

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'el oued

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et Génie Civil



MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en génie civil

Option : Matériaux en Génie Civil

Présenté par :

GADI Abdel Kader

MEGA Haider Ali

BACI Mohammed Ali

NECIB Djaber

ETUDE COMPARATIVE DES DIFFÉRENTS MÉTHODES DE FORMULATION DE BÉTON

Examiné par

Dr . BEDADI Laid

Dr . KHELAIFA Ahmed

Dr .LOGBI Abdelaziz

chef de jury

examineur

encadreur

maitre assistant division B

maitre contractuel

maitre de conférence division A

Promotion : Juin 2022

الإهداء

اهدي هذا العمل المتواضع إلى روح أبي الطاهرة
إلى أمي الغالية
إلى الزوجة الكريمة و أبنائي قاسم و سوار
إلى إخواني و أخواتي
إلى جميع عمال

LTPS

إلى جميع من ساهم في هذا العمل

عبد القادر

الإهداء

اهدي هذا العمل المتواضع إلى قدوتي في الحياة نبي الله و
رسوله و روح أبي الطاهرة
إلى أُمي الغالية
إلى الزوجة الكريمة و أبنائي
إلى إخواني و أخواتي
إلى جميع من ساهم في هذا العمل

حيدر علي

الإهداء

اهدي هذا العمل المتواضع إلى الوالدين العزيزين
إلى الزوجة الكريمة و أبنائي
إلى إخواني و أخواتي
إلى جميع من ساهم في هذا العمل

م ح م د على

الإهداء

اهدي هذا العمل المتواضع إلى الوالدين
لعزيزين
إلى الزوجة الكريمة و أبنائي
إلى إخواني و أخواتي
إلى جميع من ساهم في هذا العمل

جابر

SOMMAIRE

Remerciements.....	I
Résumé	II
Liste des figures	III
Liste des tableaux	V
Liste des photos.....	IV
Introduction générale	1

Chapitre I Etude bibliographique

I.1 Introduction.....	2
I-2- Historique	2
I.3. Les constituants d'un béton ordinaire.....	4
I-3-2- Les classes des béton	4
I-3-2-1- Le béton hydraulique	4
1- Les liants hydrauliques	4
2- Compositions du béton hydraulique.....	5
2-1- Ciment	5
2-1-1-Les principales catégories de ciment	5
2-1-2- Classification des ciment en fonction de leur composition.....	5
2-1-3- Classification des ciment en fonction de leur résistance normale	5
2-1-4- Les grands types des ciment.....	5
2-2-Granulats	7
2-2-1-Différents types de caractéristiques de granulats	8
2-2-1-1-Caractéristique intrinsèques	8
a)- Analyse granulométrique :(NF P 18-560).....	8
b)- Module de finesse :(NFP 18-541).....	8
c)- Masse volumique absolue.....	9
d)- Masse volumique apparente	9
e)- Propreté de sable (Equivalent De sable NF P 18-598).....	9
f)- Essai au bleu de méthylène (NF P 18-592).....	9
g)- Essai LOS ANGELES (Résistance au choc NF P 18-573).....	9
h)- Essai MICRO-DEVAL (Résistance à l'usure NF P 18-572)	9

2-2-1-2- Caractéristiques de fabrication	10
3- Eau de gâchage	10
1- Caractéristiques physiques de l'eau de gâchage	10
4- Les adjuvants	11
I-3-2-2- Quelque type de béton hydraulique	12
I-3-2-3- Les béton hydrocarbonés	15
1- Les liants hydrocarbonés.....	16
2- Type des bétons hydrocarbonés.....	16
3- Les caractéristiques des béton	16
3-1-Résistance mécanique	16
I-4- Influence du dosage en eau et du dosage en ciment (E/C)	17
I-4-1- Influence de la granularité.....	18
I-4-2-Dimension maximale des granulats D	19
I-4-3- Maniabilité	19
I-4- 4-La compacité	20
I-4-5- La porosité	20
I-4-6-L'ouvrabilité.....	20
I-4-7 Conclusion.....	21

Chapitre II

Méthodes de formulation du béton.

II- 1- Introduction	22
II- 2- Méthode de FULLER – THOMPSON	22
II- 3- Méthode de BOLOMEY	22
II- 4- Méthode D'ABRAMS	23
II- 5 - Méthode de CAQUOT	25
II- 6 - Méthode de FAURY	26
II- 7- Méthode de DREUX.....	28
II- 8 - Méthode de DREUX _ GORRISE	31
II- 9- Méthode de JOISEL	38
II- 10 - Méthode de VALETTE.....	39
II- 11- Méthode de FERRET.....	40
II- 12- Méthode BARON et OLLIVIER.....	41
II- 13- Méthode de FULLER	41
II- 14- Méthode de LARRADE.....	42

II- 15- Méthode K CHOUICHA	43
II- 16- Méthode américaine (ACI 211).....	43
II- 17- Méthode britannique(BRE 1988)	44
II- 18- Méthode de BARON et LESAGE	45
II- 19- Méthode BARON – OLLIVIRER.....	46
II- 20- Méthode de Seramtaïev.....	49
II- 21- Méthode structurale	49
II- 22- Méthode de LEZY	50
II- 23- Méthode de F.LARRAD	51
II- 24- Méthode de CHOUICHA.....	53
II- 26- Conclusion	54

Chapitre III

Etude comparative des formulations des bétons

III -1- Introduction.....	55
III-2- Matériaux utilisés	56
III -2- 1- Ciment	56
III --.2.1.1. Essai de consistance (NF EN 196-3)	56
1- Matériel utilisé.....	56
2- Méthode utilisé	57
Essai de prise (Norme EN 196-3).....	58
1- Matériel utilisé	58
2- Méthode utilisé.....	59
La masse volumique absolue (EN 196-60).....	59
1- Matériel utilisé	59
2- Méthode utilisé.....	59
III – 3 - L' eau de gâchage	60
III - 4 - Les granulats	60
1- Le gravier.....	60
2 - Le sable	60
III - 4- 1- Identification des granulats	60
III - 4- 2- Essais sur granulats	61
III- 4- 2-1-Analyse granulométrique.....	61
1- But de l'analyse granulométrique	61
2- Principes de l'essai	61

3- Matériels utilisés	61
4- Dimensions des tamis utilisés	62
5- Méthode utilisé.....	63
III- 4- 3- 2- Caractéristiques physiques des granulats	65
III- 4- 3- 2- 1- Masses volumiques	65
4-3- 2- 1- 1. Masse volumique apparente	65
1- Principe de l'essai.....	65
2- Matériels utilisés	65
3- Méthode utilisé.....	66
4- 3- 2 -1- 2- Masse volumique absolue	66
1- Principe de l'essai.....	66
2- Matériels utilisés	67
3- Méthode utilisé.....	67
III – 4- 3- 2- 3- Equivalent de sable "ES"	68
1- Principe de l'essai.....	68
2- Matériels utilisés	68
3-Matériaux.....	70
4- Méthode utilisé.....	70
5- Interprétation des résultats.....	71
III- 4- 3- 3- Formulation de béton	72
1- La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse.....	72
2- La formulation de la méthode de Faury.....	76
III- 4-3-3-1- Formulation avec l'optimisation des proportions du squelette granulaire :	
G/S=1.7... ..	79
1- La méthode de formulation de Dreux- Gorisse.....	80
2- La méthode de formulation de Faury	80
III- 4-3 4- l'essai de béton.....	81
1- Préparation.....	81
2- La résistance à la compression.....	82
4-3-5-La conduite de l'essai.....	82
1-La mise en place et centrage de l'éprouvette	83
4-3-6- Formulation du béton par la méthode de Faury.....	84
4-3-7- Formulation du béton par la méthode de Dreux-Gorisse	84
4- 3-6-Conclusion.....	87

Conclusion générale	88
---------------------------	----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau(I.1). : mode de serrage en fonction de la consistance de béton.....	20
Taleau II.1 : coefficient de A.....	23
Tableau II.2 Valeurs optimales d'après ABRAMS	24
Tableau(II.3). coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats Dmax	33
Tableau(II.4). : Compacité du béton en fonction de Dmax , de laconsistance et du serrage...	37
Tableau III.1 :Essai de consistance.....	57
Tableau III.2 : Résultats des essais effectués sur la pâte de ciment.....	60
Tableau III.3 : L'analyse granulométrique de sable	64
Tableau III.4: Analyse granulométrique du gravier de classe 8/15... ..	64
Tableau III.5: Analyse granulométrique du gravier de la classe 3/8... ..	65
Tableau III.6 : les masses volumique apparente des graviers	66
Tableau III.7 : les masses volumique absolue des graviers.....	68
Tableau III.8 : résultats d'équivalent de sable.....	71
Tableau III-9:Le volume des composants en (dm ³)	76
Tableau III-10: les composants en masse(Kg)	76
Tableau III-11: les coefficients granulaires.....	76
Tableau III-12 : les composants en volume (dm ³)	79
Tableau III-13 : Les composants en masse (Kg)	79
Tableau III-14 : les coefficients granulaires.....	79
Tableau III-15: le composant en masse (G /S=1.7).....	80
Tableau III-16 : les coefficients granulaires.....	80
Tableau III-17 : les composant en masse (G /S=1.7).....	80
Tableau III-18: les coefficients granulaires.....	81
Tableau III -19: Résultats de la résistance à la compression (Méthode de Faury avec G/S=1.7)	84
Tableau III-20 : Résultats de la résistance à la compression (Méthode de Dreux – gorisseavec G/S=1.7).....	85

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire	4
Figure I 2 : la relation entre (C/E) et la résistance à la compressions(f_c) d'après la formule de BOLOMEY.....	17
Figure I 3 : variation de la résistances en compression à 28 jour en fonction du rapport G/S	19
Figure II 1 : ajustement des données selon la formule d' ABRAMS	25
Figure II 2 : courbe de référence de FARUY	28
Figure II 3 :courbe granulaire idéale , selon DREUX	29
Figure II 4 : de DREUX.....	31
Figure II 5 : Abaque permettant la détermination de copté, Détermination de A... ..	33
Figure II 6 : courbe optimale type selon la méthodeDREUX - GORISSE.....	35
Figure II 7 : Détermination des pourcentages en volumes absolus matériau	36
Figure II 8 : courbe optimale de JOISEL.....	39
Figure II 9 : courbe optimale de FULLER.....	42
Figure II 10 : courbe optimale de BRAON - LESAGE	45
Figure II 11 : variation de K en fonction de la compacité	52
Figure II 12 : compacité en fonction des concentration en fins (R_1) suivant les différents et compacité expérimentale ; valeurs pratiques de l'ndice de serrage.....	53
Figure. III.1 : Appareil de Vicat muni de sa sonde de consistance	57
Figure. III.2 : Essai de prise	58
Figure III.3 : Courbe granulaire de Dreux-Gorisse	74
Figure III.4: La courbe granulaire de FUARY	77
Figure III.5: Résistance à la compression du béton (méthode de Faury avec un coefficient $G/S = 1.7$) en fonction d'âge.....	85
Figure III.6: Résistance à la compression (méthode de Dreux-Gorisse avec un coefficient $G/S = 1.7$) en fonction d'âge	86
Figure III.7: Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse et méthode de Faury) avec le même G/S en fonction d'âge	86

LISTE DES PHOTOS

Photo III.1 : Tamiseuse vibrante	62
Photo III.2 : Mesure de la masse volumique absolue	67
Photo III.3 : Matériels utilisés pour l'essai d'équivalent de sable	69

Photo III- 4 : essai d'équivalent de sable.....	71
Photo III – 5 : Essai de cône d'ABRAMS	73
Photo III.6: Moule cubique 10×10×10 cm ³	81
Photo III.7: Machine d'essai de la compression	83
Photo III.8 : La mise en place dans la machine	84

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce modeste travail nous remercions le tout puissant pour nous avoir donné la force le courage d'en venir à bout.

Bien sûr, nous tenons à exprimer notre gratitude à notre encadreur le Docteur Logbi Abdelaziz, pour tous leurs efforts à nous faire aboutir ce mémoire.

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans cette étude.

Par la même occasion, nos parents et nos amis, trouve l'expression de nos meilleurs sentiments.

Gadi & Mega & Baci & Nacib

RÉSUMÉ

Dans cette thèse, nous avons traité trois chapitres dont le premier portait sur les généralités des définitions concrètes, des expériences, des composants et autres.

Le deuxième chapitre décrit certaines méthodes de mise en forme du béton.

Le troisième et dernier chapitre est basé sur la méthode de quantification du mélange de béton pour résister à la pression en utilisant deux méthodes, respectivement, la méthode de Dreux-Gorisse et la méthode de Faury modification du coefficient de granula G/S où les résultats obtenus par certains collègues et nous avons des commentaires Il est recommandé que le béton mélangé avec Dreux Gorisse ayant une résistance à la compression supérieure à celle du béton mélangé avec Faury.

MOTS CLÉS

Béton, courbe granulométrique, formulation, la résistance à la compression

ملخص

لقد تناولنا في هذه المذكرة ثلاثة فصول حيث كان الفصل الأول يدور حول عموميات حول الخرسانة من تعاريف و تجارب و مكونات وغيرها. أما الفصل الثاني تناولنا فيه وصف بعض الطرق لتشكيل الخرسانة. أما الفصل الثالث و الأخير فهو يعتمد على طريقة تحديد كميات الخلطة الخرسانية لمقاومة الضغط البسيط باستخدام طريقتين هما على الترتيب DREUX GORISSE و طريقة FAURY حسب تغير نسبة المعامل الحبيبي G/S حيث أظهرت النتائج التي حصلنا عليها أن الخرسانة التي تم خلطها بطريقة DREUX GORISSE أحسن في مقاومة الضغط بالنسبة للخرسانة التي تم خلطها بطريقة FAURY.

الكلمات الرئيسية

الخرسانة – منحني حبيبي – خلطة – مقاومة الضغط البسيط

ABSTRACT

In this thesis we have dealt with three chapters, the first of which dealt with the generalities of concrete definitions, experiments, components and others.

The second chapter describes some concrete shaping methods.

The third and final chapter is based on the method of quantification of the concrete mix to resist the pressure using two methods, respectively, the Dreux-Gorisse method and the Faury method modification of the granula G / S coefficient where the results obtained from our side . we have comments It is recommended that concrete mixed with Dreux-Gorisse has a higher compressive strength than concrete mixed with Faury.

Key words:

Concrete, granularity curve, formulation, , resistance of compression

Introduction générale

Actuellement, l'utilisation du béton est très évoluée. Il devient un matériau indispensable à la vie humaine grâce à ses performances et surtout à son coût de production qui est moins chère par rapport aux autres matériaux de constructions. On le rencontre dans tous les domaines de construction spécialement dans les infrastructures que ce soit un bâtiment, un pont, une route, un barrage,... Suivant cette évolution, plusieurs méthodes de formulations naissent.

Techniquement, « formuler un béton » veut dire déterminer les proportions des différents éléments qui le constituent à savoir le ciment, les granulats, l'eau et les autres éléments amélioratifs. Une grande diversité du béton est obtenue en variant l'une de ces proportions mais seule la meilleure formulation donne le meilleur résultat c'est-à-dire un béton ayant des bonnes caractéristiques.

De toute façon, on dit que la formulation est bonne si elle tient compte de tous les paramètres qui peuvent influencer les caractéristiques du béton dont les plus recherchées sont l'ouvrabilité, et la résistance.

Puisque nous sommes des humains, nous ne cherchons pas seulement la qualité mais aussi la moindre dépense possible.

Alors la question se pose, « parmi les méthodes de formulations du béton est ce qu'il est possible de trouver celle qui donne à la fois un béton ayant, une bonne ouvrabilité, une meilleure résistance et un coût de production minimum? ».

Pour répondre à cette question nous choisissons de comparer les méthodes de composition rigoureuses qui ont déjà été bien étudiées au préalable par des chercheurs spécialistes en la matière.

D'où le choix du sujet « Etude comparative des différentes méthodes de formulation de béton ».

Ce travail consiste à une étude comparative entre les méthodes de la formulation du béton les plus utilisées dans les bureaux d'étude et les laboratoires de notre région, qui sont la méthode de FAURY, la méthode de DREUX-GORISSE, la méthode de BOLOMEY et la méthode de JOISEL, et l'optimisation de la composition et son ajustement, sont ensuite

obtenus par des essais de compression sur des éprouvettes cubiques ou cylindrique pour voir l'influence de la méthode de la formulation sur la résistance à la compression du béton étudié.

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

Chapitre I : Etude bibliographique.

Chapitre II : Méthodes de formulation du béton

Chapitre III : Etude comparative des méthodes de formulation du béton

CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1 -Introduction :

Nous présent dans chapitre un petit résumé de recherche bibliographique sur quelques méthodes de la formulation de béton selon historique de béton, parlée par les caractéristiques, les compositions et les classes de béton.

I-2- Historique :

L'histoire du béton montre que sa technique, bien fixée empiriquement par les Romains, avec la chaux grasse et la pouzzolane, a évolué seulement au 19^{ème} siècle, après l'apparition des chaux hydrauliques et des ciments.

L'ingénieur Bélidor, auteur de l'architecture hydraulique (1737) étudia la composition du béton et introduisit le mot béton dans son sens actuel.

L'invention de la chaux hydraulique par Louis Vicat en 1817, celle du ciment Portland par Aspdin en Ecosse en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil en France en 1830 préparent l'avènement du béton [Cimbéton ,2006].

A l'origine, le béton était constitué d'un mélange de trois matériaux : le ciment, les granulats et l'eau. Dans la plupart des cas, le ciment était du ciment Portland obtenu par mélange homogène d'argile et de calcaire, ou d'autres matériaux contenant de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, cuit à la température de clinkérisation puis broyé. Par la suite, de petites quantités d'adjuvants chimiques ont été ajoutées au mélange afin d'améliorer

Certaines des propriétés du béton à l'état frais ou durci. Plus tard, d'autres matériaux de nature inorganique ont été utilisés dans le béton, pour des raisons économiques dans la plupart des cas. Ces substances inorganiques sont moins coûteuses que le ciment portland en raison de leur disponibilité à l'état naturel. Au 20^{ème} siècle, le béton se développera considérablement avec l'évolution de ses techniques : usage croissant des adjuvants, béton prêt à l'emploi, matériel de mise en œuvre, mise au point du béton précontraint en 1928 par Eugène

Freyssinet, ouvrant ainsi la voie à une envolée de l'audace architecturale (ouvrages d'art, bâtiments.).

Dans les années quatre-vingt et quatre-vingt-dix, les études relatives aux bétons à hautes performances ont montré le rôle néfaste de l'excès d'eau dans les bétons. La réduction de cette quantité d'eau, par l'emploi de défloculants et par correction de l'empilement granulaire via les ultrafines, a conduit aux gains de résistance allant jusqu'à 200 MPa et de durabilité.

De nos jours, l'étendue des exigences possibles a augmenté de façon spectaculaire. Par exemple, l'affaissement au cône d'Abrams varie de 0 pour les bétons de démoulage immédiat à plus de 25 cm pour les bétons autoplaçants. De même, les résistances requises à 28 jours en compression peuvent s'échelonner depuis des valeurs modestes, de l'ordre de 10 MPa pour certains bétons de masse, à des valeurs très élevées, supérieures à 200 MPa et plus pour certains produits spéciaux préfabriqués.

Aujourd'hui, en totale continuité avec les bétons à hautes performances, c'est un changement d'objectifs constituant une véritable révolution culturelle que proposent les bétons autoplaçants. L'étude du matériau n'est plus seulement gouvernée par l'amélioration de la résistance et de la pérennité. Toutefois ces dernières propriétés restent calées à des niveaux équivalents ou supérieurs à celles des bétons courants. Nous disposons actuellement de bétons particulièrement fluides qui peuvent être mis en oeuvre sans vibration et qui sont devenues prioritaires. Ces bétons ont été initialement mis au point par des chercheurs de l'université de Tokyo dans les années 1980 [Ouchi, 1999]. Il s'agit des bétons autoplaçants (BAP) utilisés pour les coulages d'éléments verticaux (poteaux, voile) et des bétons autonivelants (BAN) destinés aux éléments horizontaux (dalles de compression, dallages, chapes flottantes). Les BAP sont utilisés entre autres pour réaliser des éléments de structure préfabriqués, des réservoirs, des plates-formes de pont, des colonnes architecturales et ainsi que des ancrages pour de grands ponts.

