

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : Génie civil



FILIERE : Génie civil
OPTION : MATERIAUX

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master

Par : SALHI OKBA
AMEUR SMAIL

Intitulé

Etude expérimental de l'effet du rapport G/S sur les
propriétés du transfert d'eau dans béton

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. Bencheikh Mohamed
Pr. Naceri Abdelghani
AMRIOU Abderrachid

Université : M'SILA
Université : M'SILA
Université : M'SILA

Président
Examineur
Encadreur

Année universitaire : 2020 /2021

Résumé

Afin d'obtenir un béton compacte et durable, Il est nécessaire de faire une étude des différents paramètres entrants dans la formulation des bétons. Principalement les éléments formants le squelette du béton.

Dans la présente étude expérimentale, nous révélons l'effet de la proportion du gravier dans un mélange sur les propriétés mécaniques et les propriétés de transfert d'eau dans béton (porosité).

Les proportions des différents composants sont déterminées par la méthode Dreux-Gorisse avec une variation du rapport G/S ($G/S=0$, $G/S=1$, $G/S=1,5$, $G/S=2$ et $G/S=2,5$) avec des dosages en ciment de 150 kg/m^3 , 250 kg/m^3 et 350 kg/m^3 .

Les essais de porosité accessible à l'eau et du coefficient d'absorption ainsi que de la résistance à la compression, sont réalisés sur des échantillons cubiques de dimensions $(10*10*10) \text{ cm}^3$. Alors que l'évaluation des caractéristiques par les ondes ultrasoniques sont réalisés sur des échantillons cubique $(15*15*15) \text{ cm}^3$.

Les résultats obtenus ont montré que le rapport G/S et le dosage en ciment affectent la résistance à la compression et les propriétés de transfert dans le béton (porosité).

Les ondes ultrasoniques peuvent être une méthode efficace pour évaluer les propriétés internes du béton.

Mots clés : béton, Durabilité, rapport G/S, porosité, résistance à la compression, ultrason

Abstract

In order to obtain a compact and durable concrete, it is necessary to make a study of the various parameters entering into the formulation of the concrete. Mainly the elements forming the concrete skeleton.

In the present experimental study, we reveal the effect of the proportion of gravel in a mixture on the mechanical properties and the water transfer properties in concrete (porosity).

The proportions of the different components are determined by the Dreux-Gorisse method with a variation of the G / S ratio ($G / S = 0$, $G / S = 1$, $G / S = 1.5$, $G / S = 2$ and $G / S = 2.5$) with cement dosages of 150 kg / m³, 250 kg / m³ and 350 kg / m³.

The tests of porosity accessible to water and of the absorption coefficient as well as of the compressive strength, are carried out on cubic samples of dimensions (10 * 10 * 10) cm³. While the evaluation of characteristics by ultrasonic waves are carried out on cubic samples (15 * 15 * 15) cm³.

The results obtained showed that the G / S ratio and the cement dosage affect the compressive strength and the transfer properties in the concrete (porosity).

Ultrasonic waves can be an effective method for evaluating the internal properties of concrete.

Keywords: concrete, Durability, G / S ratio, porosity, compressive strength, ultrasound

ملخص

من أجل الحصول على خرسانة مضغوطة ودائمة، من الضروري إجراء دراسة للمعلومات المختلفة التي تدخل في صياغة الخرسانة. بشكل أساسي العناصر المكونة للهيكل العظمي الخرساني.

في الدراسة التجريبية الحالية، نكشف عن تأثير نسبة الحصى في الخليط على الخواص الميكانيكية وخصائص نقل الماء في الخرسانة (المسامية).

يتم تحديد نسب المكونات المختلفة بواسطة طريقة Dreux-Gorisse مع اختلاف نسبة G/S بالنسب التالية ($G/S = 0$ ، $G/S = 1$ ، $G/S = 1.5$ ، $G/S = 2$) و $G/S = 2.5$ بجرعات الأسمنت 150 كجم / م³ و 250 كجم / م³ و 350 كجم / م³.

يتم إجراء اختبارات المسامية التي يمكن الوصول إليها للماء ومعامل الامتصاص وقوة الضغط على عينات مكعبة بأبعاد (10 * 10 * 10) سم 3. بينما يتم تقييم الخصائص بالموجات فوق الصوتية على عينات مكعبة (15 * 15 * 15) سم 3.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن نسبة G/S وجرعة الأسمنت تؤثر على مقاومة الانضغاط وخواص النقل في الخرسانة (المسامية).

يمكن أن تكون الموجات فوق الصوتية طريقة فعالة لتقييم الخصائص الداخلية للخرسانة.
كلمات البحث : خرسانة. مضغوطة. المسامية. نسبة G/S . مقاومة الانضغاط. الموجات فوق الصوتية

Remerciement

Ce mémoire a pu le jour grâce à l'aide de nombreuses personnes à qui

On tient à adresser nos reconnaissances et nos remerciements.

En premier lieu, on tient à remercier Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a données durant toutes ces années d'études

En suit on adresse nous vifs et sincères remerciements à notre encadreur, Dr Abderrachid AMROU de l'université de M'sila, pour sa patience, le sujet de ce mémoire, son enseignement, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. On tient à remercier sincèrement les membres jury qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Nous remercions tous le directeur, les membres et l'ingénieur du laboratoire de recherche de Géomatériaux de l'université de M'sila. Ainsi que tous nos professeurs qui nous ont enseigné durant nos études à la faculté de technologie.

Et nous exprimons également tous le bonheur du monde à nos collègues de promotion 2020/2021.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- ✚ A mon cher père et ma chère mère.*
- ✚ A mes chers frères et sœurs.*
- ✚ A toute ma famille.*
- ✚ A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- ✚ A mon cher père et ma chère mère.*
- ✚ A mes chers frères et sœurs.*
- ✚ A toute ma famille.*
- ✚ A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

Table des matières

Liste des figures	VI
Liste des tableaux :.....	V
Introduction générale :.....	1

CHAPITRE I

I.1 Généralité sur le béton	3
I.1.1 Introduction.....	3
I.1.2 les composants des béton:	3
I.1.2.1 Le ciment:	3
I.1.2.2 Les granulats :	4
I.1.2.3 L'eau de gâchage:.....	6
I.1.2.4 les adjuvants:	6
I.1.2.5 : Les additions:	8
I.1.3. Les différents types du béton:.....	8
I.1.4 Propriétés du béton.....	10
I.1 .4 .1 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES:	10
I.1.4 .2 PROPRIETES MÉCANIQUES	10
I.1 .4 .3 Propriétés rhéologiques :	11
I.1.4 .4 Affaissement au cône d'abrams	12
I.1.5 METHODES NON DESTRUCTIVES DE CARACTERISATION DU BETON	12
I.1.5.1 Les méthodes ultrasonores	12
I.2. Généralité sur le transfert d'eau dans le béton.....	15
I.2.1. La porosité	15
I.2.1.1 Description de la structure poreuse du béton.....	16
I.2.1.2 Influence du réseau poreux sur la durabilité du béton.....	16
I.2.2. La perméabilité à l'eau des bétons	17
I.2.2.1 Relation entre la porosité et perméabilité :.....	18
I.2.2.2 Influence du rapport E/C sur la perméabilité à l'eau:	18
I.2.2.3 Relation entre la perméabilité à l'eau et la résistance à la compression:	19
I.2.3 Absorption:.....	19
I.3 Conclusion:.....	20
Chapitre II : Généralité sur les méthodes formulation de béton	21
II.1 Introduction :	21
II.2 L'objectif de la formulation de béton.....	21

II.3	Quelques Méthodes de composition des bétons	22
II.3.1	Méthode de Bolomey	22
II.3.2	Méthode d'Abrams	22
II.3.3	Méthode de Faury	23
II.3.4	Méthode de Valette	24
II.3.5	Méthode Dreux-Gorisse	24
II.4.	Choix d'une méthode de formulation	27
II.4.1	Processus du choix d'une formulation	28
II.4.2	Facteur de base à prendre en compte lors du choix d'une formulation	29
II.5 :	facteurs régissent la formulation d'un béton	29
II.5.1	le rapport eau/ciment et résistance à la compression	29
II.5.2	Durabilité	30
II.5.3	Maniabilité	31
II.5.4	Dimension maximale du granulat	31
II.5.5	Granulométrie et type de granulat	32
II.5.6	Dosage en ciment	32
II.6	Conclusion	32
Chapitre III : Matériaux matériels et essais		
III.1	Introduction	33
III.2:	graviers concassés	33
III.2.1	Analyse granulométrique	33
III.2.2:	Masse volumique apparente	35
III.2. 3:	Masses volumiques absolues	36
III.2. 4	Absorption d'eau	37
III.2. 5	Porosités	38
III.2. 6	La Compacité	38
III.2. 7	Indice des vides	38
III.2. 8	Résistance à la fragmentation	38
III.3	sable	39
III.3.1:	composition granulométrique	39
III.3.2:	Equivalent de sable : NF P 18-598	40
A /	Equivalent de sable visuel (ESV)	41
B /	Equivalent de sable visuel (ESP)	41
III.3.3:	Module de finesse	42
III.3.4:	Masses volumiques apparentes	43

III.3.4 .1: Principe de l'essai:	43
III.3.4 .2: Mode opératoire:	43
III.3.5 Masses volumiques absolues:	43
III.3.6 Porosités (NF P 18 554 et 18 555):	44
III.3.7: Compacité:	44
III.4 Le ciment:	44
III.5: Formulation des mélanges	45
III.5.1:Formulation du béton Méthodes de Dreux_Gorisse	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre IV :Résultats et Discussions	
IV.1 Introduction:	54
IV.2 Les résultats des essais effectués sur bétons:	54
IV.2.1 Essais sur béton frais:	54
IV.2.1.1 Affaissement:	54
IV.2.2 Essais sur bétons durcis:	55
IV.2.2.1 Masses volumiques des différents mélanges de béton:	55
IV.2.2.2 La Résistance à la compression 28 jour:	56
IV.2.2.3 La porosité accessible à l'eau:	57
IV.2.2.4 Absorption d'eau:	58
IV.2.2.5 essais ultrasoniques:	60
IV. Conclusion	62
CONCLUSION GENERALE	64

LISTE DES FIGURE

CHAPITRE I

Figure I. 1 appareil à ultrason de l'auscultation dynamique	Figure I. 2 diagramme schématique du circuit	13
Figure I. 3 Proportion volumique des différents constituants de la pâte de ciment après hydratation en milieu saturé (HANSEN, 1970)		15
Figure I. 4 Porosimétrie au mercure de deux pâtes de ciment conservées dans l'eau pendant 7 jours		16
Figure I. 5 Schéma des pores dans un matériau		16
Figure I. 6 Flux linéaire de l'eau à travers l'échantillon		17
Figure I. 7 Relation entre la porosité capillaire et la perméabilité à l'eau		18
Figure I. 8 Relation entre le coefficient de perméabilité à l'eau et le rapport E/C		18
Figure I. 9 Relation entre la perméabilité à l'eau et la résistance à la compression		19

CHAPITRE II

Fig. II 1 Dosage en ciment	25
Fig. II 2 Processus du choix d'une formulation [5]	29

CHAPITRE III

Figure III . 1 Analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé	34
Figure III . 2 Analyse granulométrique des fractions (3/8) du gravier concassé	35
Figure III . 3 l'analyse granulométrique d'un sable 0/5	40
Figure III . 4 Graphique indiquant approximativement le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité	46
Figure III . 5 courbe d'analyses granulométriques des granulats	47
Figure III . 6 les coordonnées de la courbe de référence	49
Figure III . 7 les lignes de partage	50

CHAPITRE IV

Figure IV . 1 Résistance à la compression en fonction du rapport G/S	56
Figure IV . 2 la résistance à la compression en fonction dosage de ciment (G/S=2)	56
Figure IV . 3 la porosité en fonction du rapport G/S	57
Figure IV . 4 la résistance en fonction la porosité	58
Figure IV . 5 l'absorption d'eau en fonction de G/S	59
Figure IV . 6 la résistance en fonction la porosité	59
Figure IV . 7 A'bsorption en fonction la porosité	60
Figure IV . 8 Vitesse ultrasonique en fonction G/S	60
Figure IV . 9 Résistance a la compression en fonction des vitesses ultrasonique	61
Figure IV . 10 la porosité en fonction la vitesse	61

Liste des tableaux

CHAPITRE I

tableau I. 1 désignation des granulats	5
tableau I. 2 synoptique d'utilisation des principaux adjuvants	8
tableau I. 3 appréciation de la consistance en fonctions de l'affaissement au cône	12
tableau I. 4 Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions	Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE II

Tableau II . 1 Valeurs optimales d'après ABRAMS du module de finesse des compositions granulaire des bétons courants	23
Tableau II . 2 Valeurs de G coefficient granulaire	25
Tableau II . 3 valeur du terme correcteur K	26
Tableau II . 4 coefficient de compacité	27

CHAPITRE III

tableau III. 1 Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé	34
tableau III. 2 l'analyse granulométrique de fraction (3/8) du gravier concassé	34
tableau III. 3 Masse volumiques des fractions 3/8 et 8/16 du gravier concassé	36
tableau III. 4 Masse volumiques absolue des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	37
tableau III. 5 coefficient d'absorption d'eau des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	37
tableau III. 6 La porosité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	38
tableau III. 7 compacité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	38
tableau III. 8 Indice de vide des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	38
tableau III. 9 los Angeles des fractions (3/8) et (8/16) du Granulats concassé	39
tableau III. 10 l'analyse granulométrique d'un sable 0/5	39
tableau III. 11 Equivalent du sable	42
tableau III. 12 Comparaison des résultats	42
tableau III. 13 Masse volumique apparente du sable	43
tableau III. 14 Masse volumique absolue du sable.	44
tableau III. 15 porosités (%) du sable	44
tableau III. 16 Compacité C(%) du sable	44
tableau III. 17 données de bases pour la formulation	45
tableau III. 18 valeur de la correction sur le dosage en eau	46
tableau III. 19 valeur du terme correcteur k	48
tableau III. 20 valeurs du coefficient de compacité γ	51
tableau III. 21 Quantités de matériaux utilisés dans les mélanges de béton.	53

CHAPITRE IV

Tableau IV . 1 Affaissement	54
Tableau IV . 2 les résultats des mesures de la masse volumique à l'état durcis des bétons	55

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERAL

-Le béton est l'un des matériaux les plus consommés dans le monde. C'est aussi le matériau le plus utilisé dans le domaine de génie civil.

-Le béton est obtenu par mélange d'un liant d'une grande finesse (le ciment), de granulats de nature, de formes et de dimensions variées, d'eau (de gâchage) et d'adjuvants. Les méthodes de fabrication du béton sont adaptées à la nature du chantier et aux types d'ouvrage à réaliser.

-Il y a beaucoup de recherches basées sur le béton, en effet, les chercheurs s'intéressent depuis longtemps à la relation entre la formation du béton et Propriétés physiques et mécaniques du béton. Ainsi, Les structures en béton sont bien plus qu'un mélange de sable, gravier, ciment et eau, durcies dans un moule. Une attention particulière et une connaissance approfondie sont nécessaires pour produire un béton de qualité. Nous choisissons soigneusement la formulation du béton, afin d'obtenir un béton durable et compacte.

- Parmi les effets néfastes pour la durabilité du béton le transfert d'eau dans le béton (perméabilité), ce dernier étant lié à la structure poreuse du béton. Elle dépend de la nature de ce réseau poreux et de sa continuation.

- Les granulats comme la grande majorité des matériaux de construction doivent être conformes à certaines règles. Ainsi, dans cette étude, nous avons examiné influence du rapport G/S sur la transforme de l'eau dans le béton et sa résistance à la compression.

Organisation du mémoire :

Le présent mémoire se divise en 4 chapitres.

CHAPITRE I:

Le premier chapitre présente une recherche bibliographique, généralité sur le béton et ses composants.

CHAPITRE II:

Dans ce chapitre on présente quelques méthodes de formulation de béton.

CHAPITRE III:

Ce chapitre présente une l'étude expérimentale comportant les caractéristiques des matériaux utilisés.

CHAPITRE IV:

Dans ce chapitre nous avons basés sur la présentation graphique et une interprétation de l'ensemble des résultats obtenus.

En fin une conclusion générale.

Chapitre I : Généralité sur le béton et transfert d'eau dans le béton

I.1 Généralité sur le béton

I.1.1 Introduction

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, qui deviennent homogènes entre eux, soit à la mise en œuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées afin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton ». La structure du béton est composée de deux principaux constituants (les granulats et la matrice) :

Les granulats représentent en moyenne 70% à 80% du volume du béton, on les trouve sous forme de sables, de graviers ou de cailloux. Ils sont considérés comme un renfort mécanique, et ils sont traités comme des inclusions. [1]

I.1.2 les composants des bétons :

I.1.2.1 Le ciment :

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

Les principaux composés du ciment portland sont :

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

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

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

Les alumino ferritestétr alcaliques : $4\text{CaO} \cdot \text{AlO}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ [C4AF]

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

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

Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par sa granulométrie et sa finesse de mouture. Cette finesse de mouture appelée aussi surface spécifique de Blaine peut atteindre 4000 cm²/g et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge [2].

Le ciment peut être classé comme suit :

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

.CEM I Ciment Portland Artificiel

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

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

Selon le type d'environnement : Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux [3].

I.1.2.2 Les granulats :

Les granulats pour bétons sont des grains minéraux classés en fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballasts, suivant leurs dimensions comprises entre 0 et 125 mm.

Selon un concept traditionnel, les granulats constituent le squelette du béton. Les granulats, qui sont généralement moins déformables que la matrice de ciment, s'oppose à la propagation des microfissures. Ils améliorent ainsi la résistance du béton.

Le choix d'un granulats est donc un facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité.

La granulométrie est l'étude de la taille des grains qui forment le granulats.

Elle consiste à tamiser le granulats sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis.

La norme XP P 18-540 indique la terminologie usuelle des granulats selon leurs dimensions : –

Fillers : $D < 2 \text{ mm}$

– Sables: $1 < D < 6,3 \text{ mm}$

– Gravillons : $1 \text{ mm} < D < 125 \text{ mm}$

– Ballast: $d > 25 \text{ mm}; D \leq 50 \text{ mm}$

De nombreuses caractéristiques des granulats sont testées : la masse volumique, la propreté, la forme et la composition... [4]

CHAPITRE I

tableau I. 1 désignation des granulats

	Béton et mortier EN12620 EN13139	Mélanges Bitumineux EN13043	Construction De chaussées EN13242
Sable 0/D	d=0 D≤4mm	d=0 D≤2mm	d=0 D≤6.3mm
Gravillons d/D	d≥2mm 4mm≤D≤63mm	d≥2mm 2mm≤D≤45mm	d≥1mm 2mm≤D≤90mm
Graves 0/D	d=0 4mm≤D≤45mm	d=0 2mm≤D≤45mm	d=0 6.3mm≤D≤90mm

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

a. Le gravier :

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

La granularité du gravier est fixée par le D prescrit ou admissible pour le béton à préparer, l'absorption d'eau la norme NF P18 541, qui fixe à 5% la valeur maximale pour les bétons hydrauliques [6].

