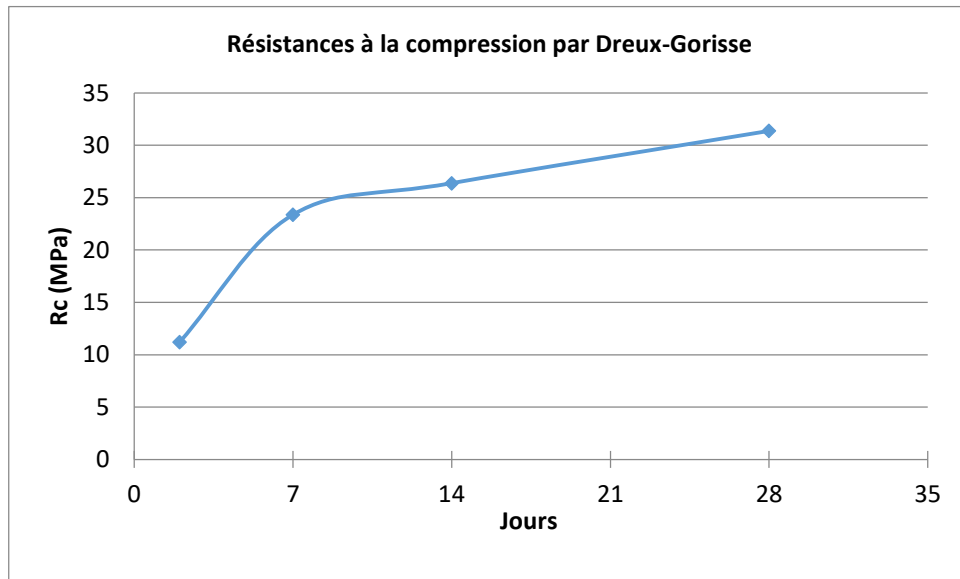


Figure III-1 : Courbe de la résistance à la compression (DREUX-GORISSE)

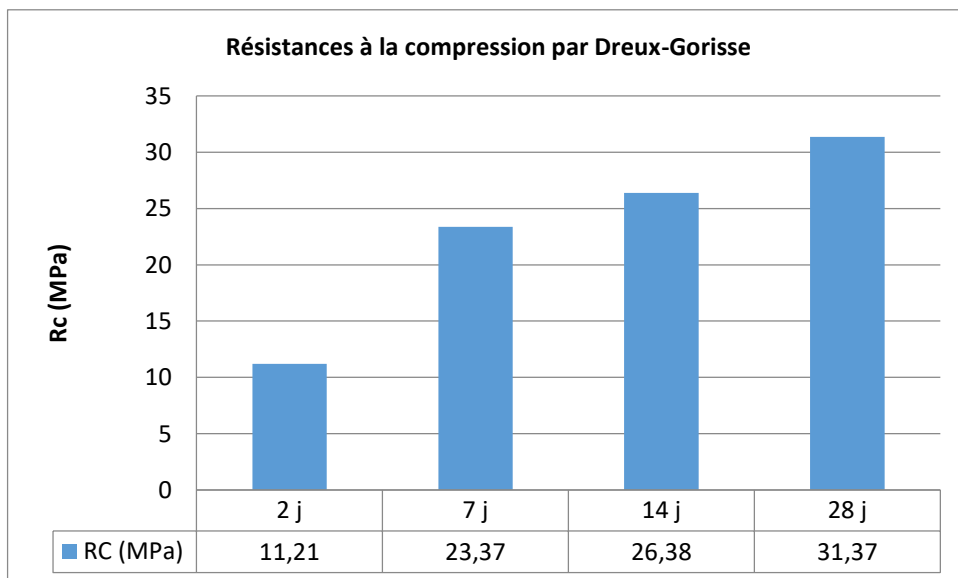


Figure III-2: Diagramme de la résistance à la compression en fonction du temps.

Chapitre III : Résultats & discussion

D'après les représentations, nous avons observé les résistances à la compression du béton augmentent en fonction du temps pour atteindre la valeur de 31,37MPa à 28jours.

La pente de la courbe entre 14 et 28 jours est croissante et assez élevée, ce qui signifie que les résistances à la compression continuent à augmenter au-delà de 28 jours.

On peut dire que cette résistance est acceptable du fait que la résistance souhaitée (posée en hypothèse lors de la formulation) était de 25MPa. Sachant que dans la méthode de Dreux-Gorisse, cette dernière est majorée par un pourcentage de 15% ce qui nous donne une résistance à la compression de 28,75MPa.

L'étude des variations des pertes de masses a été effectuée par la pesée des masses de chaque éprouvette aux mêmes échéances que les résistances à la compression. Ces pesées ont été faites juste avant de procéder aux écrasements de ces éprouvettes.