Les constituants d'un béton ordinaire

Définition :

Le béton est constitué par un mélange intime de matériaux inertes, appelés

« Granulats » (sables, gravier.) avec du ciment et de l'eau, plus souvent un adjuvant (figure I.1.), grâce à l'action du ciment le mélange ainsi obtenu, appelé « béton frais » commence à durcir après quelques heures et acquiert progressivement ses caractères de résistance.

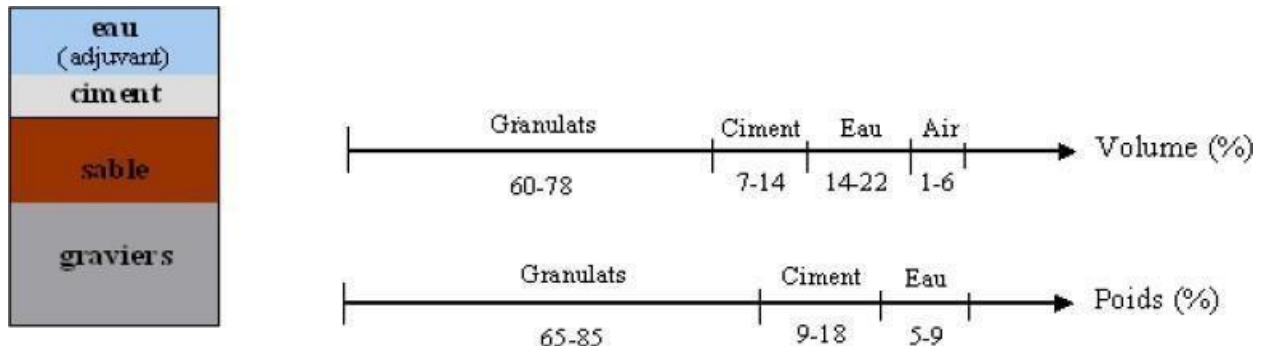


Figure I.1 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire [17].

I-3-2- Les classes des bétons :

I-3-2-1- Le béton hydraulique :

Le béton hydraulique est un mélange de sable , gravillons , d'un liant hydraulique et d'eau.

Les bétons peuvent également contenir des adjuvants, des additions et des ajouts.

On appelle « béton frais » le mélange avant qu'il fait prise et « béton durci » après durcissement.

2- Les liants hydrauliques :

Les liants hydrauliques dont les plus connus sont les ciments ; sont des matières minérales finement divisées qui en présence d'eau forment une pâte faisant prise et durcissant « condition dans l'air et dans l'eau » par suite de réaction d'hydratation. Cette propriété s'appelle «hydraulicité ».

2- Compositions du béton hydraulique :

2-1- Ciment

Liant hydraulique, c'est-à-dire matériau minéral finement moulu qui est mélangé avec de l'eau forme une pâte qui fait et durcit.

2-1-1-Les principales catégories de ciment :

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale.

2-1-2-Classification des ciments en fonction de leur composition : Le ciment constitué de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P15- 301 et ENV197-1.Ils sont

notés CEM et numérotés de 1 à 15 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse) :

CEM I : Ciment portland artificiel (CPA).

CME II : Ciment portland composé (CPJ)

CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF)

CEM IV : Ciment pouzzolaniques (CPZ)

CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

2-1-3-Classification des ciments en fonction de leur résistance normale :

Trois classes sont définies de la résistance normale à 28 jour ; des sous classes « R » sont associées à ces 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées, classe 32,5 classe 42,5, classe 52,5.

2-1-4-Les grands types des ciments :

Le ciment portland artificiel (CEMI) CPA :

C'est le produit résultant de mouture de clinker, obtenu par La conditions de durée et de températures suffisantes, d'un mélange soigneusement homogénéisé et dosé, dont les principaux constituantes sont : la silice , l'alumine, l'oxyde de fer et la chaux.

Le ciment portland composé (CEM II) (CPJ) :

Les ciment portland composé contient au mois 65% de clinker, 5% de constituant secondaire, et des ajouts avec 30%. Onà par convention : (clinker) + (autres constituants) + (constituants secondaires) = 100.

Ciment de Haut fourneau CEM III (CHF) :

Constitué d'un mélange de clinker et de laitier granulé de haut fourneau (teneur minimale 36%).

Ciment pouzzolaniques CEM IV (CPZ) :

Constitué d'un mélange de clinker, de pouzzolane et de cendre doit en plus satisfaire de « pouzzolanicité».

Ciment composé CEM V (CLC) :

Constitué d'un mélange de clinker, de laitier granulé et d'autres constituants secondaires.

Ciment portland à durcissement rapide :

La résistance du ciment portland à durcissement rapide est dur à une quantité plus élevée de C_3S ainsi qu'un broyage plus fin du clinker, ces ciment sont fin que le ciment portland ordinaire utilisés pour la construction à basses températures.

Ciment sur sulfaté :

Le ciment sur sulfaté est fabriqué en broyant ensemble, un mélange de 80% à 85% de laitier de haut fourneau granulé de 10 à 15% de sulfate de calcium et jusqu'à 5% de clinker de ciment portland. Ces ciments sont utilisés pour construire des égouts des sols contaminés.

En générale ces ciments sont utilisés dans la réalisation d'ouvrage important.

Le ciment anti –bactérien :

Il s'agit d'un ciment portland broyé avec un agent anti – bactérien à l'échelle micro biologique.

2-2- Granulats :

Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiment et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à chaque usage. Les granulats sont d'origines diverses :

- **Naturelle** : alluvionnaire, calcaire, éruptive.
- **Artificielle** : (ou provenant de sous –produits industriels)

Il est donc nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire.

Il existe six classes granulaires principales caractérisées par les dimensionnes extrêmes d ou D des granulats rencontrés (norme XPP 18-540) :

- Fillers 0/ D où $D < 2\text{mm}$ avec au moins 70% de passant à 0.063mm .
- Sablons 0/ D où $D \leq 1\text{mm}$ avec moins 70% de passant à 0.063mm .
- Sables 0/ D où $1 < D \leq 6.3\text{mm}$.
- graves 0/ D où $D > 6.3\text{mm}$.
- gravillons d/D où $d \geq 1$ et $D \leq 125\text{mm}$.
- ballasts d/D où $d \geq 25\text{mm}$ et $D \leq 50\text{mm}$.

2-2-1- Différents types de caractéristiques de granulats :

2-2-1-1- Caractéristique intrinsèques :

Elles sont liées en général à la qualité de la roche exploitée.

2) Analyse granulométrique (NF P 18-560) :

L'analyse granulométrique promet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectant des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63mm , à l'exclusion des fillers (sédimentation).

b) Module de finesse (NFP 18-541) :

Le module de finesse (M_f) est défini comme étant le centième de la somme des refus cumulés aux tamis : 0.160-0.315-0.63-1.25-2.5-5-10-20-40-80 mm

Selon les valeurs du module de finesse, le sable peut être classé de la manière suivante :

1.8 $< M_f < 2.2$ sable est peu à trop fin .

2.2 $< M_f < 2.8$ sable de meilleure qualité granulaire pour les bétons.

2.8 $< M_f < 3.3$ Le sable est un peu grossier, donnera un béton peu résistant mais moins maniabilité.

c) Masse volumique absolue :

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume total de matière solide celui-ci (hors pores).

d) Masse volumique apparente :

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume total de celui-ci y compris les pores (c. -à-d. avec vide).

e) Propreté de sable (Equivalent De sable NFP 18-598) :

C'est un essai consiste à séparer, dans une éprouvette, au moyen d'une

« Solution lavant », les éléments grossiers qui sédimentent et les lamente fins qui restent en suspension. L'essai est effectué sur 120g de sable.

f) Essai au bleu de méthylène (NFP18-592) :

Cet essai, utilisé de manière courante pour caractériser l'activité des argiles contenues dans les sols, est également utilisé pour évaluer l'influence des fines d'origines argileuses dans les sables et graves d'origines naturelle ou artificielle.

g) Essai LOS ANGELES (Résistance au choc NF P 18-573)

Détermine de résistance aux impacts (choc de boulets d'acier sur les granulats) basé sur la mesure de la dégradation granulométrique des matériaux soumis aux chocs.

h) Essai MICRO-DEVAL (Résistance à l'usure NF P 18-572) :

L'essai consiste à mesurer, dans des conditions normalisées, l'usure des granulats produite par frottements mutuels, en présence d'eau et d'une charge abrasive, dans un cylindre en rotation.

2-1- Caractéristiques de fabrication

Elles résultent en général des conditions de fabrication. Entrent dans ce type de caractéristiques :

Granularité, aplatissement, angularité, propreté des sables, propreté superficielle des gravillons, teneur en chlore, absorption, etc.

L'indice et le rapport de concassage font partie des caractéristiques de fabrication.

2- Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de béton. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du béton.

Cette l'eau est d'une grande importance, elle est soumise à certaines exigences et a même fait l'objet d'une norme (NF).

On conçoit donc en premier lieu, que les importés nocives interdites pour les granulats ne doivent pas être apportées par l'eau de gâchage.

3- Caractéristiques physiques de l'eau de gâchage :

L'eau de gâchage des bétons doit être propre : ne pas contenir de matières en suspension au- delà de certaines valeurs permises.

Les tolérances réglementaires sont les suivantes : 2g /litre pour les bétons des types A et B et 5g /litre pour les bétons du type C ,Avec :

Béton A : bétons de haute qualité à résistance élevée. Béton B : béton à faible perméabilité.

Béton C : béton à faible résistance peu ou non armé.

4- Les adjuvants :

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à une dose inférieure ou égale à 5% en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et /ou à état durci.

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule. Un adjuvant peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires. Adjuvants modificateurs de rhéologie du béton :

- Plastifiants réducteurs d'eau
- Super Plastifiants hauts réducteurs d'eau

Adjuvants modificateurs de pris du béton :

- Accélérateurs de prise
- Retardateurs de prise

Autres catégories normalisées d'adjuvants :

- Hydrofuges
- Entraîneurs d'air

Autres adjuvant non définisse par la norme :

- Agents moussants
- Agents de viscosité

I-3-2-2- Quelque type de béton hydraulique :

- Béton – auto plaçant (BAP) :

Béton qui n'a pas besoin de vibration pour être mis en place, du fait sa grande ouvrabilité.

Il est également nommé béton auto compactant, auto nivelant , (BAN).

- Béton – balayé :

Béton (utilisé en sols, dallages ou chaussées) ayant subi, avant durcissement. Un traitement mécanique superficiel par brossage ou balayage.

- Béton – banché :

Béton coulé puis généralement vibré entre deux banches de coffrage. Béton dont le coffrage est constitué de banches, panneaux métalliques et récupérables après utilisation, de grande dimension et utilisés en général pour la construction de parois et murs, pour des éléments verticaux.

- Béton bouchardé :

Béton dont la surface est traitée après durcissement à la boucharde, marteau dont la tête est profilée généralement en pointe de diamant et permettant de donner au béton un aspect architectural et / ou esthétique désiré.

- Béton caverneux :

Béton obtenu par la suppression ou une diminution très forte du granulat fin, c'est donc le produit d'un mélange de gros granulats et de pâte de ciment.

- Béton cellulaire :

Pâte de ciment ou mortier dont le granulat est très fin, avant durcissement, on introduit dans cette pâte une multitude de bulles d'air ou de gaz qui donnent au béton, après durcissement, sa texture cellulaire.

- Béton chloré :

Béton pouvant être soumis à des atmosphères chlorées, les chlorures pouvant être légèrement agressifs pour le ciment durci ainsi que par les éléments métalliques que le béton comprendrait, la teneur en chlore doit être limitée.

- Béton d'argile expansée :

Béton léger dont les granulats sont constitués d'éléments d'argiles utilisé essentiellement comme béton isolant de charge.

- Béton de basalte :

Béton lourd dont les granulats sont constitués de basalte, roche volcanique de haute densité dont la pâte noire et visqueuse se cristallise lors du refroidissement pour former un conglomérat et pesant.

- Béton de briquailon :

Béton dont les agrégats sont constitués essentiellement de gros blocs de pierrailles ou maçonneries dont les dimensions varient quelques cm à quelques dizaines de cm.

- Béton propreté :

Béton à faible teneur en ciment, donc non structurel, coulé sur des épaisseurs ne dépassant pas 5 à 10 cm.

- Béton d'isolation :

Béton dont l'utilisation est réservé à des fins d'isolation thermique et /ou phonique et non à des fins structurelles.

- Béton évidé :

Utilisé pour des éléments de planchers préfabriqués dans des applications requérant de grandes portées, de lourdes charges et /ou faibles hauteurs de construction.

- Béton fretté :

Béton coulé sous forme de prisme,(poteau ou colonne) et dont la capacité portante lorsqu'il est soumis à la compression simple est renforcée par des armatures transversales en acier qui peuvent plusieurs formes.

- Béton hydrofugé :

Béton traité de telle manière qu'il présente une perméabilité très faible voire nulle sous pression hydraulique.

- Béton immergé :

Béton mis en œuvre sous eau et donc coulé en présence de pressions d'eaux dont il y a lieu de tenir compte lors de la réalisation de l'ouvrage.

- Béton léger :

Béton utilisé à des fins d'isolation et d'allègement ou les deux à la fois, il peut également être utilisé pour des éléments porteurs à condition que l'on possède les granulats permettant d'atteindre les résistances voulues.

- Béton lourd : granulats normaux.

Béton dont les granulats sont constitués d'éléments plus lourds que les agrégats pierreux ordinaires, par exemple par l'utilisation de granulats d'oxyde de baryum (baryte) combinés à

des béton dont la teneur en ciment ne dépasse pas au maximum 200g de ciment par mètre cube de béton.

- Béton poli :

Béton dont on enlève les irrégularités de surface suite à mauvaise mise en œuvre ou à l'utilisation de coffrages inadéquats et ceci afin de lui donner un aspect de surface lisse

- Béton à hautes performances (BHP) :

Abréviation pour « béton à hautes performances ». Ce béton rendu – par sa formulation particulièrement compact, donc de faible porosité – présente une résistance mécanique (de 60 à 120 MPa) et une durabilité très supérieure aux béton courants.

- Béton traditionnels :

Peuvent être classés approximativement en trois classes, en fonction de leur résistance moyenne (mesurée sur cylindre à 28 jours)

❖ béton de faible résistance, 10 à 20 MPa , utilisés pour des ouvrages massifs, des murs banchés, etc.

❖ béton de résistance usuelle, 20 à 40 MPa, utilisés pour les structures en béton armé de bâtiment ou de travaux publics.

❖ béton de résistance élevée, 40 à 55 MPa, souvent réservés aux ouvrages précontraints, ou aux éléments préfabriqués ou dont on souhaite un décoffrage rapide.

- Béton à haute résistance :

Cependant, dès le début du siècle, des bétons d'une résistance très supérieure à ces valeurs étaient produits, au moins à l'expérimental ; c'est ainsi que Considère pouvait doubler la résistance à la compression au prix, cependant, d'un frettage prohibitif qui restreignait l'emploi de ce matériau. Dès avant la seconde Guerre mondiale, Eugène Freyssinet obtenait, pour une fabrication de précontraints par pré-tension, des résistances moyennes de l'ordre de 60 MPa.

Dans les années 60, il était possible d'obtenir, en laboratoire, des résistances de l'ordre de 100 MPa, sans pour autant que ces résultats directement transposables au chantier.

- Béton à très haute résistance :

En laboratoire surtout, mais aussi sur chantier, des résistances encore plus hautes ont été atteintes, jusqu'à des valeurs dépassant 100 et même 120 MPa, en moyenne, sur cylindre à 28 jours.

- Béton de sable :

Le béton de sable est caractérisé par des performances mécaniques semblables à celles du béton ordinaire utilisé habituellement dans la technique du système 3D.

I-3-2-3- Les béton hydrocarbonés :

Le béton hydrocarboné est un mélange de gravier, d'un liant hydrocarboné

1- Les liants hydrocarbonés :

Il existe deux types de liants hydrocarbonés qui sont obtenus à partir du mélange des liants hydrocarbonés de base, c'est-à-dire le bitume et le goudron.

Le bitume : on trouve soit du bitume de pétrole soit le bitume naturel.

Le goudron : ce sont des produits qui proviennent de la distillation de la houille (diverses variétés de charbon).

2- Type des bétons hydrocarbonés :

- Béton bitumineux :

Le béton bitumineux (aussi appelé enrobé bitumineux) est composé de différentes fractions de gravillons, de filler et utilise le bitume comme liant.

- Béton de goudron :

Le béton de goudron on remplace le bitume par du goudron. Le tarmacadam des aérodromes est l'appellation commerciale d'un tel béton de goudron (rien à voir avec le macadam, dépourvu de liant).

3- Les caractéristiques des bétons :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser le béton qui satisfait les qualités recherchées dont les plus essentielles les caractéristiques sont : la résistance, la maniabilité.

3-1-Résistance mécanique :

La résistance mécanique a été longtemps considérée comme la caractéristique la plus essentielle pour le béton. Bien qu'elle soit étroitement liée à l'ouvrabilité, elle s'est vue attribuer une grande part en matière de recherche et développement.

La résistance à la compression est mesurée en compression axiale sur cylindre d'une hauteur double de son diamètre. le plus couramment employé est le cylindre de 16 cm de diamètre et 32 cm d'hauteur , dont la section est de 200 cm².

I-4- Influence du dosage en eau et du dosage en ciment (E/C) :

Les deux facteurs sont essentiels à la confection du béton. Ils présentent deux effets totalement opposés sur sa résistance. Si l'augmentation du ciment favorise son accroissement, un surplus d'eau entraîne sa diminution.

Ces deux effets sont plus souvent rencontrés sous forme de rapport (E/C)

Alors que plusieurs recherches et formulation faites par le passé utilisent (C/E) qui se traduit par une fonction de résistance linéaire et croissant, et une plage de variation usuelle plus annoncée. (De 1.5 à 2.5 contre 0.4 à 0.66 pour E/C). (Fig I-2)

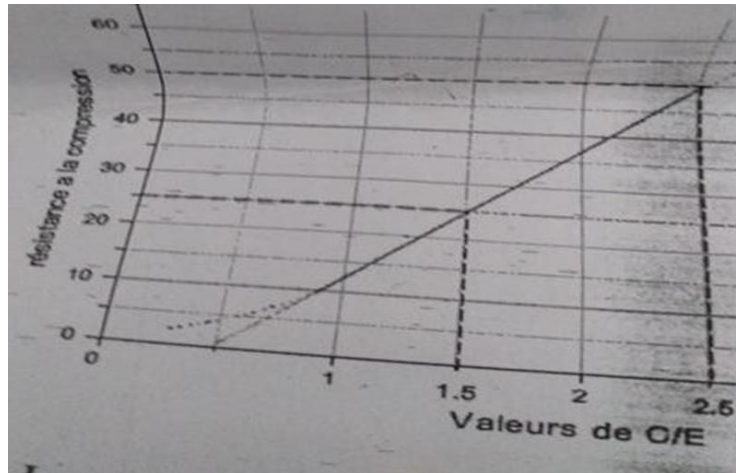


Figure I - 2 : la relation entre (C/E) et la résistance à la compressions (fc) d'après la formule de BOLOMEY.(17)

$\{f_c = G \times C E (C/E - 0.5)\}$. G : confusions, de granulats égale à 0.5 .CE : classe vraie du ciment, égale à 50 MPa.

De nos jours la tendance n'est plus de fixer le dosage en ciment lors de passation de marché ou de contrat.

Mais exiger une résistance caractéristique pour le béton une fois durci. Donc il appartient à l'entreprise chargée de la réalisation d'utiliser le dosage en ciment nécessaire. Par ailleurs un dosage minimal peut être exigé par le mètre d'œuvre mais seulement afin de garantir l'ouvrabilité et l'étanchéité la norme P18011 sur la classification des environnements agressifs qui spécifie les dosages suivants :

Pour des environnements moyennes agressivité.

Pour des environnements à fort et très forte agressivité.

