

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CENTRE UNIVERSITAIRE DE TISSEMSILT  
INSTITUT DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DÉPARTEMENT DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Visa du chef de département des  
Sciences et de la Technologie  
Signature:.....  
Date :.....

## **Etude et analyse comparative de la composition des bétons**

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master académique en  
Filière : Génie Civil  
Spécialité : Structures

Encadreur: BESSEGHIER ABDERRAHMANE  
Signature: .....  
Date: .....

Réalisé par : BELAID NOUR EL HOUDA  
Signature: .....  
Date: .....

Membres du jury

..... (Président)  
..... (Examineur)  
BESSEGHIER ABDERRAHMANE (Encadreur)

Tissemsilt - 2019/2020



# Remerciement

Nous remercions Dieu de nous avoir donné le savoir la volonté surtout la patience pour réaliser ce modeste travail

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude au **Mr BESSEGHIER ABDERRAHMANE** avoir accepté de nous encadrer pour l'élaboration et le suivi de ce travail

Nous à remercier sincèrement tout le personnel *l'entreprise LTPO de tiaret* pour tous les moyens qu'elle a mis à notre disposition pour que nous puissions effectuer notre stage pratique dans les meilleures conditions. N'oublier pas de remercier le chef d'essais *Mr Nouarabdelkader*

Nous saisissons cette occasion pour exprimer toute notre reconnaissance pour tous les enseignants du département Génie civile

Enfin, que toutes celles et ceux qui, de près ou de loin nous ont généreusement offert leurs encouragements à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde sympathie.

## Merci

# Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs .....

pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères, .....,

pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi

## Resumé

Le béton est fabriqué à partir de ciment, de granulats et d'eau. Et ses propriétés dépendent directement de sa formulation. Un besoin de propriétés spécifiques peut aboutir à des modifications de formulation.

La formulation de béton nous permet de sélectionner les composants du béton et de choisir leur proportion dans le but d'atteindre une résistance à la compression minimale à 28 jours.

### **Abstract:**

Concrete is made from cement, aggregates and water. And its properties depend directly on its formulation. A need for specific properties may result in formulation changes.

The concrete formulation allows us to select the components of the concrete and choose their proportion in order to achieve a minimum compressive strength at 28 days.

In this work we have studied the characteristics of materials in the laboratory.

Thus we have defined the optimal mixture of deferred aggregates (sand, dosage of cement and water; at the end of making a concrete, it aims to establish the expenditure in raw materials for a cubic meter of fresh concrete.

**Keywords: Concrete, concrete formulation, compressive strength, materials, cement**

### **ملخص**

تصنع الخرسانة من الأسمنت والركام والماء. وخصائصه تعتمد بشكل مباشر على صياغته. قد تؤدي الحاجة إلى خصائص معينة إلى تغييرات في الصياغة.

تسمح لنا الصيغة الخرسانية باختيار مكونات الخرسانة واختيار نسبتها من أجل تحقيق أقل مقاومة للضغط في 28 يومًا. في هذا العمل درسنا خصائص المواد في المختبر.

وهكذا حددنا المزيج الأمثل من الركام المؤجل (الرمل ، جرعة الأسمنت والماء ؛ في نهاية صنع الخرسانة ، تهدف إلى تحديد الإنفاق في المواد الخام على متر مكعب من الخرسانة الطازجة.

**الكلمات المفتاحية: الخرسانة ، التركيبة الخرسانية ، مقاومة الانضغاط ، المواد ، جرعة الأسمنت.**

## TABLE DE MATIERE

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste d'abréviations	
INTRODUCTION GENERALE	01
Chapitre I.....	
I.I Introduction	03
I.II définition de béton :	03
I.III Les composants d'un béton ordinaire	03
I.III.1 Les constituants du béton :	04
a) Les granulats	05
b) Le sable	05
c) Gravier	05
d) Ciment	06
*Types du ciment	06
*Classification et domaine d'application des ciments	06
*Classe de résistance du ciment	06
e) L'eau de gâchage	07
I.IV. les différents types de béton utilisés sur les chantiers :	07
I.IV.I. Le béton léger	08
I.IV.II. Le béton lourd	08
I.IV.III. Le béton armé	08
I.IV.IV. Le béton auto plaçant	09
I.IV.V. Le béton fibré	09
I.IV.VI. Le béton prêt à l'emploi	09
I.IV.VII. Le béton précontraint	09
I.IV.VIII. Le béton de ciment alumineux	10
I.IV.IX. Le béton haute performance	10
I.IV.X. Le béton projet	10
I.V. Critères en fonction de la destination des bétons	10
I.V.I. Dimension maximale D des granulats	10
I.V.II. Résistance souhaitée	11
I.V.III. Ouvrabilité	11
I.V.VI. Agressivité du milieu ambiant	12
I.V. Méthodes de formulation des bétons :	13
I.V.I. Les trois principes de formulation des bétons ordinaires	13
I.V.II. Quelques méthodes de composition des bétons	13
I.V.II.I. Méthode de faury	14
I.V.II.II. Méthode de Bolomey	14
I.V.II.III. Méthode de Joisel	14
I.V.II.IV. Méthode de d'Abrams	15
I.V.II.V. La méthode de Dreux-Gorisse	16
I.IV. Conclusion	19

<b>Chapitre II.....</b>	
<b>II.I Introduction</b>	<b>20</b>
<b>II.II Caractérisation des matériaux</b>	<b>20</b>
<b>II.II.I. Essais sur granulats</b>	<b>20</b>
<b>II.II.I. I Analyse Granulométrique par tamisage (NA 2607) 1992-08-01 :</b>	<b>20</b>
But de l'essai	20
Principe de l'essai	20
Le calcul :	21
<b>II.II.I. II. Masse volumique (NF P 94-064 Novembre 1993)</b>	<b>23</b>
La masse volumique apparente	24
But de l'essai	24
Principe de l'essai	24
Calcul	24
La masse volumique absolue	24
But de l'essai	24
Principe de l'essai	25
Calcul	25
<b>II.II.I. III. Module de finesse de sable (norme NF P18-304)</b>	<b>26</b>
<b>II.II.I.IV .Pois spécifiques des grains solides (NA 255/1990)</b>	<b>26</b>
Etapas de l'essai :	26
expression des résultats :	27
<b>II.II.I. V Equivalant de sable (NF P 18-598 Octobre 1991)</b>	<b>27</b>
a. But de l'essai	27
b. Principe de l'essai	27
c. Calcul	28
<b>II.II.I. VI Coefficient d'absorption NFP18-555</b>	<b>29</b>
<b>II.II.I. VII coefficient d'aplatissement A :</b>	<b>29</b>
a- but de l'essai :	29
b- Principe de l'essai :	29
c- Mode opératoire	29
<b>II.II.I. VIII- Los Angeles</b>	<b>31</b>
a- But de l'essai	31
b- Principe de l'essai	31
c- Mode opératoire	31
<b>II.II.I. IX- l'essai de micro deval an présence d'eau</b>	<b>32</b>
a- but de l'essai	32
b- mode opératoire	32
<b>II.III. Formulation de béton</b>	<b>33</b>
<b>II.III.I- La formulation de la méthode de Faury</b>	<b>33</b>
<b>II.III.I-I- Définition</b>	<b>33</b>
II.III.I-II-Courbe granulaire de référence	33
<b><u>II.IV- ETUDE DE FORMULATION DU BETON</u></b>	<b>34</b>
<b><u>II.IV.I. Premier exemple :</u></b>	<b>34</b>
<b><u>II.IV.I. .I. Méthode de Faury</u></b>	<b>34</b>
II.IV.I.II.Méthode de Dreux-Gorisse	34
<b><u>II.IV.II.Deuxième exemple :</u></b>	<b>44</b>
<b><u>II.IV.II.I.Méthode de Faury</u></b>	<b>44</b>
<b><u>II.IV.II..II.Méthode de Dreux-Gorisse</u></b>	<b>49</b>
<b>Conclusion</b>	<b>54</b>

## Chapitre III.....

<b>III I Introduction</b>	<b>55</b>
<b>III. II. Premier exemple</b>	<b>55</b>
<b>III .II I.La coube granulométrique de faury</b>	<b>55</b>
<b>III.II.II L'analyse granulométrique de Dreux -goriss</b>	<b>56</b>
<b>III .II.III .Les résultats</b>	<b>56</b>
<b>III.III.Deuxième exemple</b>	<b>57</b>
<b>III.III.IAnalyse granulométrique de Faury</b>	<b>57</b>
<b>III.III.II.Lanalyse granulométrique de Dreux-goriss</b>	<b>58</b>
<b>III.III.III.Comparaison des résultats</b>	<b>59</b>
<b>III.IV.Conclusion</b>	<b>60</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>61</b>

## Liste des figures

- Figure 1.1: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire**
- Figure I.II : La courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse**
- Figure II.I : analyse granulométrique par tamisage**
- Figure II.II : Courbe granulométrique de sable**
- Figure II.III : Courbe granulométrique de gravier**
- Figure II.IV : essai de masse volumique**
- Figure II.V: essai pois spécifique**
- Figure II.VI : essai équivalent de sable**
- Figure II.VII : coefficient d'aplatissement**
- Figure II.VIII : essai los angeles**
- Figure II.IX : l'essai de micro deval en présence d'eau**
- Figure II.X : la courbe granulométrique selon méthode de Faury**
- Figure II.XI : coefficient granulaire G**
- Figure II.XII : Dosage de ciment**
- 
- Figure II.XIII: Analyse granulométrique du sable**
- Figure II.XIV: analyse granulométrique de gravier**
- Figure II.XV : courbe granulométrique selon faury**
- Figure II.XVI abaque rapport C/E**
- Figure II.XVII : Courbe granulaire de Dreux-Gorisse (dosage 380 kg)**
- Figure III.I : la courbe granulométrique selon méthode de Faury**
- Figure III.II : la courbe granulométrique selon M.Dreux-gorisse**
- Figure III.III : courbe granulométrique selon faury**
- Figure III.IV : Courbe granulaire de Dreux-Gorisse (dosage 380 kg)**

## Liste des tableaux

**Tableau I.1 : Différents types de granulats :**

**Tableau I.II : Liste des différents types de ciments courants normalisés par la norme NF P 15-301**

**Tableau I. III : Classes de résistance du ciment**

**Tableau I.IV: les différents types de béton utilisés sur les chantiers**

**Tableau I.V: Dimension admissible D pour les plus gros granulats**

**Tableau I.VI: Enrobage minimal c des armatures**

**Tableau I.VII: Consistance du béton**

**Tableau I.VIII : Valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions**

**Tableau II.1 : Analyse granulométrique du sable**

**Tableau II.III : Analyse granulométrique du gravier 8/15**

**Tableau II.IV : Caractéristique physique des granulats**

**Tableau II.V: résultat de essai équivalent de sable GTF**

**Tableau II.VI : les coefficients d'absorptions des graviers**

**Tableau II.VII : résultats essai coefficient d'aplatissement**

**Tableau II.VIII : les composants pour un mètre cube de béton selon Faury**

**Tableau II.IX : le coefficient granulaire selon Faury**

**Tableau II.X: interprétation essai équivalent de sable**

**Tableau II.XI: module de finesse**

**Tableau II.XIII: le coefficient granulaire**

**Tableau II.XIV : analyse granulométrique de sable**

**Tableau II.XV : analyse granulométrique de gravier**

**Tableau II.XVI : les composants pour un mètre cube de béton selon Faury**

**Tableau II.XVII : le coefficient granulaire**

**Tableau II.XVIII : le coefficient granulaire**

**Tableau III.1 : les masses et le rapport G/S selon faury et dreux-goriss**

**Tableau III.II : les masses et le rapport G/S selon faury et dreux-goriss**

## Liste des abréviations

**Mf : module de finesse de sable**

**Mvabs : La Masse volumique absolue**

**Mvapp:La masse volumique apparente**

**Ab : Coefficient d'absorption du gravier**

# **Introduction générale**

Le béton est aujourd'hui le matériau le plus utilisé dans le monde, plus que tous les autres matériaux réunis. Sans le béton, on ne pourrait pas réaliser ce qu'on construit aujourd'hui en matière de logement, d'écoles, d'hôpitaux et d'infrastructures. A la fois robuste et universel, l'ampleur et l'étendue de ses performances mécaniques et physiques augmentent sans cesse, et sa formulation, jusqu'aujourd'hui très empirique,

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

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

. Or on remarque que beaucoup d'opérateurs ne donnent pas une grande importance à la formulation du béton et croient que la recette : 350 Kg de ciment, 800 litres de graviers, 400 litres de sables et 180 litres d'eau est toujours valable pour tout béton ordinaire. Dans les chantiers de construction la majorité utilise une formulation « empirique » qui consiste au dosage suivant : un sac de ciment pour deux brouettes de graviers, une brouette de sable et 30 litres d'eau.

On doit savoir que la formulation du béton dépend de plusieurs paramètres, à savoir :

- Granulométrie,
- Des masses volumiques absolues et apparentes des différents granulats,
- Des dimensions des granulats utilisés,
- De l'environnement,
- De la maniabilité souhaitée,
- De la résistance projetée

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 not, qui sont la méthode de FAURY et la méthode de DREUX GORISSE

Pour ceci on a consacré le premier chapitre à l'étude bibliographique où on a mis l'accent sur les définitions des différents composants du béton ordinaire et sur les principes généraux des différentes méthodes de formulations.

Un deuxième chapitre est consacré aux différents essais effectués sur les composants granulaires du béton et leurs caractéristiques physiques et mécaniques, à savoir :

- la granulométrie pour tracer les courbes granulométriques,
- l'équivalent de sable ES,
- les masses volumiques absolues et apparentes,.....

Ceci nous a permis de déterminer les dosages relatifs à chaque composant dans un mètre cube de béton pour chacune des méthodes de formulation

Nous allons étudié deux exemples un pour deus fractions de gravier et l'autre pour trois fraction de gravier

Dans le troisième chapitre nous avons essayés de donné les interprétations aux résultats des pourcentages de chaque exemples .