La figure ci-dessous présente les variations des masses des éprouvettes.

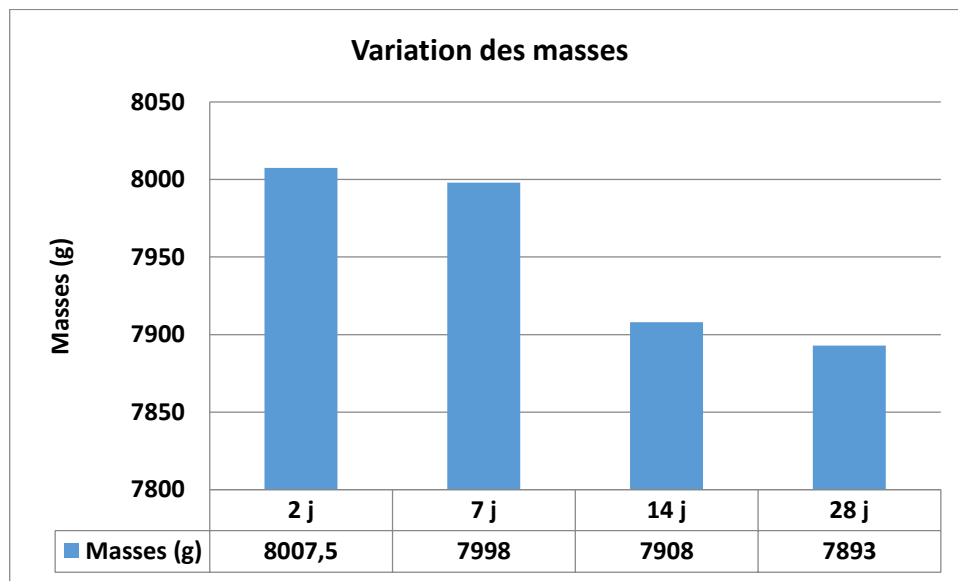


Figure III-3 : Variation des masses en fonction du temps.

A l'inverse des résistances mécaniques, les masses des éprouvettes diminuent en fonction du temps. La perte de masse totale entre 2 et 28 jours est estimée à 114g. Cette perte serait due à l'hydratation du ciment au cours du temps.

Conversion de la résistance des moules cubiques en cylindriques :

Afin de rendre les résultats des écrasements (résistances à la compression) comparables à celles des laboratoires (tels que CTC, LTPO...), On a transférer la résistance à la compression

Chapitre III : Résultats & discussion

des moules cubiques 15x15x15 cm³ en cylindriques 16x32. Les résultats sont donnés dans le Tableau II-3.

Tableau III-3 : Conversion de la résistance à la compression (DREUX-GORISSE).

	Résistance à la compression (Cubique)	Résistance à la compression (Cylindrique)
2j	11,21	9,81
7j	23,37	20,45
14j	26,38	23,08
28j	31,37	29,02

La résistance obtenue $R_c = 29,02$ MPa à 28 jours reste toujours acceptable par rapport à l'hypothèse initialement posée.

III.3. Formulation des bétons par la méthode FAURY :

L'application de la méthode de formulation de FAURY a permis d'obtenir les quantités données par le tableau ci-après.

Tableau III-4: Composante du béton selon (FAURY).

	Volume pour 1m³ (litre)	Masse pour 1m³ (kg)
Ciment	96,77	300
Sable 0/1	122,752	297,1
Sable 0 /3	184,128	456,63
Gravie 3/8	108,66	252,09
Gravie 8/15	263,88	612,20
Eau	223.9	223.9

A l'état frais, l'essai de l'ouvrabilité au cône d'Abrams a permis de mesurer un affaissement de 220 mm. Ce qui permet de classer ce béton à la classe S5 (Béton très fluide).

Les résultats des mesures des résistances à la compression sont présentés dans le Tableau III-6 suivant :

Tableau III-5: Résultats des résistances à la compression (FAURY).

	2J	7J	14J	28J
Rc (MPa)	8,1	12,27	14,1	20

Les valeurs affichées représentent la moyenne des valeurs mesurées sur 3 éprouvettes à la même échéance.