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 [7] :

-Teneur en fines (passant à 0,08mm ≤ 12%)

-Module de finesse (Mf = 1,8 à 3,2)

-Bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour la maniabilité du béton suivant la norme P18-541

. Les sables peuvent être classés, selon leurs provenances comme suit [8] :

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

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

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

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

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

I.1.2.3 L'eau de gâchage :

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher du béton par ce qu'elles contiennent, dans certains cas, un excès d'impuretés qui détériore les propriétés du béton, notamment les propriétés physiques et mécaniques (prise et résistance), les propriétés esthétiques (taches ,efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures, stabilité du béton). Ces impuretés, éventuellement contenues dans l'eau de gâchage, sont soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment ,des granulats ou des armatures, soit des particules en suspension qui, du fait de leur quantité ou de leur qualité, sont indésirables.[9]

a. Importance du rapport eau/ciment (E/C) :

Les dosages de l'eau et du ciment sont deux facteurs importants. En effet, l'ouvrabilité et la résistance sont grandement affectées par ces deux paramètres. Plus le rapport eau/ciment est grand, plus l'ouvrabilité sera grande. En effet, plus il y a d'eau, plus le béton aura tendance à remplir aisément les formes. Le rapport des masses E/C « moyen » est normalement fixé à 0,55. C'est ce rapport qui est le plus souvent utilisé, car le béton obtenu dispose d'une assez bonne ouvrabilité, tout en ayant une bonne résistance. Le phénomène de ressuage est dû à un rapport eau sur ciment trop élevé. Il se manifeste par l'apparition d'une flaque au-dessus du béton frais. Au niveau des granulats, on observe la présence d'eau à l'interface entre les granulats et la pâte de ciment. La résistance en est réduite, car l'eau s'évapore et il y a des vides entre le granulat et la pâte. [10]

I.1.2.4 les adjuvants:

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés en faibles quantités au béton frais afin d'en améliorer certaines propriétés. Ils représentent entre 1 et 3 % du poids du ciment. Leur rôle et leur efficacité dépendent de la nature du produit chimique et de l'homogénéité de leur répartition dans la masse du béton frais.

a. Les principaux adjuvants sont :

- les plastifiants et fluidifiants réducteurs d'eau, qui remplissent deux fonctions :
Ils permettent, d'une part, d'obtenir des bétons frais à consistance fluide et même liquide ; à maniabilité donnée, ils offrent, d'autre part, la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et à la mise en place du béton frais. Ce sont des résines mélamines ou des naphtalènes sulfonates. Leur action s'exerce par défloculation et dispersion par répulsion électrostatique des grains de ciment en solution dans l'eau, et leur durée d'activité n'excède pas 1 ou 2 heures ;
- les retardateurs de prise du ciment, qui prolongent la durée pratique d'utilisation du béton frais. Ce sont généralement des sucres ou des lignosulfonates. Ils sont utiles pour le transport du béton sur de grandes distances ou pour sa mise en place par pompage, particulièrement par temps chaud ;
- les accélérateurs de prise et de durcissement, qui permettent, pour les premiers, la réalisation de scellements ou d'étanchements et, pour les seconds, une acquisition plus rapide de résistance du béton durci ;
- les entraîneurs d'air, qui confèrent au béton durci la capacité de résister aux effets de gels et de dégels successifs en favorisant la formation de micro-bulles d'air réparties de façon homogène. L'influence des adjuvants peut varier sensiblement en fonction de la nature et de la composition du ciment ; des problèmes de compatibilité peuvent apparaître entre adjuvants et ciments [11].

CHAPITRE I

tableau I. 2 synoptique d'utilisation des principaux adjuvants

Adjuvants	Utilisation
Superplastifiants	-Nécessité d'une bonne ouvrabilité -Préfabrication -Bétons à hautes résistances -Béton très ferraillé
. Plastifiants	-Transport pneumatique du béton (béton pompé, ciment gun..) -Béton coulé sous l'eau (délavage diminué) -Béton maigre : blancs. Blocs manufacturés... -Béton routier - Sables manquant de fines - Béton très ferraillé - Injection (coulis et mortiers)
accélérateurs	-Décoffrage rapide - Temps froid- préfabrication - Travaux d'étanchement, cachetage, travaux à la mer (entre deux Accélérateurs marées) - Réparations rapides, pistes d'aérodromes, routes Scellements
Retardateurs	-Temps chaud - Injection à grande profondeur (élévation de température) - Voile d'étanchéité - Transport de béton sur longue distance - Reprise de bétonnage Confection de béton avec granulats apparents (parements lavés) - Parois moulées dans le sol -Coulage en continu
Entraineurs d'air antigélifs	-Routes, barrages, ponts - Travaux maritimes -Ouvrages exposes au gel. a l'action des eaux agressives. Bétons extrudés (ex. glissières de securite en béton

I.1.2.5 : Les additions :

Sont des matériaux en fines particules qui peuvent être ajoutés en quantités limitées pour influencer certaines propriétés ou obtenir des propriétés particulières. Ils sont à prendre en compte dans la composition volumétrique [12]

I.1.3. Les différents types du béton :

a. Les bétons légers :

Les bétons légers offrent une densité très inférieure à celle d'un produit classique : de 300 à 1800 kg/m³, contre 2300 kg/m³ pour un béton classique. [13]

b. Les bétons lourds :

-Les bétons lourds possèdent une masse volumique supérieure à 3000 kg/m^3 (pouvant même aller jusqu'à 6000 kg/m^3) contre 2300 kg/m^3 pour un béton classique.

- Les bétons lourds sont réalisés à base de granulats spéciaux de densité élevée (barytine, magnétite, hématite, plomb...). [13]

c. Les bétons réfractaires :

Les bétons réfractaires sont des bétons pouvant résister à des températures très élevées (allant jusqu'à $1800 \text{ }^\circ\text{C}$). Les bétons réfractaires peuvent généralement être utilisés dans le milieu industriel pour créer des revêtements homogènes pour tous les types de fours ou de cheminées. [13]

d. Les bétons autoplaçants:

Ce sont des bétons très fluides qui se mettent en place sans vibration, par simple gravité en conservant des propriétés homogènes après prise et durcissement [14]

e. Les bétons ordinaires :

Le béton est un mélange de granulats dont les diamètres varient du centimètre au micromètre, d'un liant hydraulique, généralement du ciment et d'eau. Les bétons ordinaires sont caractérisés par un rapport E/C supérieur à 50% pour faciliter leur mise en place. Ceci induit une porosité importante allant du nanomètre au millimètre, qui dégrade les performances mécaniques de ces bétons. Pour toutes ces raisons, la résistance à la compression du béton ordinaire ne dépasse pas 60 MPa . [15]

f. Béton compacte au rouleau (BCR):

Ayant une apparence très sèche et raide et un affaissement nul, constitué d'une proportion importante de granulats avec une faible quantité de ciment d'où l'ajout des minéraux (cendres volantes, fibres calcaires, résidus miniers etc...). Il est utilisé pour la construction de barrages et aussi très utilisé au Canada dans la construction des routes [16]

g. Les bétons de poudres réactives (BPR):

Le BPR est un matériau cimentaire à matrice à ultra haute performance. Le BPR est caractérisé par une forte teneur en fumée de silice et par un très faible rapport E/C. Ce béton permet d'atteindre des résistances de 180 MPa en compression, de $7\text{ à }12 \text{ MPa}$ en traction directe et d'obtenir des caractéristiques de durabilité, bien supérieures à celles des bétons classiques. [17]

h. Béton à haute performance :

Le béton de haute performance BHP est d'abord un béton de haute résistance, car ses caractéristiques mécaniques peuvent atteindre des valeurs spectaculaires. Elles sont passées de 50 à 100 MPa il y a quelques années à plus de 100 à 150 MPa, voire plus de 200 MPa pour des bétons de laboratoire, leur fabrication suppose l'utilisation d'adjuvants réducteurs d'eau qui permettent de maintenir le rapport E/C à des valeurs comprises entre 0.35 et 0.40[18]

I.1.4 Propriétés du béton

I.1 .4 .1 propriétés physiques :

On distingue, un peu arbitrairement, les propriétés physiques des propriétés mécaniques des bétons. Elles procèdent toutes, en fait, de leur degré de porosité.

- **Poids volumique** : il varie entre 23 et 24 kN/m³ pour les bétons ordinaires atteint 25kN/m³ pour les BHP. La présence d'armatures dans le béton armé ou précontraint conduit à prendre en compte dans les calculs un poids volumique de 25 kN/m³ (2.500 kg/m³) pour les bétons courants.

- **Imperméabilité** : le béton est d'autant plus imperméable que la porosité est plus faible. Les bétons dont le rapport E/C est inférieur à 0,40 sont pratiquement imperméables à l'eau : leur perméabilité ne peut plus être mesurée.

- **Résistance aux agents agressifs** : les bétons compacts et à porosité réduite offrent une grande résistance aux effets corrosifs de divers agents agressifs. Ils présentent, en particulier, une excellente tenue vis-à-vis des effets corrosifs de l'eau de mer.

- **Tenu e au feu** : la résistance du béton aux incendies est excellente.

- **Durabilité** : les diverses propriétés physiques des bétons lui confèrent une grande durabilité. Réalisées correctement, selon les règles de l'art, les structures en béton conservent donc leur aptitude au service pendant toute leur durée de vie prévue, sans nécessiter de coûteuses réparations. [19]

I.1.4 .2 propriétés mécaniques:

On ne considère ici que les propriétés prises en compte par l'ingénieur de génie civil. De ce point de vue, un béton est de fine par les caractères suivants :

- **Résistance à la compression** : un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_{c28} . En France, par convention, la résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les bétons courants ont une résistance de 20 à 30 MPa , ceux de qualité atteignent 40 à50 MPa , et les bétons à hautes performances peuvent dépasser100 MPa. Le diagramme représentatif de la loi de comportement du béton montre que la contrainte maximale de

CHAPITRE I

compression f_c est atteinte pour une déformation de l'ordre de $2 \cdot 10^{-3}$. La ruine de l'éprouvette se produit pour une déformation de l'ordre de $3,5 \cdot 10^{-3}$. La pente de la partie linéaire du diagramme définit le module d'élasticité instantané E_i (module de Young). Sa valeur peut être évaluée par des relations empiriques telles que celle donnée par les règles françaises : $E_i = 11.000 f_c^{1/3}$ (MPa). Un béton de 40 MPa de résistance a donc un module de de formation longitudinale instantanée de l'ordre de 38 GPa.

- **Résistance à la traction** : la résistance à la traction est environ égale au 1/10 de la résistance à la compression.

- Coefficient de dilatation : la valeur du coefficient de dilatation linéaire est généralement prise égale à $1 \cdot 10^{-5}$. En fait, cette valeur s'étend de $0,8 \times 10^{-5}$ (béton à granulats calcaires) à $1,2 \times 10^{-5}$ (béton à granulats siliceux). [19]

I.1 .4 .3 Propriétés rhéologiques :

Tous les matériaux, et, entre autres, le béton, sont, à des degrés divers, viscoélastiques. Le facteur temps intervient donc dans leur comportement et dans la formulation de leurs déformations. Il faut donc distinguer les déformations instantanées des déformations différées qui se produisent au cours du temps. Ceci est particulièrement vrai pour le béton, dont la résistance s'accroît asymptotiquement avec le temps, au fur et à mesure que se complète l'hydratation du ciment.

Retrait : le béton est l'objet de retrait, c'est-à-dire d'une réduction dimensionnelle, en l'absence de chargement, due essentiellement à l'évaporation de l'eau excédentaire interne. Pour l'ingénieur, le retrait est une déformation différée se produisant en l'absence de charge. Il croît avec le temps, pour tendre après quelques années vers une limite qui dépend notamment de la composition du béton, des dosages en ciment et en eau, de l'épaisseur des pièces et de l'humidité relative de l'atmosphère environnante. Dans les conditions climatiques françaises, le retrait unitaire total est de l'ordre de 2 à $3 \cdot 10^{-4}$. C'est entre autres l'existence du retrait qui justifie la création de joints dans les structures.

- **Fluage** : le fluage du béton est le processus continu de déformation d'un élément sur lequel s'exerce une charge constante ou variable. Il est fonction notamment des caractéristiques et de l'âge du béton lors du chargement, de l'épaisseur de l'élément, de l'hygrométrie environnante et du temps. Le fluage est un phénomène complexe, constaté mais non encore bien compris. Il serait lié à des effets de migration d'eau dans les pores et les capillaires de la matrice, ainsi qu'à un processus de réaménagement de la structure des cristaux hydratés du liant. La déformation d'un élément en béton soumis à un chargement de longue durée est donc la somme de la déformation différée, due au fluage, et de la déformation dite instantanée. [19]

I.1.4 .4 Affaissement au cône d'Abrams

Cet essai (slump-test) est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être exécuté par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration. Cet essai a fait l'objet de la norme NFP 18-451, et nous n'en rappelons ci-dessous que les principes essentiels : on remplit de béton un moule en tôle tronconique ($D = 20$ cm, $d = 10$ cm, $h = 30$ cm); le remplissage s'exécute en trois couches tassées avec une tige d'acier de 16 mm de diamètre dont l'extrémité est arrondie, à raison de 25 coups par couche; on soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l'affaissement.

Les mesures sont évidemment quelque peu dispersées et il ne faut pas accorder à cet essai un caractère trop rigoureux, mais on peut admettre qu'il caractérise bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau.

Il est à noter que le classement de l'ouvrabilité des bétons, c'est-à-dire de leur consistance, est basé sur cet essai, d'une part dans les spécifications du fascicule 65 A, d'autre part dans la définition des bétons fournis par les centrales de BPE, telle qu'elle résulte de la norme XP P 18-305. 22-05 ENG . [23]

tableau I. 3 Appréciation de la consistance en fonctions de l'affaissement au cône

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferre F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide FL	>16	

I.1.5 Méthodes non destructives de caractérisation du béton

I.1.5.1 Les méthodes ultrasonores

La méthode qui consiste à mesurer la vitesse de propagation des impulsions ultrasoniques est actuellement la seule du genre qui permette d'effectuer des essais de résistance sur le béton coulé sur place. Cette méthode permet de mesurer le temps de propagation d'une impulsion ultrasonique traversant le béton. Les principales caractéristiques de tous les appareils disponibles sur le marché sont très semblables. Ces appareils comprennent un générateur et un récepteur d'impulsions. Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc. Des cristaux semblables sont utilisés dans le récepteur. Le temps de propagation de l'impulsion dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques. [24]

CHAPITRE I

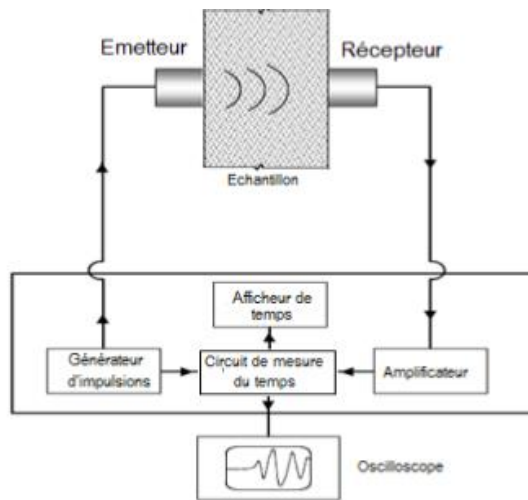


Figure I. 1 appareil à ultrason de l'auscultation dynamique [24] Figure I. 2 diagramme schématique du circuit [24]

Les essais consistant à mesurer la vitesse de propagation des impulsions peuvent être effectués sur des éprouvettes de laboratoire comme sur des ouvrages en béton réalisés. Certains facteurs influent toutefois sur la prise de mesures :

1. La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, et une substance de contact telle qu'une mince couche de paraffine est indispensable.
2. Le parcours doit être préférablement d'au moins 30 cm de façon à prévenir toute erreur occasionnée par l'hétérogénéité du béton.
3. Une augmentation de la vitesse des impulsions se produit à des températures sous le point de congélation à cause du gel de l'eau. En revanche, entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n'est pas subordonnée à la température.
4. La présence d'acier d'armature dans le béton a un effet appréciable sur la vitesse des impulsions. Il est par conséquent souhaitable et souvent indispensable de choisir des parcours d'impulsions qui ne sont pas influencés par la présence d'acier d'armature ou d'effectuer des corrections si de l'acier se trouve sur le parcours de l'impulsion.

Applications et limites : La méthode consistant à mesurer la vitesse de propagation des impulsions est une méthode idéale pour déterminer l'homogénéité du béton. Elle peut être utilisée autant sur les ouvrages achevés que sur ceux en construction. Habituellement, lorsque de grands écarts de la vitesse de propagation de l'impulsion sont découverts sans causes apparentes dans l'ouvrage, il y a lieu de soupçonner que le béton est défectueux ou altéré. Une vitesse élevée de propagation des impulsions indique généralement un béton de bonne qualité. Une relation générale entre la qualité du béton et la vitesse de diffusion des impulsions est décrite au tableau. [24]

CHAPITRE I

tableau I. 4 Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions

Qualité du béton	Vitesse de propagation des impulsions, m/s
Excellente	supérieure à 4575
Bonne	3660 - 4575
Douteuse	3050 - 3660
Mauvaise	2135 - 3050
Très mauvaise	inférieure à 2135

La méthode consistant à mesurer la vitesse de propagation des impulsions a été utilisée pour étudier les effets sur le béton du gel et dégel, des attaques par les sulfates et les eaux acidifiées. Généralement, la réduction de la vitesse de propagation des impulsions est subordonnée à l'importance des dommages. Les fissures peuvent aussi être détectées. L'exploitation des résultats de l'essai d'auscultation dynamique, dans le but de déterminer l'importance des dommages, doit être faite avec grand soin puisque ces résultats sont souvent difficiles à interpréter. Il arrive quelquefois que les impulsions ne se propagent pas dans la partie endommagée du béton.

Cette méthode peut aussi être utilisée pour évaluer le degré de durcissement et de développement de la résistance du béton au début de la prise, et permet donc de déterminer le moment où les coffrages peuvent être enlevés. Des ouvertures doivent être pratiquées dans le coffrage pour que le transducteur soit en contact direct avec la surface du béton. Lors du vieillissement du béton, le taux d'accélération des impulsions diminue beaucoup plus rapidement que le taux de croissance de la résistance, de sorte que lorsque le béton possède une résistance supérieure à 13.6-20.4 MPa, il est possible de déterminer la résistance avec un degré de précision inférieur à $\pm 20\%$. La précision des résultats est fonction de la précision de l'étalonnage et de l'uniformité de la composition du béton de l'ouvrage et du béton des éprouvettes utilisées pour l'étalonnage.