Finalement nous avons clôturé ce travail par une conclusion générale

# **Chapitre I**

**Formulation de béton :**

**État actuel**

## I.I Introduction

Plus de quatre milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année dans le monde. Ce matériau permet de construire des ouvrages de toute nature et, notamment, des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires ainsi que des plates-formes d'exploitation pétrolière off shore. Le développement de l'emploi d'un matériau de construction repose sur des critères techniques et économiques. La résistance mécanique et la durabilité du matériau fondent les principaux critères de choix techniques. La disponibilité et le faible coût des matières premières, la facilité d'emploi et le prix de revient du matériau valident les conditions économiques[1]

## I.II définition de béton :

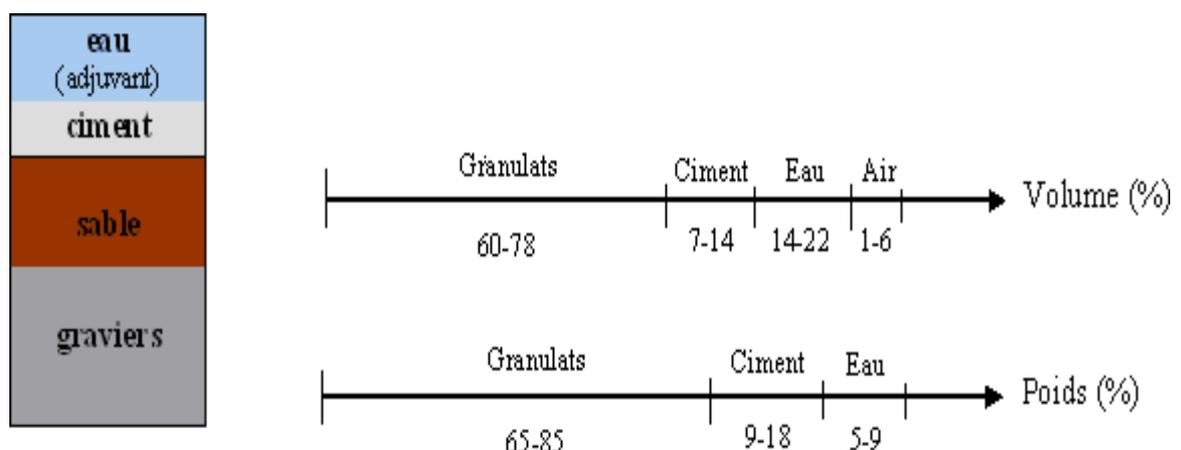
le béton est le plus ancien matériau composite ;c'est un mélange de quatre composants essentiel [ciment , sable , gravier et l'eau ] . parfois on ajoute quelques éléments secondaires qui sont les adjuvants .ces quatre constituants principales sont dosé en fonction de leurs propriétés propres.

le béton est le matériau le plus utilisable dans les constructions pour des raisons économiques et techniques .

dans ce chapitre nous allons étudier brièvement les composants de béton et les méthodes de sa formulation .

## I.III Les composants d'un béton ordinaire

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



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

### I.III.I Les constituants du béton :

#### a) Les granulats:

Un granulat est un ensemble de grains compris entre 0 et 125 mm, destiné notamment à la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondation et de base, de liaison et de roulement des chaussées, des assises et ballasts de voies ferrées, des remblais [3].

La norme XP P 18-545 précise, dans l'article 10: Granulats pour bétons hydrauliques et mortiers [4]

Un granulat est désigné par sa classe granulaire exprimée par le couple d/D ou 0/D avec

d : dimension inférieure du granulat

D : dimension supérieure du granulat.

Familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	D < 2 mm avec au moins 85 % de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sablons	0/D	D ≤ 1 mm avec moins de 10 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	0 mm < D ≤ 4 mm
Graves	0/D	D < 6.3 mm
Gravillons	d/D	d ≥ 2 mm et D ≤ 63 mm
Ballasts	d/D	d ≥ 31,5 mm et D = 50 ou 63 mm

**Tableau I.1 : Différents types de granulats :**

Un granulat, en fonction de sa nature et de son origine, peut être...

- **Naturel:** d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).

- **Artificiel:** d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.

- **Recyclé:** obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments[5]

**b)Le sable :**

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

- Teneur en fines (passant à  $0,08\text{mm} \leq 12\%$ ) -Module de finesse ( $M_f = 1,8$  à  $3,2$ )
- Bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour la maniabilité du béton suivant la norme P18-541. [6]

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

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

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

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

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

- e) Sable de dune : les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara. [7]

**c)Gravier :**

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

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

De même que pour les sables, les gravillons doivent être propres. Ils ne doivent contenir ni argile, ni matières terreuses, ni poussières provenant du concassage. En effet, si la surface des gravillons est sale, l'adhérence avec les cristaux hydratés du ciment est mauvaise[8]

**d)Ciment :**

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant les 1450 °C. Broyé sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau il s'hydrate et forme des minéraux hydratés très stables. Les principaux composés du ciment portland sont [6] :

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

-Les silicates bis calciques (bélitre) :  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2[\text{C2S}]$

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

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

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

. -Les silicates de calcium C3S et C2S représentent à peu près 75 % de la masse du ciment.

Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par sa granulométrie et sa finesse de mouture. Cette finesse de mouture appelée aussi surface spécifique de Blaine peut atteindre 4000 cm<sup>2</sup>/g et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge [9]

**Classification et domaine d'application des ciments****\*Types du ciment**

L'industrie cimentière commercialise de nombreux types de ciments afin de répondre aux différents problèmes rencontrés lors de la construction des ouvrages :  
} Résistances mécaniques } Résistance à une attaque physique ou chimique } Mise en œuvre particulière.  
[10]

Tableau I.2: Liste des différents types de ciments courants normalisés par la norme NF P 15-301

Désignation	Types de ciment	Clinker %	Ajouts et Teneurs en %	Matière secondaire
CEM I	Ciment portland	95 à 100 %	-----	0 à 5%
CEM II /A	Ciment portland composé	80 à 94 %	L'un des Ajouts - 6 à 20 %	
CEM II /B		65 à 79 %	- 21 à 35 %	
CEM III/A	Ciment de haut fourneau	35 à 64 %	- 35 à 65 %	
CEM III/B		20 à 34 %	Laitier - 66 à 80 %	
CEM III/C		5 à 19 %	- 81 à 95 %	
CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90 %	Pouzzolane, - 10 à 35 %	
CEM IV/B		45 à 64 %	ou fumée silice - 36 à 55 %	
CEM V/ A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 %	laitier - 18 à 30 %	
CEM V/ B		20 à 39 %	et cendre - 31 à 50 %	

### \*Classe de résistance du ciment

Les ciments sont répartis en trois classes de résistances ; 32.5 - 42.5 - 52.5, définis par la valeur minimale de la résistance caractéristique du ciment à 7 et à 28 jours.

La résistance du ciment est déterminé sur des éprouvette de mortier de ciment (Mortier normalisé ; 3sable/1ciment/0,5 Eau) [10]

Tableau I. 3 : Classes de résistance du ciment

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)	
	2 jours Limite inf	28 jours Limite inf
32.5N (Normale)	-	≥ 32.5
32.5R (Rapide)	≥ 13.5	≥ 32.5
42.5	≥ 12.5	≥ 42.5
42.5R	≥ 20	≥ 42.5
52.5	≥ 20	≥ 52.5
52.5R	≥ 30	≥ 52.5

## e) L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Élément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, votre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées [11].

## I.IV. les différents types de béton utilisés sur les chantiers :

Il existe une grande variété de bétons permettant de réaliser un projet de maçonnerie. Voici un premier tableau synthétique ainsi qu'une liste non exhaustive de différents bétons utilisables sur chantier.

Tableau I.4 : les différents types de béton utilisés sur les chantiers

Type de béton	Avantages
Béton léger	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malléable et léger</li> <li>• Résistant aux chocs</li> </ul>
Béton lourd	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Répond à des normes de sécurité très strictes</li> <li>• Dispose de granulats très lourds</li> </ul>
Béton armé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fondations renforcées par l'acier</li> <li>• Risque de fissuration du béton limité</li> <li>• <b>Béton très adapté en utilisation avec un coffrage</b></li> </ul>
Béton autoplaçant	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extrêmement fluide</li> <li>• Mise en oeuvre sans vibration pour un gain de temps conséquent</li> <li>• <b>Béton très adapté en utilisation avec un coffrage</b></li> </ul>
Béton fibré	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renforcement général de la fondation</li> <li>• Risque de fissuration du béton limité</li> </ul>
Béton prêt à l'emploi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gain de temps conséquent</li> <li>• Transféré et livré sur chantier</li> </ul>
Béton précontraint	<ul style="list-style-type: none"> <li>• État de compression optimal</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meilleure qualité de finition des fondations réalisées</li> </ul>
Béton haute Performance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus résistant à la compression</li> <li>• Plus fluide et moins poreux</li> </ul>
Béton projeté	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduit l'affaissement de la fondation</li> <li>• Empêche le coulage ultérieur du béton</li> </ul>
Béton de ciment alumineux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de bétonnage réduit</li> <li>• Meilleure résistance sur le long terme</li> </ul>

#### **I.IV.I. Le béton léger**

Le béton léger est un béton très malléable et très léger. Il est efficace pour tous les travaux de rénovation. Il résiste aux chocs et remplit très bien sa mission d'isolant thermique. Le béton léger s'emploie particulièrement pour les murs porteurs et les dalles.

#### **I.IV.II. Le béton lourd**

Le béton lourd dispose de granulats très lourds, ce qui permet de répondre à des besoins très précis tels que les ouvrages des centrales nucléaires. L'emploi de ce béton permet de ne laisser passer aucune trace de radiation et de répondre à des normes très strictes de sécurité.

#### **I.IV.III. Le béton armé**

Le béton armé reprend les codes du béton pour fondation traditionnelle, mais auquel il est rajouté un nouveau matériau : l'acier. En posant des armatures de cette matière, la solidité d'une fondation en béton est renforcée. En effet, l'acier est un matériau très résistant aussi bien lorsqu'il est tracté ou compressé.

Le principal objectif de ce béton est de compenser les principales faiblesses d'un béton plus conventionnel, à savoir sa résistance globale, et les risques de fissuration sur le plus long terme.

#### **I.IV.IV. Le béton auto plaçant**

Le béton auto plaçant est un béton extrêmement fluide, facilitant grandement son utilisation. Avec ce béton, le but est de gagner un temps considérable lors du coulage sur chantier, car la mise en œuvre se fait sans vibration, contrairement aux bétons plus conventionnels.

Pour autant, une fois le béton solidifié, sa qualité reste la même que sur un béton traditionnel.

#### **I.IV.V. Le béton fibré**

Le béton fibré a le même objectif que le béton armé : renforcer la solidité générale de la fondation réalisée. La fibre a le même principe actif que l'armature utilisée sur le béton armé : elle limite les risques de fissuration du béton et améliore sa résistance sur le long terme.

L'avantage de la fibre, c'est également sa grande facilité de mise en œuvre sur chantier, assurant un gain de temps certain lors du coulage.

#### **I.IV.VI .Le béton prêt à l'emploi**

Les bétons prêts à l'emploi sont des bétons directement conçus par les industriels dans leurs centrales à béton. Il est ensuite transporté à l'aide d'un camion toupie et directement transféré sur les chantiers clients. Une fois sur place, le béton prêt à l'emploi est appliqué par le camion toupie, soit par la pompe à béton, soit par la goulotte.

#### **I.IV.VII. Le béton précontraint**

Le béton précontraint est un béton ayant la particularité de rester dans un état de compression optimal. Cet état de compression permet au béton d'être utilisé dans les meilleures conditions, ce qui favorise une meilleure finition.

Cet état de pression est construit à partir de câbles de précontrainte en acier, intégrés directement dans le béton comme cela est le cas avec les armatures en acier dans le béton armé. Sur un chantier, il est possible d'appliquer la précontrainte au béton avant le coulage du béton (pré-tension), ou bien après le coulage lorsque le béton durcit (post-tension).

Il est important de préciser que la précontrainte par post-tension est généralement plus efficace mais aussi plus difficile à mettre en œuvre que la précontrainte par pré-tension.

#### **I.IV.VIII. Le béton de ciment alumineux**

Le béton de ciment alumineux, se compose comme son nom l'indique de ciment alumineux. Ce type de ciment, à base d'aluminate de calcium, apporte différents avantages au béton : la prise est plus rapide, et la résistance est plus importante sur le long terme et également vis-à-vis des fortes chaleurs.

#### **I.IV.IX. Le béton haute performance**

Les bétons de haute-performance possèdent des caractéristiques beaucoup plus intéressantes que les bétons conventionnels. Il sont à la fois plus résistants à la compression,

et beaucoup plus fluides. Il s'agit également d'un béton moins poreux, protégeant ainsi plus efficacement les armatures préalablement déposées.

#### **I.IV.X. Le béton projeté**

Il s'agit d'un béton qui porte bien son nom, car il est volontairement projeté sur une surface solide par le biais d'une projecteur d'air comprimé. Le but est de limiter l'affaissement et le coulage ultérieur du béton. En termes de composition, le béton projeté dispose de caractéristiques similaires au béton pour les fondations plus traditionnelles[12]

#### **I.V. Critères en fonction de la destination des bétons :**

Les ouvrages que l'on construit aujourd'hui en béton sont des plus divers tant dans leur destination que dans leurs dimensions et toute étude de composition de béton doit en tenir compte ; il convient donc d'en définir les critères qui devront constituer clairement les données de l'énoncé du problème que pose l'étude de la composition d'un béton destiné à un ouvrage donné.

À notre avis, quatre critères principaux doivent être retenus :

- la dimension maximale des granulats.
- la résistance .
- l'ouvrabilité.
- l'agressivité du milieu ambiant.

Ces critères sont retenus dans la norme P 18-305 concernant les bétons prêts à l'emploi préparés en usine et sont la base de l'énoncé du problème dans notre méthode de composition des bétons[13]

#### **I.V.I. Dimension maximale D des granulats :**

Cette dimension dépend évidemment des dimensions de l'ouvrage (barrages, digues et murs de quai, structures de bâtiments, voiles minces, etc.), mais elle dépend également des dispositions du ferrailage (densité relative par rapport au coffrage, maillage).

Pour définir approximativement une valeur admissible de D nous préconisons l'application des règles résumées dans le tableau[13]

**Tableau I.5: Dimension admissible D pour les plus gros granulats**

Dimension admissible D pour les plus gros granulats	
Caractéristiques de la pièce à bétonner	Valeur maximale de D
e espacement entre armatures principales	E
r rayon moyen des mailles de ferrailage	0.8r
R rayon moyen du moule	R
$h_m$ épaisseur minimale de la pièce	$h_m/5$

Le **rayon moyen r** d'une maille de ferrailage est le rapport entre la surface de la maille et son périmètre.