D : Dimension maximale des granulats.

I-4-1- Influence de la granularité :

Moins influente que le dosage en ciment ou le dosage en eau, la composition granulométrique du mélange n'intervient que d'une manière relativement faible sur la plupart

des propriétés du béton. Sauf pour la résistance à la compression ou nous pouvons voir (fig I-3) que pour des valeurs de (G/S) supérieures à « 2.2 » la résistance à la compression augmente considérablement, une augmentation certainement positive mais prise sur le compte de l'ouvrabilité, parce que en pratique on ne dépasse pas les valeurs de 1.5 à 1.6 pour avoir un béton ouvrable. (Fig I-3).

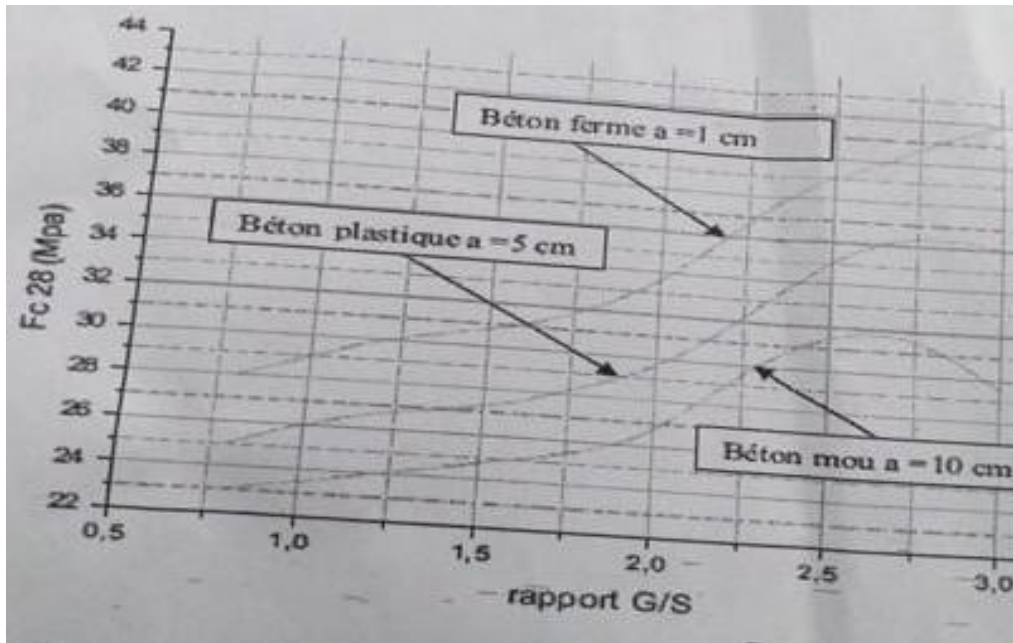


Figure I-3 : variation de la résistances en compression à 28 jour en fonction du rapport G/S (17)

I-4-2-Dimension maximale des granulats D :

L'utilisation de granulats de dimension maximale contribue de façon très significative à l'augmentation de la résistance du béton. Mais cela reste dans les limites de la faisabilité, parce que le choix de D max reste conditionné par :

- L'ouvrabilité demandée.
- Les dimensions de l'ouvrage et l'espacement des armatures.
- L'espacement des armatures.
- L'enrobage des armatures.

I-4-3- Maniabilité :

En fonction des caractéristiques de l'ouvrage et des moyens du chantier, on se fixe pour le béton une maniabilité caractérisée par la consistance et mesurée par l'essai d'ABRAMS.

Tableau (I.1). : Mode de serrage en fonction de la consistance de béton

Consistance de béton	Affaissement au cône (cm)	Mode de serrage
Très ferme « TF »	≤ 2	Vibration puissante
Ferme « F »	3 à 5	Bonne vibration
Plastique « P »	6 à 9	Vibration Normale
Très plastique « TP »	10 à 15	Simple piquage
Fluide « F »	> 16	Léger piquage

I-4-4-La compacité :

La compacité est une propriété qui préste le serrage des grains dans le mélange.

La compacité égale proportion de volume solide devise par le volume totale de matériau.

I-4-5- La porosité :

Est une propriété qui presté le des vides dans le mélange.

La porosité égale proportion de vide devise par le volume totale de matériau.

I-4-6-L'ouvrabilité :

Propriété essentielle pour le béton elle est définie comme étant la qualité qui permet de garantir la facilité de sa mise en œuvre. Qualité sur laquelle repose différents aspects du béton une fois durci (résistance , état de parement , enrobage des armatures .Sachant que la tendance actuelle est tournée vers une multitude de techniques de bétonnage et de serrage (béton pompé , béton projeté , béton auto compactant, son inclusion dans les études de formulation du béton devient primordiale .

I-4-7-Conclusion:

Nous avons présenté les diverses méthodes de formulation des bétons existante et couramment utilisés dans de nombreux pays dans le monde. La formulation, se basant sur les modèles qui relient la structure interne aux propriétés d'usage du béton, permet de déterminer une composition optimale tout en satisfaisant les conditions posées dans le cahier des charges. Dans la pratique, lors de la formulation d'un Béton,

l'ouvrabilité et la résistance mécanique, doivent être mises au point en premier. Les diverses méthodes de formulation que nous avons citées ont un point commun : elles utilisent des successions d'étapes simples basés sur l'expérience individuelle. Enfin, le choix de la formulation d'un béton doit être basée sur des calculs préliminaires comme ceux décrits ci-dessus, suivi par plusieurs gâchées d'essais. Cependant, l'application réussie de la formulation demande de l'expérience, combinée à une connaissance de l'influence des nombreux paramètres sur les propriétés du béton, cette connaissance doit être fondée sur la compréhension du comportement du béton. Lorsque ces trois éléments, expérience, connaissances et compréhension sont tous présents.

CHAPITRE II

METHODES DE FORMULATION DE BETON

II- 1- Introduction :

La formulation de béton base sur des méthodes empiriques, est cette méthode développée par des chercheurs ou bien par des groupes de recherche.

Aussi il y a des méthodes classiques conçues dans les années 50 et 60, ne sont plus adaptées.

Nécessité des méthodes modernes, à base scientifique et prenant quantitativement en compte l'expérience passée.

Et pour étudier ces méthodes empiriques et semi empiriques de la formulation de béton, en va faire une description générale de chaque méthode.

II- 2- Méthode de FULLER – THOMPSON [11]

A étudie la composition du béton d'autant plus que l'état , ponts chaussées , l'allusion de méthodes scientifiques de calculs , en 1907, FULLER en Allemagne et Thompson en Angleterre proposent une nouvelle méthode , méthode FULLER Thompson .

Dans cette Mr FULLER-THOMPSON et basé sur granulats sans ciment pour déterminer une courbe qui s'appelle « courbe d'équation » :

$$P \% = 100(d/D)^m \quad (II.1)$$

Ou' l'exposant m est voisin de 0,5 ou la parabole de Fuller

$$P\% = 100(d/D)^{1/2} \quad (II.2)$$

P : pourcentage de poids passant à travers la passoire diamètre d. D : grosseur maximum de granulats.

II- 3- Méthode de BOLOMEY : [12]

C'est une méthode à granulométrie continue utilisant à la fois les granulats et le ciment .

Mr BOLOMEY pour une formulé du béton décompose 5de suivant :

- 1 .Décrire le déroulement de la méthode, étape par étape
- 2 .Trace la courbe de granulométrie de référence.
3. Déterminer les pourcentages pondéraux des constituants.
- 4 .Trace la courbe théorique du béton.
- 5 .Etablir la feuille de composition du béton.

Si est la dimension maximal des granule et d le diamètre de tamisa :

$$P(\%) = A + (100-A) \sqrt{d/D} \quad (II.3)$$

P : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d . D : est le diamètre du plus grosse graine.

A : est un coefficient de tentant compte de la forme des granulats et la consistance du béton. Donne par le tableau ci-après :

Tableau II.1 : coefficient de A [17]

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

La méthode de BOLMEY donne des bétons riches en éléments fins, assez plastiques et donc maniables.

Son emploi est fréquent pour les travaux routiers, et pour les bétons devant être mis en place par pompage.

II- 4- Méthode D'ABRAMS : [3]

Une méthode de la représentation globale de la granulométrie des agrégats à l'aide d'un indice numérique appelé «module de finesse» à été donnés en 1918 par ABRAMS .

Dans cette méthode Mr ABRAMS basée sur l'obtention d'un module de finesse globale, à partir des différents modules de finesse des classes de granulats disponibles.

Le principe de cette méthode est de construire une composition granulaire, ciment compris.

ABRAMS propose des valeurs optimales du finesse de globale en fonction du dosage en ciment et qui sont supposées réduire au minimum les vides dans le mélange.

Les modules optimaux pour béton de granulats roulés, déterminés expérimentalement par ABRAMS, sont Indique dans tableau en fonction du dosage en ciment et de la dimension D de granulats le plus gros.

Tableau II.2 Valeurs optimales d'après ABRAMS. [3]

Dosage en ciment Kg/m ³	Dimension maximale D des granulats						
275	4,05	4 ,45	4 ,85	5,25	5,60	5,80	6,00
300	4,20	4,60	5,00	5,40	5,65	5,85	6,20
350	4,30	4,70	5,10	5,50	5,73	5,88	6,30
400	4,40	4,80	5,20	5,60	5,80	5 ,90	6,40

Du module de finesse des compositions granulaires du béton courant. Nous rappelons ici la méthode du mélange d'ABRAMS :

Elle permet de calculer les pourcentages relatifs de granulats de modules de finesse Mf_1 et Mf_2 pour obtenir un module Mf choisi pour le mélange.

A titre d'exemple, prenons un gravier 5/20 mm de module $Mf_1 = 6,50$ et un sable 0/5 mm de module de finesse $Mf_2 = 2,60$; choisissons pour le mélange de sable et gravier, un module finesse $Mf = 5,00$ par exemple (Dosage en ciment 300 Kg/m³).

$$\text{Soit : } S_1 = Mf_1 - Mf = 6,50 - 5,00 = 1,50.$$

$$S_2 = Mf - Mf_2 = 5,00 - 2,60 = 2,40.$$

$$S = S_1 + S_2 = 3,90.$$

$$\text{- Proportion de gravie } S_2 / S = 2,40 / 3,90 = 62\%$$

$$\text{- Proportion de sable } S_1 / S = 1,50 / 3,90 = 38\%$$

Tout réside donc. Dans cette méthode. Sur le choix judicieux du module de finesse du mélange à réaliser (Avec les granulats seuls).

Ce module dépende évidemment de nombreux paramètres tels que : forme, nature, et dimension des granulats, dosage en ciment, résistance et plasticité désirée

Nous inspirerons de cette méthode mais plus particulièrement pour l'étude de la granularité des sables ($D \leq 5$ mm en principe).

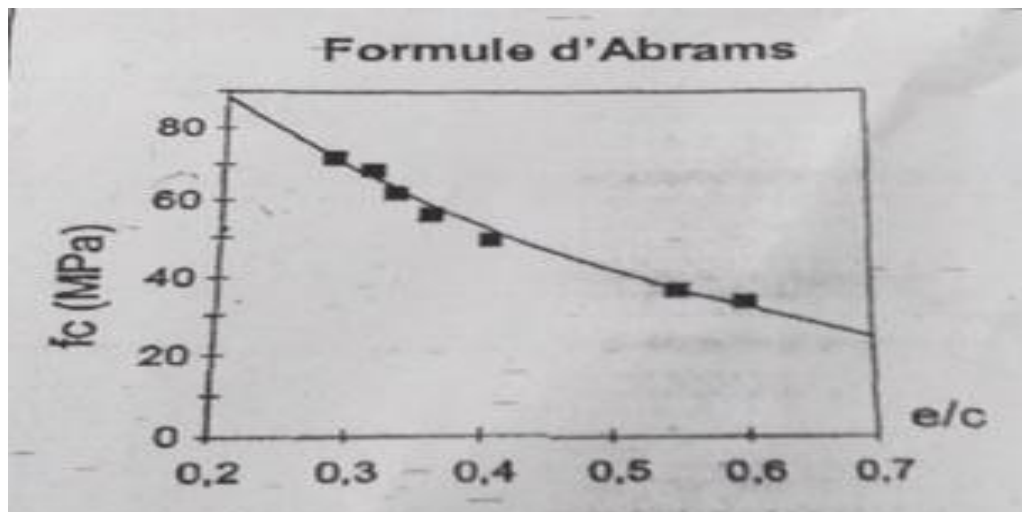


Figure II 1 : ajustement des données selon la formule d'abrams. [17]

II- 5 - Méthode de CAQUOT : [1]

Caquot a proposé, dès 1937 , une approche théorique pour déterminer une courbe granulométrique quasi optimale , pour un mélange granulaire non borné (en termes de

diamètre maximal et minimal), puis pour une étendue granulaire donnée. Cette approche néglige toutefois les conditions de mise en œuvre, la forme des granulats et fait des hypothèses fortes sur les interactions (effet de paroi et de desserrement) entre les grains. CAQUOT considère qu'un ensemble de grains de même dimension occupe, en masse indéfinie. En pratique, le volume total occupé par ces grains est limité par les parois du récipient qui les contient. Le volume des pleins diminue d'une quantité proportionnelle à la grosseur de granulat et à la surface des parois. C'est l'effet de paroi. Les grains les plus gros exercent un effet de paroi sur les grains plus qui remplissent leurs vides.

Suit à un grand nombre d'essais, CAQUOT montre que la courbe granulaire de référence est bilinéaire en pour un mélange indéfini. Comme les dimensions granulaires inférieures et supérieures sont limitées, CAQUOT formule deux hypothèses : la porosité du mélange est celle du ciment (prise égale à 0,5) et la proportion des granulats supérieurs à la taille maximale (ne pouvant donc exister) est remplacée par une proportion de granulats de dimension maximale ayant même surface (effet de paroi).

Pour une population de granulats, dont les dimensions d_k sont régies par une suite géométrique de raison k et de taille maximale D_{max} , CAQUOT aboutit aux lois suivantes :

La proportion P de deux granulats de taille successive est régie. Par :

$$\frac{P_k}{P_{k-1}} = A \sqrt[5]{d} \dots\dots\dots (II.4)$$

Où' :

$$A = \frac{V_{g1}}{\sum_j^n V_{gj}(d_1)} \dots\dots\dots (II.5)$$

Avec:

V_{g1} et V_{gj} volume de granulats respectivement d'ordre j et d_1 dimension du granulat d'ordre 1.

la proportion du plus gros granulats par rapport à celui de taille immédiatement inférieur est :

$$P(D_{max}) - P(D_{max}/k) = \frac{A \cdot D_{max}^{5/4}}{1 - k^{4/5}} \dots\dots\dots (II.6)$$

Le volume des vides du mélange est égal à la moitié du ciment dans ce mélange :

$$V_v = V_c/2 \dots\dots\dots (II.7)$$

II- 6 - Méthode de FAURY :[2]

En 1942 J .Faury proposa ,comme suite à une étude générale du béton, une nouvelle loi de granulation du type « continu » .

Il s'inspirait pour cela d'une théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen .

Mr FAURY basée sur les lois continuité des courbes granulométrique.

Cette méthode permet de trace d'une courbe granulométrique théorique, que doit suivre au mieux la courbe granulométrique réelle du mélange

ciment +sable+gravier.

Dont le principe et de permet :

Déterminer la courbe granulométrique optimale de mélange des éléments sec.

Chercher les pourcentages de ces constituants qui permettent de faire un mélange sec dont la courbe doit être aussi voisine que possible de la courbe granulométrique optimale.

En déduire la composition d'un mètre cube de béton.

Pour trace la courbe granulométrique, on porte en abscisse, valeurs proportionnelles à $\sqrt[5]{D}$ (racine cinquième de diamètre des gains) au lieu de $\log (d)$.

Première diamètre de granulats d_0 , égale à 0,0065 mm étant l'ordre de grandeur des grains les plus fins et moyens. Pour ce faire, on doit suivre la démarche suivante

1- Traçage la courbe de référence : Détermination du D :

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \frac{x}{y} \quad (II.8)$$

Détermination du point de brisure :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad (II.9)$$

Avec :

A : coefficient qui dépend de la nature des matériaux et de puissance du procédé de mise en place béton, il varie de 22 à 38.

B : coefficient qui dépend de la puissance du procédé de serrage : 1 à 2.

R : en mm, le rayon de la maille de tamis .

Pour le traçage de la courbe granulométrique de référence on définit les trois points suivante :

Le point w : D (l'abscisse du point w) ; l'ordonnée est 100%

Le point U : L'abscisse est 0 ; l'ordonnée est le première diamètre

Le point V : l'abscisse est $D/2$; l'ordonnée se calcule par la formule suivante :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} \quad (II.10)$$

Ou'

d_0 : première diamètre de granulats.

d_1 : diamètre de la passoire immédiatement inférieur à D.

d2 :diamètre de la passoire immédiatement inférieur à d1. X : % des grains supérieur à d1 et inférieur à D.

Y : % des grains supérieur à d2 et inférieur à d1.

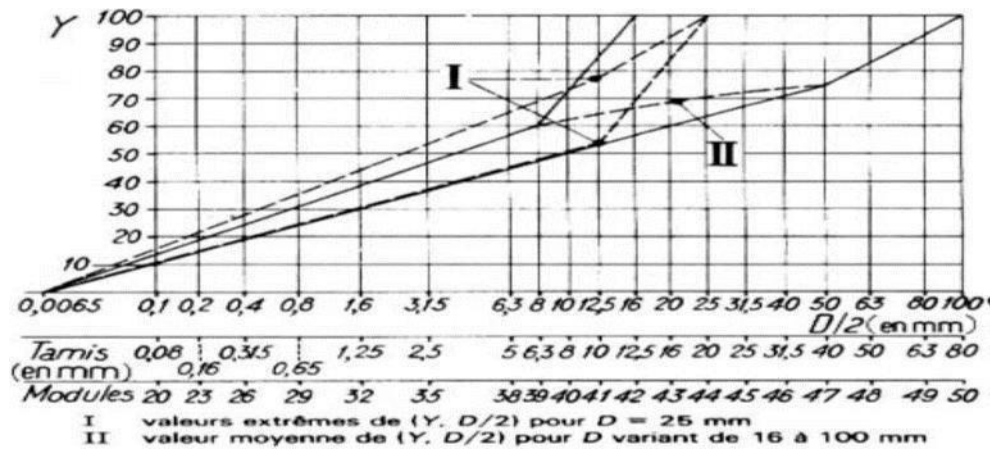


Figure II 2 : courbe de référence de FAURY. [17]

2. Choix du coefficient E/C.
3. Détermination du volume absolu du béton sec.
4. Détermination du pourcentage de ciment dans le volume sec de béton.
5. Détermination du pourcentage des granulats d'après la courbe de référence et les courbes granulométriques des granulats.
6. Détermination des chaque quantités de chaque composant.

II-7- Méthode de DREUX : [15]

La méthode de DREUX ne permet pas de prendre en compte les exigence de résistance à la compression à un âge autre que 28jour. Elle existe toutefois une règle approximative donnant une relation entre résistance à 7jour et résistance 28jour . La de cette cependant assez bonne , bien qu'elle ne prenne pas en compte la présence d'addition minérale .

La détermination de la quantité de ciment à partir de la consistance est assez surprenante .en effet, comme le rapport ciment /eau , le dosage en eau pourrait être déterminé tout aussi bien par un abaque .