En résumé, les essais d'auscultation dynamique sont très efficaces pour contrôler la qualité du béton, et particulièrement pour évaluer l'homogénéité et détecter les fissures ou les imperfections. Ces essais ne sont toutefois pas aussi efficaces pour évaluer la résistance à cause du grand nombre de variables influençant la relation entre la résistance et la vitesse de propagation des impulsions. [24]

I.2. Généralité sur le transfert d'eau dans le béton

I.2.1. La porosité

La porosité capillaire est déterminante dans le béton et c'est souvent elle la plus présente. Elle provient de l'eau libre n'ayant pas réagi avec le ciment et du volume qui n'a pas été rempli par les produits d'hydratation. Ces pores sont interconnectés et sont donc responsable en majeure partie de la perméabilité de la pâte de ciment. Les capillaires peuvent être plus ou moins remplis d'eau selon les conditions de conservations. En conservant le béton dans l'eau, on peut estimer que ces pores sont saturés.

Cette porosité est très dépendante du rapport E/C car il gouverne l'espacement initial des grains de ciment (GAGNE et AITCIN, 1993). Pour des rapports E/C élevés, les grains de ciments sont initialement plus éloignés, l'eau est en excès par rapport au ciment et une grande partie de cette eau ne réagira pas formant ainsi des capillaires plus gros. La résistance du béton sera alors plus faible. A l'inverse, en réduisant le rapport E/C, on rapproche les grains de ciment et l'eau réagit mieux, les capillaires seront plus petits : le béton sera plus résistant. On ne peut cependant pas trop diminuer le rapport E/C sans risquer de manquer d'eau pour hydrater correctement le ciment. Il existe donc un E/C optimal.

On peut montrer théoriquement que pour un rapport E/C de 0,42, l'eau et le ciment sont en proportions stœchiométriques et qu'il y a donc juste assez d'eau pour hydrater tout le ciment. Mais avec la contraction de Le Chatelier, il y aura création d'espaces vides. Si le rapport E/C est de 0,36 qui est le cas théorique idéal, il manque de l'eau pour hydrater complètement le ciment. Mais si l'on conserve ce béton dans l'eau, le surplus de ciment pourra réagir avec cette eau et combler tout juste les vides créés par la contraction [20]

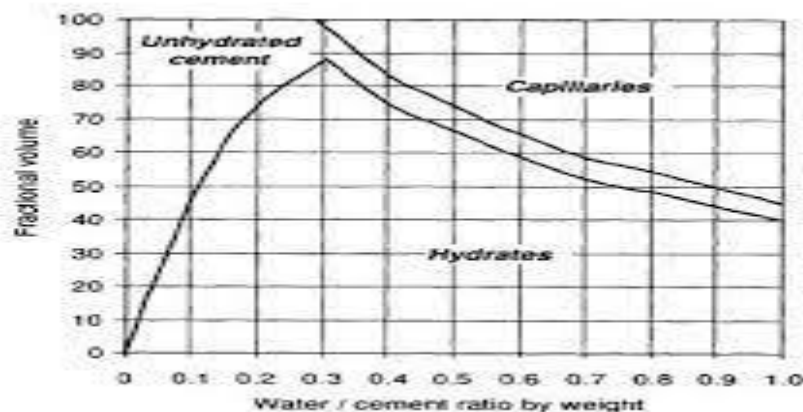


Figure I. 3 Proportion volumique des différents constituants de la pâte de ciment après hydratation en milieu saturé [20]

Il faut remarquer qu'en pratique, l'hydratation du ciment n'est jamais totale. En effet, l'hydratation des gros grains conduit à la formation d'une couche d'hydrate très dense sur le pourtour, empêchant ainsi l'intérieur du grain de s'hydrater. C'est pour cela qu'il subsiste toujours de la porosité

capillaire, même si le rapport E/C a été réduit au cas idéal. Il est également intéressant de remarquer que la diminution du rapport E/C diminue la taille des pores capillaires mais aussi leur nombre comme le montre la figure [20]

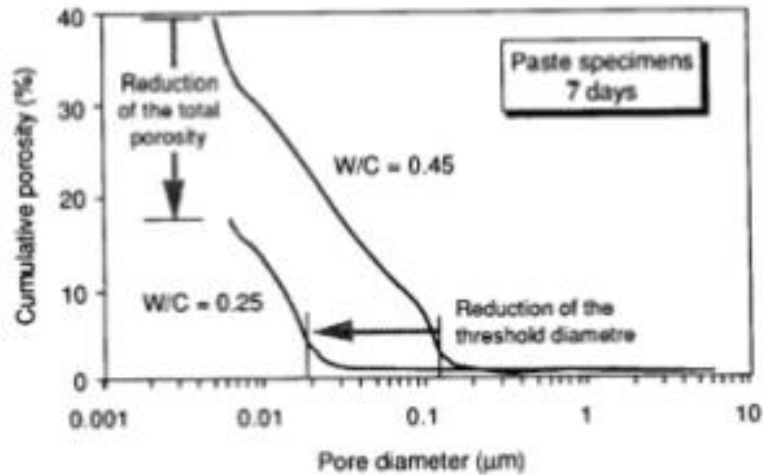


Figure I. 4 Prosimètre au mercure de deux pâtes de ciment conservées dans l'eau pendant 7 jours [20]

I.2.1.1 Description de la structure poreuse du béton

Les pores dans le béton peuvent être représentés selon le schéma de la figure suivante

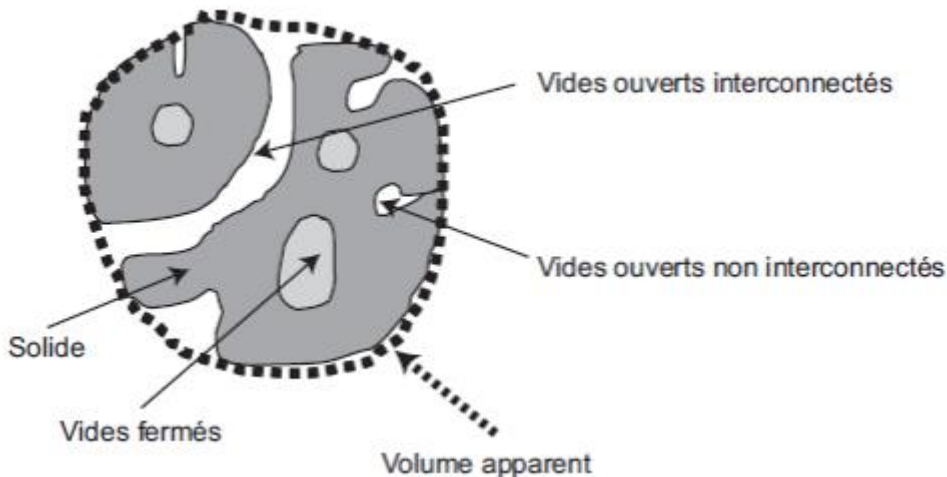


Figure I. 5 Schéma des pores dans un matériau [21]

I.2.1.2 Influence du réseau poreux sur la durabilité du béton

La porosité exprime le pourcentage des vides dans un volume total du béton. Si cette porosité est élevée et ses pores sont interconnectés, ils permettent un transport important de fluide à travers le béton, conduisant ainsi à une perméabilité élevée. Si par contre, la porosité est très élevée et que les pores sont discontinus et ne permettent pas le passage de fluide. La perméabilité sera faible même avec une porosité élevée. [21]

I.2.2. La perméabilité à l'eau des bétons

La perméabilité du béton est sa capacité d'être traversé par des fluides sous un gradient de pression. Les fissures interconnectées provoquent une augmentation de la perméabilité en facilitant la pénétration d'agent agressif. Ainsi, la durabilité du béton dépend largement de la facilité avec laquelle les fluides, à la fois liquide et gaz, peuvent pénétrer et se déplacer à l'intérieur du béton. [21]

La perméabilité est une propriété macroscopique pour les matériaux contenant des pores interconnectés. Le débit qui traverse le béton résulte des écoulements à travers les pores du matériau. Les bétons durables sont, en général, des bétons de faible perméabilité dans la mesure où cette faible perméabilité limite la pénétration des agents agressifs au sein du béton. [21]

Le coefficient de perméabilité d'un matériau K est défini par la relation de Darcy. Cette relation exprime le débit volumique Q du liquide de viscosité μ traversant une épaisseur dx du matériau de section A sous un gradient de pression dp . Cette relation suppose un régime d'écoulement permanent dans les pores du matériau. $Q = \frac{K}{\mu} A \frac{dp}{dx}$ [21]

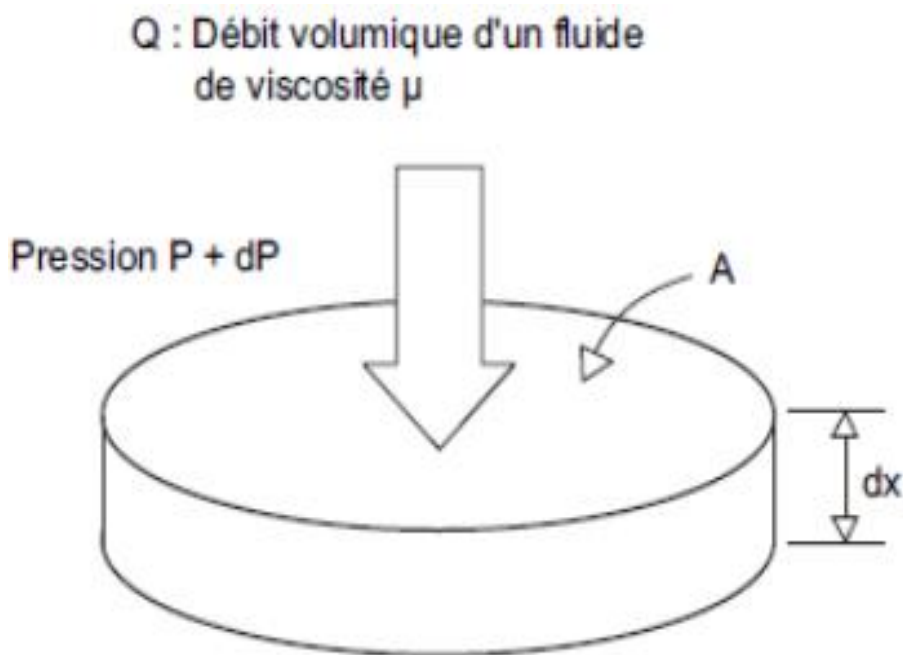


Figure I. 6 Flux linéaire de l'eau à travers l'échantillon [21]

I.2.2.1 Relation entre la porosité et perméabilité :

La perméabilité du béton dépend de la dimension, de la distribution, de la forme et de la continuité des pores.

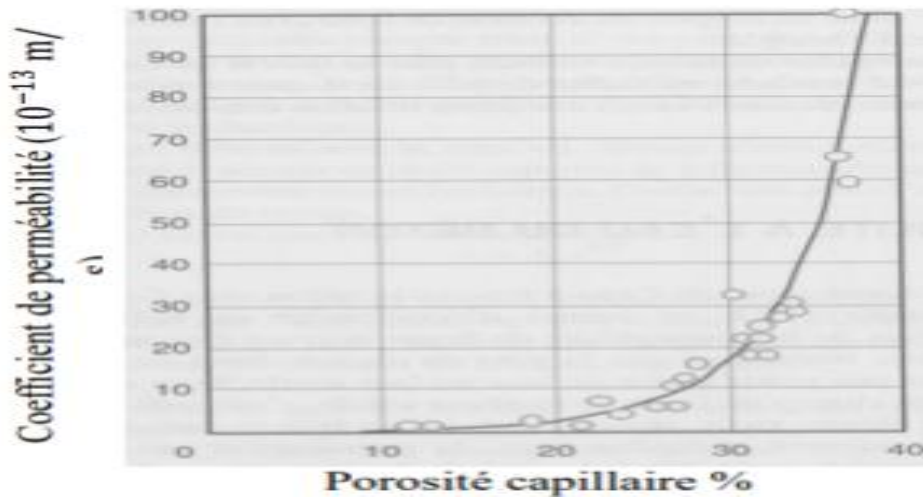


Figure I. 7 Relation entre la porosité capillaire et la perméabilité à l'eau [21]

I.2.2.2 Influence du rapport E/C sur la perméabilité à l'eau :

Le coefficient de perméabilité à l'eau diminue avec le rapport E/C. Pour des pâtes de ciment de même degré d'hydratation, la perméabilité diminue lorsque le dosage en ciment augmente, c'est à dire lorsque le rapport E/C diminue. La figure I.16 montre la variation de la perméabilité à l'eau d'une pâte de ciment avec le rapport E/C. Dans cette figure, on peut constater qu'une réduction du rapport E/C de 0.7 à 0.3 réduit considérablement le coefficient de perméabilité. [21]

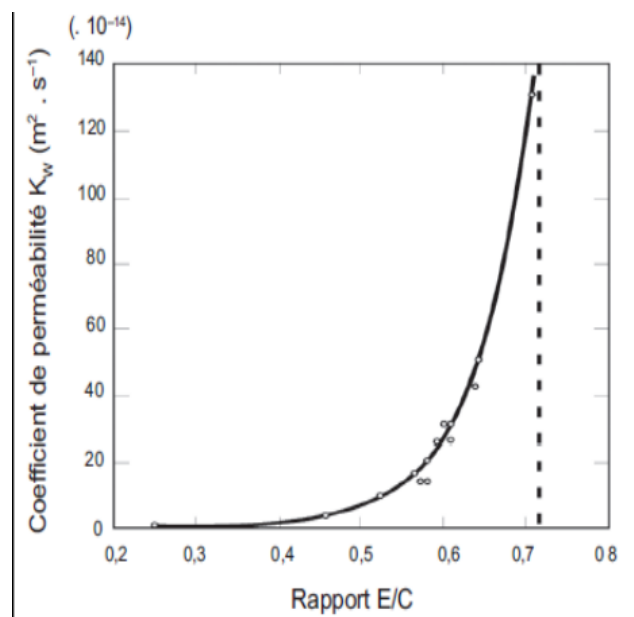


Figure I. 8 Relation entre le coefficient de perméabilité à l'eau et le rapport E/C [21]

I.2.2.3 Relation entre la perméabilité à l'eau et la résistance à la compression :

Les courbes de la figure montrent qu'il y a une relation très nette entre la perméabilité à l'eau et la résistance à la compression du béton. L'étude est réalisée sur plusieurs types de béton confectionnés avec ou sans ajout minéral (fumée de silice ou cendre volante). La perméabilité à l'eau diminue rapidement avec l'augmentation de la résistance. Cependant, pour des résistances supérieures à 55 MPa, la perméabilité évolue très peu et atteint un niveau très faible. [21]

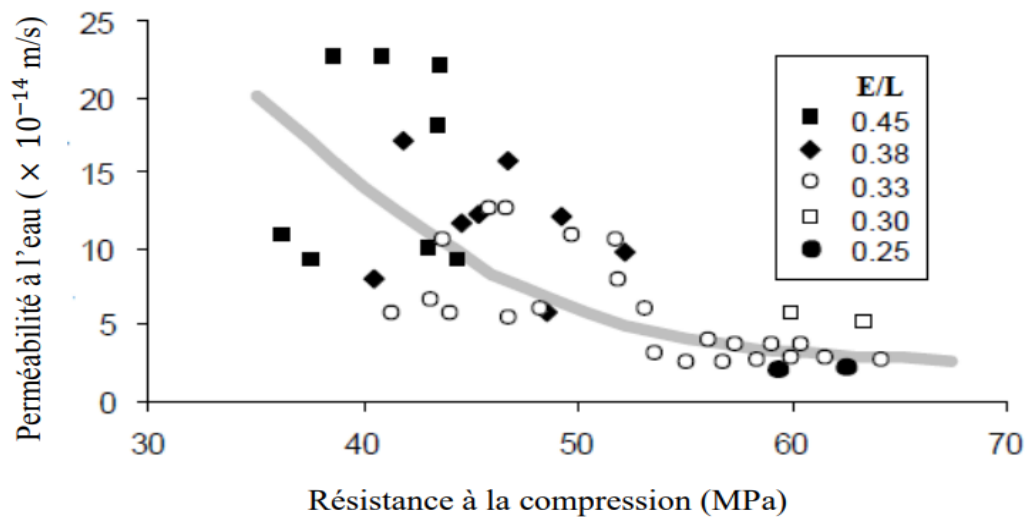


Figure I. 9 Relation entre la perméabilité à l'eau et la résistance à la compression [21]

I.2.3 Absorption :

L'absorption d'eau par immersion est donc le résultat des mouvements capillaires dans les pores du béton qui sont ouverts sur le milieu ambiant. Elle est déterminée par immersion d'une éprouvette de béton dans l'eau jusqu'à masse constante et en mesurant l'augmentation de masse. Elle est exprimée en pourcentage de la masse sèche de l'éprouvette. Etant une image de la porosité, l'absorption d'eau est utilisée comme un indicateur de la qualité du béton [22]

I.3 Conclusion:

- Le béton, mélange de plusieurs composants très différents,
- La performance et la durabilité du béton dépendent essentiellement à la résistance mécanique, la porosité et la qualité des composants.
- Les bétons faiblement poreux ont en général plus durables puisque leur faible perméabilité retarde entre autres la pénétration de l'eau et d'autres agents potentiellement agressifs.
- Cette étude bibliographique s'est d'abord intéressée au béton et ses composants.
- Les différents composant ont été présentés ainsi que les adjuvants et les additions minérales.
- Il a été également question des propriétés physico-mécaniques du béton : la porosité et sa relation à la perméabilité, et la relation de cette dernière à la résistance

Chapitre II : Généralités sur les méthodes formulation de béton

II.1 Introduction :

Le béton est un mélange dont la composition a une influence sur ses caractéristiques mécaniques. Mais s'ils sont moins critiques, l'élaboration d'un béton adapté peut alors être peu fiable. Cela mesure l'importance de l'étude sur la formulation du béton, d'autant plus nécessaire que les caractéristiques requises sont exigeantes.

La formulation d'un béton peut être comprise comme le processus de sélection des constituants (granulats, ciment, additifs) et de leurs proportions optimales pour fabriquer un complexe possédant certaines propriétés recherchées (consistance, résistance, durabilité...)

L'obtention des caractéristiques requises pour le béton nécessite impérativement d'adopter et d'optimiser sa formulation aux exigences adaptées à l'ouvrage et à son environnement. [25]

On a recours, dans ce cas aux méthodes de détermination des proportions des différents composants ou on trouve soit :

- Les méthodes semi-empiriques (Faury, Bolomey, Vallette).
- Les méthodes graphiques (Joisel, Dreux-gorisse).