Le **rayon moyen R** du moule est le rapport entre le volume à remplir dans la zone la plus ferrailée et la surface de coffrage et d'armatures en contact avec le béton.

De plus, par rapport à la couverture  $c$ , épaisseur d'enrobage des armatures les plus proches du coffrage, on pourra adopter la règle inspirée des recommandations du Comité euro-international du béton (CEB) tableau I.5

#### I.V.II. Résistance souhaitée :

D'après les résultats de la note de calcul d'un ouvrage, on définit la résistance caractéristique à exiger en valeur minimale pour le béton utilisé.

Cette résistance caractéristique se calcule d'après des résultats sur éprouvettes de contrôle (soumises à la rupture) en déduisant de la moyenne  $k$  fois l'écart type (sur l'ensemble des valeurs). Il convient donc que l'on vise dans l'étude du béton une valeur moyenne probable supérieure à la résistance caractéristique exigée.

**Tableau I.6:Enrobage minimal c des armatures**

Enrobage minimal c des armatures		
Milieu ambiant	C minimal	D maximal
Locaux couverts et clos Exposition aux intempéries Milieu agressif Milieu très agressif	1cm	2c
	2cm	1.5c
	3cm	C
	4cm	c-5mm
<p><b>Note</b> c doit par ailleurs ,être supérieur ou égal au diamètre des armatures (ou a la largeur du paquet d'armatures )</p>		

D'après les règlements en vigueur, on prend pour k la valeur 0,85 à 1,2 en général et selon les cas ; il convient donc de viser une résistance moyenne d'environ 15 à 20 % supérieure à la résistance caractéristique exigée.

Ce critère de résistance conduira au choix du ciment (nature, classe) et à son dosage, ainsi qu'au dosage en eau et à l'éventuelle utilisation d'adjuvants. Ce critère a également une influence sur le rapport G/S (proportion gravier/sable). [13]

### **I.V.III. Ouvrabilité**

L'ouvrabilité peut se définir comme la facilité offerte par le béton à bien se mettre en œuvre pour le bon enrobage des armatures, un parfait remplissage du coffrage et sans ségrégation.

Ce critère peut, en général, se définir à partir de la plasticité par l'affaissement au cône d'Abrams selon les valeurs indiquées dans le tableau 3.

L'ouvrabilité est, pour le béton, une qualité fondamentale qui doit être très sérieusement prise en compte dans l'étude de composition[13]

### **I.V.VI. Agressivité du milieu ambiant**

Le milieu ambiant dans lequel se trouvera l'ouvrage conditionnera également, selon son agressivité, l'étude de la composition du béton.

La présence d'eaux agressives (eaux de mer, gypseuses, acides, très pures, etc.) et les conditions thermiques d'utilisation (revêtement de fours ou ouvrages soumis à des gels sévères) sont des considérations qui conditionnent surtout le choix du ciment et éventuellement la nature minéralogique des granulats, et parfois l'utilisation d'un adjuvant[13]

Tableau I.7: Consistance du béton

Consistance du béton		
Consistance du béton	Affaissement au cône(cm)	Serrage nécessaire
Très ferme	$\leq 2$	Vibration puissance
Ferme	3 à 5	Bonne vibration
plastique	6 à 9	Vibration normale
très plastique	10 à 15	Simple piquage
fluide	>16	Leger piquage

### I.V. Méthodes de formulation des bétons :

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés désirées et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. La diversité des bétons actuels, aux propriétés extrêmement variables, ne permet pas d'imaginer un principe de formulation commun. Généralement, la formulation sera orientée vers les propriétés principales demandées au matériau et adaptée en fonction des propriétés secondaires recherchées. [14].

#### I.V.I. Les trois principes de formulation des bétons ordinaires

La formulation de la majorité des bétons est généralement établie pour atteindre trois objectifs principaux :

- \* Obtenir une résistance mécanique : Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression;

- \* Obtenir une rhéologie : Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisés sur le chantier;

- \* Limiter les effets secondaires : Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important, le coût du béton doit rester le plus bas possible et toutes les propriétés seront améliorées lorsque le squelette granulaire est de compacité maximale.

Une formule donne un béton qui présente au mieux des propriétés désirées et satisfasse aux essais de convenance pour tel ouvrage sur tel chantier, avec ses matériaux et son matériel et dans les conditions pratiques de l'exécution [14].

#### I.V.II. Quelques méthodes de composition des bétons

Les méthodes de composition aboutissent à des dosages « volumétriques » ou de préférence « pondéraux », le passage de l'un à l'autre pouvant toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac. Ces méthodes dont on retiendra 2 archétypes :

- \* Celle qui consiste à obtenir une granularité « continue »;

\* Celle qui consiste à obtenir une granularité « discontinue ».

Plusieurs méthodes ont été développées. Même s'il reste beaucoup d'empirisme, toutes reposent sur les mêmes principes, dont notamment : [14].

#### **I.V.II.I. Méthode de faury**

La particularité de cette méthode est qu'elle est : applicable à tous les granulats, qu'elle que soit la masse volumique Faury à distingué des grains fins et moyens des celles gros et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux courbes, il adopta aussi une échelle des abscisses graduée en  $5\sqrt{d5}$ . L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée  $D/2$  et son ordonnée par la formule [15]:

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{D} + R \frac{B}{D - 0,75}$$

Où:

A : constante, traduisant la maniabilité du béton ;(annexe 5)

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

D : plus grande dimension de tamis ;

R : rayon moyen démoule.

#### **I.V.II.II.Méthode de Bolomey**

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

La formule de base est la suivante :

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

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

D : est le diamètre des plus gros grains ;

A : la valeur de A dépendra de : - la consistance souhaitée de béton ;

- la provenance des granulats. Elle varie de 6 à 16, étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort. Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins à une granularité continue [15].

#### **I.V.II.III.Méthode de Joisel**

S'inspirant comme Faury de la théorie de Caquot mais en généralisant, A.Joisel propose de considérer que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale est, fonction de  $m\sqrt{d}$ ,

dépendant de la compacité avec laquelle se serre un granulat de dimension uniforme selon les moyens de serrage, m peut alors varier de 3 à 10. Comme dans la théorie de Faury , on a aboutit donc en principe à une granularité continue sauf, bien entendu, si les granulats dont on dispose en pratique présentent une discontinuité.

Comme pour les méthodes de Faury et Valette, le dosage en ciment déterminé par cette méthode est le dosage minimal correspondant théoriquement sur le plan granulométrique, à la compacité maximale, ce dosage est en général nettement inférieur (150 à 200 Kg/m<sup>3</sup>) au dosage nécessaire ou exigé (250 à 400 Kg/m<sup>3</sup> dans la plus part des cas). Une correction doit être apportée dans ce sens [15].

#### I.V.II.IV.Méthode de d'Abrams

C'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse globale pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Le module de finesse du mélange est choisi de telle manière que les vides dans ce mélange soient, en principe, réduits au minimum.

Les modules optimaux pour béton de granulats roulés sont déterminés expérimentalement par Abrams, sont indiqués dans des valeurs tableau (1.2) en fonction du dosage en ciment et de la dimension D du plus gros granulat le plus gros.

**Tableau I.8 : Valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions**

Dosage en ciment kg/m <sup>3</sup>	Dimension maximale D des granulats						
	10	15	20	25	30	40	60
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

La règle du mélange d'Abrams permet de calculer les pourcentages relatifs de granulats de module de finesse MFS et MFG pour obtenir un module de finesse MF choisi pour le mélange[].

$$S_s = MFG - MF \text{ et } S_g = MF - MFS$$

$$\text{La proportion de gravier est : } \% \text{ gravier} = (S_g / S) * 100$$

$$\text{La proportion de sable est : } \% \text{ sable} = (S_s / S) * 100$$

$$\text{Où } S = S_s + S_g$$

### I.V.II. V. La méthode de Dreux-Gorisse

Cette méthode française est de nature fondamentalement empirique qui date de 1970 .Dreux a mené une large enquête pour recueillir des données sur des bétons satisfaisants, sur la based'une analyse statistique de ce grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, ils ont pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulair de référence ayant la forme de deux lignes droites dans un diagramme Semi-logarithmique.

Elle est d'autre part très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés[16]

- Résistance visée :

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

-Dosage en ciment et en eau :

$$f_c' = G \cdot f_{CE} (E/C - 0.5) \quad -$$

avec :

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

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

$G$  : coefficient granulaire. (Annexe 2)

$C$  : dosage en ciment (Kg de ciment/m<sup>3</sup> de béton).

$E$  : dosage en eau (Kg d'eau/m<sup>3</sup> de béton ou litre d'eau/m<sup>3</sup> de béton).

par la suit d'après le rapport E/C( annexe 6) on détermine le volume d'eau comme suit :

$$E = \text{le rapport } (E/C) \times \text{dosage de ciment.} \dots\dots\dots (1)$$

- Tracé de la courbe granulair de référence AOB:

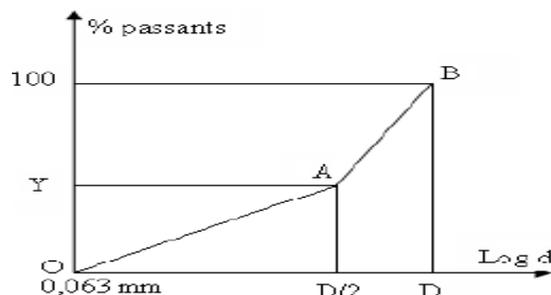


Figure I.2 : La courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse

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

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

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

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

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

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

D : diamètre du plus gros granulat

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés. (Annexe 3).

#### \*La ligne de partage:

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

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

-Détermination de la composition en volume absolu :

Le dosage en béton est déterminé pour obtenir un mètre cube de béton en place cela signifie que le volume de matière vaut  $1\text{m}^3$ :

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

-  $V_{abs}$ : la masse absolue de ciment  $\text{kg}/\text{m}^3$

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

$$V_c = C / V_{abs}$$

soit, C: dosage en ciment (  $\text{kg}/\text{m}^3$  )

#### Volume absolu de granulats :

- De la relation de  $\gamma = (V_c + V_g + V_s)$  on en déduit  $V_g$  et  $V_s$

en remplaçant le volume de granulats  $V_s + V_g$  par la valeur  $V_G$ ,

alors  $\gamma = (V_c + V_G)$

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

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

$\gamma$  : Coefficient de compacité (Annexe 4)

- Volume de sable =Le pourcentage  $\times V_G$
  - Détermination de la composition pondérale sèche en Kg
  - Masse de ciment : le dosage choisi
  - La quantité d'eau : E par la formule (1)
  - Masse de sable  $S = V_s \times M_{v_{abs}}$
  - Masse de gravillons  $G_{3/8} = V_G \times M_{v_{abs}}$
- $$G_{8/15} = V_G \times M_{v_{abs}}$$

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

**I.IV. Conclusion**

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

- La granulométrie ;
- La qualité des granulats ;
- La classe du ciment ;
- agressivité de milieu ambiant
- Le rapport C/E
- La maniabilité (affaissement) désirée.

# **Chapitre II**

**Méthode Dreux-Gorisse et  
méthode de Faury élaboré  
par Excel**

## II.I Introduction

Il ya plusieurs méthodes pour la formulation de béton dans ce chapitre on a choisi la méthode de Faury et Dreux-goriss

L'objectif de ce travail est la caractérisation des matériaux utilisés dans ce travail et la composition de béton

Ce travail contient de exemples le premier est avec 2 fraction de gravier et le deuxième est avec 3 fraction de gravier

## II.II Caractérisation des matériaux

### II.II.I. Essais sur granulats

#### II.II.I. I Analyse Granulométrique par tamisage (NA 2607) 1992-08-01 :

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

##### a. But de l'essai

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

- Par un tamisage mécanique pour les grains supérieurs à 0.080 mm.
- Par un essai de sédimentation pour les particules inférieures à 0.080 mm.  
Cette classification donne des informations intéressantes sur la composition des granulats qui constituent l'échantillon, c'est-à-dire les composantes de sable et de gravier.

##### b. Principe de l'essai

Pour un échantillon donne, il s'agit, au moyen d'une série de tamis, de séparer les grains en fonction de leur dimension. On utilise généralement une série de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissant du haut vers le bat. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision projetée. Les masses des différents refus (ou, par soustraction, celles des différents tamisât) sont rapportées à la masse initiale de matériau. Les pourcentages, ainsi obtenus, sont exploités soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

##### c. Le calcul :

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

Refus(i) % =  $\frac{M_i}{M_t} \times 100$  : la masse totale de l'échantillon



**Figure II.1 : analyse granulométrique par tamisage**

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

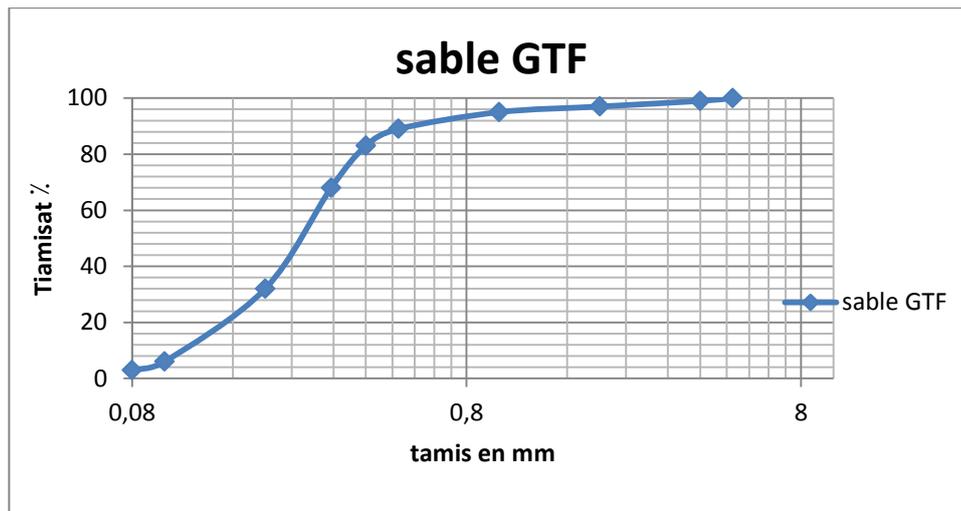
$$\text{Tamias (i)} = 100 - \text{refus (i) \%}$$