La variation des résistances à la compression en fonction du temps obtenue pour la méthode de Faury sont présenté dans la figure (III-4) suivante :

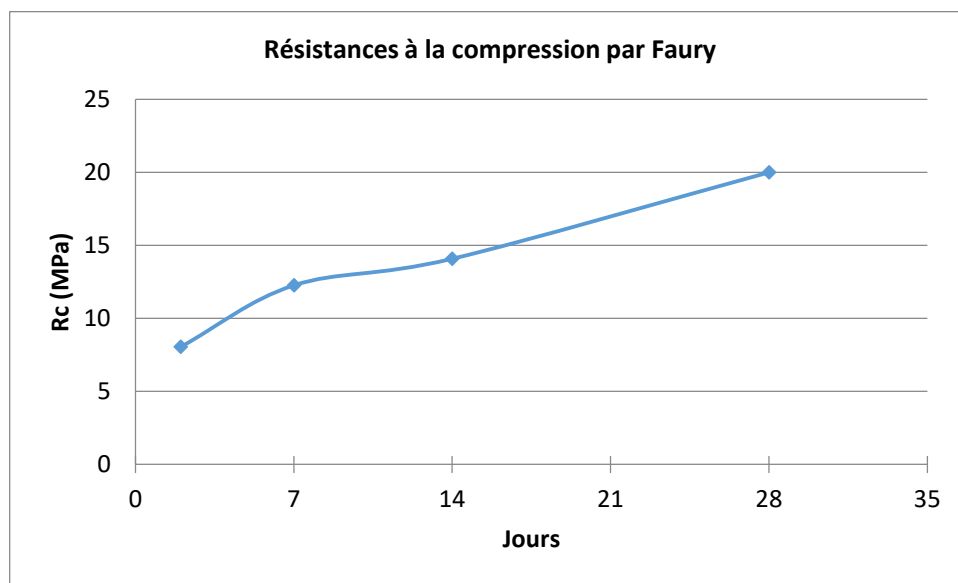


Figure III-4 : Courbe de la résistance à la compression (FAURY).

La figure montre les variations la résistance à la compression des bétons à 2, 7, 14 et 28 jours formulés par la méthode de Faury, nous avons obtenus une résistance à 28 jours de l'ordre de 20 MPa.

Toutes les résistances mesurées augmentent en fonction du temps. La pente de la courbe entre 14 et 28 jours est croissante, cela veut dire que ces résistances continuent à augmenter au-delà de 28 jours.

La figure III-5 montre la variation la compression des résistances en fonction du temps en forme d'histogramme.

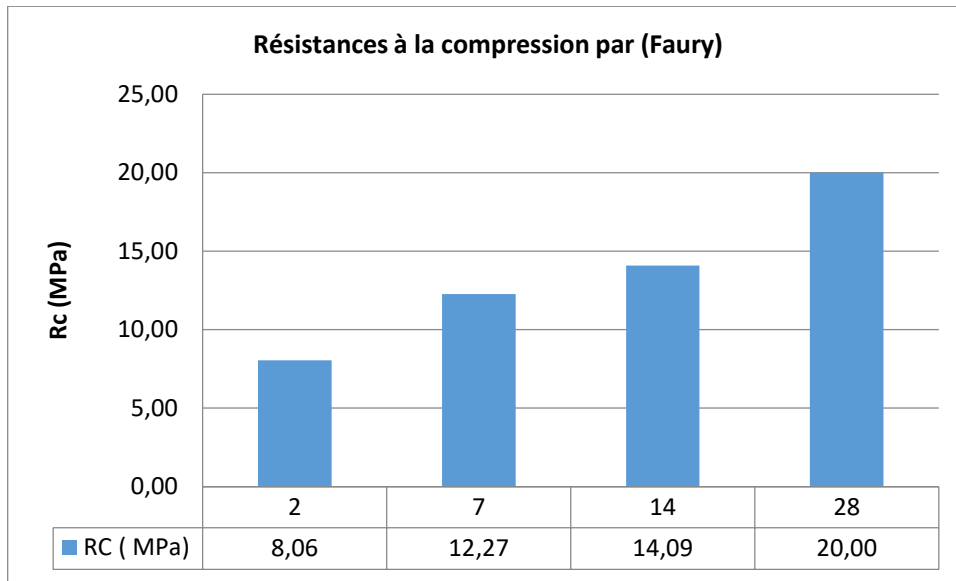


Figure III-5 : Diagramme de la résistance à la compression en fonction du temps.

Les résistances ont des valeurs étalées entre 2 et 28 jours. Les résistances obtenues par la méthode de Faury sont inférieures à celles de DREUX-GORISSE à toutes les échéances.