Trace la courbe granulaire de référence bilinéaire est exprimée en échelle semi- log (échelle des analyses granulométrique), le point de brisure est défini par :

Son abscisse $D_{max}/2$ si $D_{max} \leq 25mm$ et $(D_{max}-5mm)/2$ si $D_{max} > 25mm$. Son ordonnée

$$Y = 50 - \sqrt{1.25D_{max}} + K + K_s + k_p \dots\dots\dots (II.12).$$

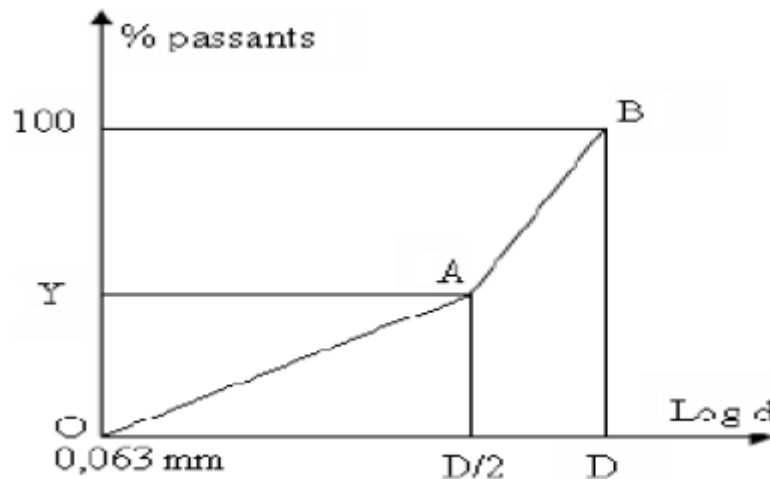


Figure II 3 : Courbe granulaire idéale , selon DREUX

Avec :

K_1 : Termes correctifs par rapport à une formulation de référence :

K : Termes correctifs d'arrangement granulaire prenant en compte le dosage fin (Ciment et fillers), l'angularité des granulats et la puissance de serrage.

K_S : Correction supplémentaire fonction de la granularité du sable : $K_S = (6 M_{fS} - 15)$ avec M_{fS} le module de finesse du sable.

K_P : Terme consistance pour la pompabilité. $K_P = +5$ à $+10$ selon le degré de plasticité désiré. **Les Abaques dites de DREUX :**

Les rapport ciment/eau est un critère important des études du béton : c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de sa (résistance mécanique à la compression, durabilité). Les abaques de DREUX, représentés à la Figure II.4, permettent de déterminer

Les dosage optimaux en eau et en ciment pour des caractéristiques de béton spécifique :
Résistance en compression, plasticité, etc.

Ils sont en effet basés sur l'approche qui privilégie la « fonction liant » du ciment, donc la résistance.

Le rapport C/E (dosage en ciment sur dosage en eau) est calculé à partir l'expression simplifiée et inspirée la formule de FERRET :

$$R_{c28} = G R_C \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \dots \dots \dots (II.13).$$

Ou R_{c28} est la résistance à la compression du béton à 28 jour, c'est – à- dire à l'état pleinement durci [Pa] ;

R_C est la résistance à la compression u ciment [Pa] ; G est un coefficient heuristique ≥ 0.5 ;

C est le dosage en ciment [m^3]. E est la dosage en eau [m^3].

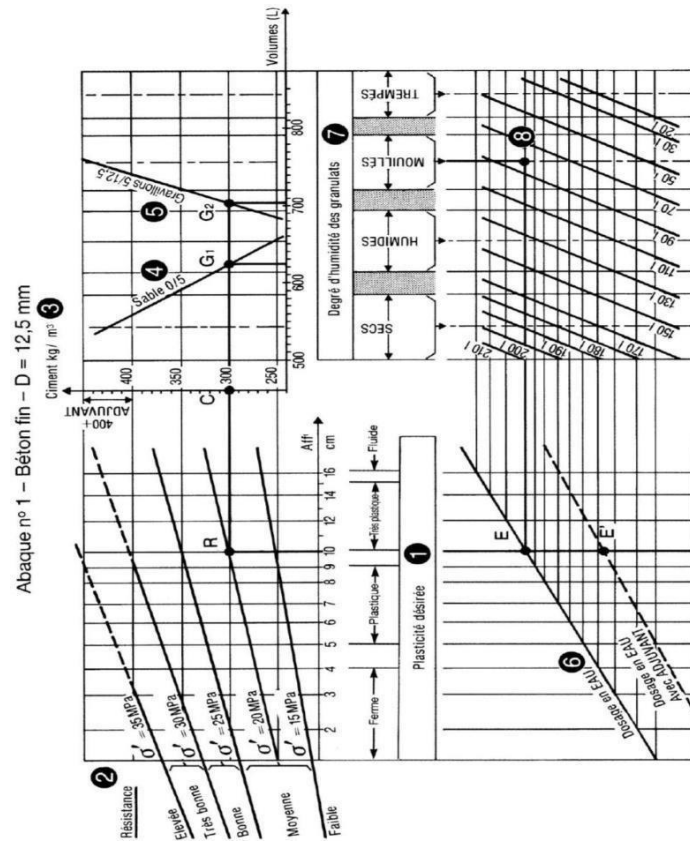


Figure II 4 : Abaques de DREUX

II- 8 - Méthode de DREUX _ GORRISSE : [2]

Cette méthode permet de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié tout fois seules quelques gâchées et la confection définitive en fonction des qualités souhaiter et des matériaux.

La méthode de formulation de DREUX-GORISSE permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) Nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier de charges.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

Détermination du rapport C/E. Détermination de C et E.

Détermination de mélange optimale à minimum de vides. Détermination de la compacité du béton.

Détermination des masses de granulats.

Les résultats intermédiaires relatifs à chaque étape de calcule seront consignés sur la fiche de résultats jointe en annexe.

Détermination du rapport C/E.

La rapport C/E est calculé grâce à la formule de BOLOMEY : $\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5) \dots$ (II.14).

avec :

σ'_{28} : Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa. σ'_c : Classe vraie du ciment à 28 jours 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) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau (II-3). Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D max. [17]

Qualité des granulats	Dimension Dmax des granulats		
	Fins Dmax <12.5mm	Moyens 20 < Dmax <31.5	Gros Dmax > 50mm
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne , courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Détermination de C

La valeur de C est détermination grâce à l'abaque de figure II 5 la valeur de C en fonction des valeurs de C/E de l'affaissement au cône d' ABRAMS.

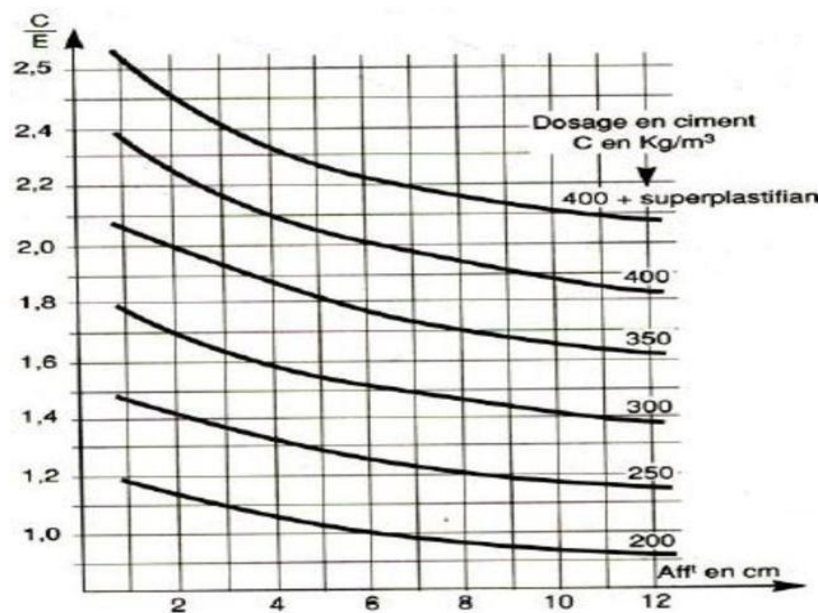


Figure II 5 : Abaque permettant la détermination de C, Détermination de E [17]

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

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 que les plus petits que d'un matériaux à minimum de vides peut être schématisés par une droite brisée.

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 la mélange optimum à minimum de vides est la suivants :

Tracé de la droite brisée de référence.

Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux .

Tracé de la courbe granulaire de référence.

Cette méthode consiste à construire dans un repère semi-logarithmique une courbe OAB bilinéaire supposée optimale , comme indiqué sur la

figure II -6 pour laquelle le point B (à l'ordonnée 100%) correspond à

la dimension D du plus gros granulat , et le points de brisure A(X ; Y) a des coordonnées définies par :

En abscisse X : soit le milieu du segment [5- D] , si $D > 20\text{mm}$, soit $D/2$ si $D \leq 20\text{mm}$

En ordonné : $Y=50-D+K$ ou k est une valeur t'abluée, fonction du dosage en ciment, l'efficacité du serrage, la forme des granulats, module de finesse du sable.

La formulation ajuste ensuite les pourcentages respectifs de sables et de gravillons pour coller au mieux à cette courbe de référence.

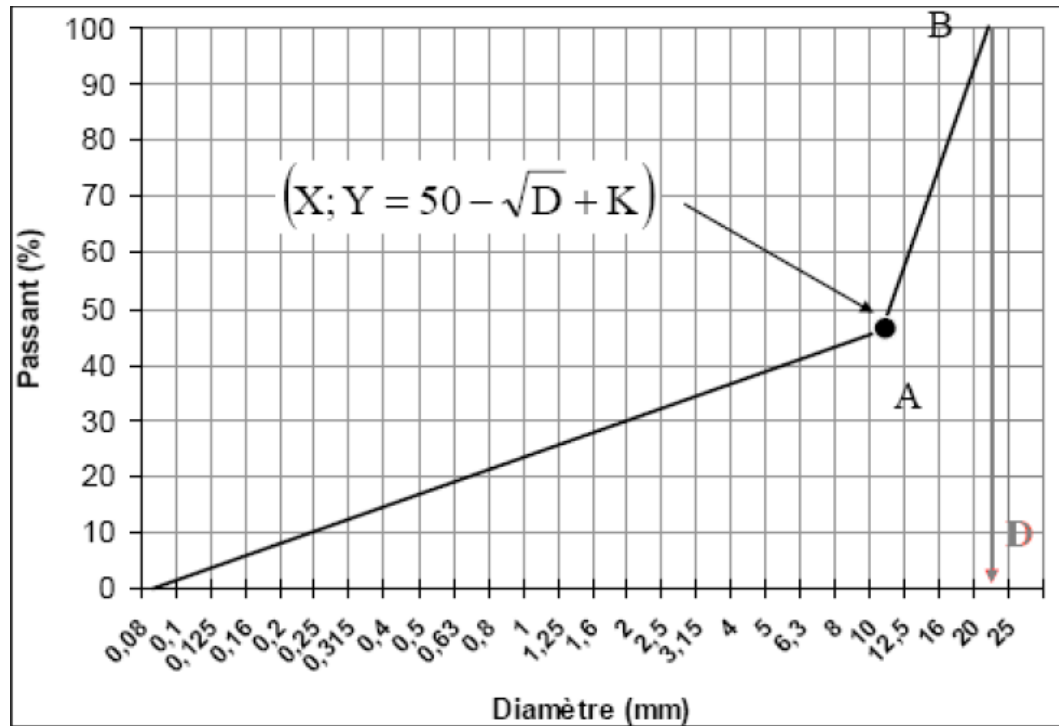


Figure II 6 : courbe optimale type selon la méthode DREUX – GORISSE [17]

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 vides il est nécessaire de tracer comme indiqué sur la figure II 3 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 faible granularité et par 5% de passant pour le matériau à forte 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 proches 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 pout s'avérer nécessaire.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

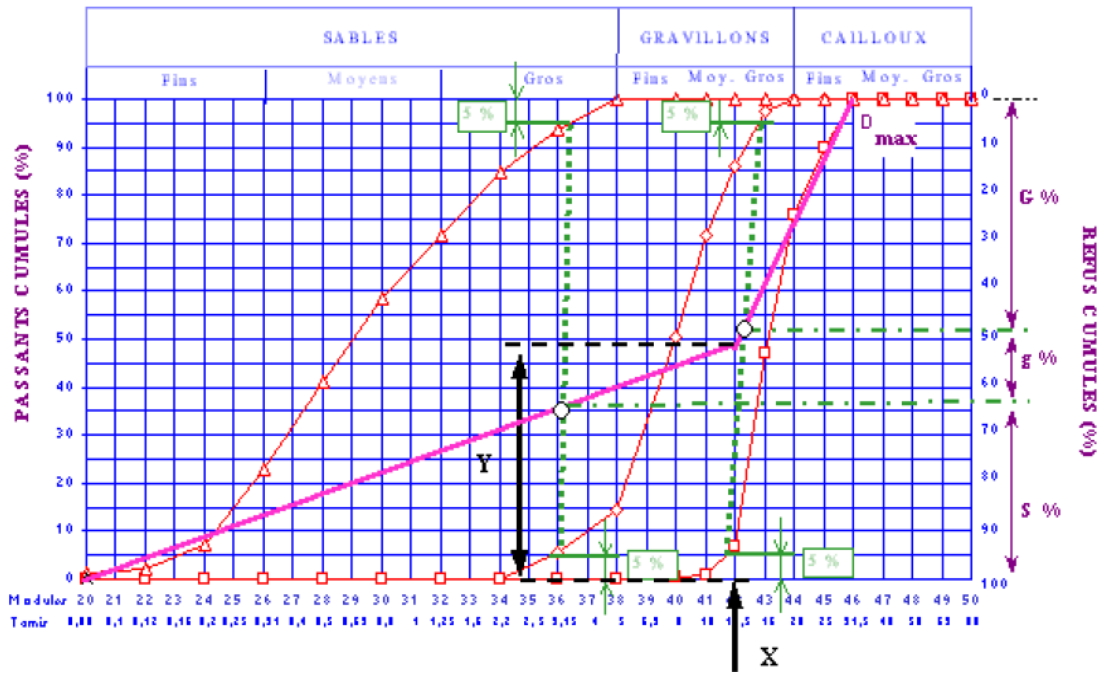


Figure II 7 : Détermination des pourcentages en volumes absolus matériau [17]

Détermination de la compacité du béton :

Pour déterminer les masse de granulats entrant dans la composition de béton, il est nécessaire de déterminité la compacité du béton qui correspond au volume absolu de solide contenu dans un mètre cube de béton (volumes absolus de ciment, de sable, de gravette et de gravier.).Sa valeur de base c_0 est fonction de la taille des granulats, de la consistance du mélange et des moyens de vibration mis en œuvre (tableau II 4).

Des corrections (c_1, c_2 et c_3) fonctions de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment, doivent être apportées.

$c = c_0 + c_1 + c_2 + c_3$. La valeur de la compacité c du béton permet de déterminer le volume total absolu V granulats intervenant dans la formulation du béton :

$V = (c - V_c)$ ou V_c est le volume de ciment défini par $V_c = C / s(c)$ ou $s(c)$ est la masse volumique absolue du ciment utilisé.

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 les volume de sable (V_s) de gravillon (V_g) et de gravier (V_G) ainsi que leurs masse respectives (S , g et G) :

$$V_s = V * S\% \quad S = V * S\% * s(S)$$

$$V_g = V * g\% \quad g = V * g\% * s(g)$$

$$V_G = V * G\% \quad G = V * G\% * s(G)$$

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

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

Tableau(II.4). : Compacité du béton en fonction de Dmax , de la consistance et du serrage . [17]

Consistance	Serrage	Compacité						
		Dmax =5	Dmax = 8	Dmax = 12.5	Dmax = 20	Dmax = 31.5	Dmax = 50	Dmax = 80
Molle (TP – F1)	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

II- 9- Méthode de JOISEL : [4]

Inspirée comme celle de FAURY de la théorie de CAQUOT , la méthode JOISEL est plus généralisant .IL considère que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale est fonction de $m\sqrt[3]{D}$, ou « m » dépend de la compacité avec :

La quelle se serre un granulat de dimensions uniforme suivant les moyens de serrage, « m » peut alors varier de 3 à 10.En utilisant graduation des abscisses Joisel utilisa une courbe de référence de forme linéaire.

La courbe optimale est encore une droite . Mais les ordonnées sont les pourcentages du volume total du béton de référence , fluide compris («fluide» = eau + air) , et les abscisses , qui comportant 3 segments

(OA , AB et BC) dont les longueurs sont données par des abaques

(figure II.8) , sont graduées proportionnellement à d , m pouvant varier de 0.16 à 0.32 (BOLOMEY :0.5 , FAURY : 0.20) .

Cette méthode tient compte de la compacité du béton étudié , et de l'effet de paroi . Elle conduite , comme la méthode de VALLETTE ,à un faible dosage en ciment : on rectifier là encore en enlevant une quantité de sable en rapport avec le ciment qu'on doit ajouter .

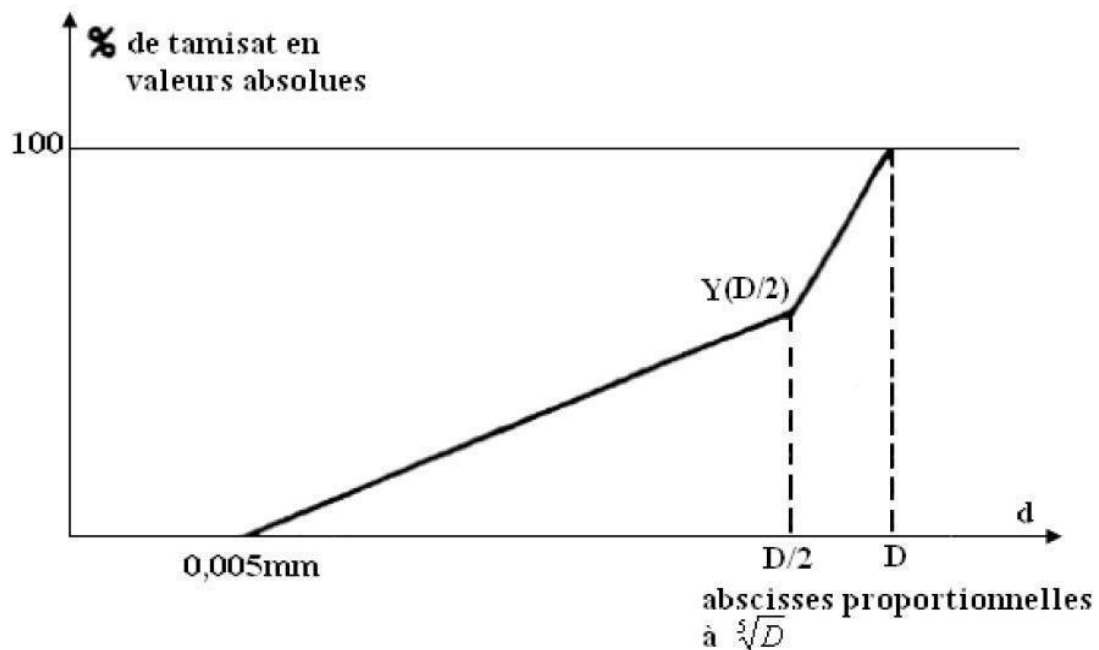


Figure II 8 : courbe optimale de JOISEL. [17]

II- 10 - Méthode de VALETTE : [5]

Méthode essentiellement expérimentale, elle nécessite un nombre de calculs préparatoires.

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 à minimum de sable » ou « dosage des bétons à granularité discontinue » .

La méthode VALLETE proprement dit est quelque fois avec certaines. Voici sommairement résumé le principe de cette méthode .

Dans les cas les plus courant, on général de deux granulats (béton binaires) : une sable 0/5mm et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité avec le sable , un 16/25 par exemple .

On calcul d'abord le dosage de sable et ciment devant donner en principe le mortier à minimum de ciment ; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable par un volume égal de pâte pur 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 résistance souhaitées , la plasticité nécessaire , l'étanchéité ou autres 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 on évalue par un calcul approprié , le volume de pâte pure compensatrice à substituer à un égal volume plein mouillé de sable .

Nous inspirerons 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 .

II- 11- Méthode de FERRET :[6]

M.FERRET au premier rattache la résistance du béton à la compacité du mélange , d'une façon précise.

Mr. FERRET le rattache la résistance du béton la compacité du mélange , d'une façon précise.

La loi qu'il donne peut se mettre sous la forme : $R=K (c_1/v)^2$ (II.15)

Avec :

R : est résistance à la compression.

C1 : Le volume absolu de ciment.

V : le volume des vides des agrégats.

K : un coefficient dépendant de l'âge du béton et du ciment utilisé.