Il existe plusieurs méthodes pour la composition du béton. Elles aboutissent à des dosages volumétriques ou de préférence pondéraux, mais le passage de l'une à l'autre peut toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac. [27]

II.2 L'objectif de la formulation de béton

L'Objectifs d'une formulation est d'avoir les performances requises pour un béton :

- Une consistance adaptée à sa destination, généralement définie par l'affaissement au cône d'Abrams, noté h ;

- les qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours ; notée f_{cm28} (résistance moyenne) ;

-des qualités de durabilité qui conduisent à imposer une résistance caractéristique minimum, un dosage minimum en liant équivalent $(C + kA)$ et un rapport maximum $E/(C + kA)$

- formulation du béton doit permettre de respecter les deux premières exigences au moindre coût, le plus souvent donc à partir d'un dosage en ciment le plus faible possible tout en vérifiant que le dosage minimal est atteint.

-Des logiciels permettent de traiter toute la partie non expérimentale du travail formulation. Même avec de tels outils, il est indispensable de comprendre comment les différents paramètres influent sur les qualités du béton, car ces paramètres sont trop nombreux et trop variables pour qu'ils puissent être pris n compte dans toute leur complexité (sans compter que

des produits comme les adjuvants sont en constante évolution). C'est l'objet des paragraphes qui suivent de présenter ces paramètres de manière à rendre d'autant plus efficaces les outils de calcul (et les essais qui demeurent incontournables) pour celui qui cherche à résoudre un problème de formulation de béton. [26]

II.3 Quelques Méthodes de composition des bétons :

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

Les méthodes proposées sont nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes : elles 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. [27]

II.3.1 Méthode de Bolomey :

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

La formule de base est la suivante : $P=A+(100-A)\sqrt{\frac{d}{D}}$

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

D : est le diamètre du plus gros granulat

A : coefficient varie entre 8 et 16 en fonction du dosage en ciment, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort. [27]

II.3.2 Méthode 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. [27]

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

Chapitre II

Tableau II . 1 Valeurs optimales d'après ABRAMS du module de finesse des compositions granulaire des bétons courants

Dosage en ciment	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	4.25	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. [27]

$$S_s = MF_g - MF \quad \text{et} \quad S_g = MF - MF_s$$

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

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

$$\text{Où } S = S_s + S_g$$

II.3.3 Méthode de Faury :

Faury proposa une nouvelle loi de granulation de type continu, il s'est inspiré pour cela de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen. [27]

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $\sqrt[5]{d}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ($<D/2$), des gros grains ($>D/2$) et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories. On trace pour l'ensemble du mélange, ciment compris une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en $\sqrt[5]{d}$. L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixé à $D/2$ et son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains

Chapitre II

paramètres dont la valeur est une valeur tabulée en fonction de types des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense).

Y, se calcule par la formule suivante :

$$Y=A+17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D}-0.75}$$

Avec :

A : valeur tabulée

B : varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou.

D : est exprimé en dimension de passoire.

R : est le rayon moyen du moule. [27]

II.3.4 Méthode de Valette :

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

La méthode Valette proprement dite est quelquefois utilisée avec certaines variantes. Dans les cas les plus courants on parlera en général d'un béton binaire : un sable et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité (par exemple : sable 0/5 et gravier 16/25) [27].

On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment ; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment.

On ajoute en suite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment. [27]

II.3.5 Méthode Dreux-Gorisse :

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

Chapitre II

théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport C/E, C et E, le mélange optimal à minimum de vides, la compacité du béton et les masses des granulats. [28]

a) Détermination du dosage en ciment:

On évalue d'abord le rapport E/C en fonction de la résistance désirée sur la base de la formule :

$$R_b = G \cdot R_c (E/C - 0.5)$$

Où :

R_b: Résistance à la compression du béton prévue à 28 jours, en bars.

G: Coefficient granulaire

R_c: Classe vraie du ciment à 28 jours, en bars.

Connaissant le rapport C/E la fluidité désirée, qui est une donnée du problème, on peut déterminer le dosage en ciment d'après l'abaque [30]

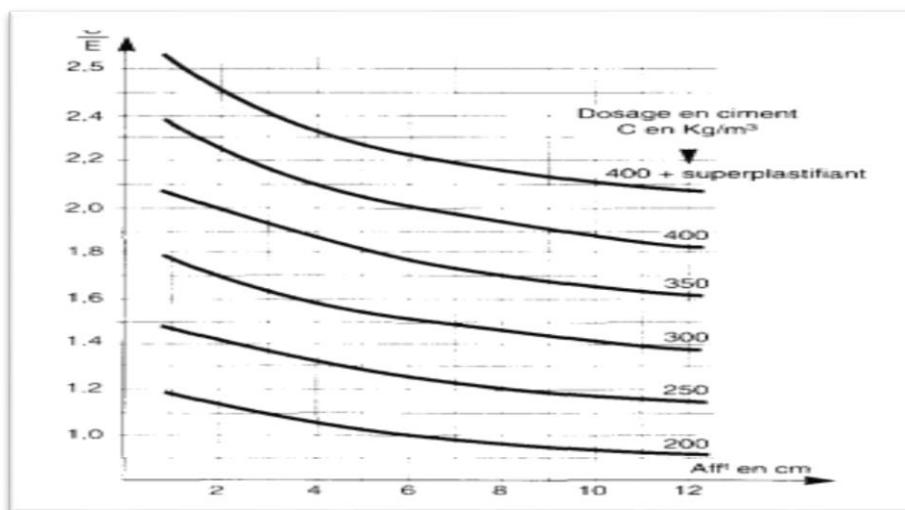


Fig. II 1 Dosage en ciment[30]

Tableau II . 2 Valeurs de G coefficient granulaire

valeurs de G coefficient granulaire			
qualité des granulats	dimension des granulats D (mm)		
	Fins D ≤ 12.5	moyens 20 ≤ D ≤ 31.5	Gros D ≤ 40
Excellente	0.55	0.60	0.65
bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Chapitre II

b) Détermination du dosage en eau

Connaissant C/E et le dosage en ciment (C) on déduit le dosage en eau total à prévoir par le

formule: $E = \frac{C}{E/c}$ [30]

c) Détermination du dosage en granulat :

C'est le pourcentage de sable et de gravier exprimé à partir de la courbe granulaire de référence construite par l'une des méthodes de composition de béton, ci-dessous courbe OAB.

La courbe OAB, où **B** à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat et le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies comme suit :

• **En abscisse :**

Si $D \leq 20\text{mm}$ l'abscisse est $D/2$.

Si $D \geq 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du segment, gravier limité par le module 38 (5mm) et le module correspond à (D max).

• **En ordonnée :** Y donnée par la formule suivante :

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

K_s , ajustement de la granularité du sable

- Pour $FM > 2.8$ \longrightarrow $K_s = 5.4$ FM-15
- Pour FM est varier de 2 à 3 \longrightarrow $K_s = 6$ MF-15

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (sur tout le sable, dont l'influence est prépondérante) et également du module de finesse du sable qui est donné par le Tableau [30]

Tableau II . 3 valeur du terme correcteur K

vibration	Faible		normale		Puissante	
Forme (t, s, sable)	Roulé	concassé	roulé	concassé	roulé	Concassé
400+fluidifiants	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre

Chapitre II

chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite. On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g_1, g_2, g_3 par exemple. Si c'est le dosage en ciment,

le volume absolu des grains de ciment est: $c=C/\rho_c$

ρ_c = : C'est la masse spécifique pour les grains du ciment

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est:

$$V = (1000 \times \gamma) - c.$$

Où :

γ : coefficient de compacité qui est donné par le tableau

Tableau II . 4 coefficient de compacité

consistance	serrage	Coefficient de compacité γ						
		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
		0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850

II.4. Choix d'une méthode de formulation :

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires.

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées. On notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier.

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement une certaine résistance à la compression.
- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisés sur le chantier.

Chapitre II

- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important.
- Le coût du béton doit rester le plus bas possible.

Dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier. Mais l'élaboration des ciments ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les qualités recherchées :

- Minimum de vides internes déterminant une résistance élevée.
- Bonne étanchéité améliorant la durabilité.
- Résistance chimique.
- Résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface, et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect. La composition d'un béton et le dosage de ses constituants sont fortement influencés par l'emploi auquel est destiné le béton et par les moyens de mise en œuvre utilisés. [28]

II.4.1 Processus du choix d'une formulation :

La formulation du béton correspond au processus de sélection des constituants et de leurs proportions pour fabriquer un matériau aussi économique que possible et possédant certaines propriétés minimales précises, notamment en ce qui concerne la résistance, la durabilité et la maniabilité.

Les facteurs de base que l'on doit en considération pour déterminer une formulation et l'ordre des décisions pour chacune des constituants d'une gâché sont donnés dans la figure suivante :

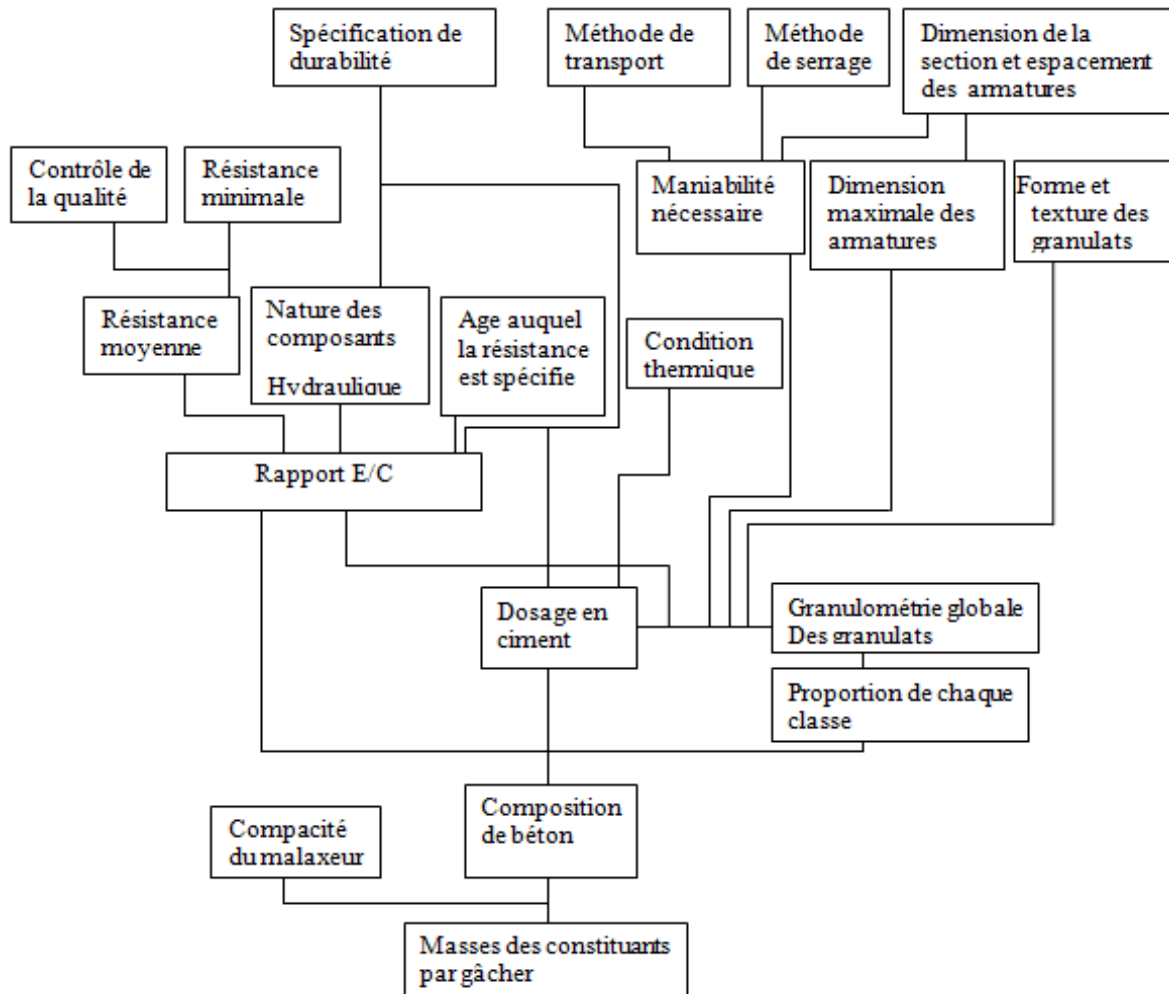


Fig. II 2Processus du choix d'une formulation [29]

II.4.2 Facteur de base à prendre en compte lors du choix d'une formulation :

Pour obtenir un béton satisfaisant, il faut, non seulement calculer ou estimer les proportions des matériaux disponibles, mais aussi réaliser des gâchés d'essai. On peut ainsi vérifier les proportions et apporter les corrections nécessaires jusqu'à ce que l'on obtienne une formulation donnant entièrement satisfaction.

II.5 : facteurs régissent la formulation d'un béton

L'objectif de la formulation est de confectionner le béton le plus économique et donnant satisfaction tant à l'état frais qu'à l'état durci. Pour atteindre cet objectif, on peut considérer les différents facteurs de la figure précédente et suivre les étapes de décisions jusqu'au choix final des proportions du béton.

II.5.1 le rapport eau/ciment et résistance à la compression

La présence de 5 % de vides dans le béton peut réduire la résistance de plus de 30 % et

Chapitre II

même un pourcentage de 2 % peut produire une perte de plus de 10 %. Les vides à l'intérieur du béton sont soit des bulles d'air piégé lors du malaxage soit des espaces laissés lorsque l'excédent d'eau contenu dans le béton s'évapore. Dans ce qui suit, on ne considérera que le cas de bétons complètement compactés ceci induit que, lors de la détermination de la composition du béton, le béton durci ne contient qu'environ 1% d'air piégé.

La résistance d'un béton bien compacté est inversement proportionnelle au rapport Eau/ciment. Cette relation est présentée par Duff Abrams en 1919. Selon cet auteur, la résistance est égale :

$$f_c = \frac{K_1}{K_2 e/c}$$

Où E/C : représente le rapport eau/ciment du béton (rapport volumique) et K1 et K2 sont des constantes empiriques.

En pratique, le rapport eau/ciment est le facteur le plus important qui conditionne la résistance à la compression d'un béton complètement compacté. La meilleure citation en ce sujet est probablement celle de Gilkey : « pour un ciment donné et de granulats acceptables la résistance qui peut se développer dans un béton maniable confectionné dans des conditions identiques de malaxage, de mise en œuvre, de conservation et d'essai est influencé par (a) le rapport massique entre ciment et l'eau de gâchage.

(b) Le rapport massique entre le ciment et les granulats

(c) La granulométrie, la texture, la forme, la résistance et la dureté des granulats

(d) La dimension maximale des granulats.

On peut ajouter que les facteurs (b), (c) et (d) ont une importance moindre que le facteur (a) lorsque l'on utilise des granulats courants, dont la dimension maximale est de 40 mm.

La résistance du béton est due à :

- la résistance du mortier.

- L'adhérence entre le mortier et le gros granulat

-La résistance du gros granulat, c'est-à-dire la capacité du granulat à résister aux contraintes qui lui sont appliqués. [29]

II.5.2 Durabilité :

Le choix des proportions d'un béton doit non seulement satisfaire aux exigences de résistance, mais aussi garantir une durabilité convenable. Il n'existe encore aucune approche générale et efficace pour sélectionner les proportions et garantir la durabilité à cause de la

variété de conditions d'exposition y compris les conditions extrêmement difficiles des régions chaudes et des régions côtières très acides ou la protection des armatures contre la corrosion influe considérablement sur le choix des proportions et la nature des matériaux cimentaires revêt une grande importance. Lorsqu'un béton est soumis à une attaque chimique, il faut utiliser un type de ciment convenable, mais, si le béton est exposé aux cycles de gel - dégel, le choix de ciment est déterminé par d'autres considérations, par exemple, l'évolution rapide de la résistance à court terme. Si le bétonnage se fait dans un temps froid il faut un ciment avec une forte chaleur d'hydratation [29]

II.5.3 Maniabilité :

Il ne faut pas examiner seulement les conditions nécessaires pour garantir que le béton sera satisfaisant à l'état durci, mais, aussi ses propriétés lorsqu'il est transporté, pompé et mise en place. Une des propriétés essentielles est d'assurer une maniabilité satisfaisante ; la formulation qui ne tiendra pas en compte la maniabilité appropriée à la mise en œuvre remettrait en cause le calcul rationnel des propriétés du béton.

La maniabilité dépend de deux facteurs :

- la dimension minimale de la section à bétonnée ainsi que la densité et l'espacement du ferrillage.
- Le mode de compactage utilisé, vibration ou autre.

Il y a aussi la cohésion qui est une propriété étroitement liée à la maniabilité. Elle dépend de la quantité de fines particules dans le béton ; il est souvent nécessaire d'effectuer plusieurs gâchées d'essai avec différentes proportions de granulats allant du plus fins au plus grossier avant de trouver le béton qui présente la cohésion correcte uniforme et éviter la provocation de la ségrégation. [29]

II.5.4 Dimension maximale du granulat :

Pour le béton armé, la dimension maximale des granulats dépend de la largeur de la section à bétonner et de l'espacement des armatures. Dans ce contexte, plus importante est la grosseur des grains constitutifs du granulat, plus faible est la surface à mouiller par unité de masse. Ainsi, une augmentation de la grosseur maximale du granulat diminue la demande en eau du béton de telle sorte que, pour une même maniabilité et un même dosage en ciment, le rapport eau/ciment peut être abaissé, d'où une augmentation de la résistance Ce comportement est vérifié par des essais sur des granulats dont la dimension était de 40 mm. Les résultats expérimentaux montrent cependant que, pour les granulats supérieurs à 40 mm, la résistance est réduite à cause de la faible interface de liaison et de la discontinuité

présentée par les très gros éléments. Le béton devient grossièrement hétérogène et il y'aura risque d'augmenter la ségrégation. [29]

II.5.5 Granulométrie et type de granulat

La granulométrie influe les proportions d'un béton pour une maniabilité et un rapport Eau/ciment définis : plus la granulométrie est grossière, plus le dosage du béton peut être diminué. Mais cette affirmation est vraie sous certaines conditions car un béton très pauvre n'aura pas une bonne cohésion par manque de particules fines.

Il est possible de renverser ce choix : si le dosage en ciment est fixé, la granulométrie doit alors être choisie de sorte que l'on puisse confectionner le béton avec les proportions données d'eau, de ciment et de granulats et présentant une maniabilité satisfaisante. Cependant, il y a des limites granulométriques au-delà desquelles il n'est plus possible de confectionner un bon béton.

On doit examiner aussi le type de granulat car la texture de la surface et la forme agissent sur le rapport granulat/ciment pour une maniabilité et un rapport eau/ciment donnés.

Par conséquent, lors de la formulation, il est essentiel de connaître le type de granulats disponible.

Une autre caractéristique très importante est l'uniformité des granulats fins, dans le cas où la quantité d'eau de gâchage est contrôlée pour une maniabilité constante : un changement brusque pour une granulométrie fine nécessite une quantité d'eau plus élevée pour garantir la même maniabilité, ce qui provoque une diminution de résistance.