La variation des masses des différentes éprouvettes sont représentées par la Figure III-6 suivante :

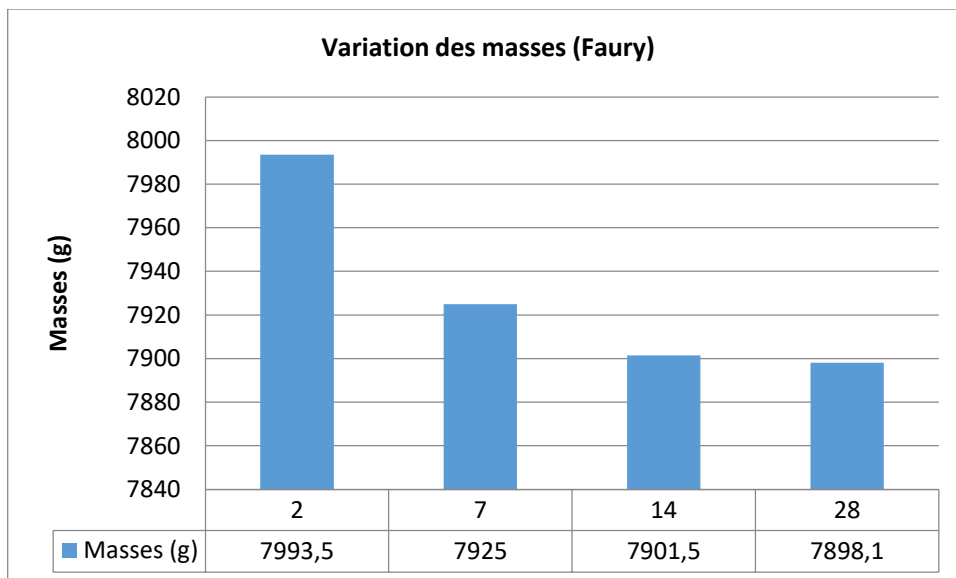


Figure III-6 : Variation des masses en fonction du temps.

Les masses des éprouvettes ont diminué au cours du temps. Cette diminution est de 95,4 g entre 2 jours et 28 jours.

Conversion de la résistance des moules cubes en cylindre :

Chapitre III : Résultats & discussion

La conversion des résistances des écrasements obtenus sur éprouvettes cubiques à celles équivalentes en moules cylindriques a permis d'obtenir les résultats affichés au Tableau III-7.

Tableau III-6 : Conversion de résistance à la compression (FAURY)

	Résistance à la compression (Cubique)	Résistance à la compression (Cylindrique)
2j	8,1	7,09
7j	12,27	10,74
14j	14,1	12,34
28j	20	18,5

Les résistances équivalentes aux moules cylindriques restent plus faibles à celles obtenues par la méthode de Dreux-Gorisse.

III.4. Formulation des bétons par la méthode SCRAMTAIEV :

Les quantités des différents paramètres de composition obtenues par la méthode de SCRAMTAIEV sont données par le Tableau III-7.

Tableau III-7 : Composante du béton selon (SCRAMTAIEV).

	Volume pour 1m ³ (litre)	Masse pour 1m ³ (kg)
Ciment	96,77	300
Eau	192,5	192,5
Sable 0/1	93,46	226,17
Sable 0/3	136,79	339,26
Gravier 3/8	167,97	389,71
Gravier 8/15	311,96	723,74

Chapitre III : Résultats & discussion

A l'état frais, l'essai de l'ouvrabilité au cône d'Abrams a permis de mesurer un affaissement de 190 mm. Ce qui permet de classer ce béton à la classe S4 (Béton fluide).

Les résultats des résistances à la compression jusqu'à 28 jours des bétons formulés par la méthode de SCRAMTAIEV sont donnés par le Tableau III-8. Les valeurs affichées représentent la moyenne des valeurs mesurées sur 3 éprouvettes à la même échéance.

Tableau III-8: Résultat des résistances à la compression(SCRAMTAIEV) .

	2J	7J	14J	28J
Rc (moy) MPa	15,86	20,97	24,81	30

Les variations des résistances à la compression en fonction du temps pour la méthode SCRAMTAIEV sont présentées dans la Figure III-7 suivante :