La formule de FERRET a été obtenue avec des ciment portland artificiels Or, avec les ciment qui contiennent du laitier en proportion plus ou moins grande, on obtient lors des essais sur éprouvettes cubiques des

résistances qui n'augmentent pas sensiblement, et en tous cas n'obéissent pas à la loi de FERET, lorsque le dosage en ciment varie, et d'une façon plus précise le rapport $\frac{C}{e+v}$ varie.

II- 12- Méthode BARON et OLLIVIER : [8]

La méthode est due à Monsieur BARON, à partir des études expérimentales qu'il a réalisées dans les années 1970_80 et qui ont été optimisées par la suite en utilisant les directives de la norme NF P 18_305, remplacée par la Norme Européenne EN 206-1. Cette méthode est développée dans un livre co-écrite par Messieurs BARON et OLLIVIER « Les BETONS , Bases et données pour leurs formulations » édité chez Eyrolles.

Les expériences ont confirmé les travaux réalisés par BOLOMEY et FAURY dont certaines formules ont été retenues en ce qui concerne les dosage en liant et en eau. Pour les dosage en granulats ce sont, en partie, les travaux de DREUX qui ont été retenus . L'ensemble est complété par des résultats expérimentaux qui rendent la méthode aussi abordable que la méthode DREUX sans avoir les inconvénients de sa limitation aux seuls bétons courants.

II- 13- Méthode de FULLER : [10]

C'est celle BOLLETTEY s'est inspiré .Elle date de 1907.

La courbe optimale est analogue à celle de BOLOMY, mais ne tient pas compte du ciment.

Son équation est :

$$P = 100 \sqrt{d/D} \dots\dots\dots (II.19).$$

Qui représente, dans le même système d'axes que celui utilisé pour BOLOMEY, un droit partant de l'origine des axes.

Elle présente, l'inconvénient de ne pas tenir compte de la du béton soustraite, ne de la provenance des granulats utilisés.

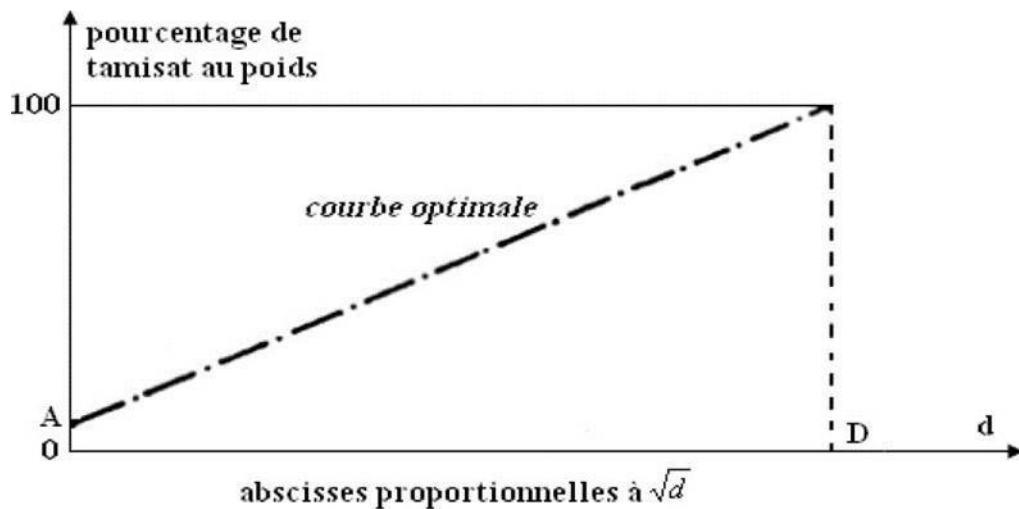


Figure II 9 : courbe optimale de FULLER. [17] II- 14- Méthode de LARRADE [11]

LARRADE vise à rendre facilement utilisable par le praticien le résultat d'un quinzaine d'années de recherche sur la formulation.

Il est bas sur un modèle de compacité, le Modèle d'Empilement Compressible (MEC) . Celui- ci permet de prévoir les courbes de compacité, pour Un nombre quelconque de classes granulaires , et en fonction de l'énergie de compactage fournie au système, décrite par L'indice de serrage K.

Cet indice peut également se calculer pour le système granulaire complet du béton, et caractérise alors sa compte tenu des dimensions de structure et de son ferrailage éventuel. L'indice de serrage n'est pas directement vérifiable par un essai de laboratoire, au contraire des autres propriétés traitées par BétonlabPro2 :teneur en air, affaissement, seuil de cisaillement, viscosité plastique pour le béton frais ; résistance en compression à 1,3,7,28 ,90,360 jour, résistance en traction et module élastique à 28 jours, retrait endogène et total, fluage propre et totale, etc. Pour le béton durci. ces propriétés d'usage sont prédites par des modèles spécifique, de nature semi-empirique, calibrés sur de nombreuses données expérimentales (De LARRAD,2000)

II- 15- Méthode K CHOUICHA : [13]

K. CHOUICHA : rechercher chef de laboratoire Département de génie civile, Université des sciences et technologie d'Oran, Algérie, Oran, Alegria.

La méthode de K. CHOUICHA publié un 9 Décembre 2005 cette une méthode qui basé sur les courbe granulométrique de chaque composé pour avoir un courbe du mélange basé sur un modèle dimension fractale DF.

II- 16- Méthode américaine (ACI 211) : [12]

Cette méthode (ACI 211) est probablement l'une des plus populaires monde. Elle est basé essentiellement sur les travaux de chercheurs américains (ABRAMS et POWERS) est applique huit étapes.

Cette méthode composée le béton sur la base des étapes suivants :

Etape 1 : choix de l'affaissement .

Etape 2 : choix de taille maximale des granulats (D_{max}) .

Etape 3 : estimation de la quantité d'eau et l'air . L'eau est déterminée par D_{max} et par l'affaissement requis alors que l'air dépend D_{max} .

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

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

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

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

Etape 8 : ajustements finaux.

II- 17- Méthode britannique (BRE 1988) : [12]

La méthode du département de l'environnement révisée en 1988 (BRE1988,citée par Neville1995) est applique Cinq étapes .

Aussi cette méthode composée le béton sur le bas des étapes suivant . Etapes successives de la méthode :

Etape 1 : déterminer du rapport eau/ciment une première contrainte concerne la durabilité (valeur maximale du rapport e/c). Le rapport eau/ciment est ensuite déduit de la résistance à la compression requise , pour des âges compris entre 2 et 91 jours . le type de ciment (durcissement lent ou durcissement rapide) et de granulats , (concassé ou roulé) est aussi pris en compte dans une table et un abaque .

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

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

Etape 4 : détermination de la masse totale de granulat . L'utilisateur peut lire dans un tableau la « densité du béton à l'état frais » en fonction de la quantité d'eau et de la densité, les masses (pour une unité) de ciment et d'eau sont soustraites .

Etape 5 : détermination du rapport sable/sable+gravillon. Dans une série de tables , on trouve ce rapport en fonction de la maniabilité requise .

(Exprimée par l'affaissement ou par temps .D'écoulement Verbe), de D_{max} du rapport eau/ciment et de la quantité et passants du sable au tamis de 0.6 mm . Quand le gravillon est livré en plusieurs coupures , les pourcentages de chaque coupure par rapport à la masse totale de gravillon sont proposés dans une autre table .

II-18- Méthode de BARON et LESAGE : [4]

Méthode purement expérimental , fondée sur l'utilisation du maniabilité .

Son principe est de déterminer en premier lieu par approximations successives l'ensemble des proportions des constituants inertes qui correspondent à l'écoulement le plus rapide au maniabilité .Puis faire varier le dosage en eau jusqu'à l'obtention de l'écoulement désiré .

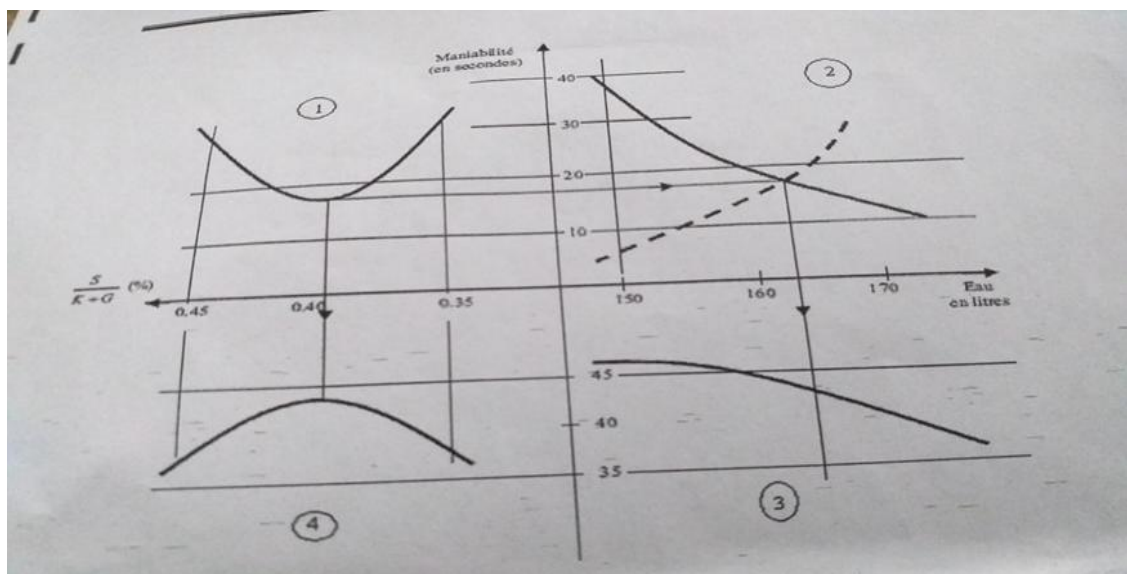


Figure II 10 : courbe optimale de BARON – LESAGE [17]

1-($E = \text{cte}$, $c = \text{cte}$, $G/K = \text{cte}$).

- Recherche du rapport optimal $\frac{S}{K+G}$

- Jugement de la sensibilité de la formule aux variations de ce rapport.

2- Recherche du dosage en eau adapté a un mode de mis en place détermine.

- Jugement de la sensibilité de la formule aux variations de ce dosage en eau.

3- Connaissance du niveau de résistance obtenu et de ses variations quand le dosage en eau varier.

4- Connaissance éventuelle des variations dues à variation du rapport $\frac{S}{K+G}$

II-19- Méthode BARON – OLLIVIERER : [3]

Il s'agit de déminer des compositions particulières de bétons à partir de la formulation de bas Monsieur BAEON, en tentant compte de paramètres complémentaires (adjuvant, utilisation de fumée de silice,).

Dans les formulations avancées le squelette granulaire ne varie pas. Ce sont la composition et la compacité de la pâte liante qui sont modifiées. Le problème posé est le suivant :

Comment augmenter la résistance du béton sans modifier son ouvrabilité ni son temps de prise.

Augmentation de la résistance

Une augmentation de la résistance d'un béton s'obtient en faisant varier deux paramètres:

- la compacité de la pâte liante.
- le rapport C/E

a- Maintien et amélioration de l'ouvrabilité

L'utilisation de plastifiants et de fumées de silice permet d'augmenter la compacité. Mais, si le plastifiant augmente l'ouvrabilité en libérant de l'eau, ce n'est pas le cas des fumées de silice qui augmentent la viscosité du béton et diminuent donc son ouvrabilité.

b- Volume absolu des fines

Les études de BLOMEY et de FAURY ont démontré que le volume absolu des fines jouait un rôle considérable sur la qualité du béton :

Un béton trop pauvre en fines favorise la ségrégation à la mise en œuvre, un béton trop riche en fines ne présente pas un beau parement (problèmes aux contacts avec le coffrage).

En fait, il existe un dosage optimale de volume absolu en fines avec des frontières minimales et maximales.

Le dosage optimal est donné par la relation suivant :

$$Vf = \frac{220}{\sqrt[5]{D}} \dots \dots \dots (II.16).$$

Les valeurs optimales et limites sont données dans le tableau ci- dessous en dm3 (litre) de fines par m3 de béton.

Il faudra donc toujours vérifier que la composition obtenue donne un volume optimale de fines, sinon, il faut jouer sur la qualité du ciment pour abaisser le volume de fines ou sur les additions de fines pour augmenter le volume lorsqu'il est dessus de la valeur minimale.

Mode opératoire :

a- La pâte liante :

1- Déterminer la résistance cible f_c .

2- Déterminer la quantité optimale d'eau efficace E, en appliquant si nécessaire les corrections et en prenant compte la réduction autorisée par l'adjuvant.

3- Déterminer la quantité optimale d'air occlus V_a , en appliquant si nécessaire les corrections.

4- Déterminer le coefficient granulaire de BOLOMY : K_b

Déterminer le coefficient K_v : $K_v = E / (E + V_a) \dots \dots \dots (II.17)$. 5- Calculer le rapport liant équivalent sur eau efficace (L/E) par

la formule de BOLOMY qui devient :

6- Déterminer le dosage en liant équivalent : L.

7- Déterminer le dosage en ciment C et en fumée de silice SF en utilisant le coefficient K.

8- Déterminer la masse en extrait sec d'adjuvant : M_{adj}

9- Vérifier que rapport E/L et la teneur en liant équivalent est conforme à la NF EN 206.1 (voir annexe)

b- Le squelette granulaire :

Partir des courbes granulométriques, déterminer la courbe optimale par déterminer les pourcentages de sable S% et de gravier G%.

c- Composition de béton :

Calculer la masse volumique absolue de l'extrait sec d'adjuvant.

Calculer le volume absolu des granulats secs. Calculer le volume absolu de pâte liant.

Calculer le volume absolu des granulats. Calculer le volume absolu de chaque granulat.

En déduire la masse de chaque granulat.

Vérifier le volume absolu de fines (le volume de fines est le volume de ciment, d'extrait sec d'adjuvant, de fumée de silice des éléments inférieurs à 63 µm dans le sable).

Déterminer le dosage de l'adjuvant en solution. Corriger le dosage en eau pour tenir compte de l'eau existant dans la solution.

II- 20- Méthode de Seramtaïev : [16]

Cette méthode est appelée la méthode des volume absolus ou méthode de Seramtaïev .

Le principe de cette méthode est le suivant : la somme des volumes absolus de tous les matériaux composants pour un dosage de 1 m³ de béton frais est égale 1000 litres .

$$[(C/\gamma_C) + (E/\gamma_e) + (S/\gamma_s) + (G/\gamma_g)] = 1000 \text{ (II.20).}$$

Avec :

C ; E ; S et G : dépenses en ciment , eau , sable , et gravier en (Kg/ m³).

$\gamma_C \gamma_e \gamma_s \gamma_g$ masses spécifiques ou masses volumique absolues du ciment , eau, sable et gravier en (Kg/l) .

La composition du béton .c'est -à- dire la dépense (quantité) de ciment , d'eau , de sable et de gravier ou pierres concassées est établie approximativement par la calcul ,ensuite elle est précisée par la méthode d'essai de dosage expérimentaux de mélange du béton .

II- 21- Méthode structurale :[16]

La théorie structurale du béton présente la dépendance qui existe entre les propriétés du mélange de béton frais et béton durci en fonction de caractéristique structurale. Elle permet d'utiliser au cours de l'élaboration de la composition du mélange de béton les « modèles mathématiques » [4,5].

La formalisation de la structure du béton qui est nécessaire pour l'élaboration des modèles mathématiques « propriétés-composition » prévoit l'établissement de trois caractéristiques de base qui déterminent les propriétés du béton.

Ce sont :

- La concentration volumique de la pâte de ciment dans le béton (K_c)
- Le rapport eau-ciment vrai (W_c).
- Le degré d'hydratation du ciment (a).

La valeur K_c exprime le rapport volumique entre la pâte de ciment et les agrégats (caractéristique macrostructurale).

Les valeurs W_c et a ensemble déterminent le volume et le type ou le caractère des vides dans le béton, c'est-à-dire ils caractérisent la macrostructurale du béton.

Les facteurs K_c et W_c caractérisent non seulement la structure mais aussi la composition du béton, parce que la concentration volumique des agrégats K_g et dépense en ciment C sont reliés par la relation :

$$K_g = 1 - K_c$$

Les propriétés du béton dépendent étroitement de structure et de la qualité des matières premières, on peut alors apprécier l'influence de la qualité du agrégats sur les propriétés du béton en préparant des béton avec les mêmes caractéristiques structurales mais à base d'agrégats différents.

II- 22- Méthode de LEZY : [7]

Comme VALLETTE, LEZY cherche à employer le plus Possible de gravier.

Les quantités servant de base au calculeront déterminées à partir d'un récipient de volume V connu.

Gravier : le maximum qui puisse être introduit dans le volume V et le volume absolu est

$$V_{abs} = \frac{pG}{mv_{abcG}} \dots \dots \dots (II.21).$$

Ciment : pour le volume

$$V : P1 = \text{dosage} \times \frac{v}{100} \text{ kg} \dots \dots \dots (II.22).$$

On arrive à une composition en poids correspondant au volume V , comme pour la méthode de VALLETTE, et on en déduit la composition d'un m³ de béton.

Cette méthode conduit à une trop grande quantité de gravier : une meilleure approximation est obtenue en vibrant pas le gravier introduit dans le volume V , et de toute façon, il faut ajuster par tâtonnements la gravier trouvée, pour obtenir une meilleure compacité du béton

II- 23- Méthode de F.LARRAD : [12]

Récemment, un nouveau modèle plus complet de compacité granulaire, le modèle d'empilement compressible (MEC, a été développé au sein du laboratoire Central des points et Chaussées (LCPC).

Ce modèle permet de prendre en compte l'aptitude à se compacter de chaque granulat, les interaction granulaires (effet de paroi et de desserrement), l'effet de paroi et l'effet de l'énergie de mis en œuvre.

On distingue, dans le cadre du MEC, les notion de compacité virtuelle et compacité expérimentale qui sont, respectivement la grain, et la compacité réelle du mélange dans lequel l'arrangement granulaire est compacité optimale qu'on peut atteindre en effectuant un empilement optimale grain par naturellement désordonné.

Compacité virtuelle :

Pour population de grains donnée, on sait que la compacité, rapport du volume total, dépende du mode de mise en place du mélange.

On appelle conventionnellement compacité virtuelle la valeur maximale qu'il est possible d'atteindre en plaçant les grains un à un dans mélange, tout en respectant leur intégrité.

Les mélanges industriels, mais en place aléatoirement et avec une énergie finie, conduisent toujours à des compactés réelles plus faibles.

On montre que cette compacité virtuelle est égale à :

$$\gamma_i = \frac{\beta_i}{1 - \sum_{j=1}^{i-1} \gamma_j - (1 - \beta_i) \sum_{j=i+1}^n \gamma_j} \dots\dots\dots (II.23).$$

- γ_i : compacité virtuelle du mélange si classe i est supposée dominante.
- n : nombre de classes granulaires du mélange.
- β_i : compacité virtuelle du mélange si la classe i (prise individuellement).
- γ_i : proportion volumique de la classe i dans le mélange.
- γ_i : compacité virtuelle du mélange si classe i est présumée dominante.
- b_{ij} : fonction d'effet de paroi exercé par la classe j sur la classe i
- a_{ij} : fonction de desserrement des grains j par les grains i .

Compacité réelle :

Les considérations précédentes permettent , pour une combinaison donnée de n classes granulaires , de calculer n expression de la compacité virtuelle , chacune correspondant au cas ou la classe i serait dominante . La « vraie compacité virtuelle » est la plus faible de cas n valeurs . Pour calculer la compacité réelle , on se dote d'un paramètre supplémentaire , appelé indice de serrage .

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{y_i / B_i}{\frac{1}{c \cdot v_i}}$$

Ou C : compacité expérimentale du mélange . K : indice de serrage pour le mélange .