II.5.6 Dosage en ciment :

Le choix du dosage en ciment est fait d'après l'expérience ou au moyen de tableaux et graphiques élaborés à partir de résultats de laboratoire. Ces tableaux ne sont guère qu'un guide pour établir les proportions nécessaires, car elles ne tiennent en compte que des granulats utilisés lors de ces essais. [29]

II.6 Conclusion :

Dans ce chapitre on a étudié des plusieurs méthodes de formulation de béton ordinaire.

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants du béton (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (résistance, consistance).

Les méthodes de composition des bétons permettant de calculer les dosages de chacun de ces composants à mettre en œuvre pour obtenir un béton capable de répondre aux spécifications de qualité fixées et aux conditions de mise en œuvre.

*Chapitre III : Matériaux et
matériels d'essais*

III.1 :Introduction:

Nous traiterons dans ce chapitre la caractérisation des matériaux utilisés dans la fabrication des différents mélanges de béton.

Nous allons aussi décider de la méthode de composition qui nous permettra d'établir les différentes formulations des mélanges des bétons. et les matériaux utilisés sont:

- **Sable de d'un fraction (0/5) :** sable de Boussaâda
- **Le ciment :** ciment portland NA 442/2013.GICA
- **L'eau de gâchage :** Eau de laboratoire de génie civil (Msila)
- **Gravier de fraction (3/8).(8/16)**

III.2: graviers concassés :

III.2.1 Analyse granulométrique

A. Principe de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. La granulométrie ou analyse granulométrique consiste donc à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 16 mm et 0,063 mm

B. Mode opératoire :

- Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond.
- Verser le matériau sec dans la colonne de tamis.
- Agiter automatiquement cette colonne.
- Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle.
- Nous prenons le poids de chaque tamis à l'aide d'une balance électronique.
- Varier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933-1 (différence entre la somme des masses de refus et de tamis et de la masse initiale).

C. Les résultats des analyses granulométriques

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés sur les (Tableau 3.1) et (Tableau 3.2) et (Tableau 3.3) les courbes granulométriques sont représentées en (Figure 3.1) (Figure 3. 2) (Figure 3.3)

Chapitre III

Tableau III. 1 Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
20	0	0	0	100
16	127	127	6.35	93.65
12,5	857	984	49.2	50.8
10	712	1696	84.8	15.2
8	280	1976	98.8	1.2
Fond	24	2000	100	0

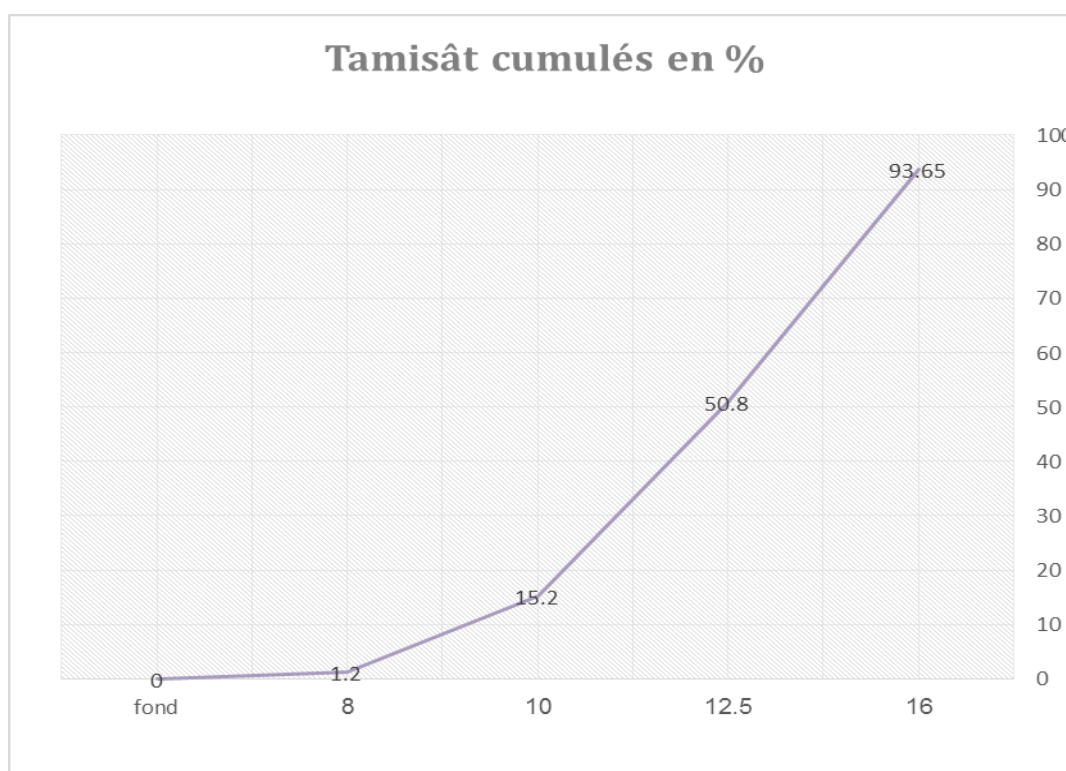


Figure III. 1 Analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé

Tableau III. 2 l'analyse granulométrique de fraction (3/8) du gravier concassé

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
8	140	140	7	93
6,3	937	1077	53.85	46.15
5	473	1550	77.5	22.5
3,15	427	1977	98.85	1.15
Fond	23	2000	100	0

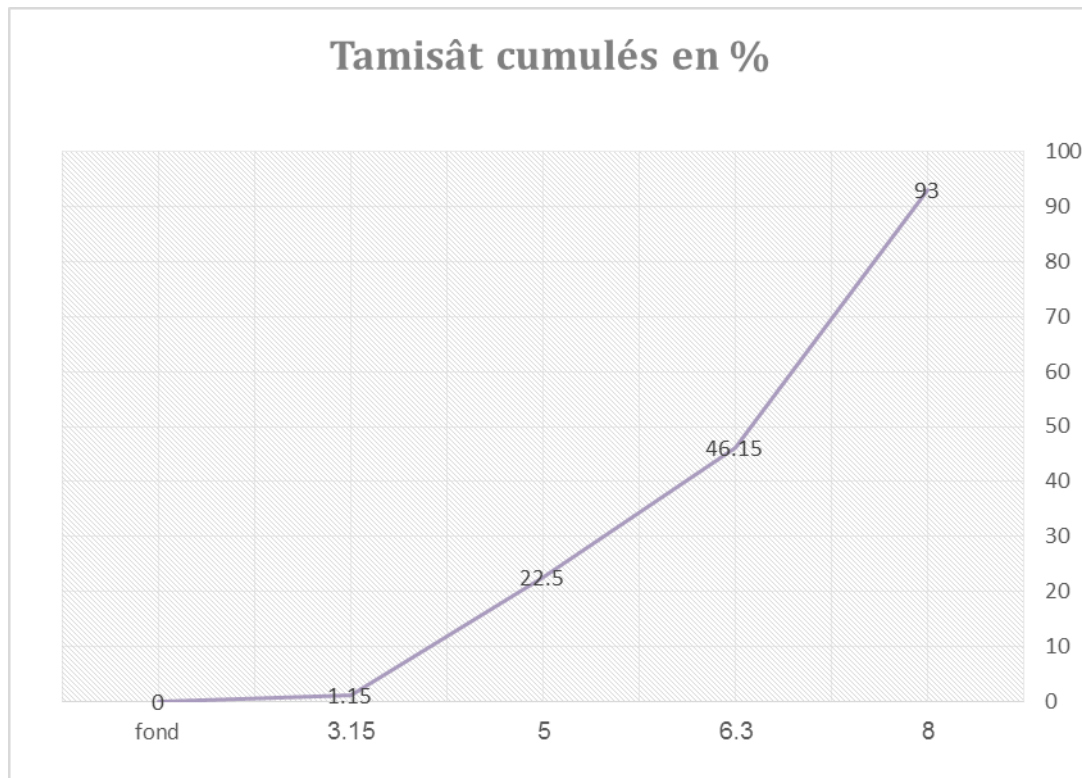


Figure III . 2Analyse granulométrique des fractions (3/8) du gravier concassé

III.2.2: Masse volumique apparente :

A.Gravier de fraction 3/8 et 8/16:

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 graviers pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

b : Mode opératoire de l'essai:

1. Déterminer le volume du récipient = V.
2. Noter la masse du récipient propre et vide = M0.
3. Placer le récipient dans le bac en plastique.
4. Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassement : utiliser les mains comme entonnoir naturel.
5. Araser à l'aide de la règle métallique par un mouvement horizontal de va et vient.
6. Noter la masse du récipient rempli = M1 .
7. Vider les granulats dans un autre bac en plastique 8. Renouveler l'opération au moins (3)

fois avec un autre échantillon du même type.

Tableau III. 3 Masse volumiques des fractions 3/8 et 8/16 du gravier concassé

Fraction	Essai	M1 (Kg)	M2 (Kg)	ρ_{app} (kg/l)	ρ_{app} moyen (kg/l)
3/8 v=7l	1	2.926	12.750	1.403	1,416
	2		12.940	1.432	
	3		12.815	1.413	
8/16 v=10l	1	3.490	17.503	1.401	1,394
	2		17.370	1.388	
	3		17.423	1.393	

III.2. 3: Masses volumiques absolues:

Cet essai est régi par la norme NFP 18-301 ; elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulats sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains

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.

Dans ce travail nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est Simple, rapide et utilise un matériel courant du laboratoire.

b. Mode opératoire :

1. Placer l'éprouvette dans le bac en plastique.
2. Verser de l'eau dans l'éprouvette (presque demi hauteur) et noter V1.
3. Préparer un échantillon de granulats secs de masse M (environ 400 g).
4. Verser l'échantillon dans l'éprouvette à l'aide d'un entonnoir et provoquer le départ des vides (air) en remuant le mélange avec la tige agitatrice.
5. Noter le nouveau volume d'eau dans l'éprouvette V2.
6. Vider les granulats dans un bac en plastique et jeter son contenu.
7. Renouveler l'opération au minimum 3 fois.

La masse volumique absolue est donnée par :
$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

c/ gravier de fraction 3/8 et 8/16

Tableau III. 4 Masse volumiques absolue des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

Fraction	Essai	M ₁ (g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ _{app} (g/ml)	ρ _{app} moyen (g/ml)		
3/8	1	400	400	550	2.72	2.66		
	2			550	2.67			
	3			550	2.70			
8/16	1					550	2.58	2.59
	2					555	2.60	
	3					555	2.60	

III.2. 4 Absorption d'eau :

La connaissance du coefficient d'absorption d'eau d'un granulat permet d'ajuster la teneur en eau de gâchage entrant dans la composition du béton. Des mesures de l'absorption d'eau par les granulats ont donc été menées suivant le mode opératoire de la norme [NF EN 1097-6, 2001]. Le coefficient d'absorption d'eau est définie comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon après imbibition par l'eau à la masse sèche de l'échantillon. Le coefficient d'absorption *Abs* est ainsi définie par :

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sech}}{M_{sech}} * 100$$

$M_{humide} - M_{sech}$ désigne la masse de l'eau absorbée après 48 heures d'immersion.

M_{sech} la masse sèche de l'échantillon après passage à l'étuve à 105°C.

Tableau III. 5 coefficient d'absorption d'eau des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

Fraction	Essai	M1(g)	M2(g)	Abs(%)	Abs (%) moyenne
3/8	1	500	526	5.2	5.4
	2		528	5.6	
8/16	1	500	514	2.8	3.2
	2		518	3.6	

III.2. 5 Porosités :

La porosité d'un échantillon de granulats est un paramètre important de formulation d'un béton car elle influe sa compacité, ce qui a un impact sur ses propriétés mécaniques. La valeur de la porosité **P** pour les différents granulats est calculée par l'intermédiaire de l'équation suivante :

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100$$

a/ gravier de fraction 3/8 et 8/16

Tableau III. 6 La porosité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

Graviers	(P%)
3/8	46.77
8/16	46.18

III.2. 6 La Compacité :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}$$

Tableau III. 7 compacité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

fraction	La compacité C (%)
3/8	53.23
8/16	53.822

III.2. 7 Indice des vides :

$$I = \frac{P}{C}$$

Tableau III. 8 Indice de vide des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

Fraction	Indice de vide
3/8	0.878
8/16	0.858

III.2. 8 Résistance à la fragmentation :

Introduire l'échantillon (M=5000 g) avec le charge de boulets (Diamètre important) 500 rotations (30 à 33 tours/min).

Mesurer la masse « m » d'élément < 1,6 mm Coefficient de los Angeles « LA »

$$LA = \frac{m}{5000} * 100$$

- Si $LA < 20$: le gravier très dur.
- Si $20 < LA < 30$: le gravier dur.
- Si $LA > 30$: le gravier friable

Tableau III. 9 los Angeles des fractions (3/8) et (8/16) du Granulats concassé

Nature	Fraction	M1(g)	M2(g)	Nombre des boules	L_A
G. concassé	3/8	5000	1205	7	24.4
	8/16		1041	11	22

Résultat : le gravier dur.

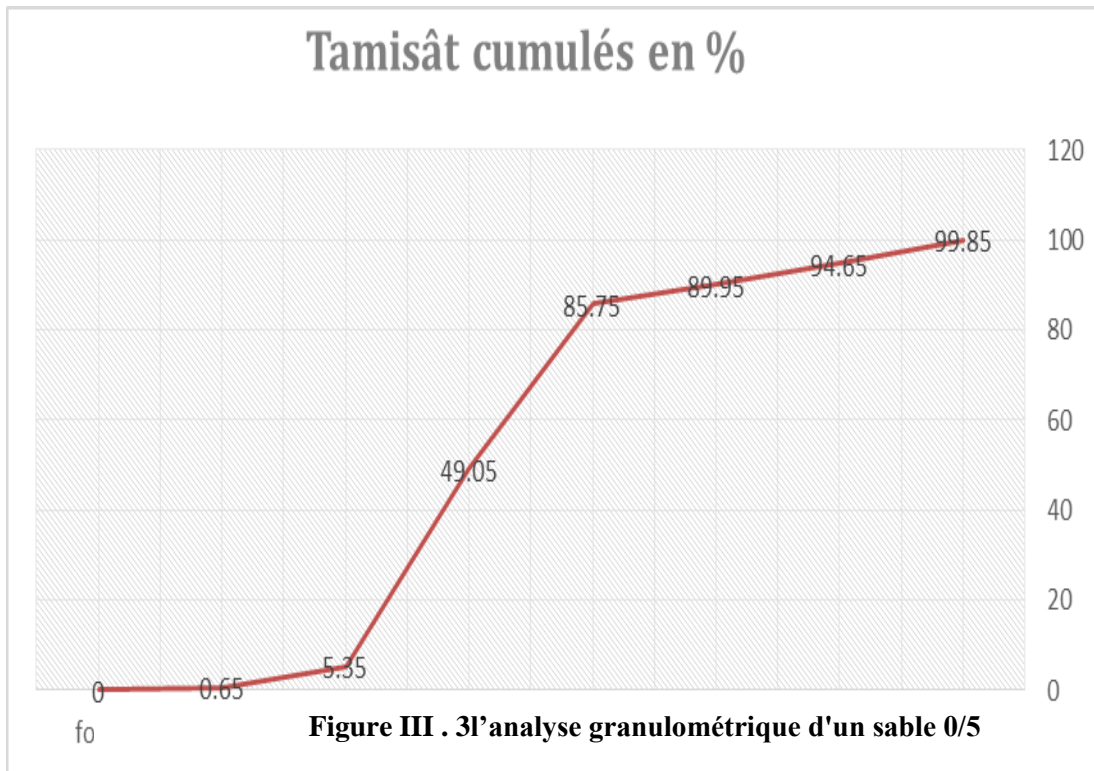
III.3 sable :

III.3.1: composition granulométrique

Analyse granulométrique correspondant à un sable : Faire l'analyse granulométrique du sable ensuivant le mode opératoire de l'analyse granulométrique du gravie. Mais différentes séries de tamis

Tableau III. 10 l'analyse granulométrique d'un sable 0/5

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisâ t (%)
		(g)	(%)	
5	3	3	0.15	99.85
2.5	104	107	5.35	94.65
1.25	94	201	10.05	89.95
0.63	84	285	14.25	85.74
0.315	734	1019	50.95	49.05
0.16	874	1893	94.65	5.35
0.08	94	1987	99.35	0.65
Fond	13	2000	100	0.0



III.3.2: Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

a. Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
- Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère (**10cm**).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant **10 minutes**.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer **90 cycles de 20cm** de cours horizontale en **30 secondes** à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette,

- Rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavante atteigne le 2^{ème} repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

A / Equivalent de sable visuel (ESV):

Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.

- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV \equiv \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Où : $h_2 > h_1$ avec : **h_1 : sable propre + éléments fins.**

B / Equivalent de sable visuel (ESP):

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglette dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. h_2' la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP \equiv \frac{h_2'}{h_1} \times 100\%$$

Où h_2' : La hauteur du sable ($h_2' < h_1$)

Chapitre III

<i>N^o d'essais</i>	<i>h₁ (cm)</i>	<i>h₂ (cm)</i>	ESV (%)	<i>h₂ (cm)</i>	ESP (%)
1	15.5	9.7	62.58	4.2	27.09
2	14.3	9.3	65.03	5	34.97
3	15	9.7	64.66	4.9	32.66

Tableau III. 11 Equivalent du sable

(ESV)_{moy} = 64.09 %

(ESP)_{moy} = 31.57%

Donc : 65% .< ESV

60% < ESP

Tableau III. 12 Comparaison des résultats

E.S.V	E.S.P	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	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S ≥85	E.S >80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Résultats : Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité

III.3.3: Module de finesse :

Le module de finesse (**MF**) est une facture très importante qui nous permet de juger

$$M_{Finesse} = \sum \frac{(Refus\ cumulés)}{100}$$

Chapitre III

la qualité du sable, il est donné par la relation suivante :

MF = 2.65 : C'est un sable Gros.

III.3.4: Masses volumiques apparentes :

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 sables malaxés pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées

III.3.4 .1 : Principe de l'essai:

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué (200ml) et déterminer la masse du contenu. Récipient gradué. - balance. - sable.

III.3.4 .2 : Mode opératoire :

Dans cet essai on va faire les étapes suivantes : On met l'échantillon dans le récipient gradué (d'environ 200 ml), et on pèse le récipient à l'aide d'une balance. Puis on note les masses et les volumes pour calculer la masse volumique.

La Masse volumique apparente est donnée par formule suivante :

$$\rho_{abs} = (M_2 - M_1) / V_r$$

Tableau III. 13 Masse volumique apparente du sable

N° d'essais	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M _{app} (g/cm ³)	M _{app} moyenne (g/cm ³)
01	115	1397.1	1.425	1.427
02	115	1400	1.427	
03	115	1400.6	1.430	

Volume de récipient V=900cm³.