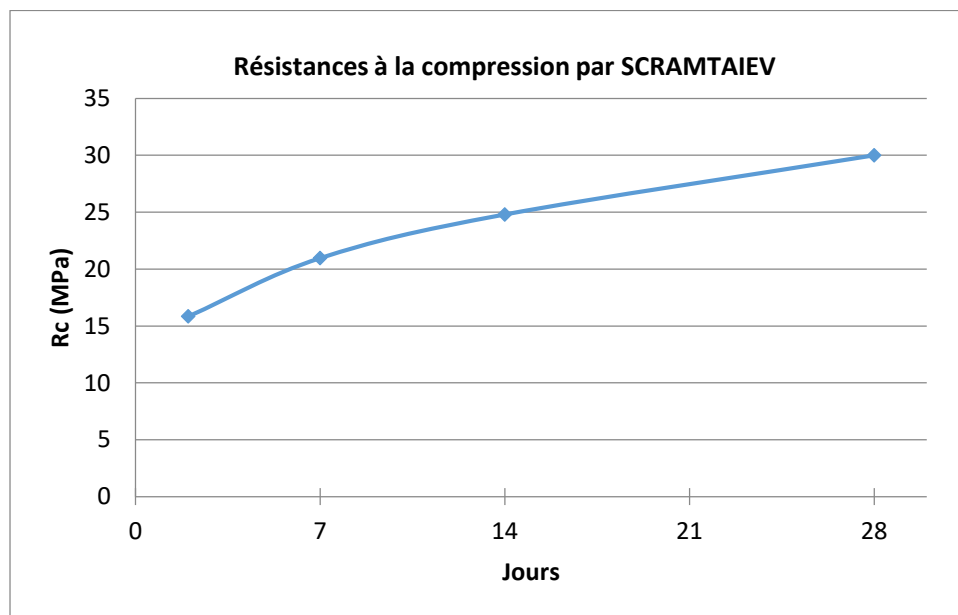


Figure III-7: Courbe de la résistance à la compression (SC RAMTAIEV)

Du tracé de cette courbe, on constate que toutes les résistances augmentent en fonction du temps, cette augmentation se poursuit jusque 28 jours la valeur de résistance à 28 jours est d'environ 30MPa.

La pente de la droite entre 14 et 28 jours n'est pas importante, cela veut dire que l'augmentation au-delà de 28 jours serait faible.

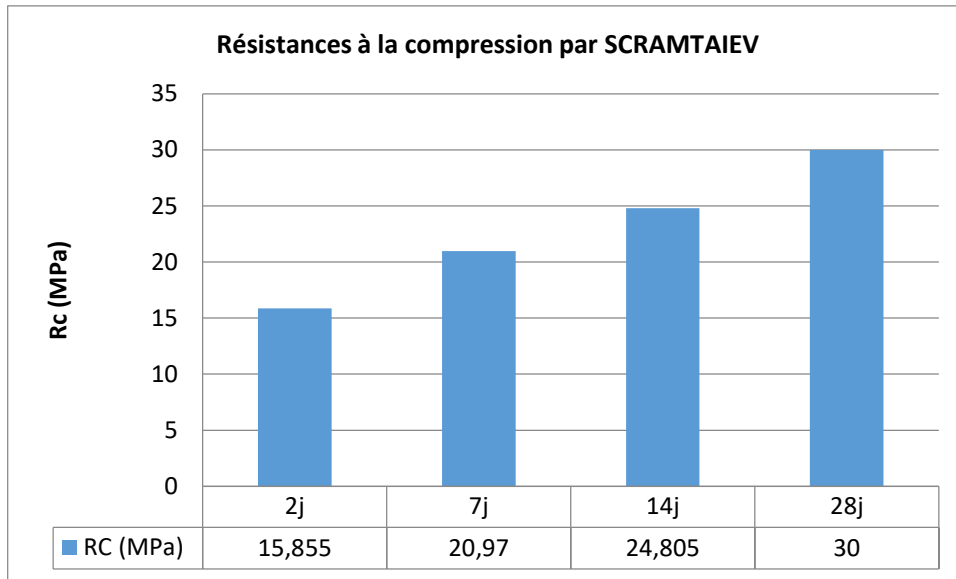


Figure III-8: Diagramme de la résistance à la compression en fonction du temps.

La variation des masses des différentes éprouvettes a aussi été mesurée pour la méthode de SCRAMTAIEV. Cette variation est représentée par la figure ci-dessous.

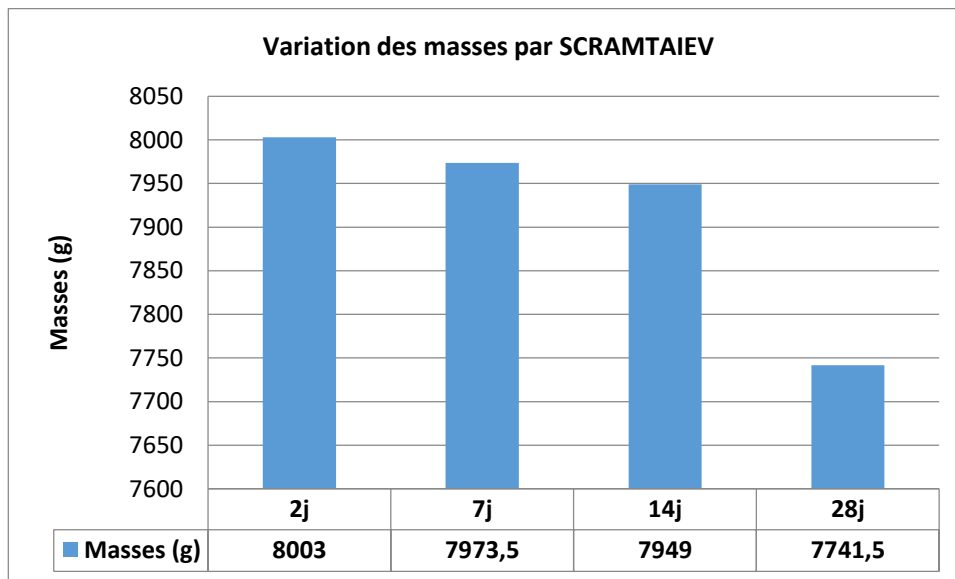


Figure III-9 : Variation des masses en fonction du temps.