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

- ❖ Nous avons utilisé une masse de **500** g du sable

**Tableau II.1 : Analyse granulométrique du sable**

Tamis (mm)	Masse de refus cumules (gr )	%refus cumulés	%tamisât cumulés
5	02	00	100
4	05	01	99
2	16	03	97
1	25	05	95
0.500	56	11	89
0.400	87	17	83
0.315	161	32	68
0.200	340	68	32
0.100	472	94	06
0.080	485	97	0.3



**Figure II.II : Courbe granulométrique de sable**

- ❖ Nous avons utilisé une masse de 1600g du gravier 3/8

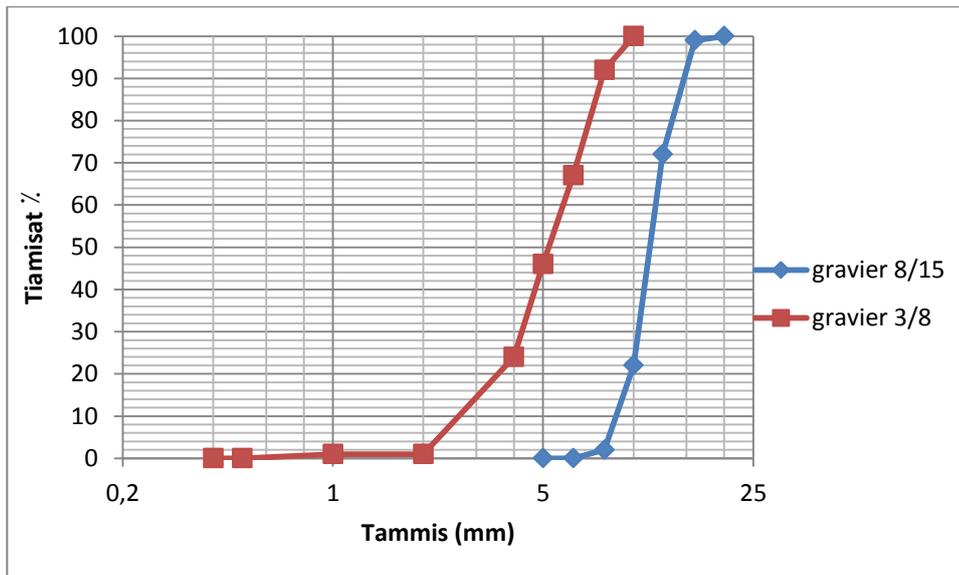
**Tableau II.II: analyse granulométrique de gravier 3/8**

Tamis (mm)	Masse de refus cumules (gr )	%refus cumulés	%tamisât cumulés
10	00	00	100
8	135	8	92
6.30	535	33	67
5	862	54	46
4	1219	76	24
2	1577	99	01
1	1581	99	01
0.500	1592	100	00
0.400	1598	100	00

❖ Nous avons utilisé une masse de 3000g du gravier 8/15

**Tableau II.III : Analyse granulométrique du gravier 8/15**

Tamis (mm)	Masse de refus cumules (gr )	%refus cumulés	%tamisât cumulés
20	00	00	100
16	27	01	99
12.5	830	28	72
10	2335	78	22
8	2953	98	02
6.30	2991	100	00
5	2994	100	00



**Figure II.III: Courbe granulométrique de gravier**

### II.II.I. II. Masse volumique (NF P 94-064 Novembre 1993)

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

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

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

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

- **La masse volumique apparente**

- a. But de l'essai**

Cet essai permet de déterminer la masse volumique apparente d'un corps (sable, gravier). C'est à- dire la masse en kg de ce corps, pour 1m<sup>3</sup> de volume. Cette masse volumique intègre les grains de l'agrégat ainsi que les vides compris entre les grains.

- b. Principe de l'essai**

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

- c. Calcul**

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

Tels que :  $\rho_a$  : la masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>).

M : la masse d'échantillon (g).

V<sub>a</sub> : le volume apparent de l'échantillon (cm<sup>3</sup>).

- **La masse volumique absolue**

- a. But de l'essai**

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

**b. Principe de l'essai**

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

**c. Calcul**

La masse volumique absolue est déterminé par la relation suivant :  $\rho_s = M/V_s$

Tels que :

$\rho_s$  : la masse volumique absolue (g/cm<sup>3</sup>).

M : la masse d'échantillon(g).

$V_s$  : le volume absolu de l'échantillon (cm<sup>3</sup>).



**Figure II.IV : essai de masse volumique**

**Tableau II.I V: Caractéristique physique des granulats**

Caractéristique physique	Sable	Gravier	
		3/8	8/15
masse volumique apparente en (g/cm <sup>3</sup> )	1.44	1.531	1.5
masse volumique absolue en (g/cm <sup>3</sup> )	2.53	2.778	2.799

**II.II.I. III. Module de finesse de sable (norme NF P18-304)**

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus exprimés en pourcentage pondéral sur les différents tamis de la série sauf le tamis (0.08) Il est donné par la relation suivante

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

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

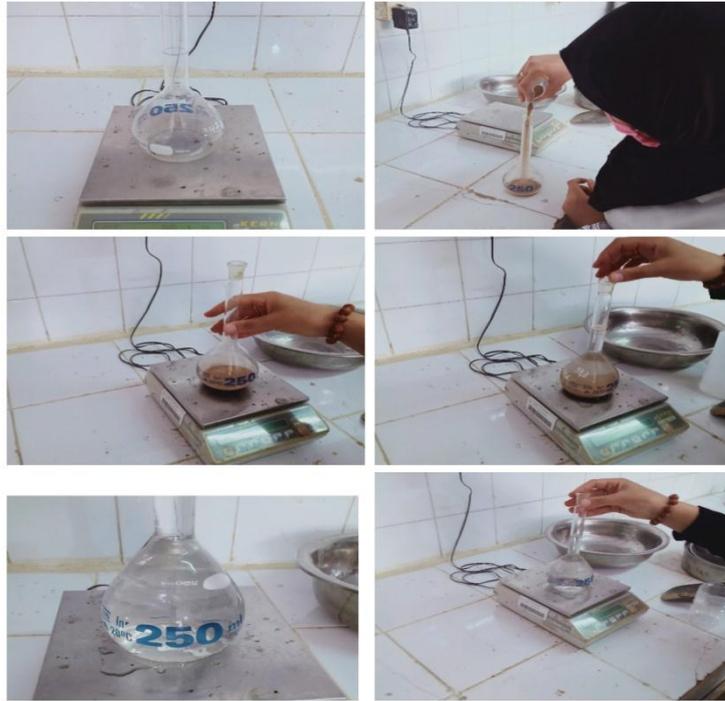
$$Mf = \frac{0 + 01 + 03 + 05 + 11 + 17 + 32 + 68 + 97}{100} = 2.31$$

**→ Dans ce cas le sable est préférentiel**

**II.II.IV .Pois spécifiques des grains solides (NA 255/1990)**

**Etapas de l'essai :**

- Etuvage du matériau
- Passer au tamis de diamètre 2mm
- Peser le pycnomètre +bouchon soit m1
- Introduction de a prise d'essai et peser le pycnomètre +matériau +bouchon m2
- Remplissage avec l'eau distillé jusqu'à le repère
- Placer le bouchon ,le pycnomètre est séché laisser de stabiliser pendant 30 min et pesé m3
- Pycnomètre vide nettoyé est rempli d'eau distillée jusqu'à le repère l'ensemble est pesé soit m4



**Figure II.V: essai pois spécifique**

**expression des résultats :**

$$\text{lepois spécifique} \quad P_s = \frac{m_2 - m_1}{m_4 + m_2 - m_1 - m_3}$$

$$P_s = \frac{147.2 - 97.3}{347.8 + 147.2 - 97.3 - 377.8} = 2.515 \text{ g/cm}^3$$

### **II.II.I. V Equivalent de sable (NF P 18-598 Octobre 1991)**

#### **a. But de l'essai**

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

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

#### **b. Principe de l'essai**

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

- La hauteur h1 : sable propre + éléments fins.
- La hauteur h2 : sable propre seulement.

Il y a 2 façons de mesurer h2, soit visuellement pour déterminer ESV (équivalent de sable à vue), soit avec un piston pour déterminer ES.

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

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

**c. Calcul**

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

$$Es = \frac{h2}{h1} * 100$$



**Figure II.VI: essai équivalent de sable**

**Tableau II.V: résultat de essai équivalent de sable GTF**

	<b>Ech1</b>	<b>Ech2</b>
Mesure h1	13.5	14.00
Mesure h2 (piston )	8.30	9.40
Mesure h '2	10.40	10.50
Es( piston) =100*h2/h1	61%	67%
Es moy piston =64%		
Es (visuel)=100*h'2/h1	77%	75%
Es moyen (visieul)=76%		

**II.II.I. VI Coefficient d’absorption NFP18-555**

Le coefficient d’absorption est défini comme le rapport d’augmentation de la masse d’un échantillon imbibé par l’eau, à la masse sèche de cet échantillon. Le coefficient d’absorption est obtenu par :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms}$$

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

**Ma** : masse de l’échantillon imbibé

**Tableau II.VI.: les coefficients d’absorptions des graviers**

La classe de gravier	3/8	8/15
Ab%	0.03	0.02

**II.II.I. VII coefficient d’aplatissement A :**

**a- but de l’essai :**

Contrôler le coefficient d’aplatissement de chaque granulométrie, Puisque

Plus les gravillons sont plats, moins leur mise en place dans la route ou dans les bétons est facile et plus ils sont fragiles.

**b- Principe de l’essai :**

Cet essai consiste tout d’abord à diviser notre échantillon en classes

granulaires d/D, selon leur grosseur par tamisage sur tamis à mailles carrées. Chacune de ces classes est à son tour passée sur une grille à fente parallèles d’écartement. Le coefficient d’aplatissement d’une classe correspond au passant en % du tamisage sur la grille à fentes correspondante.

**c- Mode opératoire :**

-faire un tamisage sur tamis à mailles carrées.

-faire un tamisage sur grille à fentes, chaque classe granulaire obtenue par l’opération précédente sur une grille dont l’écartement E entre les barres est défini par le tableau suivant :

**Tableau II.VII. : résultats essai coefficient d’aplatissement**

Classe granulaire d/D(mm)	écartement	Mg en gramme (gr)	Me en gramme (gr)
20-16	10	27	00
16-12.5	8	803	37
12.5-10	6.3	1505	44
10-8	5	618	16
8-6.3	4	38	00
6.3-5	3.15	03	00



**Figure II.VII : coefficient d’aplatissement**

Peser au gramme près le passant sur la grille correspondante à chaque granulaire d/D

- MG : masse de chaque granulaire d/D.

- ME : masse des éléments de chaque granulaire d/D passant sur la grille correspondante.

$ME / MG * 100$  coefficient d’aplatissement

**A=3.24%**

**II.II.I. VIII- Los Angeles :**

**a- But de l’essai :**

l’essai sert à déterminer le résistance à la fragmentation par choc et la résistance obtenue par frottement des granulats. Il se pratique sur les classes granulaire 4/6.3 ou 6.3/10 ou 10/14.

**b- Principe de l’essai :**

L’échantillon prélevé est tamisé ensuite il est mis dans l’appareil LOS

ANGELES. On recueille après 15 minutes l’échantillon et on note les résultats et les modifications qu’a subit ce dernier.

**c- Mode opératoire :**

un échantillon de fraction 3/8 et autre 8/15 et de masse 5000g est placé dans un tambour contenant 11 boulet d’acier normalisé.

Classe granulaire	Le nb de boulet
4/6.3	7
6.3/10	9
10/14	11

- La friction des granulats entre eux et des granulats contre les boulet et les parois du tambour provoque leur dégradation plus ou moins accrue.
- Calcul de coefficient de LA :  $LA = 100 * (m_0 - m_1) / m_0$   $m_0$  : la masse initiale de l’échantillon.  $m_1$  : la masse de refus au tamis 1.6mm.



**Figure II.VIII : essai los angeles**

**II.II.I. IX- l’essai de micro deval an présence d’eau :**

**a- but de l’essai :**

cet essai estime la résistance à l’usure par frottement afin d’éviter des modifications de la granularité lors du malaxage et du transport. □ principe de l’essai : Le matériau soumis à cet essai évolue par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive)

**b- mode opératoire :**

une masse de 500g de gravillon est placé avec une charge 2 à 5kg de billes d’acier de 10mm de diamètre dans une jarre cylindrique remplie d’eau 2.5l.

-- la charge à utiliser sera fonction de la classe granulaire :

Classe granulaire	Charge abrasive(g)
4-6.3	2000g
6.3-10	4000g
10-14	5000g



**Figure II.IX :l’essai de micro deval an présence d’eau**

**II.III. Formulation de béton :**

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

**II.III.I- La formulation de la méthode de Faury**

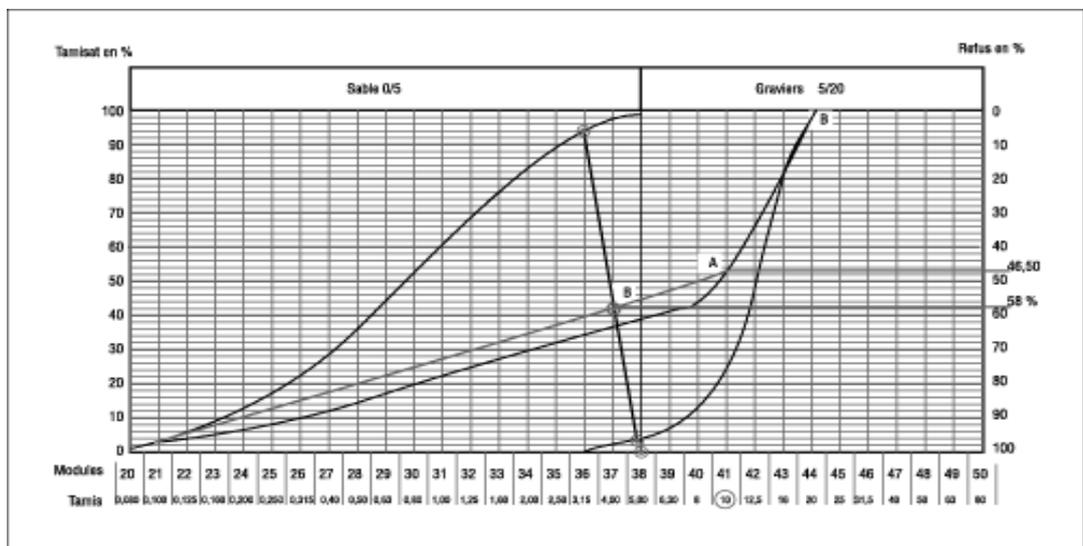
**II.III.I-I- Définition**

La méthode de Faury repose sur la loi de granulation continue s'inspirant d'une théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

Cette loi est fonction de  $\sigma$ , ce qui explique l'échelle des abscisses graduée en  $\sigma$ . La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite.