III.3.5 Masses volumiques absolues :

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide. La masse volumique absolue du sable est calculé d'après la

Formule :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

Chapitre III

Tableau III. 14 Masse volumique absolue du sable.

N° d'essai	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ_{app} (g/ml)	$\rho_{app} M$ (g/ml)
1	100	300	340	2.5	2.5
2	100	300	340	2.5	
3	100	300	340	2.5	

III.3.6 Porosités (NF P 18 554 et 18 555):

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps c'est-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide.

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100$$

Tableau III. 15 porosités (%) du sable

Porosité P(%)
42.92

III.3.7: Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire. Le rapport du volume absolu des grains au

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 100 - P$$

volume apparent du matériau. La compacité donnée par la formule :

Tableau III. 16 Compacité C(%) du sable

Compacité C(%)
57.08

III.4 Le ciment :

Ciment Portland NA 442/2013

un ciment portland , contenant 95% clinker et 5% de gypse en tant que régulateur de prise.

Chapitre III

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES:

- Composition minéralogique du clinker: $C_3A \leq 7\%$
- Analyses chimiques :
 - Les sulfates (SO_3) $\leq 4\%$ perte au feu $\leq 5\%$
 - Les chlorures $cl \leq 0.1\%$ l'oxyde de magnésium $MgO \leq 3\%$
 - Insolubles $\leq 5\%$
- Les essais physiques :
 - Résistances mécaniques à la compression :
 - 02 jours ≥ 10 MPa
 - 28 jours ≥ 42.5 MPa
 - Consistances normale : 28.0%
 - début de prise > 60 min
 - Expansion à chaux ≤ 10 mm
 - fin de prise > 250 min
 - Refus sur tamis $45 \mu m$: 8-12 %
 - Chaleur d'hydratation à 41 h ≤ 270 j/g
 - surface spécifique de Blaine ≥ 3500 cm^2/g

III.5: Formulation des mélanges

Données de base

Tableau III. 17 donnés de bases pour la formulation

Données de base	Description (valeur)
Béton normal de classe	C25/30
Consistance	Béton plastique
Dimension maximale de granulat	$D=16$ mm ($\sqrt{D}=4$ mm)
Forme des granulats	Granulats concassés
Qualité des granulats	Bonne (courante)
Serrage	Vibration normale (courante)
Dosage en ciment	$C=350$ kg/m^3
Classe vrais du ciment (bars)	425 bars
Module de finesse MF	2.65
Coefficient granulaire G	0.45

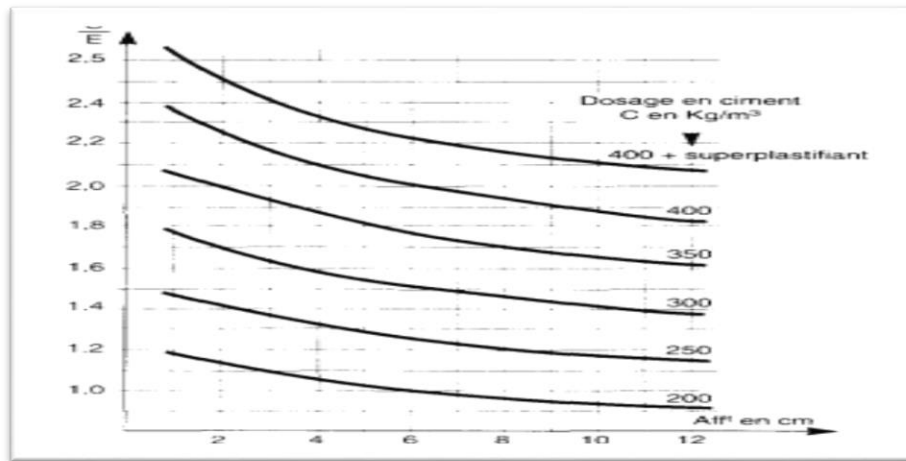


Figure III. 4 Graphique indiquant approximativement le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité

a. Dosage en ciment

$C=350 \text{ kg/m}^3$ valeur prescrite.

b. Dosage en eau

On à $C=350 \text{ kg/m}^3$

Et affaissement = 8 cm (béton plastique)

Après l'abaque : $C/E= 1.71 \longrightarrow E/C= 0.58$

Alors : $E= 350/1.71=204.67\text{L}$

Correction du dosage en eau selon le diamètre maximal D du mélange granulaire

Tableau III. 18 valeur de la correction sur le dosage en eau

Diamètre (mm)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
Correction en %	9	6	4	2	0	-2	-4	-6

On a un $D \text{ max}= 16 \text{ mm}$ qui correspond à une correction de 4% en plus de la quantité d'eau calculée donc on obtient :

$$E=E_{calculée}+0.04 \times E_{calculée} = 204.67 + 0.04 (204.67) = 212.85 \text{ Litre}$$

E après correction = 212.85 Litres

Chapitre III

c. Dosage des granulats

La granularité du mélange obtenu peut être représentée et approchée par deux segments de droite. Cette courbe simplifiée est une modélisation de la courbe réelle.

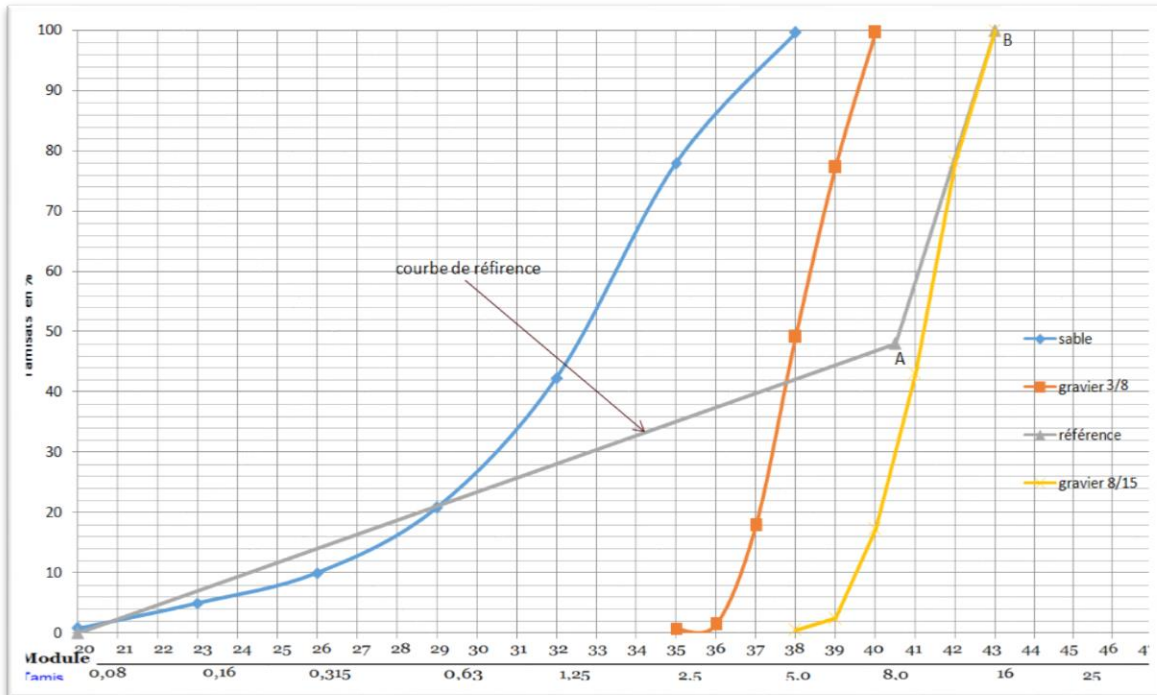


Figure III. 5 courbe d'analyses granulométriques des granulats

Cette modélisation est intéressante car cette courbe théorique est suffisamment proche de la courbe réelle pour être significative et elle peut être entièrement déterminée à partir de seulement trois points appelés respectivement O origine, A point de brisure, B extrémité.

Pour les granulats à béton, il apparaît que les points O, A et B, sont invariables quel que soit les proportions du mélange.

Le point d'origine, O est fixé à 0% de tamisât sur le plus petit tamis (0,08 mm). Ce point est repéré par ses coordonnées : O [0,08 ; 0] de même, le point d'extrémité, B se situe le tamis, D du gravier, avec 100% de tamisât. Ce point est repéré par ses coordonnées : B [D ; 100].

Pour le point de brisure A, il apparaît que le tamis sur lequel il se situe est invariable quel que soit les proportions du mélange. En observant de plus près, il apparaît que ce tamis se situe à $D/2$, si $D \leq 20$ mm, et au milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D > 20$ il reste à déterminer le pourcentage de tamisât du point de brisure. Cette position dépend des proportions du mélange. Or, les proportions du mélange influent sur la compacité du béton et par conséquent sur sa

Chapitre III

résistance. La meilleure compacité au béton. Cette position est optimisée par la méthode dite DREUX-GORISSE.

L'ordonnée optimisée du point de brisure, YA est déterminée par la relation suivante :

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

Cette relation prend en compte l'influence de la forme des granulats, du dosage en ciment, de la vibration, de la finesse du sable et de la mise en œuvre du béton par une pompe à béton sur la compacité du béton et sa facilité de mise en œuvre. K, optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment. Voir tableau ci-contre

Tableau III. 19 valeur du terme correcteur k

vibration	faible		normale		Puissante	
	Roulé	concassé	roulé	concassé	roulé	Concassé
Forme (t, s, sable)						
400+fluidifiants	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

La valeur trouvée est $K=+2$

K_s , ajustement de la granularité du sable

- Pour FM est varier de 2 à 3 $\implies K_s=6 \text{ MF-15}$
 On à FM= 2.65 $\implies K_s = (6 \times 2.65) - 15 = 0.9$

K_p , ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par pompes à béton

$K_p = 0$ si le béton est non pompable

$5 \leq K_p \leq 10$ si le béton est pompable

On à un béton non pompable

Donc : $K_p = 0$

Chapitre III

Pour un béton non pompable réalisé avec des granulats roulés dont le gravier a un diamètre, $D=16\text{ mm}$, le sable a un module de finesse $MF=2.65$, un dosage en ciment de 350 kg .

$$K=0, K_s=5.4 \times 3.44 - 15 = -3.57, K_p=0, Y_A=50 - \sqrt{16} + 2 + 0.9 + 0 = 48.9\%$$

$X_A=16/2=8\text{ mm}$ le point A à pour coordonnées : A [8 ;48.9]

Ainsi la courbe du mélange optimum, c'est-à-dire du mélange permettant d'obtenir la meilleure compacité est complètement déterminée.

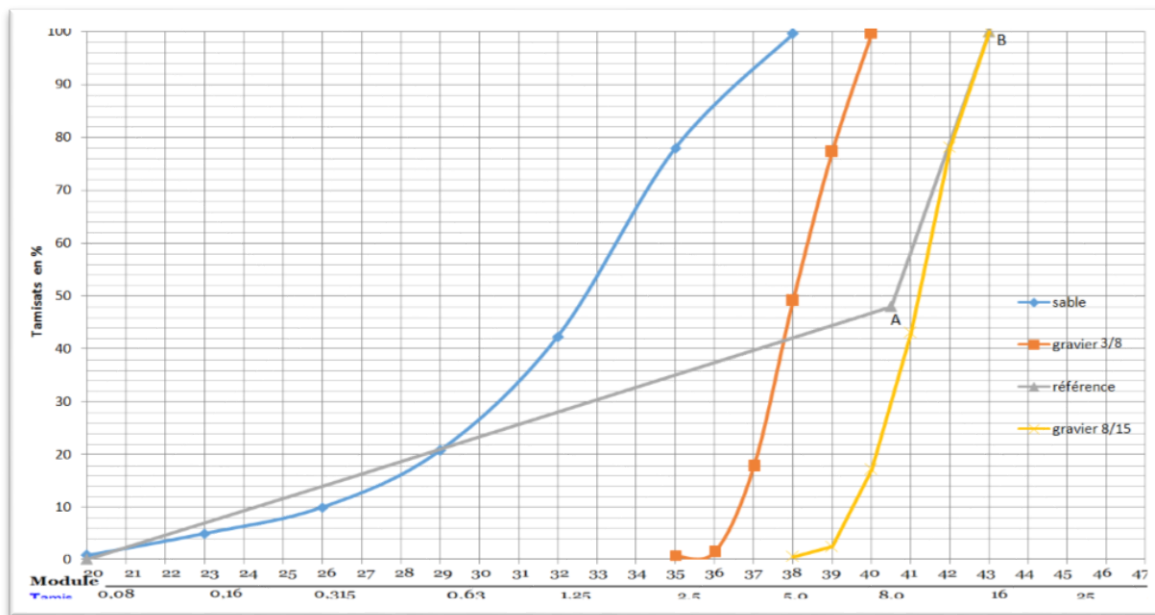


Figure III . 6 les coordonnées de la courbe de référence

d. La ligne de partage :

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

Chapitre III

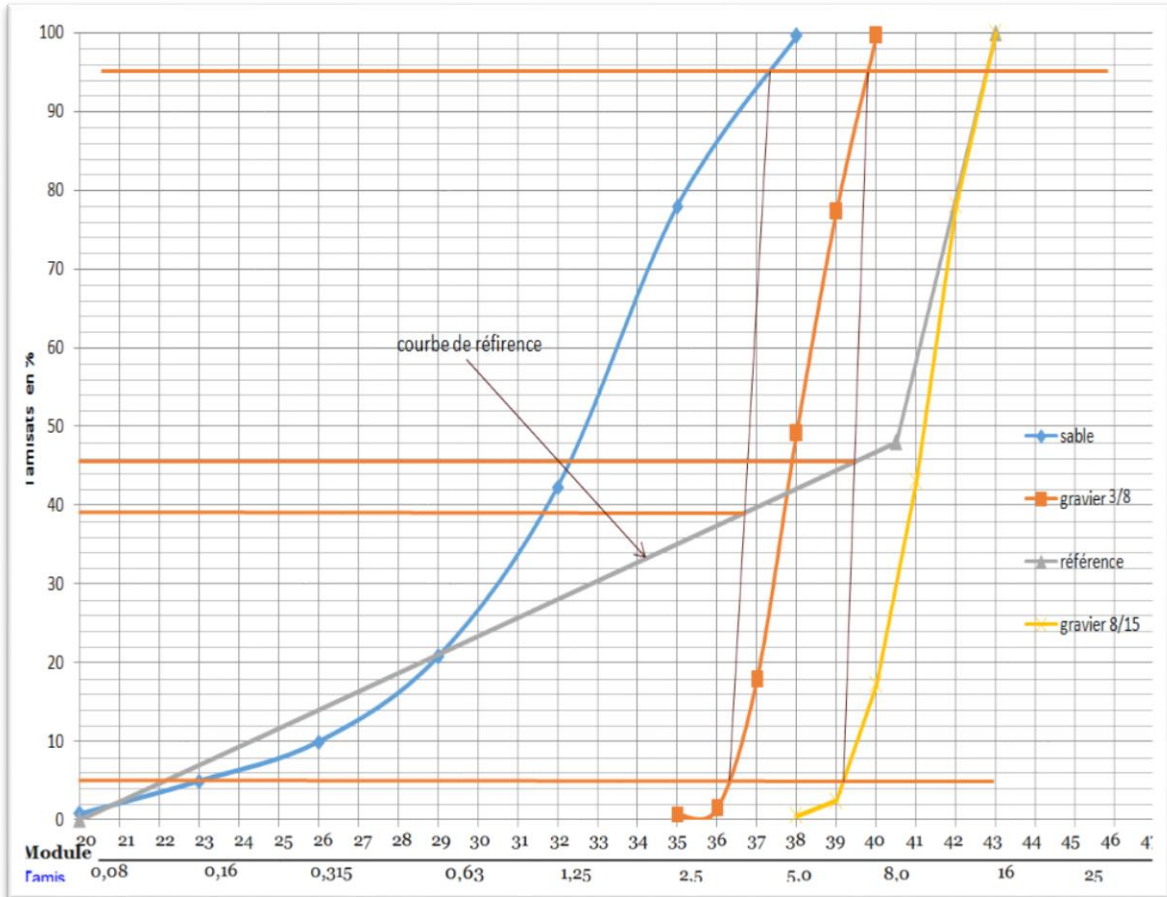


Figure III . 7 les lignes de partage

Le mélange optimal est obtenu avec un volume absolu de 40% de sable et 60% de gravier (14% gravier 3/8 et 46% gravier 8/15).

e. Dosage en masse des granulats :

La connaissance de la compacité du béton et des masses volumiques absolues des matériaux. La meilleure compacité est obtenue en vérifiant les proportions du mélange granulaire. Mais indépendamment de cela, elle dépend également du diamètre D des granulats, des conditions de vibration du béton et de sa plasticité. L'expérience permet de prévoir approximativement la compacité du béton selon les valeurs suivantes

Chapitre III

f. Coefficient de compacité :

Tableau III. 20 valeurs du coefficient de compacité γ

consistance	serrage	Coefficient de compacité γ						
		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							
	Vibration faible	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration normale	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
		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
		0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850

La correction effectuée, on trouve $\gamma = 0.820$

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter la correction suivante :

Sable roulé et gravier concassé = -0.01

Sable et gravier concassé = -0.03

Alors : $\gamma = 0.820 - 0.01 = 0.810$

Toutes les masses des constituants du béton ont été déterminé pour obtenir un béton conforme aux attentes. Il est maintenant nécessaire de réaliser des éprouvettes, pour vérifier et ajuster les dosages expérimentalement afin de garantir la qualité du béton.

g. Quantité des agrégats en pourcentage :

Sable concassée (%)=40%. \implies (%) S/100= 0.4.

Gravier 3/8 (%)= 14%. \implies (%) Gravier (3/8)/100= 0.14

Chapitre III

Gravier 8/15 (%) = 46%. \Longrightarrow (%) Gravier (8/15)/100 = 0.46.

Volume absolu de l'ensemble des granulats :

On a : $V = (1000 \times \gamma) - c$.

$$c = C/3.15 = 111.11$$

volume absolu de l'ensemble des granulats $V = (1000 \times \gamma) - c = (1000 \times 0.810) - 111.11 = 698.89\text{L}$.

Dosage des granulats en kg dans 1 m³ :

Sable concassée [kg] = $0.4 \times 698.89 \times 2.65 = 740.82 \text{ kg}$

Gravies 3/8 [kg] = $0.14 \times 698.89 \times 2.64 = 258.30\text{kg}$

Gravies 8/15 [kg] = $0.46 \times 698.89 \times 2.67 = 858.37 \text{ kg}$

Chapitre III

Tableau III. 21 Quantités de matériaux utilisés dans les mélanges de béton.