Les masses des différentes éprouvettes ont diminué en fonction du temps. Entre 2 jours et 28 jours, la perte de masse totale est de 261,5 g. C'est une diminution assez importante en seulement 26 jours.

Conversion de la résistance des moules cubes en cylindre :

La conversion des résistances obtenues sur éprouvettes cubiques en résistances équivalentes sur éprouvette cylindrique est donnée par le Tableau II-9.

Tableau III-9: Conversion de la résistance à la compression (SCRAMTAIEV).

	Résistance à la compression (Cubique)	Résistance à la compression (Cylindrique)
2j	15,86	13,88
7j	20,97	18,35
14j	24,81	21,71
28j	30	27,75

La valeur de la résistance équivalente (cylindre) de 27,75 MPa reste assez acceptable.

III.5. Comparaison entre les résultats des trois méthodes :

Afin de donner plus d'informations sur les méthodes illustrées, une comparaison a été faite sur les résultats obtenus.

Les résultats des essais de l'ouvrabilité effectués sur les trois bétons sont représentés dans la Figure III-10 ci-dessous.

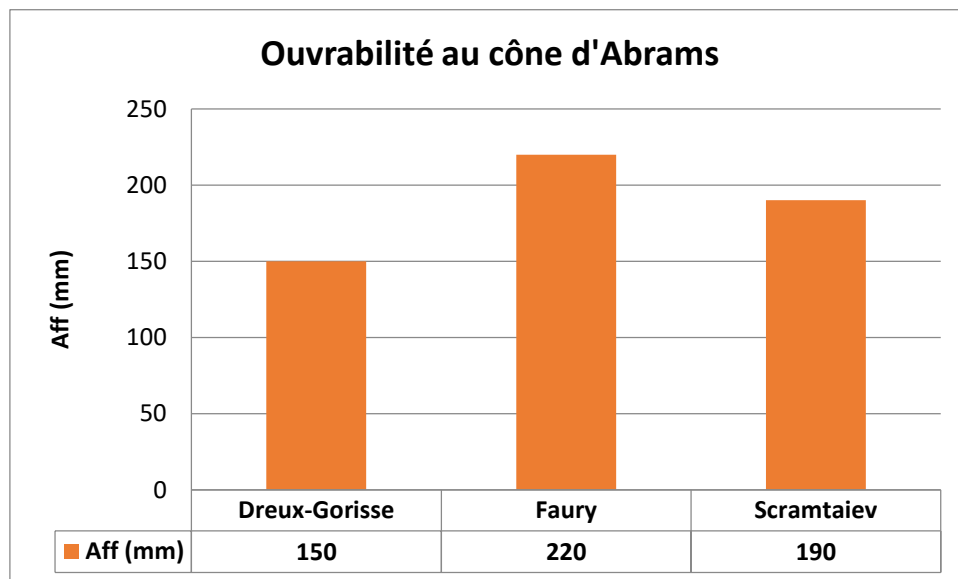


Figure III- 10 : Ouvrabilité des trois bétons

Chapitre III : Résultats & discussion

Les trois bétons formulés différemment ont donné des bétons d'ouvrabilités différentes. Le béton formulé par la méthode de Faury est le plus fluide.

Le Tableau II-10 présente les compositions des bétons obtenus par les trois méthodes étudiées.

Tableau II-10: Composition de trois méthodes de formulation

	DREUX-GORISSE	FAURY	SCRAMTAIEV
Ciment (Kg)	307,99	300	300
Eau (litre)	190,12	223,9	192,5
Sable 0/1 (Kg)	256,95	297,1	226,17
Sable 0/3 (Kg)	394,98	456,63	339,26
Gravier 3/8 (Kg)	173,69	252,09	389,71
Gravier 8/15 (Kg)	789,5	612,20	723,74

Les résistances mesurées sur les éprouvettes cubiques de bétons formulés par les trois méthodes sont données par le tableau suivant :

Tableau III-11 : les résistances à la compression de trois méthodes.

	2j	7j	14j	28j
DREUX-GORISSE	11,21	23,37	26,38	31,37
FAURY	8,055	12,265	14,085	20
SCRAMTAIEV	15,855	20,97	24,805	30

On a réalisé la courbe des variations des résistances des trois les méthodes. Ces variations sont présentées dans la courbe ci-dessous.