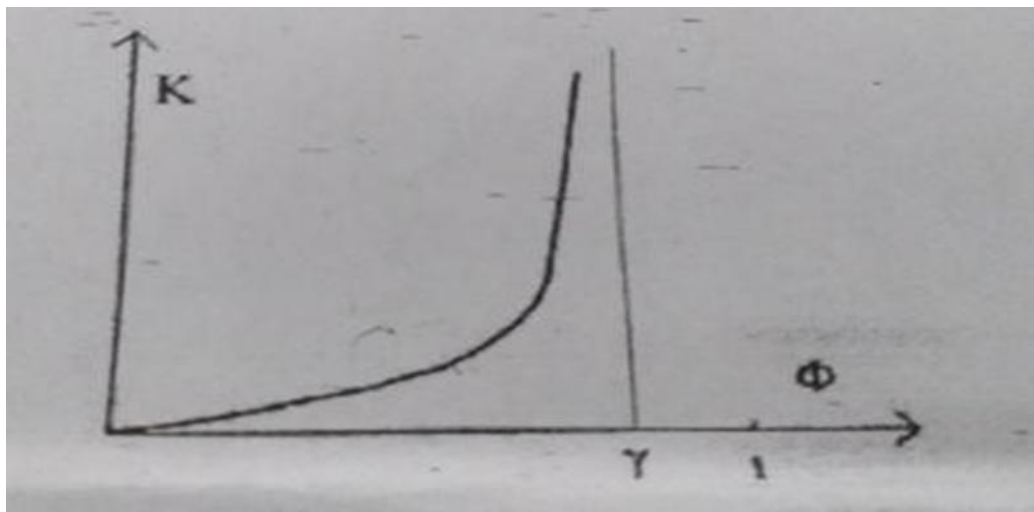


Figure II 11 : variation de K en fonction de la compacité[17]

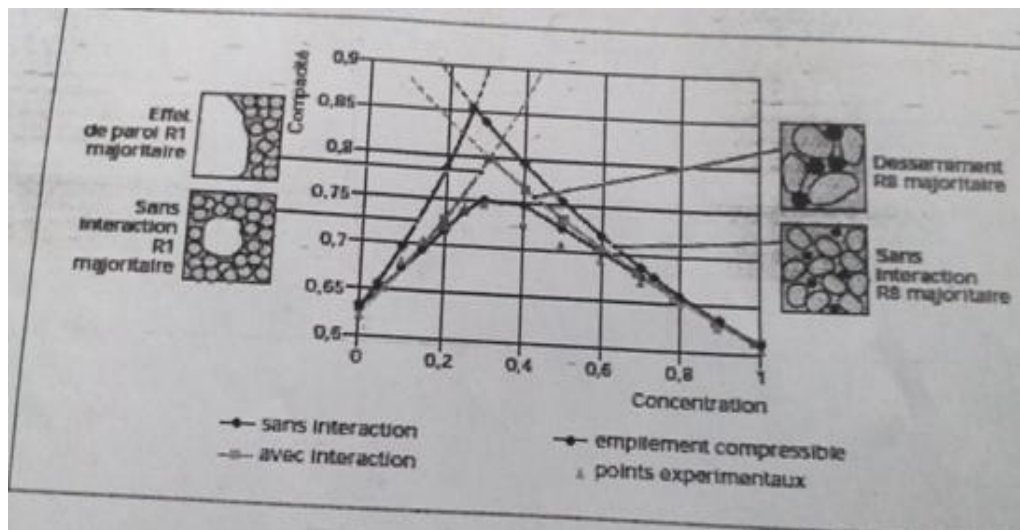


Figure II 12 : compacité en fonction des concentration en fins (R1) suivant les différents et compacité expérimentale ; valeurs pratiques de l'ndice de serrage.[17]

II- 24- Méthode de CHOUICHA : [14]

Le but de cette méthode consiste à vérifier si le couple « dimension fractale

(DF) et étendue granulaire (d/D) d et D étant respectivement le plus petit diamètre et le plus grand diamètre des graines , peut être utilisé comme paramètre d'identification d'une mélongine granulaire.

Des mélanges granulaires dont la distribution des graines est parfaitement fractale ont été composés , chaque mélange granulaire étant identifié par la dimension fractale DF et par son étendue granulaire (d/ D).

Des essais de détermination expérimentale de la porosité ont été menés . Les valeurs obtenues sont exprimées en fonction du produit de la dimension fractale par le logarithme de (d/D) , C'est – à – dire $DF \cdot \log (d/D)$.

Les résultats montrent la pertinence de l'utilisation de ce couple puisqu' il nous permet d'identifier les mélanges granulaires et de décrire l'évolution de la valeur de la porosité (compacité) selon une mise en œuvre donnée . Comme il nous permet de mettre en relief la même valeur optimale de la dimension fractal , celle pour laquelle la porosité est minimale , qui est ne fait celle de la dimension topologique d'un volume c'est- à – dire la valeur 3

II-25- Conclusion :

Cette chapitre est description les méthode et on remarque , les méthodes empirique basées sur les essais successif et sur des résultats expérimentale , mais les autres méthode basées d'aborde sur des résultats scientifique existant et basé autre sur des modales , avec complémenter expérimentales est celle qui s'appelle les méthode semi empiriques.

Aussi en a vu que la majorité des méthode basé sur les analyses granulométriques pour les composons granulaire et formulé le béton.

CHAPITRE III
ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE
FORMULATION DE BETON
(PARTIE EXPERIMENTALE)

III-1-Introduction:

La qualité du béton est intimement liée à celle de ses constituants et particulièrement les granulats puisqu'ils occupent les trois quarts de son volume, il n'est pas étonnant que la qualité de ces derniers revête une grande importance. Non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais, selon leurs propriétés, ils peuvent affecter la durabilité et les performances structurales du béton. Les granulats sont donc, un constituant essentiel des bétons qui conditionne à la fois leurs caractéristiques et leur coût. Leur élaboration relève des industries extractives. En fait, on ne peut confectionner un béton résistant avec des granulats dont les propriétés sont médiocres. Avant la détermination des dosages des constituants qui rentrent dans la formulation du béton, il est impératif d'examiner certaines caractéristiques des

matériaux composants le béton (granulats, ciment, eau), en les mesurant, par des méthodes et essais normalisés.

L'objectif de ce chapitre expérimental, est la caractérisation des matériaux utilisés dans ce travail et la composition de béton et sa résistance à la compression.

Formulation d'un béton ordinaire:

Les méthodes de composition ne conduisent pas toutes au même résultat, car chacune d'elles doit simplifier et s'appuyer sur quelques hypothèses qui ne sont pas toujours les mêmes. Signalons néanmoins qu'aucune d'entre elles n'aboutit à coup sûr une composition exacte, ceci est dû aux paramètres influant sur le béton qui sont très nombreux et difficilement appréciables.

Pour la composition optimale d'un béton, plusieurs paramètres peuvent être étudiés: le dosage en ciment, le dosage en eau et le dosage en granulats . Afin de simplifier l'étude et satisfaire les principes de la méthode, seul le rapport g/s est variable. Le dosage en ciment ainsi que le rapport eau/ciment (E/C) sont fixés au départ.

III-2-Présentation du laboratoire :

Les études expérimentale ont été réalisés au niveau de laboratoire des travaux publics du sud (LTPS) antenne EL Oued, sis à la zone industrielle chott El Oued, est une entreprise publique économique , société par action de groupe GEICA (**G**roupe d'**E**tudes ,d'**I**nfrastructures, de **C**ontrôle et **A**ssistance) .

III -2- 1-les missions du LTPS :

Le laboratoire est un bureau d'engineering qui a pour mission les études géotechniques, les expertises et les contrôles de la qualité des matériaux du BTPH.

Le LTPS a notamment vocation à :

- Réaliser les études géotechniques pour la construction de tous les projets de BTPH.
- Analyser les matériaux de construction .
- Concevoir des formulations des bétons hydrauliques et bitumineux
- Suivre et contrôler les chantiers du secteurs BTPH
- Expertise les édifices ,les ouvrages d'art et les routes.

III -2- 2-Métier du LTPS :

III -2- 2-1 Les essais au laboratoire :

✓ Laboratoire de géotechnique

- Identification des sols
- Essais mécanique
- Géotechnique routière

✓ Laboratoire de géotechnique

- Essais sur granulats
- Essais sur ciment
- Essais sur béton

✓ Laboratoire des produits noirs

- Bitumes et émulsions ordinaires et a modules élevés
- Enrobés et enrobes a module élevés

✓ Laboratoire de peinture

- Peinture
- Billes de verre

✓ Laboratoire de chimie

III -2- 2-2- les essais in situ :

- ✓ Géotechnique et géologie
- ✓ Géophysique
- ✓ Auscultation routes et sols
- ✓ Métrologie

III -2- 2-3- études et expertises :

- ✓ chaussées
- ✓ ouvrages
- ✓ sols

III-3-Caractérisation des matériaux utilisés:

III -3- 1-Ciment:

Le ciment utilisé est un ciment portland au calcaire **Matine** NA442CEM II/A-L 42.5 N(certifie conforme à la norme NA442-2013 et EN 197-1) provenant de la cimenterie Lavargede M'sila[17]

III-3-1-1- Fiche technique de ciment :

Nous pouvons prendre et adopter les caractéristique technique de ciment (**Matine**) indiquées dans la fiche technique du produit comme suit:

1- Analyse chimique

/	Valeur
Perte au feu (%) NA5042	8.0 ± 2
Teneur en sulfate SO3 (%)	2.5 ± 0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7 ± 0.5
Teneur en chlorures NA5042 (%)	0.02 ± 0.05

2- Composition minéralogique du clinker (bogue)

/	Valeur
C3S (%)	60 ± 3
C3A (%)	7.5 ± 1

3- Propriété physique

/	Valeur
Consistance normale (%)	26.5 ± 2.0
Finesse selon la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3700 - 5200
Retrait a 28j (µm/m)	< 1000
Expansion en (mm)	≤ 3.0

4- Temps de prise à 20° (NA230)

/	Valeur
Début de prise (min)	150 ± 30
Fin de prise (min)	250 ± 50

5- Resistance à la compression

/	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

III – 3-2 - L'eau de gâchage

L'eau utilisée lors de la fabrication des bétons est l'eau potable.

III - 3-3- Les granulats

III - 3-3-1- Le gravier : les graviers utilisés dans ce travail de classes 3/8 et 8/15 provenant de la carrière ENGA in Touta wilaya de BATNA . [17]

III - 3-3-2- Le sable: est un sable alluvionnaire provenant de la carrière Ighil Ali à Djamaa wilaya d'El Meghaier. [17]

III-3-3-3- Identification des granulats

Pour pouvoir construire des ouvrages fiables, selon les normes et de haute efficacité technico-économique, il faut déterminer les caractéristiques intrinsèques des granulats, puisque ces derniers constituent le squelette du béton et plus de 70% de son volume et influent donc fortement sur ses

caractéristiques ; à savoir les propriétés dimensionnelles, physico- chimiques et mécaniques.

III-3-3-4-Essais sur granulats

La série d'essais sur les granulats concassés a concerné la mesure des caractéristiques granulométriques, géométriques, mécaniques et physiques.

III 3-3-4-1- Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions. L'analyse granulométrique complète comprend en général deux opérations.

- **Le tamisage** : pour la distribution pondérable des particules de dimensions supérieures ou égales à 80 microns.

1- But de l'analyse granulométrique

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

2- Principes de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis et passoirs reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes.

Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

3- Matériels utilisés

- Une machine à tamiser électrique qui imprime un mouvement vibratoire.
- Une série de tamis
- Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamisât.
- Des récipients en métal
- Une main écope pour le remplissage
- Une balance électronique.
- Une brosse.



Photo III.1 : *Tamiseuse vibrante*[17]

4- Tamis utilisés

- Pour le sable 0/5 on a utilisé des tamis d'ouverture:(8; 6.3 ; 5; 2.5; 1.25; 0.63; 0.315; 0.16; 0.08)
- Pour les gravillons 3/8 on a utilisé des tamis d'ouverture:(10; 8; 6.3; 5; 2.5; 1.25)
- Pour les gravillons 8/15 on a utilisé des tamis d'ouverture:(20; 16; 12.5; 10; 8; 6.3; 5).

5- Mode opératoire

On prend une quantité représentative d'un échantillon de sol sec. La masse de l'échantillon à analyser dépend des dimensions et du pourcentage des éléments les plus gros que cet échantillon contient. Il est recommandé de se tenir dans les limites définies par la formule suivante : **$200 D < M < 600 D$**

Avec : **M** : la masse de l'échantillon exprimée en grammes.

D : la dimension maximum exprimée en mm des plus gros éléments c.à.d. le coté de la plus petites maille a travers de la quelle passant les plus gros éléments.

- On choisi une série de tamis d'ouvertures décroissantes de haut vers le bas tel que le tamis supérieur de cette colonne laisse passer les plus grosses particules. On disposera sous le dernier tamis un bac destiné à recevoir les particules dont les dimensions sont

supérieures à la plus petite maille de la colonne.

- On verse le matériau en haut de la colonne.
- On ferme l'ensemble avec un couvercle pour éviter toute perte durant le tamisage.
- On effectue la vibration.

Tableau III.3 : L'analyse granulométrique des composantes [17]

Tamis (mm)	Passant (%)		
	Sable	Gravier 3/8	Gravier 8/15
25	-	-	-
20	-	-	100
16	-	-	95
12.5	-	-	55
10	-	100	25
8	-	100	6
6.3	-	90	0
5	100	66	-
2.5	99	8	-
1.25	92	1	-
0.63	68	-	-
0.315	32	-	-
0.160	9	-	-
0.08	2	-	-

6- Interprétation des résultats

- Le gravier 3/8 et 8/15 présentant une granulométrie uniforme, continue et bonne répartition granulaires
- Le sable présente une granulométrie bien gradué uniforme, continue et bonne répartition granulaires

III- 3-3- 4-2- Masses volumiques

Le volume des solides de forme géométrique connue se calcul à partir des dimensions mesurées .on distingue dans Le volume d'un matériau de forme quelconque deux catégories de masse volumique :

III- 3-3- 4-2-1- Masse volumique apparente:

Est la masse du matériau par unité de volume. Cette masse volumique intègre les grains de l'agrégat ainsi que les vides compris entre ces grains. Elle est déterminée selon les normes **NF P 18-554** pour les graviers et **NF P 18 -555** pour les sables.

1- Principe del'essai:

L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu (V) du matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité (M). La prise de l'échantillon se fait par quartage.

2- Matériels utilisés:

- Un récipient
- Une balance
- Une spatule pour arasement du récipient

3- Méthode utilisée:

- On pèse un récipient vide de masse M1 et de volume connu V
- On remplit le récipient avec le matériau, en le répartissant sur toute la surface sans tassement.
- On arase avec soin à l'aide de spatule
- On pèse le récipient rempli M2
- On calcule la masse volumique apparente avec la formule suivante

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ en (g/cm}^3\text{)}$$

Avec:

M : la masse de l'échantillon seul (M = M2– M1); V: le volume de récipient

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivante:

Tableau III.4 : les masses volumique apparente des graviers [17]

Classe de Gravier	Masse volumique apparente
3/8	1.498 g/cm ³
8/15	1.427 g/cm ³

Tableau III.5 : la masses volumique apparente du sable [17]

Sable	Masse volumique apparente
0/5	1.602 g/cm ³

III- 3-3- 4-2-2-Masse volumique absolue:

est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat ,sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

Elle est déterminée selon les normes **NF P 18-554** pour les graviers et

NF P 18 555 pour les sables

1- Principe de l'essai:

Il s'agit de verser une quantité connue de granulat dans une quantité d'eau. La différence de volume rapportée à la masse du matériau donne la masse volumique absolue.

La prise de l'échantillon se fait par quartage.

2- Matériels utilisés :

Pour cet essai on a utilisée la méthode d'éprouvette graduée, alors on abesoin de :

- Une éprouvette graduée
- Une balance



Photo III.2 : Mesure de la masse volumique absolue.

3- Méthode utilisé :

- On verse dans une éprouvette graduée un volume d'eau $V_1 = 500 \text{ cm}^3$
- On pèse un échantillon sec de granulats $M = 300 \text{ g}$
- On introduire l'échantillon dans l'éprouvette avec précaution en prenant soind'éliminer les bulles d'air
- On relève le nouveau volume V_2
- On calcule avec la formule suivante

$$pab = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau suivante :

Tableau III.6 : les masses volumique absolue des graviers [17]

Classe de Gravier	Masse volumique absolue
3/8	2.737 g/cm ³
8/15	2.721 g/cm ³

Tableau III.7 : la masse volumique absolue du sable [17]

Sable	Masse volumique absolue
Sable alluvionnaire	2.712 g/cm ³

4- Interprétation des résultats :

Les matériaux utilisés (sable + gravier 3/8 + gravier 8/15) sont des matériaux cohérents, présentant des densités élevées.

III-3-3-4-3-Equivalent de sable"ES":[17]

L'équivalent de sable est un rapport conventionnel volumétrique multiplié entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins. Il existe deux types de mesures : l'essai visuel et l'essai au piston.

Actuellement, le texte réglementaire décrit cet : Essai d'équivalent de sable (NF P18-598),

1- Principe de l'essai

L'essai consiste à verser un échantillon de sable de fraction 0/5 mm et une petite quantité de solution flocculant dans un cylindre gradué et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon. On complète alors le sable en utilisant le reste de solution flocculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable. Après 20 min, les hauteurs des produits sont mesurées. L'équivalent de sable est le rapport hauteur du sable sur hauteur totale, exprimé en pourcentage.

2- Matériels utilisés

- 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 taré de 1 kg
- un réglet 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 de portée 5 kg, précision 1g



Photo III.3 : Matériels utilisés pour l'essai d'équivalent de sable.

3- Prise d'essai

On prend un échantillon de masse de 120 g

4- Mode opératoire

- On remplit les 03 éprouvettes de solution lavant jusqu'au 1^{er} repère,
- On verse progressivement à l'aide de l'entonnoir, l'échantillon humide dans l'éprouvette puis frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main afin de déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon,
- On laisse reposer 10 minutes,
- On bouche l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et on agite horizontalement allers et retours en 30 secondes à la main,
- On retire le bouchon et on rince au dessus de l'éprouvette
- On lave les parois intérieures de l'éprouvette en faisant descendre le tube lavant jusqu'au fond de l'éprouvette,
- On remonte et on descend lentement le tube laveur, que l'on tourne entre les doigts dans la masse du sable, afin de faire remonter les particules fines,

- On arrête cette opération lorsque le niveau de la solution atteint le deuxième repère
- On laisse reposer 20 minutes, en évitant toute vibration,
- On mesure à vue la hauteur H1 (sable + floculat), H2 (hauteur du sable propre).
- On calcule ESV et ESP avec les formules suivantes :

$$ESV (\%) = \frac{H2}{H1} \times 100$$
$$ESP (\%) = \frac{H'2}{H1} \times 100$$

Avec :

H1 : la hauteur totale y compris le floculat

H2 : la hauteur du sable seulement

H2' : La hauteur du sable propre donnée par piston taré



Photo III-4 : Essai d'équivalent de sable [17]

5- Interprétation des résultats

Tableau III.8 : Résultats d'équivalent de sable [17]

Type de sable	ESV (%)	ESP (%)
Sable alluvionnaire	76.0	71.0

selon la norme NF EN 933-8, on a un sable propre a faible pourcentage de fines convenant parfaitement pour le béton de haute qualité (annexe 4)

III-3-3-4-4-La propriété des graviers :[17]

1- Définition et But de l'essai

A l'instar de ce qui se pratique pour les sables, les graviers doivent être propres avant leur utilisation dans la fabrication des bétons.

2- Principe

Contrairement aux sables, les graviers présentant des classes granulaires relativement grossières. Ainsi, le principe de séparation des agrégats des éléments fins ne se fera pas par sédimentation mais par lavage.

3- Matériel utilisé

Tamis de maille 0.5 mm et un sceau d'eau.

4- Mode opératoire

- Essuyer l'excès en eau à l'aide d'un chiffon et peser la nouvelle masse, soit M1
- Calculer la propriété :

$$P(\%) = \frac{M0 - M1}{M0} \times 100$$

Le gravier est propre si P (quantité d'éléments fins) $\leq 5\%$.

5- Interprétation des résultats

Type de gravier	P (%)
Gravier 3/8	1.5
Gravier 8/15	1.0

Le gravier 3/8 et 8/15 sont propres ($P \leq 5\%$)

III-3-3-4-5-Essai Los Angeles:

1- Définition et But de l'essai.

Ce mode opératoire est issu de l'essai américain défini par la norme ASTM C.131.55

L'essai de la norme (N.F. P18.573) permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulats.