N:°	G/S	A (cm)	SABLE (kg)	GRAVIER 3/8 (kg)	GRAVIER 8/16 (kg)	CIMENT (kg)	EAU
01	0	6	1852.05	0	0	350	363.33
02	1	6	926.02	276.76	653.11	350	235.5
03	1.5	6	740.82	258.309	858.37	350	213
04	2	5	617.29	215.31	1026.31	350	201.33
05	2.5	6	527.83	212.18	1119.62	350	187.66
06	0	5	1936.19	0	0	250	338.93
07	1	6	968.09	289.33	289.33	250	216.66
08	1.5	9	774.47	270.04	270.04	250	202.16
09	2	6	638.54	225.10	225.10	250	195.46
10	2.5	5	551.81	221.82	221.82	250	198.79
11	0	7	2020.33	0	0	150	390
12	1	6	1010.16	301.90	301.90	150	231.6
13	1.5	6	808.13	281.77	281.77	150	220.44
14	2	8	673.37	234.88	234.88	150	211.23

*Chapitre IV : Résultats et
Discussions*

CHAPITRE IV

IV.1 Introduction:

Les résultats des essais réalisés vont nous permettre de générer un ensemble de données qui vont servir à valider le choix des Valeurs G/S et du dosage en ciment dans le but de formuler un bon béton.

Dans ce chapitre nous allons passer en revue les résultats obtenus après une série de mesures des propriétés du béton (résistance à la compression, porosité, perméabilité), sur les échantillons confectionnés.

Ensuite, nous mesurons la vitesse de propagation des ultrasons à travers le béton car cela nous renseigne sur l'homogénéité du béton, les résistances du béton, sa porosité et en faisant des interrelations entre ces paramètres et la vitesse des ultrasons

IV.2 Les résultats des essais effectués sur bétons:

IV.2.1 Essais sur béton frais:

IV.2.1.1 Affaissement : nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous:

Tableau IV. 1 Affaissement

Dosage de ciment kg/m ³	N ^o de gâché	Le rapport G/S	Affaissement (Cm)
350	1	0	6
	2	1	6
	3	1.5	6
	4	2	5
	5	2.5	6
250	6	0	5
	7	1	6
	8	1.5	8
	9	2	6
	10	2.5	5
150	11	0	7
	12	1	6
	13	1.5	6
	14	2	8

Pour les différents gâchés, l'affaissement au cône d'Abrams est prise entre 5 cm et 8 cm (béton plastique).

CHAPITRE IV

IV.2.2 Essais sur bétons durcis :

IV.2.2.1 Masses volumiques des différents mélanges de béton:

La masse volumique d'un béton ordinaire utilisé dans les chaussées, les bâtiments et autre structures usuelles est comprise entre 2240 à 2400 kg/m³. Elle dépend de la quantité et de la densité des matériaux, des quantités d'air. Le béton combiné avec des armatures donne naissance à un béton armé de masse volumique généralement accepté dans les calculs de 2400kg/m³

On détermine la masse volumique après 28j. Les dimensions l'éprouvette sont :10*10*10cm

La masse volumique est donnée par la formule

$$P = (M/V)$$

Ou :

M : masse de l'éprouvette.

V : volume de l'éprouvette.

Tableau IV. 2 les résultats des mesures de la masse volumique à l'état durcis des bétons

N° d'essai	La masse de l'échantillon	Masse volumique (g/cm ³)
1	1890	1.8900
2	2174.7	2.1747
3	2271.5	2.2715
4	2321.4	2.3214
5	2339.6	2.3396
6	1828.8	1.8288
7	2224.6	2.2246
8	2147.5	2.1475
9	2276.7	2.2767
10	2293.5	2.2935
11	1776.6	1.7766
12	2175.4	2.1754
13	2191.1	2.1911
14	2173.2	2.1732

Le mélange qui a la plus petite valeur de G/S et une petite quantité de ciment donne une masse volumétrique faible.

IV.2.2.2 La Résistance à la compression 28 jours :

Pour la détermination de la résistance à la compression, des éprouvettes cubique 10×10×10 ont été réalisé. Les essais ont été effectuées sous une presse hydraulique en respectant les prescriptions des règles suivantes :

- L'éprouvette est centrée sur le plateau de la presse.
- Aucune matière n'est interposée entre l'éprouvette et les plateaux de la presse.
- La charge est applique d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

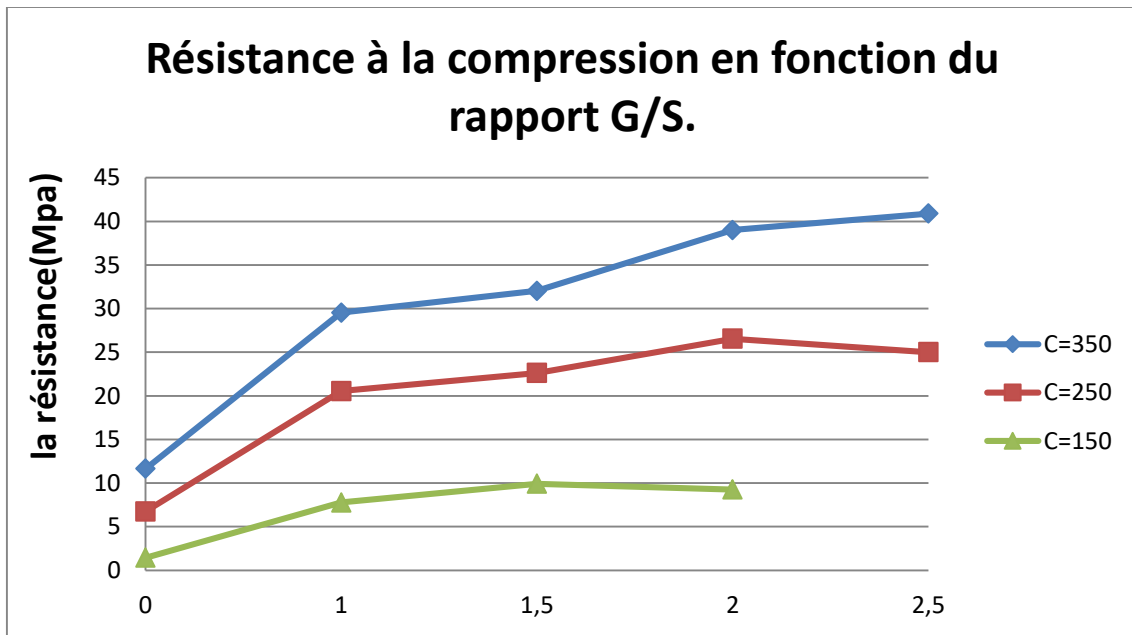


Figure IV. 1 Résistance à la compression en fonction du rapport G/S

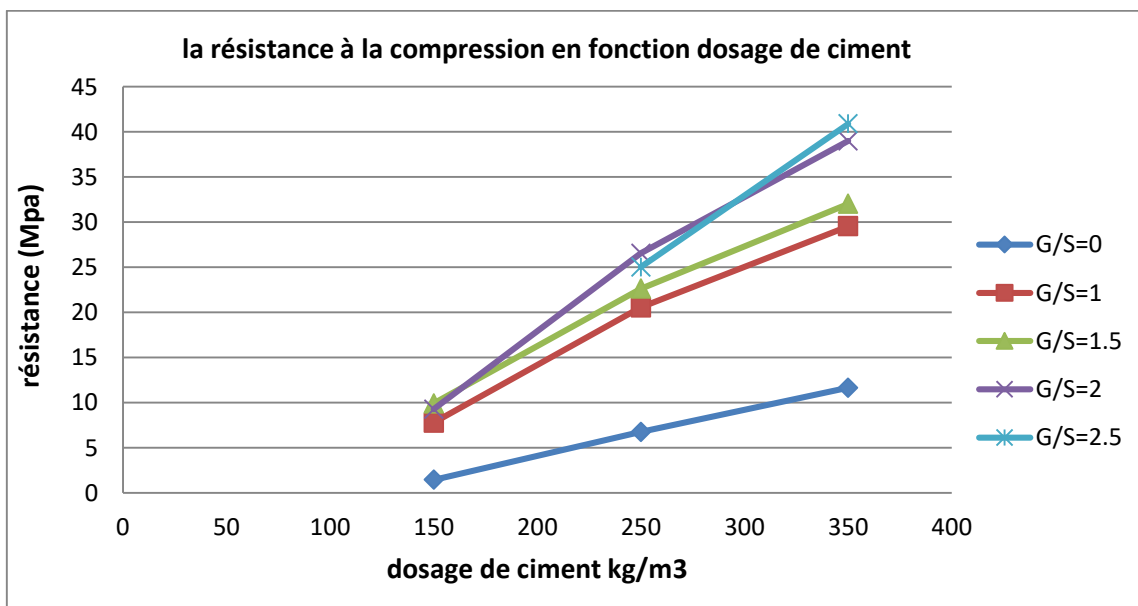


Figure IV. 2 la résistance à la compression en fonction dosage de ciment(G/S=2)

CHAPITRE IV

Les courbes des figures précédentes, présentent la résistance en compression en fonction du rapport G/S et du dosage en ciment. D'après ces courbes, on peut conclure que :

- Le meilleur résultat de résistance à la compression se trouve dans la dose de ciment 350kg/m³, correspondant à un rapport de G/S=2,5.

IV.2.2.3 La porosité accessible à l'eau :

Les essais de porosité accessible à l'eau sont réalisés selon la norme (NF EN 18-459). L'objectif de cet essai est la mesure du le pourcentage de vide connecté à la surface du béton. Le principe de l'essai est basé sur une série de pesées à l'air et hydrostatique des échantillons. On obtient alors :

- Pesée hydrostatique (M 3)
- Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau (M 2)
- Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche (M 1).

Le séchage des éprouvettes est réalisé dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à obtenir une masse constante (la masse ne varie pas de plus de 0,05 % entre deux pesées espacées de 24h). La porosité accessible à l'eau est calculée par la relation suivante :

$$Peau = \{(M 2 - M 1) / (M 2 - M 3)\} \times 100$$

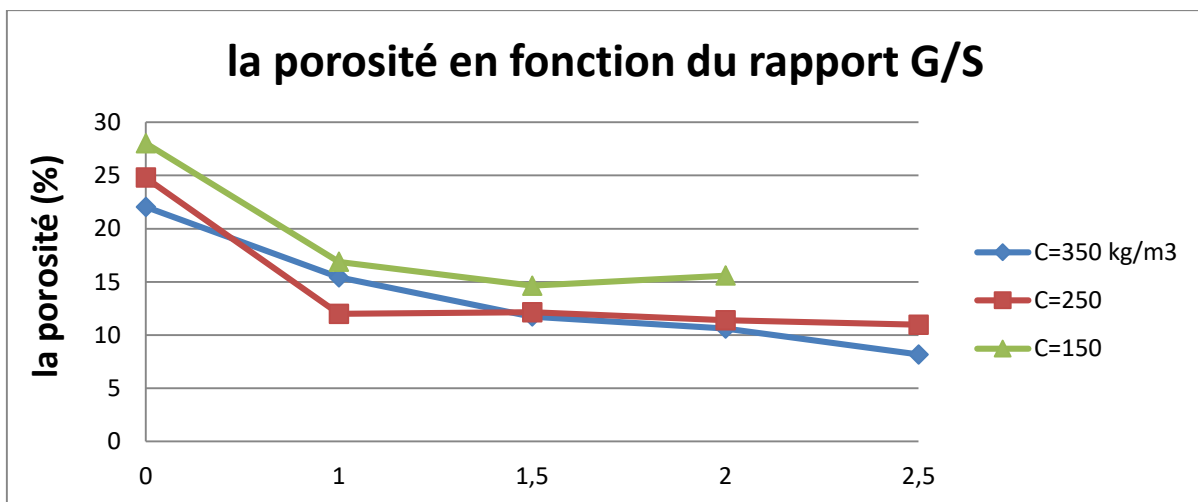


Figure IV. 3 la porosité en fonction du rapport G/S

Sur la figure ci-dessus, on remarque :

- Une réduction de la porosité accessible à l'eau en fonction du rapport G/S
- Le dosage en ciment affecte la porosité du béton. Les échantillons confectionnés avec un haut dosage en ciment., présentent des porosités faibles.

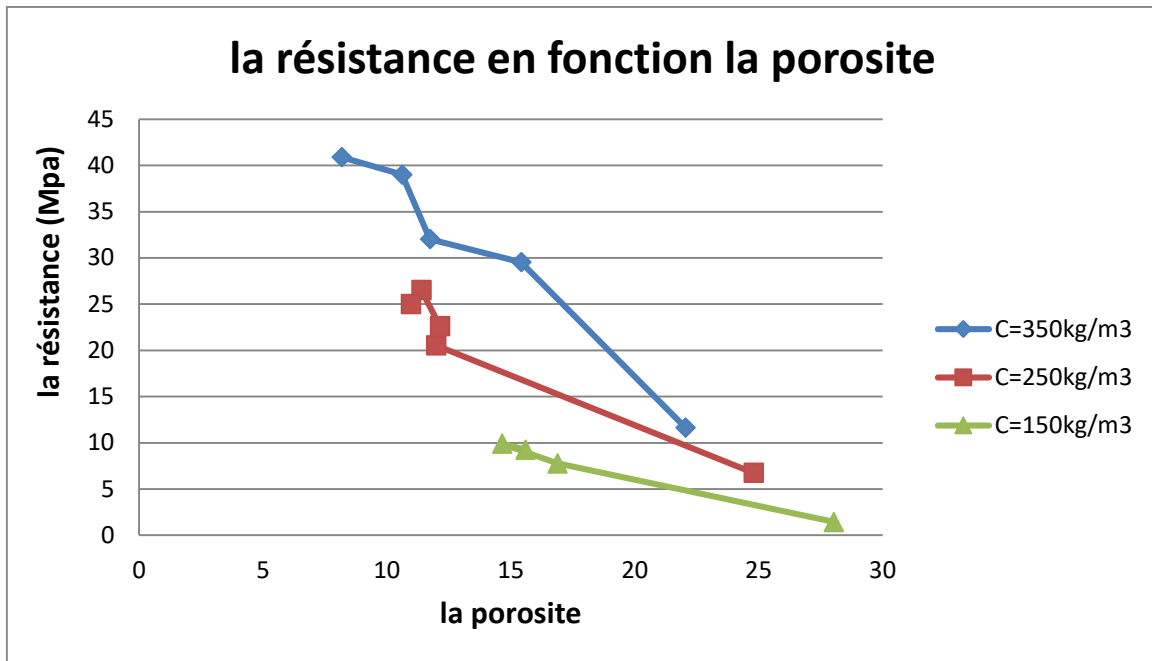


Figure IV. 4 la résistance en fonction la porosite

Sur la figure La figure V ci-dessus, on Remarque que la résistance à la compression diminue si la porosité du béton : La résistance à la compression est fondamentalement dépend du volume des vides qu'il comporte le béton lorsque la porosité augmente, la résistance à la compression diminue.

IV.2.2.4 Absorption d'eau :

Le coefficient absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par immersion dans l'eau par rapport sa masse sèche.

Le coefficient d'absorption (A_b) par la relation suivante :

$$A_b \% = (M_2 - M_1 / M_1) \times 100$$

- Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau (M_2)
- Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche (M_1).

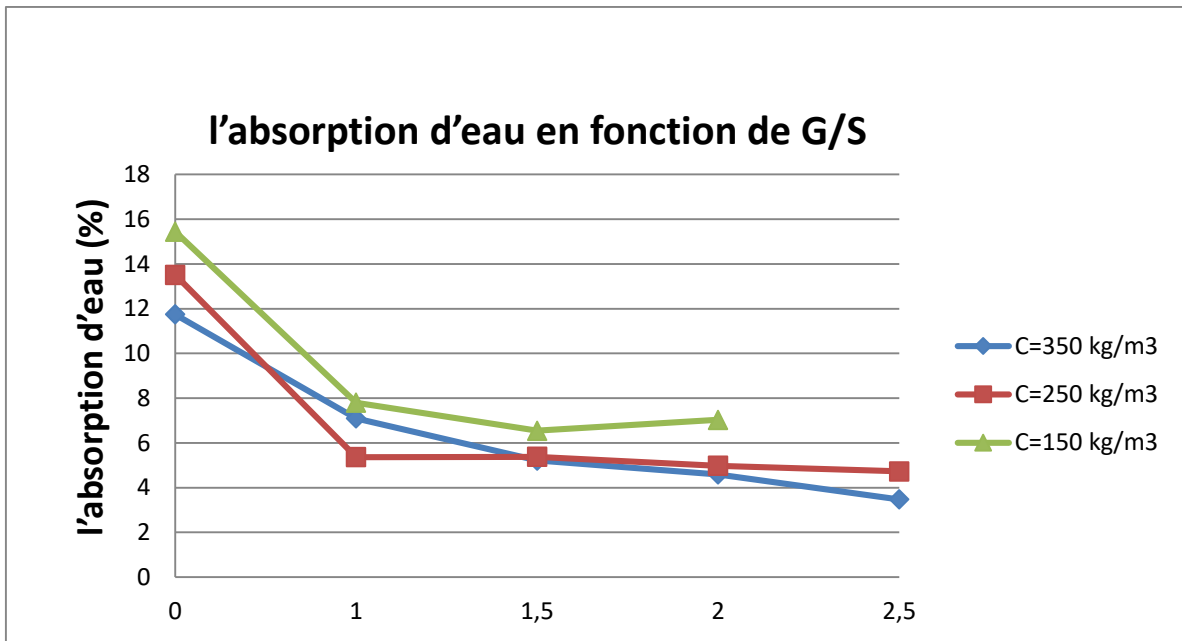


Figure IV. 5 l'absorption d'eau en fonction de G/S

D'après la figure ci-dessus, On remarque :

- Une réduction de l'absorption du béton en fonction du rapport G/S.
- L'augmentation du dosage en ciment conduit à une réduction du coefficient d'absorption.