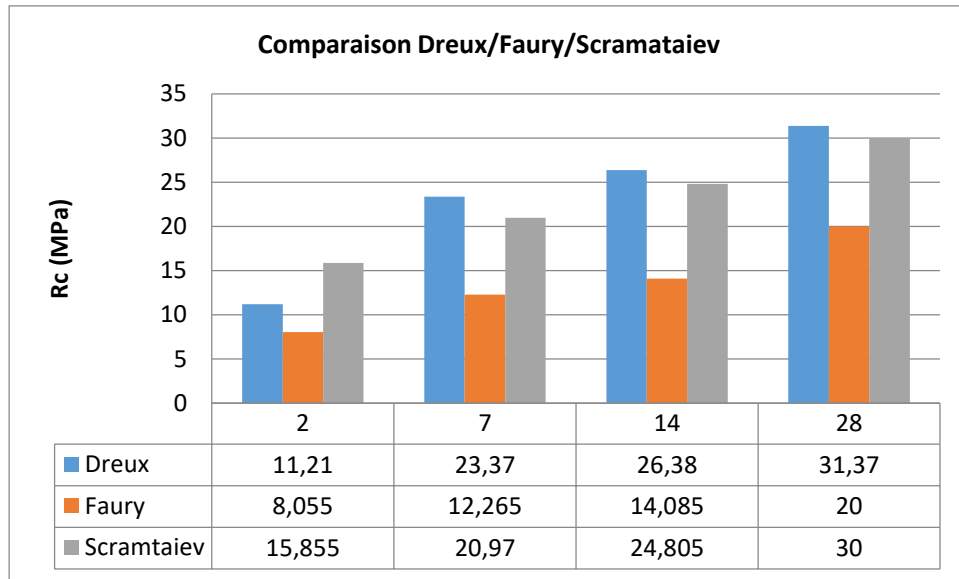


Figure III-11: Diagramme des résistances à la compression en fonction du temps de différente formulation.

La figure III-11 représente la résistance à la compression des bétons réalisés par les trois méthodes des formulations à savoir la méthode de Dreux-Gorisse, Faury et Scramtaiev, avec différents coefficients granulaires, où nous remarquons que la meilleure résistance à la compression du béton est obtenue par la formulation de la méthode de Dreux-Gorisse avec un. Ce résultat est de l'ordre de 31,37 MPa dépassant résistance de 30 MPa du béton formulé par la méthode de Scramtaiev avec un coefficient 1,96 par la suite une résistance de l'ordre de 20 MPa du béton formulé par la méthode de Faury avec un coefficient de 1,14.

III.6.Conclusion :

Ce chapitre contient tous les résultats expérimentaux sur les méthodes sur les trois méthodes de formulation du béton Pour voir si les méthodes de formulation Affectent la résistance à la compression du béton. Les résultats trouvée il y a pas un grande différent entre les résultats de Dreux-Gorisse et Scramtaiev mais la méthode de Faury est faible par rapport les autre.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans cette étude, une comparaison entre trois méthodes de formulation de bétons ordinaires a été faite. La première est celle de DREUX-GORISSE, c'est la plus connue et la plus utilisée par les laboratoires et les centrales de préparation de béton prêt à l'emploi (BPER). Cette méthode est purement technique, elle a l'avantage de poser au départ une valeur souhaitée de résistance à la compression à 28 jours (R_{c28}). La détermination graphique des quantités des paramètres de composition du béton à confectionner sont corrigés afin d'obtenir au minimum cette résistance. Les résultats ont montré qu'on peut obtenir une résistance expérimentale [$R_{c28} = 31,37 \text{ MPa}$] *expérimentale* > ($R_{c28} = 25 \text{ MPa}$) *posée*].

La seconde méthode est celle de FAURY fondée sur la détermination graphique des paramètres de composition en fonction du grand diamètre de granulat D_{max} . Cette méthode, même scientifique a donné une résistance $R_{c28} = 28 \text{ MPa}$, satisfaisante mais faible compte tenu du dosage de 300 Kg/m^3 du ciment utilisé.

La troisième et dernière méthode étudiée est celle de SCRAMTAIEV, la moins connue mais la plus simple d'utilisation, elle basée sur les masses volumiques absolues des éléments de composition du béton. Elle a donnée une résistance expérimentale $R_{c28} = 30 \text{ MPa}$ pour un dosage de 300 Kg/m^3 .

Tous les bétons confectionnés sont de compositions quaternaires, aucun adjuvant n'a été utilisé.

La méthode de SCRAMTAIEV plus simple, a permis d'obtenir une résistance à compression à 28 jours équivalente à celle de DREUX-GORISSE.

L'étude comparative entre les trois méthodes a permis de se familiariser avec des essais expérimentaux différents de confection de bétons.

Toutes les résistances mesurées dépendent du dosage en ciment, de la qualité des granulats (masses volumiques absolues) et du rapport Eau/Ciment.