**II.III.I-II-Courbe granulaire de référence ( cf . Fig. 1 )**

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



Il faut distinguer les grains fins et moyens de diamètre inférieur à D/2 des gros grains de diamètre supérieur à D/2, car la pente de la droite de référence est différente pour chacune de ces deux classes.

La courbe granulaire de référence est donc formée de deux droites. Sur un système d'axes gradués en abscisse en  $\sigma$ , on reporte :

- l'abscisse de l'intersection de ces deux droites (point de brisure) qui se trouve à  $D/2$  ;
- l'ordonnée  $Y$ , qui est donnée par la formule suivante :

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{D} + \frac{R}{D} \frac{B}{-0,75}$$

Avec :

$A$  : constante, traduisant la maniabilité du béton.

$B$  : constant traduisant l'importance du serrage du béton.

$D$  : plus grande dimension de tamis.

$R$  : rayon moyen démoule

$B$  : Varie entre 1 et 2 selon que le béton est ferme ou mou ;

$R$  : Rayon moyen du moule  $R = \text{surface} / \text{périmètre}$  ;

$A$  : valeurs données par le tableau suivant.

#### **II.IV- ETUDE DE FORMULATION DU BETON**

##### **II.IV.I. Premier exemple :**

###### **II.IV.I. .I. Méthode de Faury**

Les calculs des pourcentages des composants sont élaborés en appliquant les formules de **Faury**.

###### **- Calcul de Dmax**

$$D_{\max} (\text{mm}) = d_1 + (d_1 - d_2) * X/Y$$

**d1** : 1er Ø du gravier

**d2** : 2ème Ø du gravier

**X** : 100 -(refus du d1)

**Y** : refus (d1-d2)

**d1 = 16 mm**

**d2 = 12.5 mm**

**X = 1**

**Y = 27**

**Dmax = 16.13 mm**

**Dmax / 2 = 8.06mm**

- **Calcul de point de brisure**

$Y_A = A + 17,8 * 5\sqrt{D(\max)}$

A = 31 (coefficient) pour des graviers concassés avec un sable naturel

$5\sqrt{D_{\max}} = 5\sqrt{16.2}$

$5\sqrt{D_{\max}} = 1.743913257$

**Y=60.65**

**Calcul indice de vide I :**

$I = K / 5\sqrt{D_{\max}}$

K=0.300

I=172 L

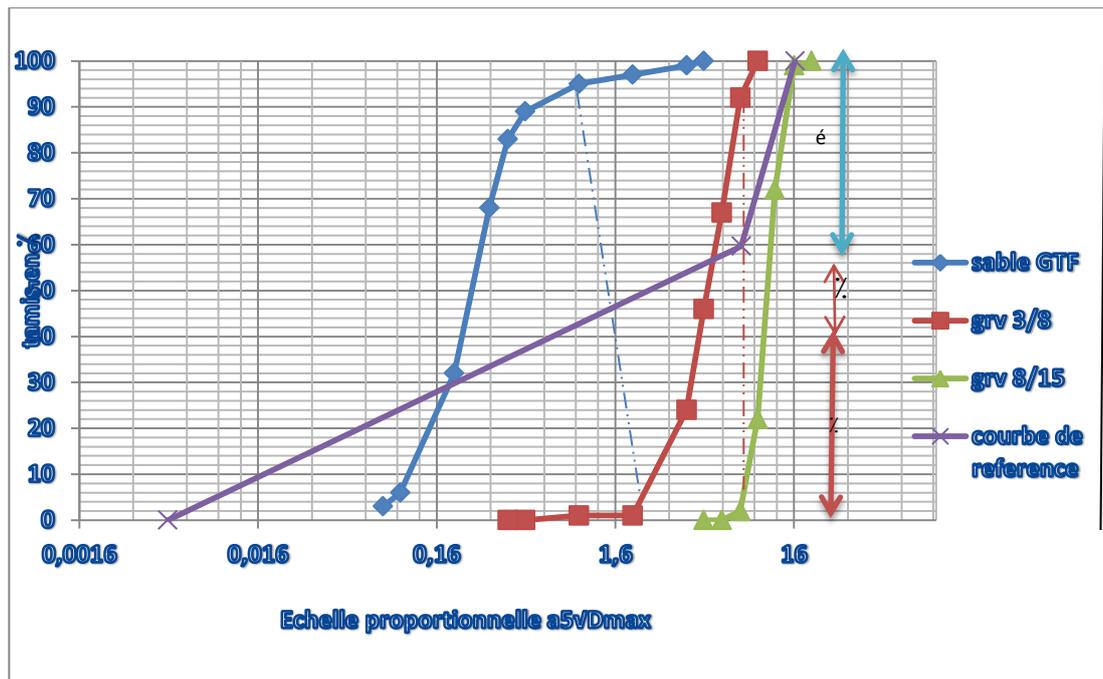


Figure II.X. : la courbe granulométrique selon méthode de Faury

**Détermination des éléments secs**

Eléments secs

1000- E= 1000-172= 828L

- **Calcul de pourcentage du ciment**

$$\%C = (V_c / V_g) * 100$$

**V<sub>c</sub>** : Volume de ciment

**V<sub>g</sub>** : Volume des grains solides

$$V_c = \text{Dosage de ciment} / \text{densité de ciment}$$

En générale la densité de ciment = 3.1

Dosage (Kg/m <sup>3</sup> )	Classe	V <sub>c</sub> (L/m <sup>3</sup> )	V <sub>g</sub> (L/m <sup>3</sup> )	Ciment (%)	E / C
350	C 30	113	828	14	0.49

Les pourcentages

-D'après les graphes on obtient

-Le pourcentage de sable =28.%

-Le pourcentage de gravier (3/8)= 30%

-Le pourcentage de gravier (8/15)= 28%

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

$$\text{Sable} = 32\% \times 828 = 252.5 \text{ L}$$

$$\text{Gravier (3/8)} = 15\% \times 828 = 116.5 \text{ L}$$

$$\text{Gravier (8/15)} = 38\% \times 828 = 295 \text{ L}$$

$$\text{Eau} = 172 \text{ L}$$

**La composition en masse :**

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

$$\text{Sable} : 252.5 * \frac{2.77}{1.43} = 489 \text{ Kg}$$

$$\text{Gravier 3/8} : 116.5 * \frac{2.55}{1.3} = 228.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Gravier 8/15} : 295 * \frac{2.50}{1.37} = 538 \text{ Kg}$$

$$\text{Ciment} : 350 \text{ Kg}$$

Eau :172 L

**Tableau II.VIII. : les composants pour un mètre cube de béton selon Faury**

composant	%	(1000- eau)/100	volume absolu	Masse volumique absolue	composants en masse	Masse volumique apparente	composants en volume
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Ciment</b>	14	8,28	113	3,10	350	1	350
<b>Sable</b>	28	8,23	230	2,513	579	1,44	402
<b>3/8</b>	30	8,23	247	2,778	686	1,53	448
<b>8/15</b>	28	8,23	230	2,799	645	1,5	430
<b>Eau</b>	172			1	201	1	205
<b>Totaux</b>	100				2461		1835

**Tableau II.IX:le coefficient granulaire selon Faury**

Les rapports granulaires	
<b>G/S</b>	<b>2.07</b>
<b>g<sub>3/8</sub>/S</b>	<b>1.07</b>
<b>g<sub>8/15</sub>/S</b>	<b>1</b>
<b>g<sub>3/8</sub>/g<sub>8/15</sub></b>	<b>1.07</b>

### **II.IV.I.II. Méthode de Dreux-Gorisse**

#### **Définition**

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport E/C

Pour cette méthode nous utilisons le fichier exel de **best engineering practice**

#### **Données sur le béton**

- Résistances a 28 jours  $f_{c28}$  en MPa =25 MPa
- Affaissement en cm : A=7 cm
- Serrage :normale
- Pompage ou non du béton :non pompé

#### **Données sur le ciment**

- Classe vraie a 28 jours :  $\sigma_{c28}=45\text{MPa}$
- Mv réelles en  $\text{g/cm}^3 = 3.1$

**Données sur les granulats**

- Qualité des granulats :
- Formes des granulats x
- Propreté (ES) :ES=
- Tableaux d’analyses granulométrique des granulats : donnés
- Module de finesse :MF=
- Dimension maximale des granulats :Dmax=20mm (gavier)
- Masse volumique réelles des granulats :Mvr

**Les déférentes étapes**

1. Détermination du dosage en ciment
2. Détermination du dosage en Eau
3. Contrôle qualité du granulats
4. Trace courbe granulaire OAB
5. Trace la ligne de partage
6. Détermination du dosage des granulats7
7. densité théorique de béton frais

**Détermination du dosage en ciment**

- Entrer les données de base  
 $F_{C28}$  béton ;  $\sigma_{28}$  classe vraie de béton ; D max ; affaissement ; qualité des granulats
- Détermination de coefficient G

LES VALEURS DU COEFFICIENT GRANULAIRE G			
Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	FINS( D≤16mm)	MOYENS20 SD≤40mm	Gros D≥50mm
Excellente	0,55	0,6	0,65
Bonne, courante	0,45	0,5	0,55
Passable	0,35	0,4	0,45

Figure II.XI. : coefficient granulaire G

Après entrer les données de basse on vas lire le pourcentage de ciment dans l'abaque

- La formule de bolomey donne  $\frac{C}{E} = \frac{f_{cm}}{G \cdot \sigma_{28}} = 1.73$

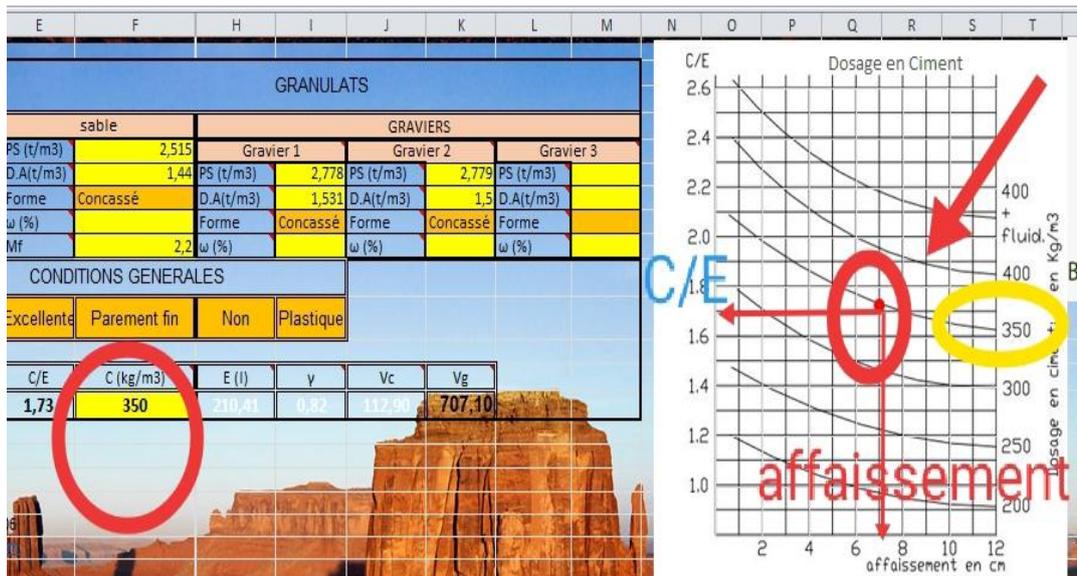


Figure II.XII. :Dosage de ciment

### 1. Détermination du dosage en Eau

Données nécessaires

D max et le rapport C/E

$$\frac{C}{E} = 1.7 \Rightarrow E = \frac{C}{1.73} = 210.41 \text{ l/m}^3$$

Correction sur E: abaque

Dimension maximale des Granulats D en mm	4	8	12.5	20	31.5	50	80
Correction sur le dosage En eau	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

Correction sur le dosage en eau en fonction de D Correction : 0 %

Correction nul donc E = 210.41 l/m<sup>3</sup>

## 2. Contrôle qualité du granulats

Tableau II.X: interprétation essai equivalent de sable

PS	Nature et qualité du sable
< 60	"Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
$60 \leq PS < 70$	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
$70 \leq PS < 80$	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$PS > 80$	"Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

ES=76% → sable propre

Tableau II.11: module de finesse

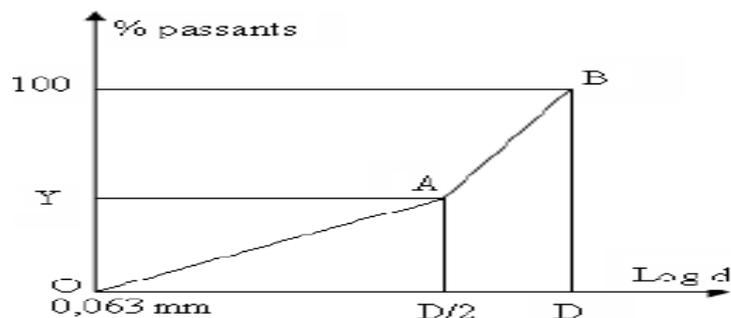
1.8 et 2.2	le sable est à majorité de grains fins
2.2 et 2.8	on est en présence d'un sable préférentiel,
2.8 et 3.3	le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

Mf=2.31

→ sable préférentiel,

## 3. Trace courbe granulaire OAB

Données nécessaires: Dmax ; Vibration ; forme granulat ; dosage en ciment ; Mf ; pompage ou non



Les coordonnées O: [0.08;0]

Les coordonnées B : [D; 100], (D: le diamètre du plus grosgranulat).

Les coordonnées A : [D/2; Y], suivantes:

en abscisse:

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

- en ordonnée:

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

Valeur de K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Foulé	Concassé
Dosage en ciment	400+f	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	2	-2	0	-4	-2
	350	2	4	0	2	-2	0
	300	4	6	2	4	0	2
	250	6	8	4	6	2	4
	200	8	10	6	8	4	6

**Nota1 :** Correction supplémentaire  $K_s$  : si le module de finesse du sable est fort (sable grosier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A. Ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa .La correction supplémentaire (sur K) peut être effectuée en ajoutant la valeur  $K_s=6Mf-15$  (Mf étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle).