Il s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des assises de chaussée, y compris les couches de roulement.

Le matériau évolue pendant l'essai, d'une part par suite du choc des boulets sur le granulat (rupture fragile des éléments), d'autre part par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine et sur les boulets.

2- Principe

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés et aux frottements réciproques dans la machine Los Angeles. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi six granularités-types, de la classe granulaire 4/6,3 mm – 6,3/10 mm – 10/14 mm – 10/25 mm – 16/31,5 mm et 25/50 mm, se rapprochant au mieux de la granularité du matériau tel qu'il sera mis en oeuvre.

Le poids de la charge de boulets varie en fonction du type de granularité.

Si P est le matériau soumis à l'essai, p le poids des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance combinée à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques s'exprime par la quantité :

$$C_{LA} = 100 \times p / P$$

Cette quantité sans dimension est appelée, par définition, "coefficient Los Angeles" du matériau.

3- Matériel utilisé

a) - La machine Los Angeles comporte :

1- un cylindre creux en acier de 12 mm $\pm$ 0,5 mm d'épaisseur, fermé à ses deux extrémités, ayant un diamètre intérieur de 711 mm $\pm$ 1 mm et une longueur intérieure de 508 mm $\pm$ 1 mm. Le cylindre est supporté par deux axes horizontaux fixés à ses deux parois latérales, mais ne pénétrant pas à l'intérieur du cylindre ; le montage est tel que le cylindre peut ainsi tourner sur son axe qui doit être horizontal,

2- une ouverture de 150 mm de largeur, sur toute la longueur du cylindre, permet d'introduire l'échantillon. Pendant l'essai, cette ouverture est obturée d'une façon hermétique aux poussières par un couvercle amovible tel que la surface intérieure reste bien cylindrique.

Cette dernière est coupée par une tablette en saillie placée à une distance de 40 cm du rebord du couvercle, distance mesurée le long du cylindre dans le sens de la marche. Cette tablette démontable, en acier dur est de section rectangulaire (longueur égale à celle du cylindre, largeur de $90 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, épaisseur de 25 mm). Elle repose, suivant un plan diamétral, le long d'une génératrice et est fixée par des boulons sur les parois latérales.

Elle doit avoir des arêtes vives,

3- la charge est constituée par des boulets sphériques de 47 mm de diamètre environ et pesant 420 et 445 g. Ces boulets ne doivent pas s'user de façon trop irrégulière.

4- un moteur d'au moins 0,75 kW, assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation régulière comprise entre 30 et 33 tours/minute,

5- un bac destiné à recueillir les matériaux après essai,

6- un compte tours de type rotatif, arrêtant automatiquement le moteur au nombre le tours voulu.



Photo III-5: La machine Los Angeles [17]

- b) un jeu de tamis de 1,6 – 4 – 6,3 – 10 – 14 mm. Leur diamètre ne devra pas être inférieur à 250 mm,
- c) une balance précise au gramme, de portée au moins égale à 10 kg,
- d) une étuve à 105 °C,
- e) des bacs et des truelles,
- f) des bacs d'environ 40 x 30 x 5 cm, à perforation inférieure à 1,6 mm.

4- Préparation des matériaux

Effectuer l'essai sur un granulat, ayant une granularité conforme à l'une des six classes granulaires type, lavé et séché à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant (5 heures au minimum).

La prise d'essai sera de 5 kg. La préparer de la façon suivante :

- ✓ si deux essais sont envisagés, préparer, à partir de 15 kg, deux échantillons identiques par quartage à sec,
- ✓ sinon, tamiser l'échantillon à sec sur chacun des deux tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand.

Recueillir dans un bac 5100 g environ du matériau tamisé. Ce poids supplémentaire de 100 g servant à compenser celui des poussières ou de la gangue terreuse. Laver cette quantité recueillie sous un jet d'eau et la remuer à la truelle jusqu'à ce que l'eau soit claire. Après lavage, verser le matériau dans un bac perforé et égoutter quelques instants.

Sécher l'ensemble à l'étuve à 105 °c, jusqu'à poids constant. Retirer le bac perforé de l'étuve et laisser refroidir. Enlever l'excédent de matériau pour ajuster le poids à $P = 5 \text{ kg} \pm 2 \text{ g}$, exigé pour l'essai

5- Mode opératoire

Mise en place de l'échantillon dans la machine ainsi que la charge de boulets relatifs à la classe granulaire choisie (voir tableau suivant).

Classe granulaires (mm)	Fractions	Nombre des boulets	Poids total de la charge (g)	Poids de la fraction (g)
4 – 6.3		7	3080 ± 20	5000 ± 2
6.3 – 10		9	3960 ± 25	5000 ± 2
10 – 14		11	4840 ± 25	5000 ± 2
10 – 25	10 -16	11	4840 ± 25	3000
	16 -25	11	4840 ± 25	2000
16 – 31.5	16-25	12	5280 ± 25	3000
	25-31.5	12	5280 ± 25	2000
25 – 50	25-40	12	5280 ± 25	3000
	40-50	12	5280 ± 25	2000

Replacer le couvercle et serrer les boulons de fixation. Mise en route de l'essai en faisant effectuer à la machine 500 rotations à une vitesse régulière comprise entre 30 et 35

tr/mn pour toutes les classes à l'exception de la classe 25–50 mm où le nombre de rotations est de 1000.

Enlever le granulat après l'essai. Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes de granulat.

Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6 mm ; le matériau étant pris en plusieurs fois afin de faciliter l'opération.

Laver le refus à 1,6 mm dans un bac, bien remuer à l'aide d'une truelle. Puis verser dans le bac perforé, égoutter et sécher à l'étuve jusqu'à poids constant.

Peser ce refus une fois séché, soit P' le résultat de la pesée.

$$p = P - P' = 5000 - P'$$

$$C_{LA} = 100 \times (5000 - P') / 5000$$

Pour le béton CLA doivent être inférieure à 30 % ($CLA < 30$)

6- Interprétation des résultats

Echantillon	Classe granulaire	Coefficient LA (%)
Gravier 3/8	4-6.3	21.0
Gravier 8/15	10-14	22.0

Les différentes classes du gravier présentent des caractéristiques mécaniques acceptables ($C_{LA} < 30$).

–Essai sur béton frais:

-1–Essai d'affaissement au cône d'abrams:

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams (NF EN 12350-2) est un essai réalisé sur le béton de ciment frais peu fluide pour déterminer sa consistance. L'affaissement est aussi connu sous le nom de slump provenant de l'anglais.

1- Mode opératoire



Photo III-6:Cône d'abrams [17]

Pour réaliser cet essai une plaque et un cône d'Abrams sont utilisés :

- la plaque est en acier et a une surface dure et non-absorbante ;
- le cône d'Abrams est un cône en acier galvanisé. Il a un diamètre intérieur à sa base de 200 mm, un diamètre intérieur à son sommet de 100 mm et une hauteur de 300 mm². Il porte le nom de son inventeur Duff Abrams³ ;
- une tige d'acier lisse de diamètre 16 mm et à extrémité arrondie.

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

- le cône d'Abrams est placé puis fixé sur la plaque ;
- le cône est rempli avec du béton frais en trois fois. À chaque fois, chaque couche est piquée par 25 coups à l'aide de la tige ;
- le cône est arasé avec une tige ;
- le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler ;
- l'affaissement du béton frais est mesuré



Photo III-7:Remplissage



Photo III-8: Piquetage



Photo III-9: Démoulage



Photo III-10: Mesure de l'hauteur

L'affaissement est la distance mesurée entre le sommet du cône et le haut du béton affaissé

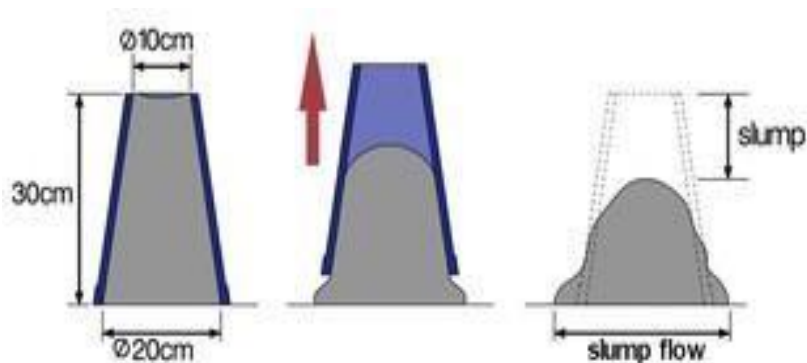


Figure II 11 :Schématisation de l'essai au cône d'abrams [17]

2- Classes d'affaissement du béton

La norme NF EN 2065 classe l'affaissement du béton en cinq groupes :

Classe	Affaissement (mm)	Propriété du béton frais
S1	10 – 40	Ferme, très secs et peu maniable
S2	50 – 90	Plastique, à humidité moyenne et à maniabilité moyenne
S3	100 – 150	Très plastique, très humide et à maniabilité élevée
S4	160 – 210	Fluide, très humide et à maniabilité élevée
S5	≥ 220	Très fluide, très humide et à maniabilité élevée

–Formulation de béton :

Pour l'étude expérimentale de la formulation du béton, on a utilisé les deux méthodes les plus connues et largement utilisées aux laboratoires et bureaux d'études en Algérie, la méthode de DREUX-GORISSE et celle de FAURY, nous avons respecté les étapes et le mode opératoire de laboratoire.

A fin de voir l'influence de la méthode de composition sur la résistance à la compression.

-1- La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse:

➤ **Résistance visée :**

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

La résistance désirée pour le béton à 28 jours est: $\sigma_{28j} = 25 \text{ MPa}$

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

➤ **Dosage en ciment et en eau :**

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

$$R_{C28} = G. R_C \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

$R_{C28} = \sigma'_{28j}$ résistance visée à 28 jours donc : $R_{C28} = 28.75 \text{ MPa}$

$$R_{C28} = G. R_C \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) . \quad \frac{C}{E} = \frac{28.75}{0.5 \times 42.5} + 0.5 = 1.86.$$

Dosage en ciment d'un mètre cube de béton:

(on a choisi un dosage en ciment 350 kg/m^3 , cas d'un béton courant)

D'après le rapport $\frac{C}{E} = 1.86$, la quantité d'eau de gâchage sera :

$$E = \frac{350}{1.86} = 188 \text{ L} \quad \Longrightarrow \quad E = 188 \text{ L}$$

$$\text{D'où } \frac{E}{C} = 0.54$$

Cette quantité est confirmée théoriquement (rapport C/E) et pratiquement par l'affaissement souhaité A au cône d'ABRAMS, nous déduisons, grâce à l'abaque $\frac{E}{C}$ en

fonction de A , le dosage en eau correspondant.

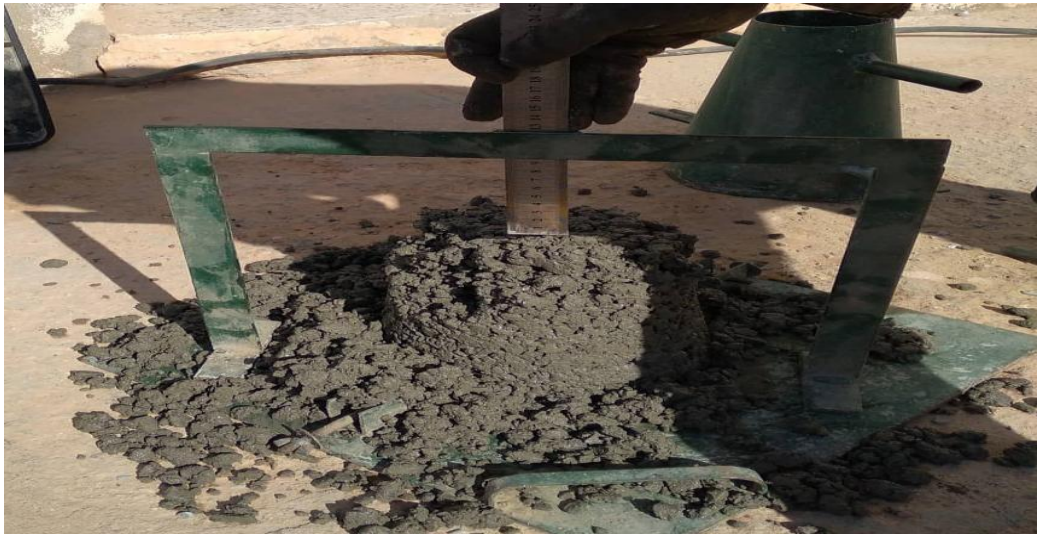


Photo III-5 : Essai cône d'ABRAMS [17]

Tracé de la courbe granulaire de référence AOB :

Nous traçons une courbe de référence OAB avec:

- le point O est repéré par ses coordonnées: [0 ; 0]
- le point B est repéré par ses coordonnées: [D; 100], (D: le diamètre du plus gros granulat).

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes:

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

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

K: Terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés, pour notre cas (Vibration normale, dosage en ciment 350 kg/m^3 et sable roulé)

prendre $K = 0$; $K_s = 0$; $K_p = + 0$

Alors $Y = 50 - \sqrt{10} = 46.83$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont:

[10;46.83]

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

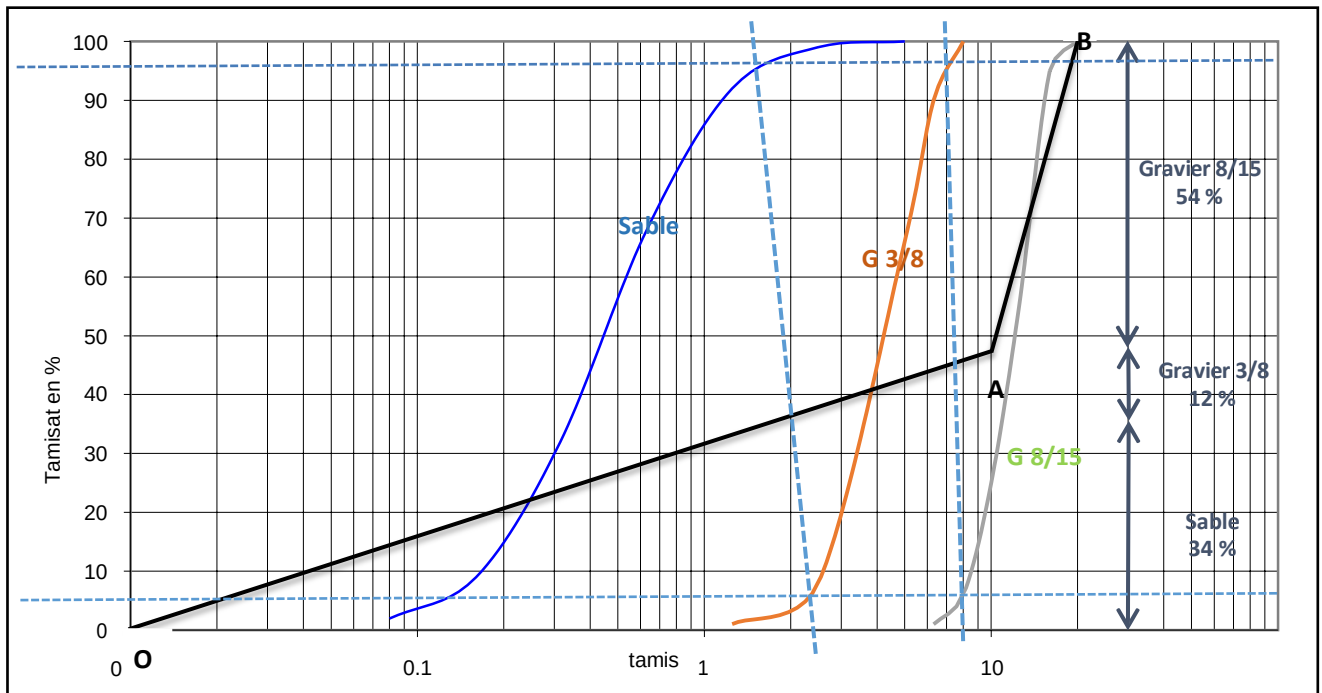


Figure III.3 : Courbe granulaire de Dreux-Gorisse[17]

On obtient un mélange optimal en volume comme suite :

34 % du sable et de 66% des graviers (Gravier3/8+Gravier 8/15).

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

Sable: 34% - Gravier3/8: 12 % - Gravier 8/15: 54%

Détermination de la composition en volume absolu :

- Les volumes des matières (composantes) pour 1m³ de béton :

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

- Volume de ciment

- Volume de ciment

$$V_C = 350/3.1 = 112.9 \text{ L}$$

-VG est le volume absolu des granulats (sable + g3/8 + g 8/15)

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

Coefficient de compacité : $\gamma = 0.825$; $\gamma_{\text{corrigé}} = 0.825 - 0.01 = 0.815$

$$V_G = (1000 \times \gamma_{\text{corrigé}}) - V_C$$

$$V_G = (1000 \times 0.815) - 112.9$$

$$V_G = 702.1 \text{ L}$$

- Volume du sable = 34% $\times$ 702.1 = 238.7L

- Volume de gravier (3 /8) = 12% × 702.1 = 84.3 L

- Volume de gravier (8 /15) = 54% × 702.1 =379.1L

Détermination de la composition pondérale sèche en Kg

- Masse de ciment (C) =350Kg/m³

- Masse d'eau (E) = 188 L/ m³

- Masse de sable (S) = Vs × Mvabs = 238.7×2.712 = 647.35 Kg /m³

- Masse de gravier 3/8 = Vg×Mvabs = 84.3×2.737 = 230.73 Kg/m³

- Masse de gravier 8 /15 = Vg×Mvabs = 379.1× 2.721 = 1031.53 Kg/m³

Tableau III-9 : Les composants en volume (L) [17]

Constituants	Le volume (L)
Sable	238.7
Gravier3/8	84.3
Gravier8/15	379.1
Ciment	112.9

Tableau III-10 : les composants en masse (Kg) [17]

Constituants	La masse (Kg)
Sable	647.35
Gravier 3/8	230.73
Gravier 8/15	1031.53
Ciment	350

Tableau III-11 : les coefficients granulaires [17]

Les rapports granulaires	
G/S	1.95
G3/8 / S	0.36
G8/15 / S	1.59
G3/8/ G8/15	0.22
$\frac{C}{E} = 1.86$ et $\frac{E}{C} = 0.54$	

-2- La formulation selon la méthode de Faury :

$$D_{max} = d_1 + (d_1 - d_2) \frac{X}{Y};$$

d_0 : première diamètre de granulats = 0.0065

d_1 : diamètre de tamis immédiatement inférieur à D.

d_2 : diamètre de tamis immédiatement inférieur à d_1 .