Les pertes de masses après 28 jours d'âge sont de 114 g, 95,4 g et 261,5 g respectivement pour les bétons formulés par la première, la seconde et la troisième méthode de formulation. Ces variations de masses peuvent aboutir à des variations de volumes à l'état durci et donc à des retraites et fissuration des bétons. Les bétons formulés par la méthode de SCRAMTAIEV ont donné une perte de masse très élevée

Conclusion générale

par rapport aux deux autres méthodes. Ceux formulés par la méthode de FAURY ont la perte de masse la plus faible.

A la fin de cette étude, nous offrons au fabricant de bétons le choix d'utiliser une méthode par rapport à l'autre. Tout dépend de la résistance à obtenir ou du retrait à éviter.

Comme recommandations, nous proposons :

- Reprendre les mêmes compositions des différents bétons des trois méthodes et optimiser par des corrections expérimentales, les paramètres de composition pour essayer d'obtenir des résistances plus élevées.
- Utiliser d'autres méthodes (celles citées au Chapitre I) pour le même dosage en ciment et procéder à des comparaisons.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

(Ashby et Jones, 1991) : ASHBY M.F, JONES D.R.H, « Matériaux.2 », Dunod, édition 1991.

B

(Benamarane, 2017) : BENAMRANE Dounia Zed mémoire d'université d'Ouargla
(Anne, 2017) : Anne 2017. «L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton ».

(Brahma, 1996) : BRAHMA. A. : « le béton » université de Blida instituant de génie civil.

D

(De Larrard, 2000) : De Larrard 2000. Structures granulaires et formulation des bétons, traduit de l'anglais par LECOMTE A, études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées, Paris.

(Demri et Kerrafi, 2018) : DEMRI M. et M.KERRAFI, Mémoire de Master, université Adrar Anne 2018. «Étude comparative des compositions de béton selon les méthode de Dreux-Gorisse et Faury »

(Dreux et Festa, 1998) : DREUX.G et FESTA.J.1998. Livre « Nouveaux guide du béton et de ses constituants».

(Dupain et Saint-Arromain, 2009) : DUPAINR., J.C.SAINT-ARROMAIN, 2009. Livre « Granulat, sols, ciments et bétons». 2ème édition

(Dupain et al., 2000) : DUPAINR., R. LANCHON et J.C,SAINT-ARROMAIN, 1995.Granulats, sols, ciments et bétons, Ed Educavivres, Paris.Dupain, 2000.

G

(Dreux, 1995) : GEORGES DREUX Edition 1995. «Nouveau guide de béton composants et propriétés, composition et dosage, fabrication, transport et mis en œuvre »

(Dreux, 1979) : GEORGES DREUX « nouveau guide du béton »édition 1979.

Références bibliographiques

(Bernier, 2004) : GÉRARD BERNIER « formulation de béton » maitre de conférences à l'école nationale supérieure de Cachan.

K

(Kedjour, 2003) : KEDJOUR NESR EDDIN. Cours "le laboratoire du béton, édition 2003.

L

(Lanchon, 1978) : LANCHON R. : Formulation continue déforces paris 1978. «cours de laboratoire 2, granulats, bétons, sols »

N

(Nacéri, 2004) : (NACRI A., article 04 Algérie équipement janvier 2004 page 13.

Norme NA 442 Ciments : « Composition, spécification et critères de conformité des ciments courants ».

Norme français P18-597 « équivalent de sable »

Norme français EN 933-1 « Analyse granulométrique »

Norme français EN12 390-3 « résistance à la compression, caractéristique des machine d'essai »

Norme français P18-451 «essai Affaissement »

Norme français P18-555 «masse volumique »

Norme EN 933-9 « bleu méthylène »

S

(Site : Futur science) : Site internet : Future science «Définition | Ciment - Liant hydraulique - Ciment Portland | Futura Sciences (futura-sciences.com) »

(Site guide béton) : Site internet : Guide béton «Résistances du béton - GuideBeton.com (googleweblight.com) »

(Site info ciment) : Site internet : Info ciments« Adjuvant pour béton - Bétons adjuvantés | Infociments »

Références bibliographiques

(Site Maçonnerie bilp) : Site internet : Maçonnerie bilp «Le béton ordinaire - Le guide de la Maçonnerie (bilp.fr) »

(Site Pave béton) : Site internet : Pave béton.fr « Tout savoir sur les Classes de résistance du béton. - PaveBéton (googleweblight.com) »

(Site Planète TP) : (Site internet : Planète TP « Formulation et propriétés du béton - Planète TP (googleweblight.com) »

(Site tout sur le béton) : (Site internet : Tout sur le béton « Le ciment : composition et fabrication – Tout sur le béton (toutsurlebeton.fr) »