**Nota2 :** Correction supplémentaire  $K_p$  : si la qualité du béton est précisé « pompable » il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable en sable par rapport à un béton de qualité « courante » .On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur  $K_p= +5$  à +10 environ. Selon le degré de plasticité désiré.

$$K=2 ; K_s=6Mf-15=6*2.31-15=-1.14 ; K_p=0$$

$$Y_A=50 -\sqrt{16+K+K_s+K_p}=44.86$$

#### 4. Trace la ligne de partage

##### -La ligne de partage:

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulat au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulaire du plus gros granulat. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et gravier.

#### 5. Détermination du dosage des granulats

Les points d'intersections de la ligne de partage et la courbe OAB. Ce sont les pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.



Résistance souhaitée à 28 jrs	Résistance visée à 28 jrs	C/E	Dosage en ciment	volume d'eau	Compacité	Volume du ciment	Volume de granulats
$f_{c28}$ (Mpa)	$f_c$ (Mpa)		C (kg/m <sup>3</sup> )	l		Vc (m <sup>3</sup> )	Vg (m <sup>3</sup> )
25	28,75	1,73	350	210,41	0,82	112,90	707
POINT DE BRISURE							
A	X	8	FRACTION GRANULAIRE	Gravier 1	Gravier 2	Gravier 3	Sable
	Y	44,86	Pourcentage (%)	22	48	0	30
			Volumes	156	339	0	212

DOSAGE THEORIQUE PONDERAL ET VOLUMETRIQUE						
Constituants	Volume (l)	Poids spécifique s(t/m <sup>3</sup> )	Dosage pondéral (kg/m <sup>3</sup> de béton)	Densité apparente (t/m <sup>3</sup> )	Dosage Volumétrique D.A (l)	Dosage volumétrique par sac de ciment (l)
Gravier 1	155,56	2,78	432,15	1,53	282,27	40,32
Gravier 2	339,41	2,78	943,21	1,50	628,81	89,83
Gravier 3	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
Sable	212,13	2,52	533,50	1,44	370,49	52,93
Eau	210,41					
Ciment	112,90	3,10	350,00			

**Tableau II.XI:le coefficient granulaire**

Les rapports granulaires	
<b>G/S</b>	<b>2.3</b>
<b>g<sub>3/8</sub>/S</b>	<b>0.73</b>
<b>g<sub>8/15</sub>/S</b>	<b>1.6</b>
<b>g<sub>3/8</sub>/g<sub>8/15</sub></b>	<b>0.45</b>

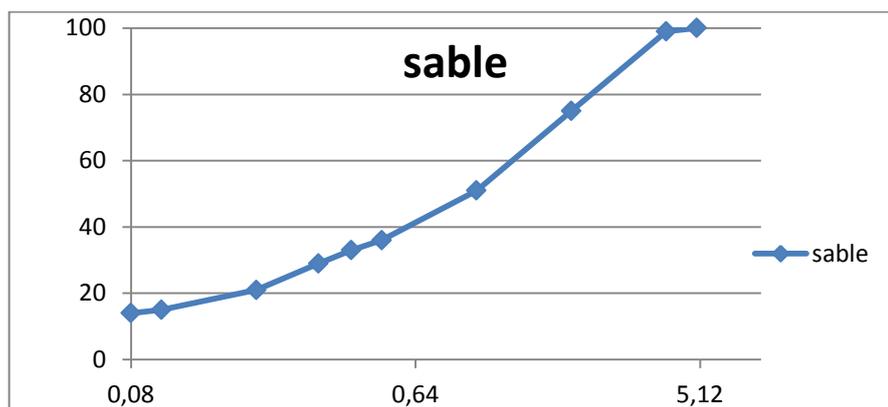
**II.IV.II.Exemple N 02**

Passrelle a beton :

**II.IV.II.I.MRTHODE DE FAURY**

**Tableau II.XII : analyse granulométrique de sable**

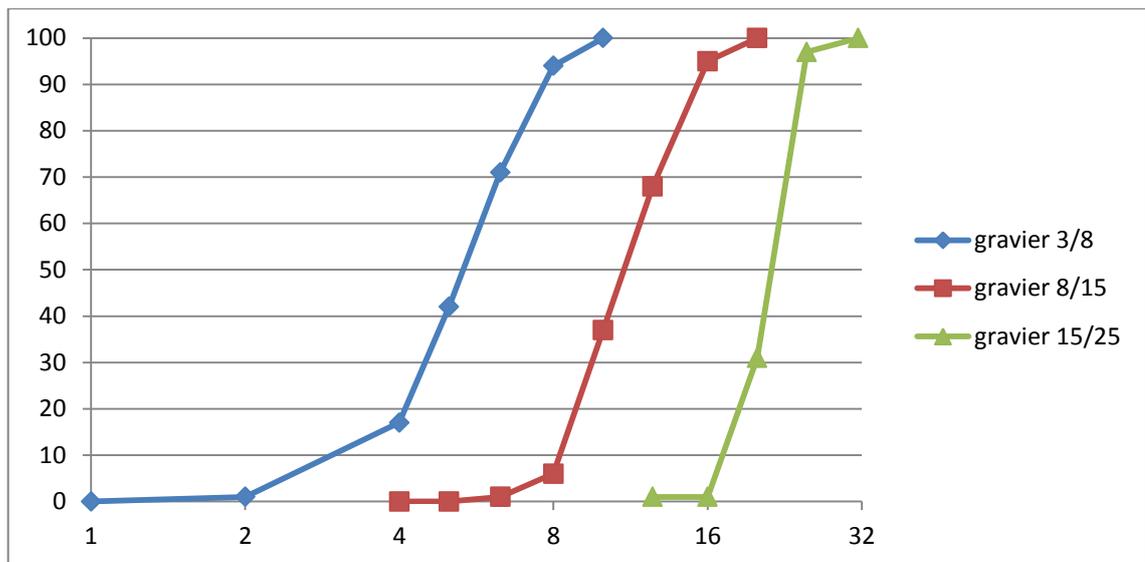
Tamis (mm)	Masse de refus cumules (gr )	%refus cumulés	%tamisât cumulés
5	01	00	100
4	04	01	99
2	125	25	75
1	243	49	51
0.500	319	64	36
0.400	336	67	33
0.315	356	71	29
0.200	396	79	21
0.100	426	85	15
0.080	430	80	14



**Figure II.XIII:Analyse granulométrique du sable**

**Tableau II.XIII : analyse granulométrique de gravier**

Tamis (mm)	Tamisatcomulés/ %		
	Gravier 3/8	gravier 8/15	Gravier 15/25
31.2	-	-	100
25	-	-	97
20	-	100	31
16	-	95	01
12.5	-	68	01
10	100	37	-
8	94	06	-
6.3	71	01	-
5	42	00	-
4	17	00	-
2	01	-	-
1	00	-	-



**Figure II.XIV :analyse granulométrique de gravier**

- **Calcul de Dmax**

$$D_{max} \text{ (mm)} = d_1 + (d_1 - d_2) * X/Y$$

**d1** : 1er Ø du gravier

**d2** : 2ème Ø du gravier

**X** : 100 -(refus du d1)

**Y** : refus (d1-d2)

**d1 = 25mm**

**d2 = 20 mm**

**X = 03**

**Y = 69**

**Dmax = 28.12mm**

**Dmax / 2 = 14.06mm**

- **Calcul de point de brisure**

$$Y = A + 17,8 * 5 \sqrt{D(\max)}$$

**A = 31**(coefficient) pour des graviers concassés avec un sable naturel

$${}^5\sqrt{D_{\max}} = {}^5\sqrt{28.12}$$

**Y=68.13**

**Calcul indice de vide I :**

$$I = K / {}^5\sqrt{D_{\max}}$$

$$K = 0.300$$

$$I = 221 \text{ L}$$

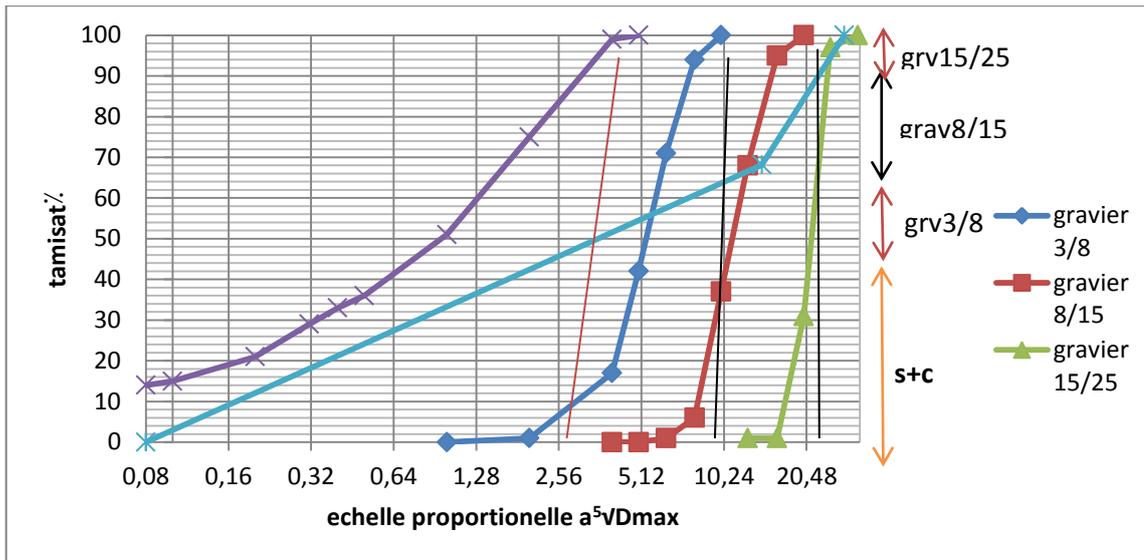
**Volume du matériaux secs :**

$$V_{Ms} = 1000 - I$$

$$V_{Ms} = 779 \text{ l}$$

**Le volume absolu de ciment : Pc=350kg /m3**

$$V_c = P_c / D_c \quad 14\%$$



**Figure II.XV: courbe granulométrique selon faury**

Les pourcentages

-D'après les graphes on obtient

-Le pourcentage de sable =25.%

-Le pourcentage de gravier (3/8)= 18%

-Le pourcentage de gravier (8/15)= 18%

Le pourcentage de gravier (15/25)= 25%

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

Sable = 25% × 7.79 = 195L

Gravier (3/8) = 18% × 7.79 = 140. L

Gravier (8/15) = 18% × 7.79 = 140 L

Gravier (8/15) = 25% × 7.79 = 195 L

Eau = 221L

**La composition en masse :**

$$le\ volume\ en\ litre * \frac{ladensite\ absolu}{ladensite\ apparente} = lamasse\ en\ Kg$$

$$Sable : 195 * \frac{2.76}{1.58} = 538Kg$$

$$Gravier\ 3/8 : 140 * \frac{2.67}{1.39} = 375Kg$$

$$\text{Gravier 8/15 : } 140 * \frac{2.67}{1.43} = 375Kg$$

$$\text{Gravier 25/15 : } 195 * \frac{2.66}{1.41} = 518Kg$$

Ciment :350Kg

Eau :221 L

**Tableau II.XIV : les composants pour un mètre cube de béton selon Faury**

composant	%	(1000-eau)/100	volume absolu	Masse volumique absolue	composants en masse	Masse volumique apparente	composants en volume
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Ciment</b>	14	7.79	113	3,10	350	1	350
<b>Sable</b>	25	7.79	195	2,513	538	1.58	340
<b>3/8</b>	18	7.79	140	2,778	375	1.39	269
<b>8/15</b>	18	7.79	140	2,799	375	1,43	262
<b>15/25</b>	25		195		518	1.41	368
<b>Eau</b>	221		221	1	221	1	221
<b>Totaux</b>	100				2376		1810

**TableauII.XV:le coefficient granulaire**

Les rapports granulaires	
<b>G/S</b>	<b>2.3</b>
<b>g<sub>3/8</sub>/S</b>	<b>0.69</b>
<b>g<sub>8/15</sub>/S</b>	<b>0.69</b>
<b>G<sub>15/25</sub>/S</b>	<b>0.96</b>

Methode de dreux gorisse

➤ **Résistance visée**

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

- La résistance désirée pour le béton à 28 jours est:  $f_{c28} = 30\text{MPa}$
- La résistance visée vaut alors:  $f_{c28} = f_{c28} + 15\% = 30 + 4.5 = 34.5\text{ MPa}$

Le rapport C/E

$$\frac{C}{E} = \frac{f_{cm}}{G \cdot \sigma_{28}} + 0.5$$

Avec

G = 0,6 (qualité des granulats passable (Annexe tableau de G)).

Dmax=25mm

DONNEES DE BASE		GRANULATS									
		Sable		GRAVIERS							
fc28 (Mpa)	30	PS (t/m3)	2,76	Gravier 1		Gravier 2		Gravier 3			
fcE (Mpa)	42,5	D.A(t/m3)	1,58	PS (t/m3)	2,67	PS (t/m3)	2,67	PS (t/m3)	2,66		
A (cm)	7	Forme	Concassé	D.A(t/m3)	1,39	D.A(t/m3)	1,43	D.A(t/m3)	1,41		
D (mm)	25	ω (%)		Forme	Concassé	Forme	Concassé	Forme	Concassé		
		Mf	1,9	ω (%)		ω (%)		ω (%)			
		Normale		Excellente		Parement fin		Non		Plastique	
G	fc (Mpa)	C/E	C (kg/m3)	E (l)	γ	Vc	Vg				
0,6	34,5	1,85	380	205,08	0,795	122,58	672,42				

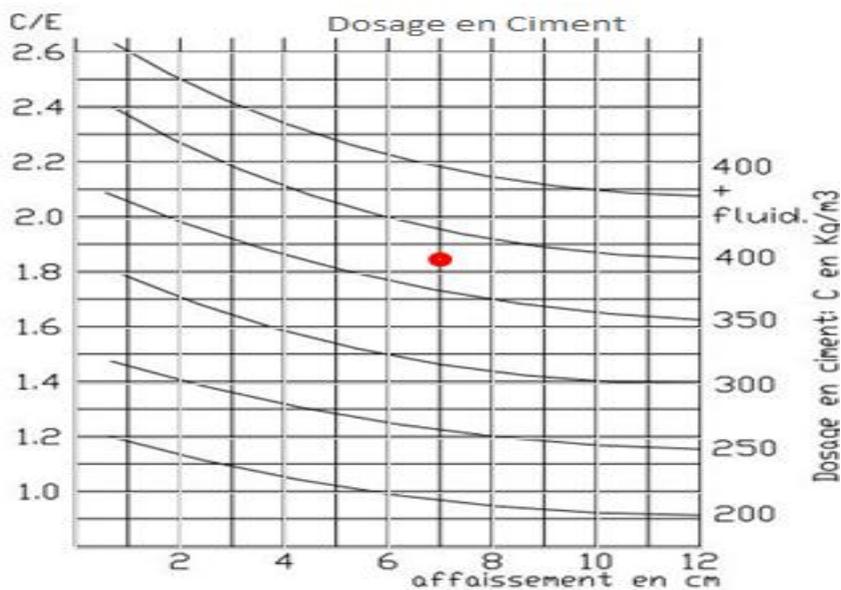
➤ **Dosage en ciment**

□ Pour un affaissement théorique = 7cm et pour CE /= 1,85 l’abaque de la (figure) donne un dosage en ciment C = 380 kg/m3.