X : % des grains supérieur à d_1 et inférieur à D. (X= 5%)

Y : % des grains supérieur à d_2 et inférieur à d_1 . (Y= 40%)

$$d_1 = 20 ; d_2 = 16 ; X = 5 ; Y = 40$$

$$D_{max} = 20 + (20 - 16) \frac{5}{40} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Donc } \frac{D_{max}}{2} = 12.5 \text{ mm}$$

$$Y = A + 17^5 \sqrt{D}$$

$$Y = 30 + 17^5 \sqrt{25} = 64$$

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

$$[0.0065 ; 0] , \left[\frac{D}{2} ; \frac{Y D_{max}}{2} \right] , [D_{100\%} ; 100]$$

Alors les trois points sont les coordonnées suivants:

$$[0.0065 ; 0] , [12.5 ; 64] , [25 ; 100\%]$$

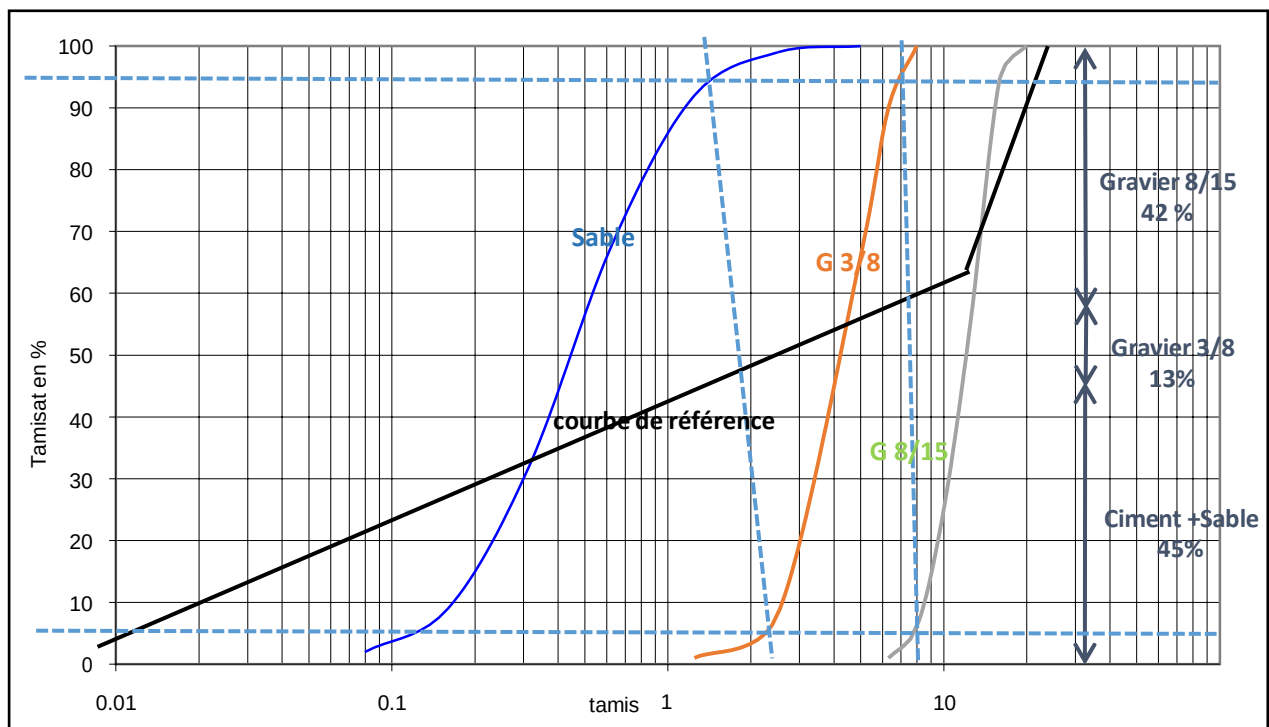


Figure III.4 : La courbe granulaire de FUARY[17]

La quantité d'eau gâchée E est calculée comme la suite :

Pour un affaissement de 8 cm (béton plastique) et dosage en ciment de 350 kg/m³

Selon l'abaque Prend $\frac{C}{E} = 1.7 \implies E = \frac{C}{1.7} = \frac{350}{1.7} = 206 \text{ litre}$

Détermination des éléments secs :

$$1000 - E = 1000 - 206 = 794 \text{ L}$$

Pour notre étude on a choisi le dosage de ciment de 350 Kg /m³, sa densité égal à 3.1 kg/m³

Donc le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal à $350/3.1 = 112.9 \text{ L}$

Alors le pourcentage de ciment égal à $(112.9 / 794) \times 100 = 14\%$

- Les pourcentages

D'après les courbes on obtient:

- Le pourcentage de sable = $45 - 14 = 31\%$
- Le pourcentage de gravier (3/8) = 13%
- Le pourcentage de gravier (8/15) = 42%

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

$$* \text{Sable} = 31\% \times 794 = 246.14 \text{ L}$$

$$* \text{Gravier (3/8)} = 13\% \times 794 = 103.22 \text{ L}$$

$$* \text{Gravier (8/15)} = 42\% \times 794 = 333.48 \text{ L}$$

$$* \text{Eau} = 206 \text{ L}$$

Les composantes en masse:

La masse (kg) = le volume $\times$ la densité absolue

$$\text{- La masse du sable} = 246.14 \times 2.712 = 667.53 \text{ kg}$$

$$\text{- La masse de gravier 3/8} = 103.22 \times 2.737 = 282.51 \text{ kg}$$

$$\text{- La masse de gravier 3/8} = 333.48 \times 2.721 = 907.40 \text{ kg}$$

$$\text{- La masse de ciment} = 350 \text{ Kg}$$

$$\text{- Eau} = 206 \text{ L}$$

Tableau III-12 : les composants en volume (l) [17]

Constituants	Le volume (l)
Sable	246.14
Gravier3/8	103.22
Gravier8/15	333.48
Ciment	112.9

Tableau III-13 :Les composants en masse (kg) [17]

Constituants	La masse (Kg)
Sable	667.53
Gravier3/8	282.51
Gravier8/15	907.40
Ciment	350

Tableau III-14 : les coefficients granulaires [17]

Les rapports granulaires	
G/S	1.78
G 3/8 / S	0.42
G 8/15 / S	1.35
G 3/8/ G8/15	0.31
$\frac{C}{E} = 1.7$ et $\frac{E}{C} = 0.59$	

III- 6– L'essai de béton :

Dans cette partie et 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 cylindrique de 16 cm × 32cm.



Photo III.6: Moule cylindrique 16 × 32 cm

1- Préparation:

- Confectionnèrent de 09 éprouvettes (03 pour l'âge de 7 j , 03 pour l'âge de 14 j et 03 pour l'âge de 28 j) conformément à la norme NA431.
- Le choix du mode de mise en place dépend de la consistance du béton mesuré par l'essai d'affaissement conformément à la norme NA431.
- Enfin, nous procédons à l'arasement de la surface supérieure de l'éprouvette à l'aide d'une règle d'arasement, conformément à la norme NF P18-404.
- L'arasement terminé, les éprouvettes sont conservées, sans être déplacées pendant 24 heures $\pm$ 1 heure, au sein de LTPS à la température d'environ $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Le démoulage des éprouvettes s'est effectué soigneusement pour garder les surfaces.
- Après le démoulage, les éprouvettes ont été conservées à la même température ,dans un bac d'eau ,pour nous permettre de comparer la différence entre la résistance à la compression à 7 j , 14 j et à 28 jours.

2- La résistance à la compression:

La résistance à la compression du béton est généralement considérée comme la plus importante propriété bien que, dans de nombreux cas pratiques. Néanmoins, la résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure .

III-6– 1 - La conduite de l'essai :

L'essai pour la détermination de la résistance à la compression des éprouvettes, est exécuté conformément aux prescriptions de la norme NA 427. La contrainte de rupture est donnée directement par la presse à béton.



Photo III.7: Machine d'essai de la compression

1- La mise en place et centrage de l'éprouvette

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

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



Photo III.8 : La mise en place d'éprouvette dans la machine

III-6– 1 – Résultats de formulation par la méthode de Faury :

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

Tableau III -19: Résultats de la résistance à la compression (Méthode de Faury)

Age (j)	7	14	28
Rc1 (MPa)	14.50	19.0	25.10
Rc2 (MPa)	15.25	20.85	26.40
Rc3 (MPa)	12.45	17.40	22.75
Rc moy (MPa)	14.06	19.08	24.75

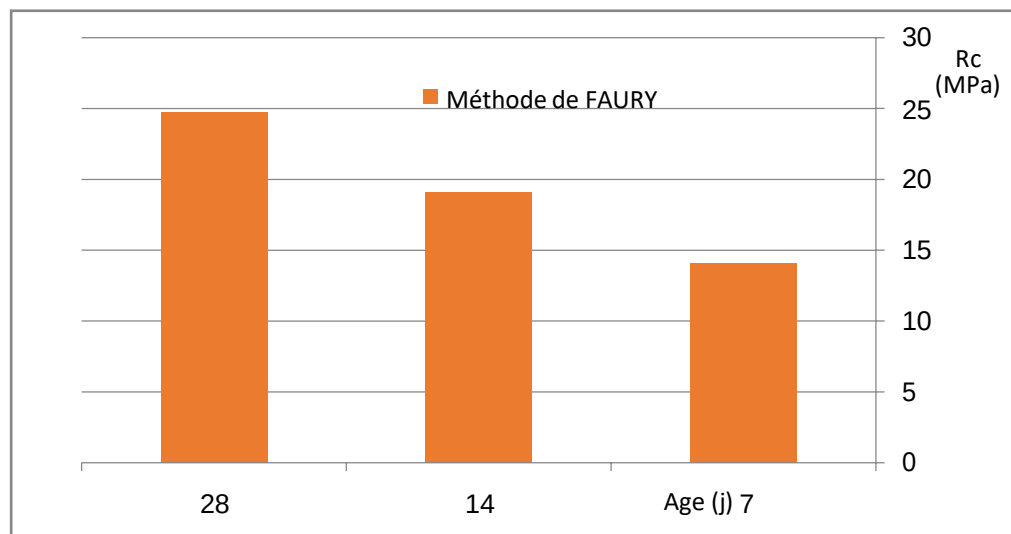


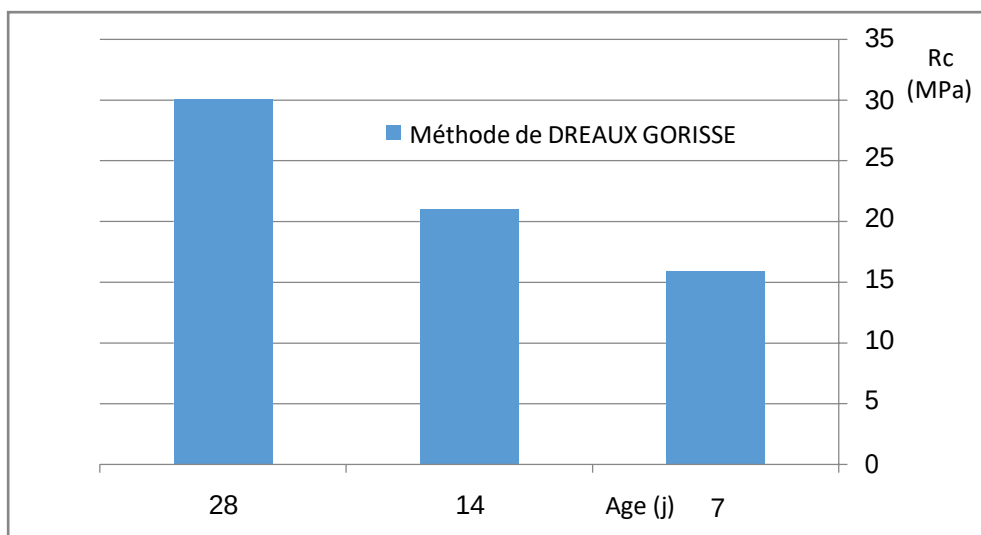
Figure III.5: Résistance à la compression du béton (méthode de Faury) en fonction d'âge

III-6– 1 – Résultats de formulation par la méthode de Dreux Gorisse :

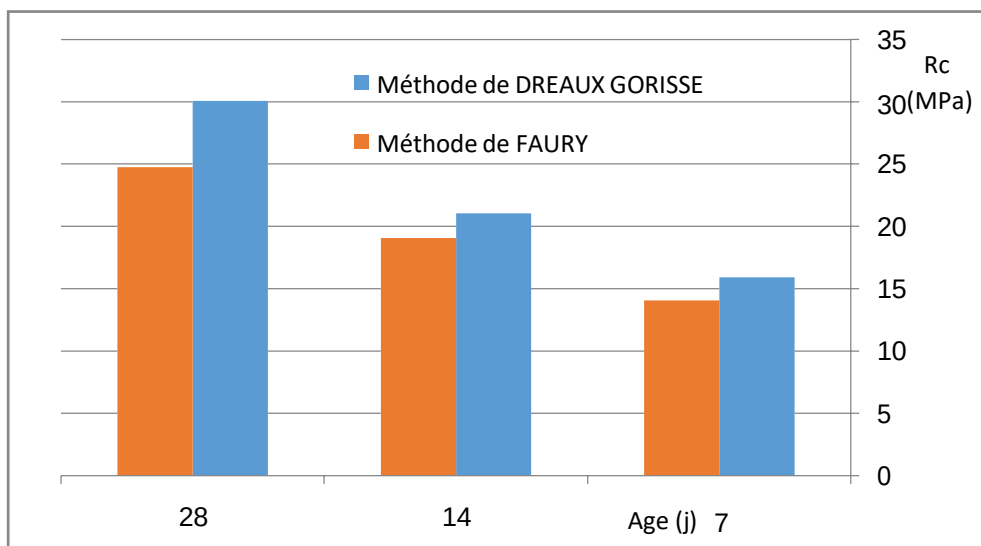
D'après la formulation de la méthode de Dreux-Gorisse, les tableaux et les figures ci-dessous présente les résultats trouver par la résistance à la compression du béton avec les deux compositions de différents coefficients granulaires.

**Tableau III-20 : Résultats de la résistance à la compression
(Méthode de Dreux– gorisse)[17]**

Age (j)	7	14	28
Rc1 (MPa)	16,38	20.17	30.45
Rc2 (MPa)	14.30	19.75	28.65
Rc3 (MPa)	17.07	23.25	31.15
Rc moy (MPa)	15.91	21.05	30.08



**Figure III.6: Résistance à la compression (méthode de Dreux-Gorisse)
en fonction d'âge**



**Figure III.7: Résistance à la compression des bétons (méthode de
Dreux-Gorisse et méthode de Faury) en fonction d'âge**

D'après les résultats présentés dans le Tableau III -19 et la Figure III.5, nous observons que la résistance à la compression du béton formulé par la méthode de Faury avec un coefficient granulaire égale à 1,78, présente une résistance de 24,75 MPa à 28 jours, ce résultat est très significatif comparativement à la plage de résistance réservé au béton courant ,

D'après la figure 3.9 et le Tableau III -20 et la Figure III.6 nous remarquons que la formulation par la méthode de Dreux-Gorisse ayant un coefficient granulaire égal à 1.95, présente une résistance à la compression de 30,08 MPa à 28 jours. on peut dire que cette résistance est bonne du fait que la résistance souhaité est de 25 MPa, sachant que dans la méthode de Dreux-Gorisse, cette dernière est majorée par un pourcentage de 15% ce qui nous donne une résistance à la compression de 28.75 MPa. qui est bien inférieure à celle trouvée expérimentalement.

La Figure III.7 présente la résistance à la compression du béton trouvée par la formulation de la méthode de Dreux-Gorisse et de la méthode de faury de différents coefficients granulaires, Alors on observe que les résistances obtenues par formulation de la méthode de faury de coefficient granulaire égal à 1.78 sont inférieure par rapport à la méthode de Dreux-Gorisse de coefficient granulaire égal à 1.95 de l'ordre de 8 % .Ce résultat est peut être due à la différence de la structure granulaire.

III-7– Conclusion:

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

Les résultats trouvés montre qu'il ya pas une différence entre les résultats de la résistance à la compression du béton formulé par la méthode de Dreux-Gorisse qui est de l'ordre de 8.2 % de élevée par rapport à la méthode de Faury.

Conclusion générale :

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

D'après les résultats présentés dans ce travail, nous observons que la résistance à la compression des bétons formulés par la méthode de Faury et la méthode de Dreux-Gorisse, avec différents coefficients granulaires, la résistance à la compression obtenue par l'utilisation de la formule de Faury avec un coefficient granulaire égal à 1.78 de l'ordre de

24.75 MPa est inférieure à celle trouvée par la méthode de dreux-Gorisse avec un coefficient 1.95, cette résistance est de 30.68 MPa

D'après l'ensemble des résultats expérimentaux sur les deux méthodes de formulation du béton, on peut conclure qu'il n'y a pas une grande différence entre les résultats de la résistance à la compression du béton formulé par la méthode de Faury qui est de l'ordre de 8.% de diminution par rapport à la méthode de Dreux Gorisse,

- Pour voir l'influence de ces méthodes sur le comportement du béton, il est préférable d'évaluer d'autres propriétés mécaniques, comme l'étude de retrait et le fluage sur le béton étudié.
- Afin d'obtenir une résistance à la compression considérable, on propose de faire une étude comparative de la résistance à la compression du béton formulé avec différents coefficients granulaires de $G/S = 1.8$ à 2.0 , selon le DTR B.E.21.
- Etude de l'influence de rapport sable/ciment sur ces méthodes.
- Un essai de convenance est nécessaire pour la confirmation des quantités des composantes

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] R.LANCHON professeur technique Bâtiment et travaux public , formulation continue déformable Paris 1978. « cours de laboratoire 2 ,granulats ,bétons , sols »
- [2] Jacques Baron et Raymond Sauterey connaissance et pratique , presses de l'école nationale des ponts et chaussées 12/02/1983 «le béton hydraulique ».
- [3] Georges DREUX «nouveau guide de béton composants et propriétés , composition et dosage , fabrication , transport et mis en œuvre » Edition 1995.
- [4] Georges DREUX. Jean Fasta « nouveau guide du béton et de ses constituants » Edition Eyrolles 1995-1998.
- [5] RICHART – MAILLOT, avec le soutien du groupe R.M.C. France. «mémento technique des granulats » les presses de l'école des mines Paris 2001
- [6] NASR.Eddine – KEDOUR office des publications universitaires « le laboratoire du béton » 03- 2003 dépôt légal 445/2003.
- [7] M^{er} khelifa Mohamed – M^{er} KADA Abdennabi centre universitaire de Bécharr , «Recherche de composition en mâchefer de charbon pour matériaux de construction» Année universitaire 2003-2004
- [8] Algérie Equipement Etude comparative des méthodes de formulation du béton * janvier 2004 *
- [9] CIMBETON; Les bétons: formulation, fabrication et mise en œuvre, Paris. (2006)
- [10] Ngoc- Dong LE , « AMELIORATION DE LA REGULARITE DU BÉTON EN PRODUCTION ». THÈSE 29 mai 2007
- [11] BENAMRANE Dounia Zed mémoire de université d'ouargla
«L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton » Année 2017 .
- [12] Kouao Abd Alhakim « détermination de modèles prédictifs des caractéristiques essentielles de béton de la région de Msila » minoune magister publiquement 1 université « Mohamed Boudiaf» de M'sila le 24-10-21.
- [13] BTS. Bâtiment laboratoire préparation 4 séries 1/8 quatrième série d'essai : Etude des composants du béton .
- [14] Gérard BERNIER « formulation de béton » maître de conférences à l'école nationale supérieure de Cachan .
- [15] A.BRAHMA « le béton » université de Blida instituant de génie civil
- [16] François de LARRAD Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées ouvrage d'art OA34. «structures granulaires et formulation des bétons »
- [17] K .CHOUICHA » LMST, département de génie civil , université des sciences et technologie d'Oran, Algérie. « la dimension fractale et l'étendue granulaire comme paramètres d'identification des mélange granulaire
- [18] François de LARRAD «construire en béton l'essentiel sur les matériaux

ANNEXES

ANNEXES

Annex1 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques

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

Annexe 2 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	$D \leq 16\text{mm}$	$25 \leq D \leq 40\text{mm}$	$D \geq 63\text{mm}$
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Annexe 3 : Valeurs de A données par Faury

Consistance	Sables et graviers roulés	Sables roulés et graviers concassés	Sables et graviers concassés
Très fluide (pas de serrage)	32 et au-dessus	34 et au-dessus	38 et au-dessus
Fluide (faible serrage)	30-32	32-34	36-38
Molle (serrage moyen)	28-30	30-32	34-36
Ferme (serrage soigné)	26-28	28-30	32-34
Très ferme (serrage puissant)	24-26	26-28	30-32
Terre humide (serrage très puissant)	22-24	24-26	28-30

**Annexe 4: Valeur préconisées pour l'ES d'un sable à
béton (NORME NF EN 933 – 8).**

E.S à vue	E.S au piston	Nature et qualité du sable
E.S < 65%	E.S < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines au bleu de Méthylène.
65% < E.S < 75%	60% < E.S < 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% < E.S < 85%	70% < E.S < 80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
E.S > 85%	E.S > 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 e eau.

Annexe 5: Fiche technique de ciment



50kg

ماتين MATINE

ALGÉRIE

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/A-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/A-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

L A member of
LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES



- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE



	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)	Eau (litres)
				
		0/5	8/15mm 15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1	X7	X5 + X4	25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES



Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	8.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ



1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



A member of
LafargeHolcim

Conditionnement: Sac et vrac

LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55

LAFARGE
لافارج