➤ **Dosage en eau**

Le dosage en eau totale sur matériaux secs sera approximativement :

$$E = 380 / 1,85 \rightarrow E = 205 \text{ L.}$$



FigureII.XVI abaque rapport C/E

➤ **Tracé de la courbe granulatoire de référence AOB**

Nous traçons une courbe de référence OAB avec :

- Le point 0 est repéré par ses coordonnées : [0,08 ; 0]
- Le point B est repéré par ses coordonnées suivantes : [D ; 100]
- Si  $D > 20$  mm l'abscisse est située au milieu du « Segment gravier » limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D.

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes : En abscisse Le plus gros granulat est  $D = 25$ mm donc le point de brisure à pour abscisse :  $A = 12,5$  mm.

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

Pour notre 1ère cas  $K = + 3$  (Annexe valeur de K ).

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

La correction en fonction du module de finesse du sable  $MF = 1.9$  et

$K_s = 6MF - 15 = - 3.6$

Alors :  $Y = 50 - \sqrt{25} + 3 - 3.6 = 43.4\%$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : [12,5 ; 43.4]

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

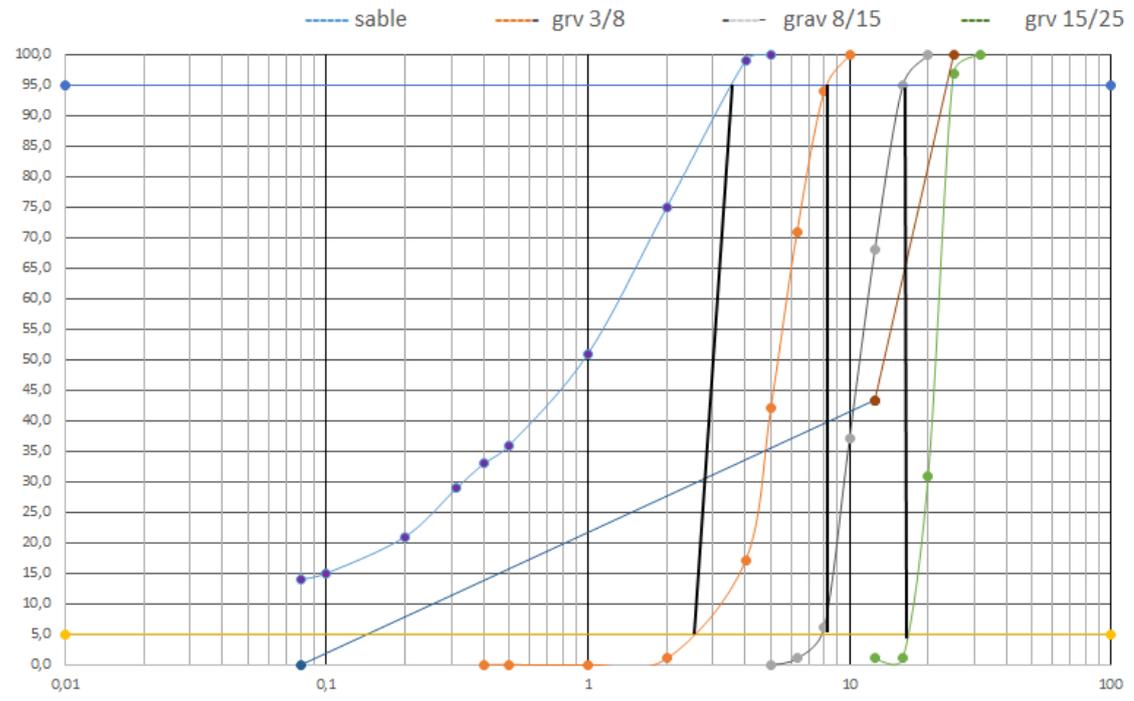


Figure II.XVII : Courbe granulatoire de Dreux-Gorisse (dosage 380 kg)

Les pourcentage des granultas suivants :

%Sable	30
%Gravier1	10
%Gravier2	17
%Gravier3	43

Détermination de la composition en volume absolu

- Le dosage en béton est déterminé pour obtenir un mètre cube de béton en place cela signifie que le volume de matière vante 1 m<sup>3</sup> :  $V_{abs} = V_s + V_g + V_c$

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

On adoptant pour le coefficient de compacité dans (Annexe ) ( $D_{max} = 25\text{mm}$ , béton plastique, vibration faible) la valeur  $\gamma = 0,825$

### Volume absolu de granulats

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

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

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

$\gamma$  : Coefficient de compacité (sable roulé et gravier concasse : - 0,01)

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

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

Volume de sable

$$V_s = 30 \% \times 692 = 207,6 \text{ L}$$

Volume des graviers

$$V_G = 70 \% \times 692 = 484,4 \text{ L}$$

- Volume de gravier(3/8) = 10%  $\times 692 = 69,20 \text{ L}$
- Volume de gravier(8/15) = 17 %  $\times 692 = 117,6 \text{ L}$
- Volume de gravier(15/25) = 43 %  $\times 692 = 297,56 \text{ L}$

Détermination de la composition pondérale sèche en kg :

Masse de ciment  $C = 380 \text{ kg/m}^3$  Masse d'eau  $E = 205 \text{ L/m}$

Masse de sable  $S = V_s \times M_{vabs} = 207,6 \times 2,76 = 576,76 \text{ kg/m}^3$

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

$$G_{3/8} = 96,20 \times 2,67 = 256,85 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{8/15} = 117,6 \times 2,67 = 314,00 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{15/25} = 297.56 \times 2,66 = 769.11 \text{ kg/m}^3$$

Résistance souhaitée à 28 jrs	Résistance visée à 28 jrs	C/E	Dosage en ciment	volume d'eau	Compacité	Volume du ciment	Volume de granulats
$f_{c28}$ (Mpa)	$f_c$ (Mpa)		C (kg/m <sup>3</sup> )	l		Vc (m <sup>3</sup> )	Vg (m <sup>3</sup> )
30	34,5	1,85	380	205,08	0,795	122,58	672
<b>POINT DE BRISURE</b>							
A	X	12,5	FRACTION GRANULAIRE	Gravier 1	Gravier 2	Gravier 3	Sable
	Y	43,4	Pourcentage (%)	10	17	43	30
			Volumes	67	114	289	202

DOSAGE THEORIQUE PONDERAL ET VOLUMETRIQUE						
Constituants	Volume (l)	Poids spécifiques (t/m <sup>3</sup> )	Dosage pondéral (kg/m <sup>3</sup> de béton)	Densité apparente (t/m <sup>3</sup> )	Dosage Volumétrique D.A (l)	Dosage volumétrique par sac de ciment (l)
Gravier 1	67,24	2,67	179,54	1,39	129,16	17,00
Gravier 2	114,31	2,67	305,21	1,43	213,43	28,08
Gravier 3	289,14	2,66	769,11	1,41	545,47	71,77
Sable	201,73	2,76	556,76	1,58	352,38	46,37
Eau	205,08					
Ciment	122,58	3,10	380,00			

**Tableau I.XVI : le coefficient granulaire**

Les rapports granulaires	
<b>G/S</b>	<b>2.3</b>
<b>g<sub>3/8</sub>/S</b>	<b>0.3</b>
<b>g<sub>8/15</sub>/S</b>	<b>0.56</b>
<b>G<sub>15/25</sub>/S</b>	<b>1.73</b>

## **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons montrer les caractéristiques des matériaux par les essais au laboratoire ainsi

Mais malheureusement a cause de la maladie Covid -19 nous ne pouvons pas terminer l'étude jusqu'à l'essai de compression donc nous avons juste obtenir les pourcentage et les quantités des composants

# **Chapitre III**

## **Comparaison des méthodes**

### III I Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les courbes granulométriques des matériaux pour chaque méthode et chaque exemple faury et dreux -doriss et comparons les pourcentages des matériaux pour chaque exemple

### III. II. Premier exemple

#### III .II I.La courbe granulométrique de faury

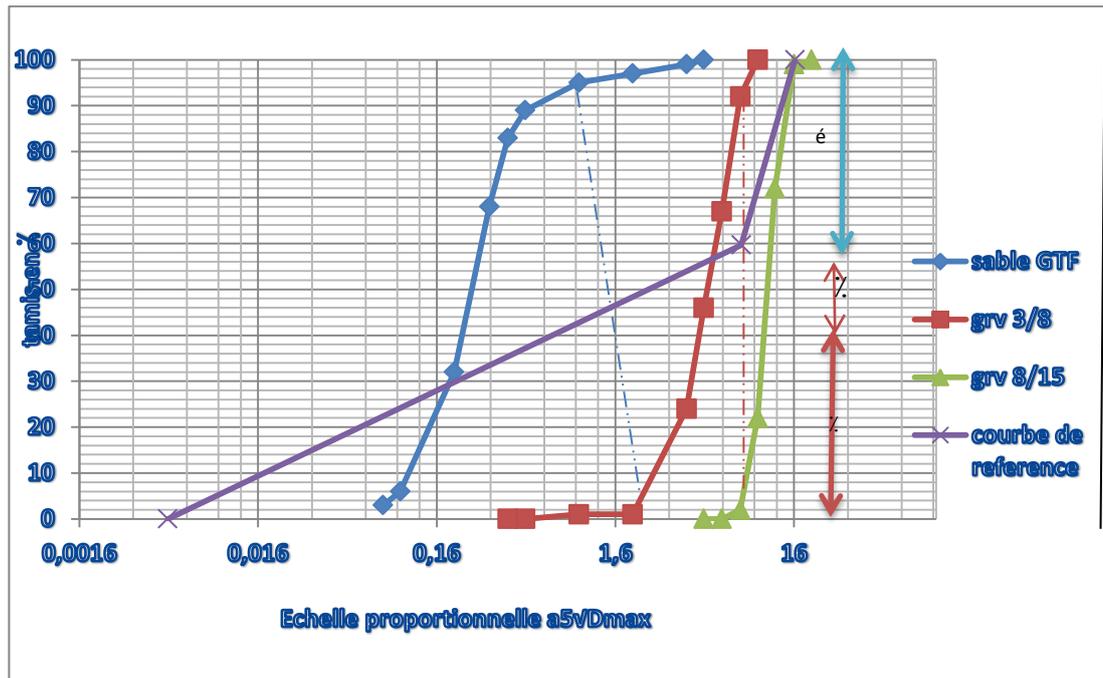


Figure III.1 : la courbe granulométrique selon méthode de Faury

Les pourcentages des granulats sont déterminés par les points d'intersection avec la courbe de référence, et par projection sur l'axe des ordonnées, ses proportions nous permettent d'avoir un coefficient granulaire G/S égal à 2.07

On remarque d'après la courbe granulométrique de la figure , que les pourcentages obtenus pour chaque constituant à savoir (sable + ciment), gravier 3/8 et gravier 8/15, de l'ordre respectif de 42%, 30% et 28% par mètre cube de béton

### III.II.II L'analyse granulométrique de Dreux -goriss

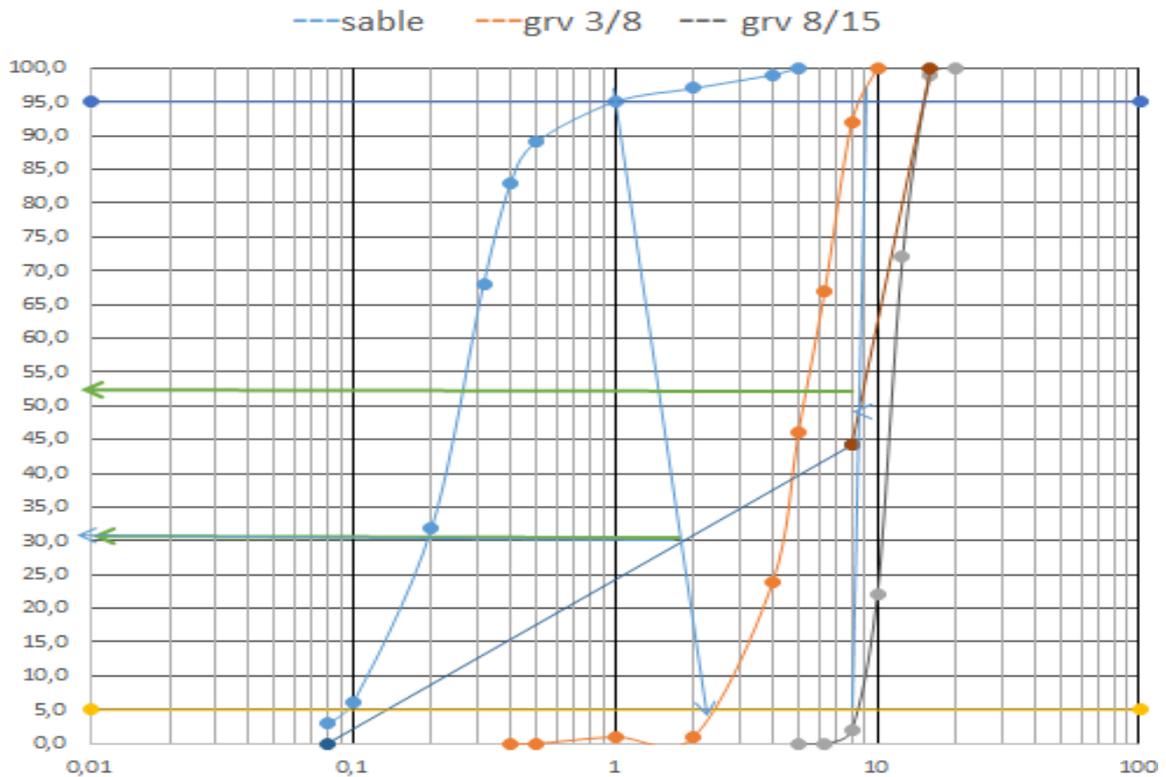


Figure III.II : la courbe granulométrique selon M.Dreux-gorisse

### III .II.III .Les résultats

La figure présente les pourcentages des granulats obtenus par le calcul de la méthode de formulation du béton Dreux-Gorisse, qui nous donne 30% de sable, 22% de gravier

3/8 et 48% de gravier 8/15, par mètre cube de béton. D'après les pourcentages trouvés, nous remarquons que le rapport gravier/sable est de l'ordre de 2.3

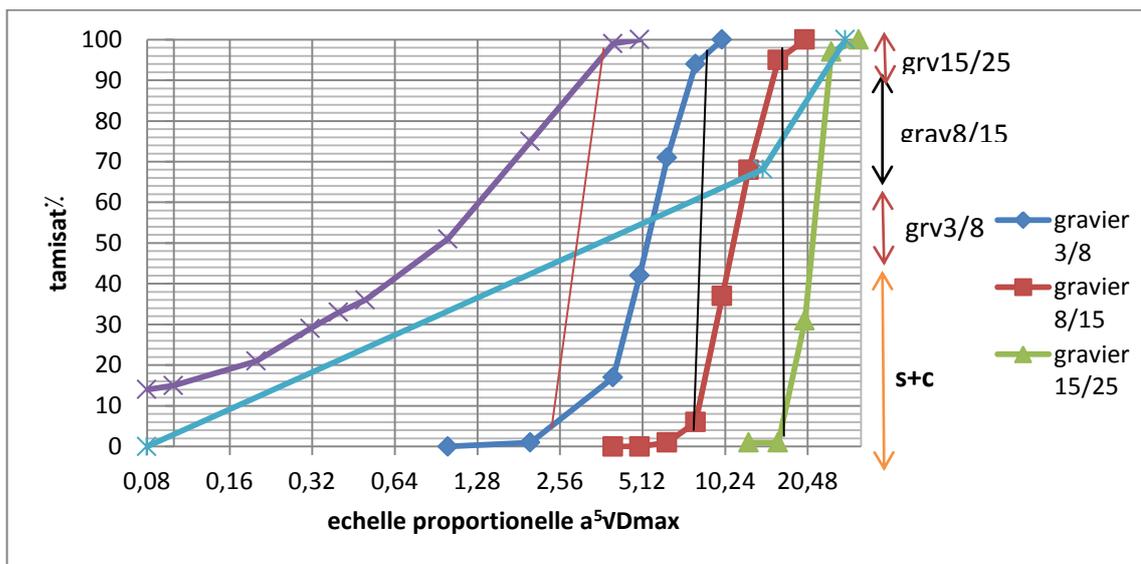
**Comparaison des résultats**

**Tableau III.I : les masses et le rapport G/Sselonfaury et dreuxgoriss**

		Faury	Dreux goriss
Les masse (kg )	Ciment	350	350
	Sable	579	533.50
	Gravier 3/8	686	432.15
	Gravier 8/15	645	943.21
Le rapoort G/S		2.07	2.3

**III.III.Deuxième exemple**

**III.III.I Analyse granulométrique de Faury**

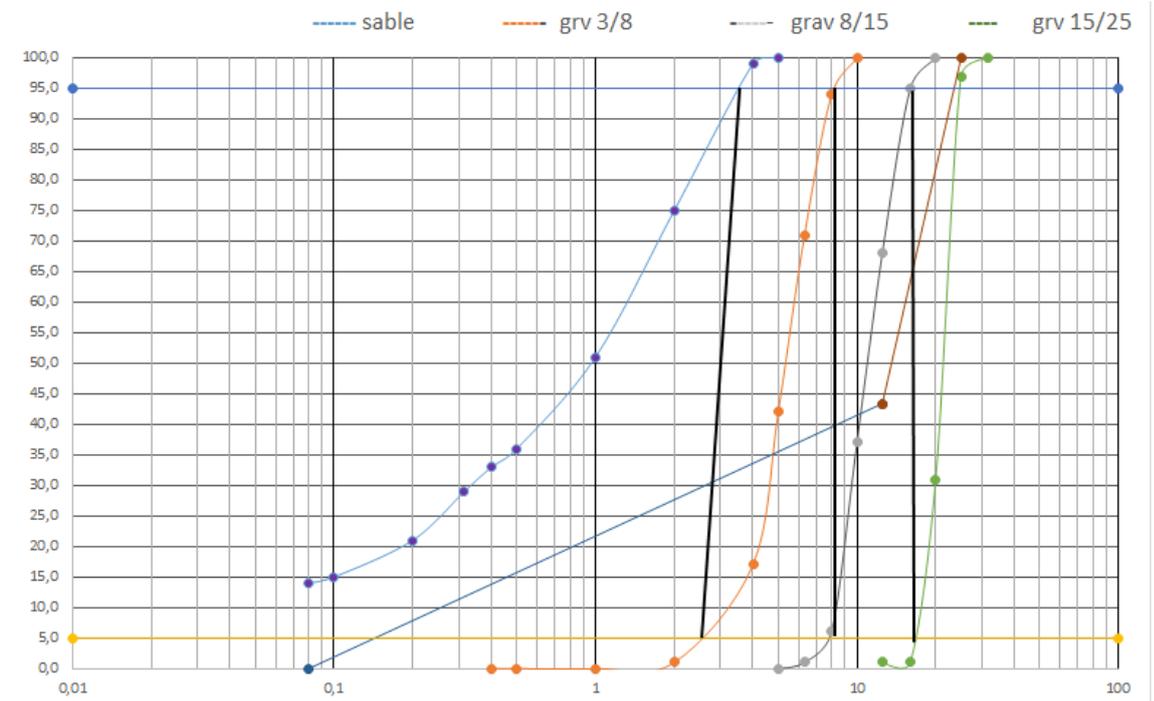


**Figure III.III : courbe granulométrique selon faury**

Les pourcentages des granulats sont déterminés par les points d'intersection avec la courbe de référence, et par projection sur l'axe des ordonnées, ses proportions nous permettent d'avoir un coefficient granulaire G/S égal à 2.3

On remarque d'après la courbe granulaire de la figure , que les pourcentages obtenus pour chaque constituant à savoir (sable +ciment) gravier 3/8 et gravier 8/15, gravier 15/25, de l'ordre respective de 39%., 18% et 18% 25% par mètre cube de béton

## III.III.II. L'analyse granulométrique de Dreux-goriss



**Figure III.IV: Courbe granulométrique de Dreux-Gorisse (dosage 380 kg)**

La figure présente les pourcentages des granulats obtenus par le calcul de la méthode de formulation du béton Dreux-Gorisse, qui nous donne 30% de sable, 10% de gravier

3/8 et 17% de gravier 8/15 gravier 15/25 43%, par mètre cube de béton. D'après les pourcentages trouvés, nous remarquons que le rapport gravier/sable est de l'ordre de 2.3

**III.III.III. Comparaison des résultats****Tableau III.II : les masses et le rapport G/S selon faury et dreux-gorisse**

		Faury	Dreux goriss
Les masse (kg)	Ciment	350	380
	Sable	538	556,7 6
	Gravier 3/8	375	179,54
	Gravier 8/15	375	305,21
	Gravier 15/25	518	769,11
Le rapoort G/S		2.3	2.3

**III.IV.Conclusion**

Dans ce chapitre on remarque la formulation de béton avec des méthodes déferent ne donne pas les mêmes résultat des pourcentage des composants de béton

Le rapport G/S reste constant par la formulation de dreuxgoriss

# **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 les pourcentages de gravier de chaque fraction pour chaque exemples différents

Les pourcentages des sable et de l'eau ne donne pas les mêmes pourcentages pour chaque méthode Faury ou bien Dreux -goriss

Le rapport G/S dépend la formulation pour la méthodes de Dreux-gorissreste le même pour les deux exemples et pour la méthode de Fauryne reste pas le même pour chaque exemples

Reamarque

On fait pas des remarques sur la résistance a la compression ou bien affaissement par ce que on fait pas les essais sur elles a cause de covid -19

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- [1] Lucien, Pliskin. Propriétés des béton (partie le béton) 2000 .p.58.
- [2] John Wiley and Sons, Taylor F, Thompson S, 1912. A treatise on concrete plain and reinforced, NewYork.
- [3]: A. CHAREF, "La problématique des granulats au Maroc", Push-ButtonPublishing, (2007).
- [4]: Norme Française XP P 18-540, "Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540", (1997).
- [5] fiche techniques les constituantsdebeton et de mortiers
- [6] JohnWiley and Sons, Powers T.-C 1968. The properties of fresh concret, NewYork
- [7] Baron J, Lesage R. Décembre 1976. La composition du béton hydraulique, du laboratoire au chantier, Rapport de recherche des laboratoires des Ponts et Chaussées64
- [8] Jean-Luc, Akouet. Les matériaux de voirie : Les granulats, novembre 2016.
- [9] L. MOSBAHI et K. SOLTANI : 05/ 06 /2018Les différentes méthodes usuelles de formulation du béton ordinaire Etude comparative ; Université Larbi tébessi – Tébessa p 4
- [10] Dr Hadj Sadok .A cours chapitre II le ciment porteland 2011
- [11] Disponible sur : [www.guide béton.com/eau gâchage](http://www.guide beton.com/eau_gachage) (consultée le 30-01-2018)
- [12] <https://www.coffrages-cosmos.com/les-differents-types-de-beton-et-leurs-specificites/>
- [13] Georges Dreux , composition des bétons , ingénieur en chef au centre expérimental de recherches et letudes du bâtiments et des travaux publics .C 2 220.
- [14] Belouadah MESSAOUDA, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA, Etude de l'influence de la nature des fillers sur les propriétés des bétons base des matériaux locaux l'état frais et à l'état durci et soumis aux hautes températures, 18/12/2018•Article doctorat.

# **Annexes**

**Annexe 1:** Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test d'ouvrabilité C.E.S

<b>Plasticité</b>	<b>Serrage</b>	<b>Affaissement A en cm</b>	<b>Nombre de chocs test C.E.S</b>
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	>60
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 15
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	< 10

**Annexe 2:** Valeurs approximatives du coefficient granulaire G

<b>Qualité des granulats</b>	<b>Dimension D des granulats</b>		
	<b>Fins (D ≤ 16 mm)</b>	<b>Moyens (25 ≤ D ≤ 40 mm)</b>	<b>Gros (D ≥ 63 mm)</b>
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

**Annexe 3:** Valeur du terme correcteur K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Format des granulats		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400+f	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	2	-2	0	-4	-2
	350	2	4	0	2	-2	0
	300	4	6	2	4	0	2
	250	6	8	4	6	2	4
	200	8	10	6	8	4	6

**Nota1 :** Correction supplémentaire  $K_s$  : si le module de finesse du sable est fort (sable grosier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A. Ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa .La correction supplémentaire (sur K) peut être effectuée en ajoutant la valeur  $K_s=6Mf-15$  (Mf étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle).

**Nota2 :** Correction supplémentaire  $K_p$  : si la qualité du béton est précisé « pompable » il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable en rapport à un béton de qualité « courante ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur  $K_p= +5$  à  $+10$  environ. Selon le degré de plasticité désiré.

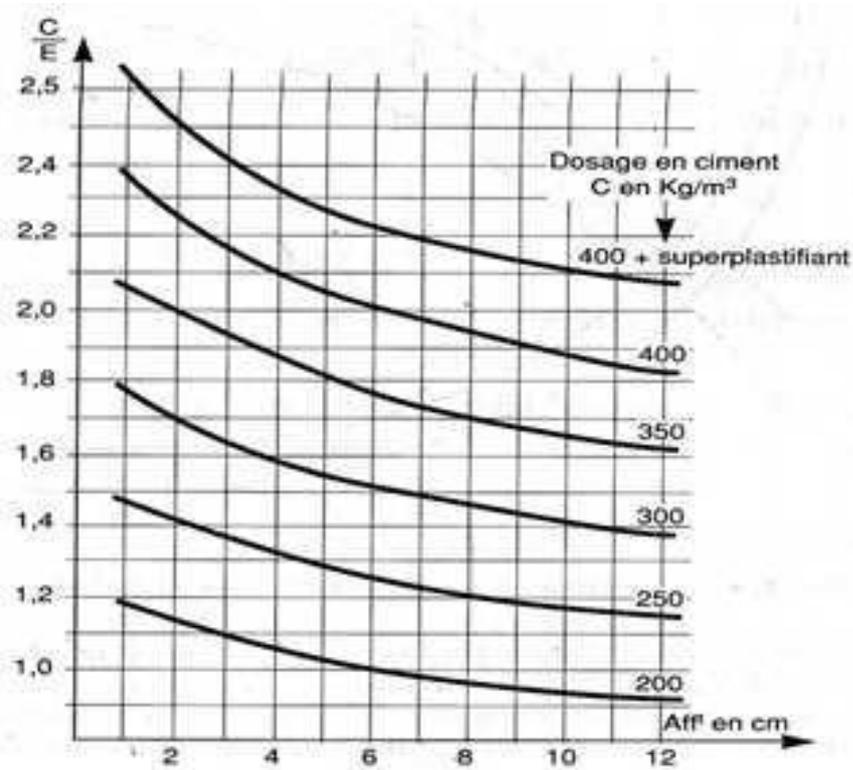
Annexe 4: Coefficients de compacité du béton

Consistance	Serrage (compactage)	Coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=12,5	D=20	D=31,5	D=50	D=80
Molle	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	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	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

**Annexe 5 : valeur de A**

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

**Annexe 6:** Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E



**Annexe 7:** Les valeurs d'équivalent de sable d'après F. GORISSE. F. « Essais et contrôle des bétons » P200 édition Eyrolles1978.

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