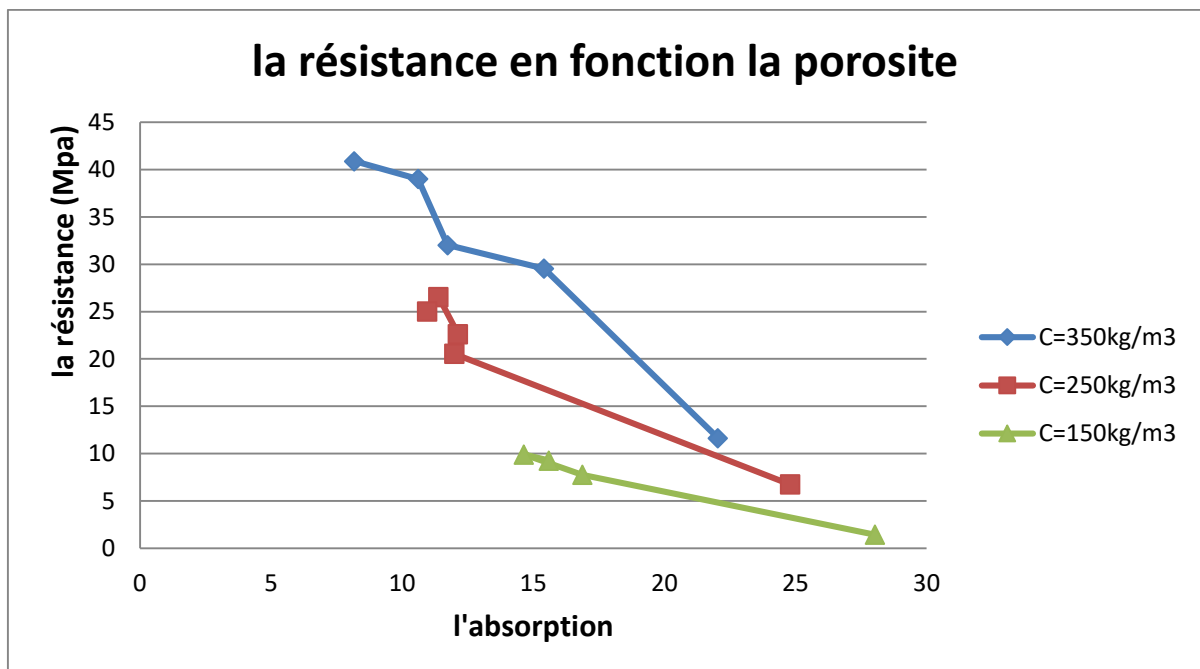


Figure IV. 6 la résistance en fonction de l'absorption

Il existe une relation inverse entre la résistance du béton à la compression et l'absorption. Plus le béton est absorbant, plus la résistance est faible.

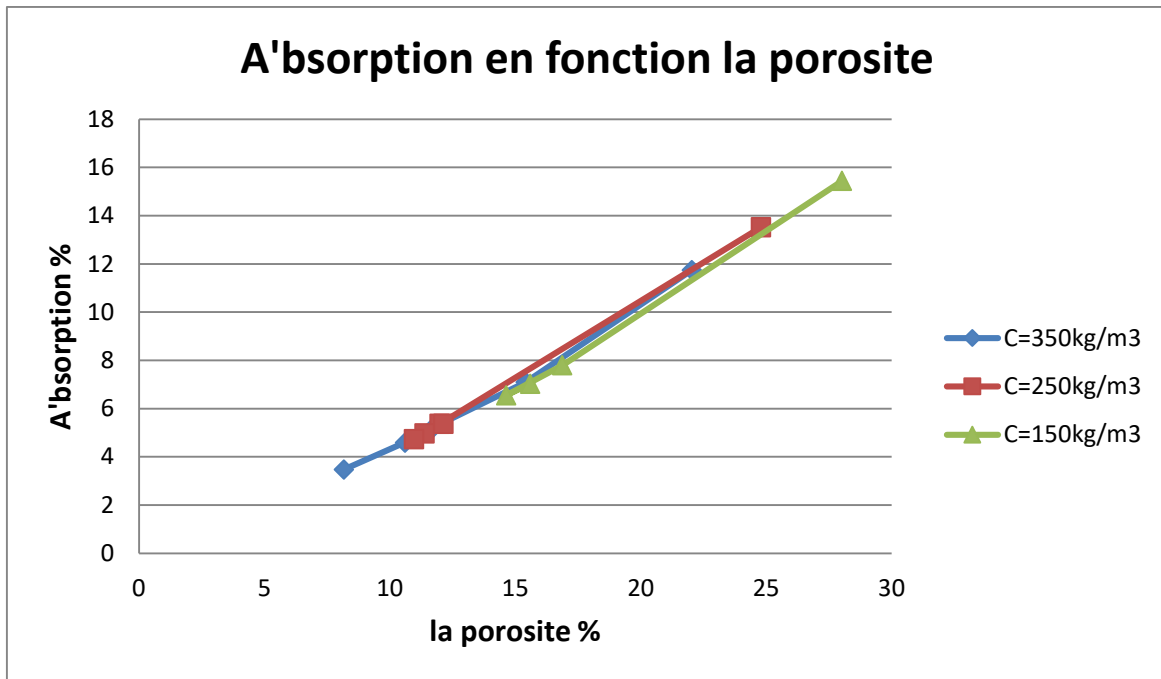


Figure IV. 7 A'bsorption en fonction la porosite

Cette figure représenté la relation entre l'absorption et la porosité, l'absorption augmente en fonction de la porosité : l'absorption dépend de la dimension, de la forme des pores influence la présence et la continuité des pores capillaires dans le béton (porosité)

IV.2.2.5 essais ultrasoniques :

Pour déterminer la vitesse ultrasonique, nous avons fait l'expérience éprouvettes cubique 15×15×15 cm.

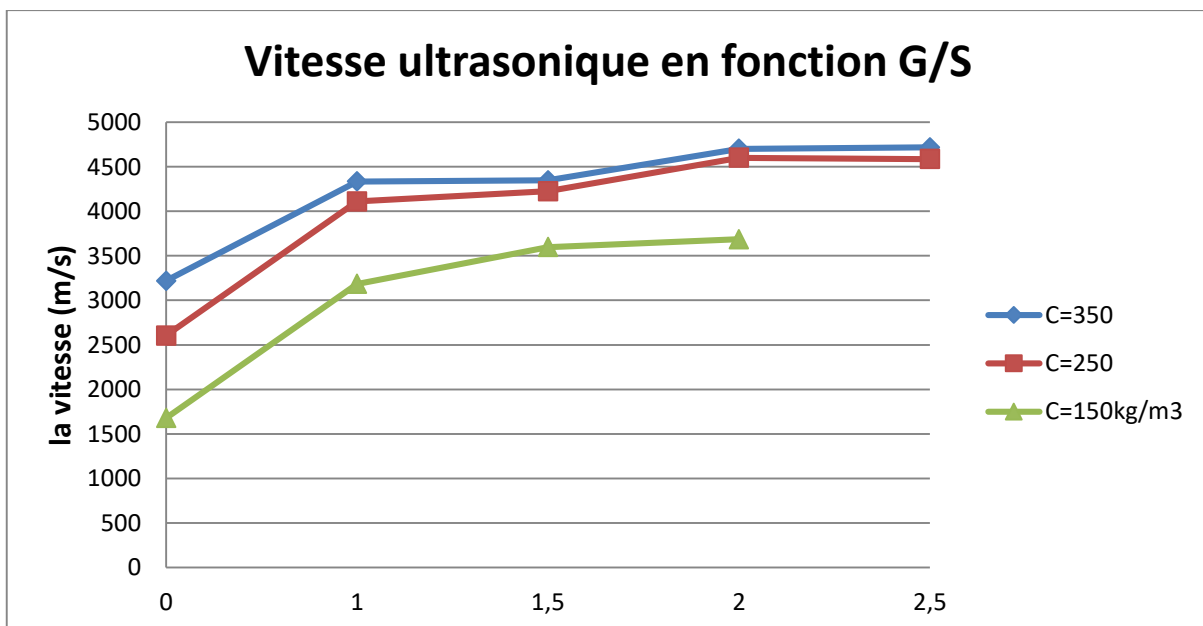


Figure IV. 8 Vitesse ultrasonique en fonction G/S

CHAPITRE IV

Les courbes de la figure présentent les vitesses ultrasoniques en fonction G/S. En général, la vitesse ultrasonore du béton premium est supérieure ou égale à 4200 m/s.

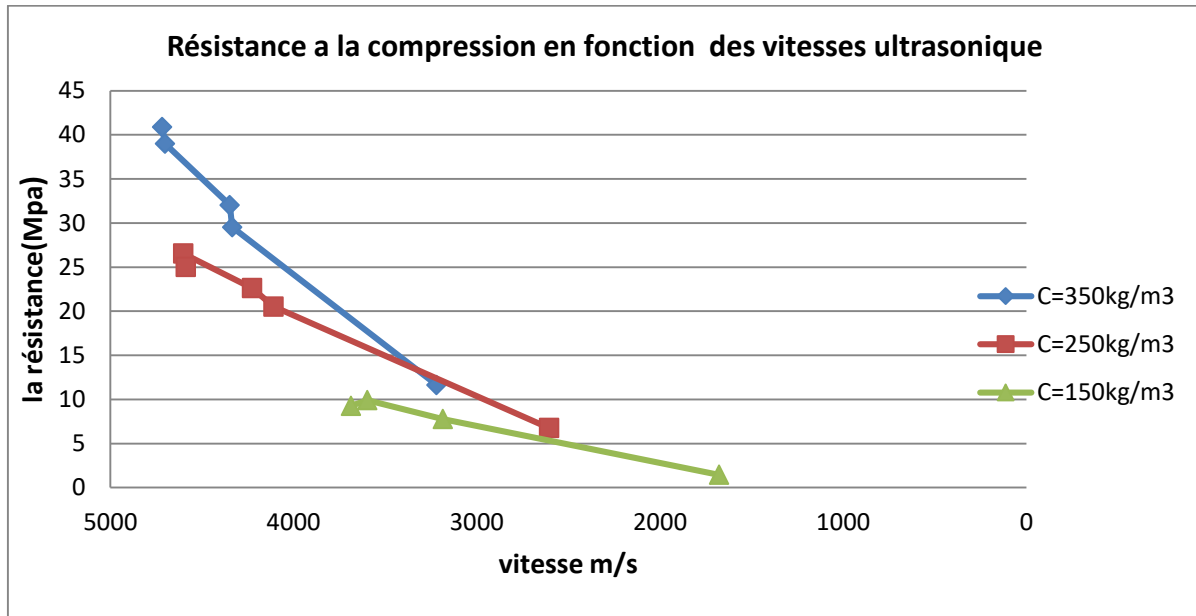


Figure IV. 9 Résistance à la compression en fonction des vitesses ultrasonique

D'après la figure, on peut dire qu'il existe une bonne corrélation entre les résistances à la compression par écrasement et les vitesses ultrasoniques correspondantes pour l'ensemble des différents bétons examinés.

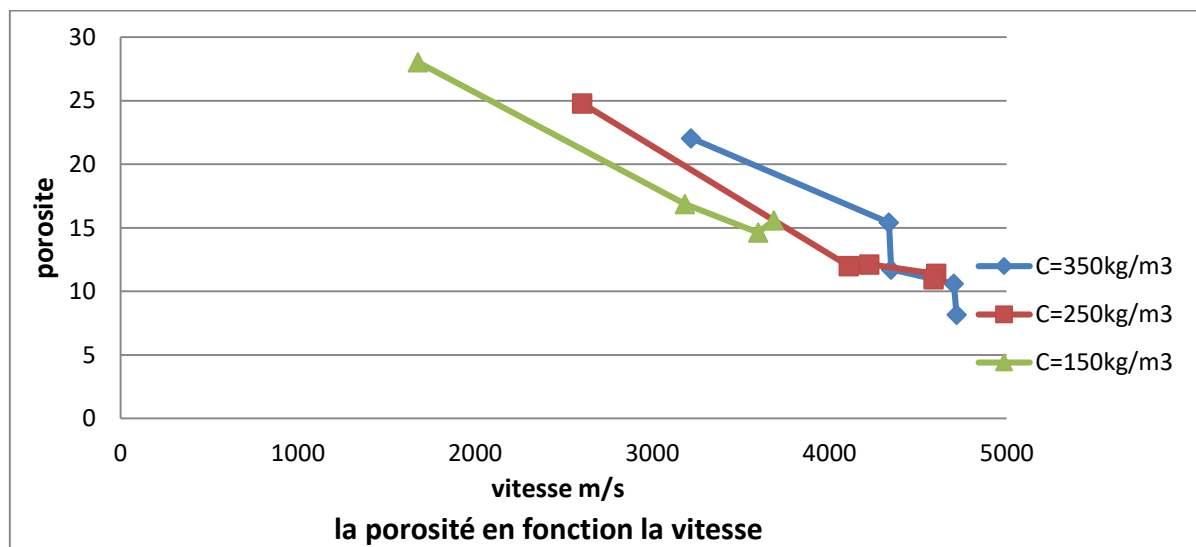


Figure IV. 10 la porosité en fonction la vitesse

La figure montre une corrélation entre les vitesses ultrasoniques et la porosité accessible à l'eau. On note que pour tous les bétons, il y avait une relation inverse entre les vitesses et la porosité accessible à l'eau P (eau) : une réduction de porosité conduit à une augmentation de la vitesse ultrasonique.

IV.3. Conclusion

D'après les résultats des différents essais réalisés, on peut conclure que :

- Le mélange qui a la plus petite valeur de G/S et une petite quantité de ciment donne une masse volumétrique faible.
- Le meilleur résultat de résistance à la compression se trouve dans la dose de ciment 350kg/m³, correspondant à un rapport de G/S=2,5.
- Une réduction de la porosité accessible à l'eau en fonction du rapport G/S
- Le dosage en ciment affecte la porosité du béton. Les éprouvettes confectionnés avec un haut dosage en ciment., présentent des porosités faibles.
- La résistance à la compression diminue si la porosité du béton : La résistance à la compression est fondamentalement dépend du volume des vides qu'il comporte le béton lorsque la porosité augmente, la résistance à la compression diminue.
- Une réduction de l'absorption du béton en fonction du rapport G/S.
- L'augmentation du dosage en ciment conduit à une réduction du coefficient d'absorption.
- L'absorption augmente en fonction de la porosité : l'absorption dépend de la dimension, de la forme des pores influent la présence et la continuité des pores capillaires dans le béton (porosité)
- Pour tous les bétons confectionnés, il y avait une relation inverse entre les vitesses et la porosité accessible à l'eau P (eau) : une réduction de porosité conduit à une augmentation de la vitesse ultrasonique.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de l'étude est d'essayer de trouver l'effet du rapport G/S sur certaines propriétés du béton. Dans ce travail, nous avons étudié l'effet du rapport G/S sur la résistance à la compression, l'absorption et la porosité du béton.

Les meilleurs résultats ont été obtenus après une période de 28 jours sur du béton formulé avec une dose de 350kg/m³ de ciment et un rapport de G/S = 2,5. Avec une résistance de 40,89 MPa et une porosité minimale estimée à 8,17%.

Les résultats obtenus à la fin de nos essais nous permettent de bien constater l'influence de chaque paramètre utilisé dans la composition des différentes séries du béton.

-Le rapport G/S joue un rôle important pour la formulation des bétons

-la granularité du sable définie par son module de finesse est aussi un facteur très important.

-La dose de ciment affecte les propriétés du béton en l'augmentant. Il est plus résistant lorsqu'il est moins poreux

-les bons résultats sont obtenus lorsqu'on augmente le rapport G/S.

-Il existe une relation directe entre la porosité et l'absorption d'eau d'un béton. Les pores provoquent une augmentation de pénétration d'eau. En conséquence, la durabilité du béton dépend largement de la facilité avec laquelle les fluides qui peuvent pénétrer et se déplacer à l'intérieur du béton.

- les résultats des études réalisées dans ce contexte laissent présager l'importance et l'efficacité de l'utilisation des ultrasons pour caractériser les propriétés et les dommages du béton. On peut estimer avec une précision acceptable la résistance et la porosité partir de la vitesse ultrasonique pour les bétons ordinaires

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] -**Blizak, A.**(2016). Influence de sable mixte sur les propriétés du micro béton au ciment blanc. (master dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M'sila)
- [2] **Sidi Mohammed El Amine BOUKLI HACENE.**la contribution a l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen. Thèse de doctorat
- [3] Granulats- Définitions, conformité, spécifications ,indice de classement P 18-540.
- [4] fiches techniques : CIMbéton, construire avec les produits préfabriqués en béton : école française du béton, CERIB, Fédération de l'industrie du béton.
- [5] **Andreasen A.H.M., Andersen J.**Uber die beziehung zwischen kornabstufung und zwischenraum in produkten aus losen kornern, Kolloid Z. 50, 1930, p.217-228 .
- [6] **Dinger D.R., Funk J.E.:Particle Packing – II** .Review of packing of polydisperse particle systems, Interceram, 41, 1992, p.95-97
- [7] **John Wiley and Sons,** Powers T.-C 1968. The properties of fresh concret, New York
- [8] **Baron J, Lesage R.** Décembre 1976. La composition du béton hydraulique, du laboratoire
- [9] **J .BARON, et J.P.OLIVIER:**« Les bétons bases et données pour leur formulation». Édition Eyrolles.1999
- [10]] **LAABOUS.** Les ciments. Les Bâtiments et Travaux Publics -BTP-. 18 May 2014
- [11] **Pliskin, L.** (1992). Le béton. Culture technique.
- [12]] **G.CHANVILLARD** :« le matériau béton: connaissance générales». Édition Aléas 1999
- [13] **RAHMOUNI.Z.** Cours des Bétons Innovants II.(master 2, Université Mohamed Boudiaf-M'sila)
- [14] **Daoud, A., Lorrain, M., & Elgonnoui, M.** (2002). Résistance à l'arrachement d'armatures ancrées dans du béton autoplaçant. Materials and structures, 35(7), 395-401.
- [15] **Cherkaoui, K.** (2010). Caractérisation de la microstructure et comportement à court et long terme d'un Béton de Poudre Réactive extrudable (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat. Evry-Val d'Essonne).
- [16] BaCaRa Projet Français, 1996.Le béton compacté au rouleau, Presses de l'Ecole-, Nationale des Ponts et Chaussées, Ed.Eyrolles France.

-
- [17] **CHADLI, M.** (2019). Etude des performances des bétons de poudres réactives fibrés (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider–Biskra).
- [18] **Benoussa, M. A.** Etude de composition de béton à haute performance (Doctoral dissertation).
- [19] **Pliskin, L.** (1992). Le béton. Culture technique.
- [20] **Zingg, L.** (2013). Influence de la porosité et du degré d'humidité interne sur le comportement triaxial du béton (Doctoral dissertation, Grenoble).
- [21] **AMRIOU.A.**(2018). EVALUATION DE LA DURABILITE DU BETON PAR ESSAIS DE PERMEABILITE A L'EAU SOUS CONDITIONS CLIMATIQUES ET CHIMIQUES PREJUDICIALES(Thèse de doctorat. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF- M'SILA)
- [22] **Ir C. Ployaert.**(2009) DURABILITÉ DES BÉTONS PAR LA MAÎTRISE DE L'ABSORPTION D'EAU(Fédération de l'Industrie Cimentière Belge Boulevard du Souverain 68 - 1170 Bruxelles)
- [23]**FESTA. J et DREUX. G:** "Nouveau guide du béton et de ses constituants", Huitième édition, Eyrolles 1998.p162
- [24] **DIALLO.R.**(2020) Contribution à l'auscultation et la caractérisation non destructive du béton (Mémoire de Master)
- [25]: **Malanda, N., Louzolo-Kimbembe, P., Ahouet, L., Makela, J. B., & Mouengue, G. R.** (2019). Concrete Formulation Study for Informal and Semi-Informal Construction Sectors. *Open Journal of Civil Engineering*, 9(01), 57.
- [26] « **R.DUPAIN;J.C.saint-arroman**»GRANULATS.SOLS.CIMENTS ET BÉTONS
- [27]: **FESTA. J et DREUX. G:** "Nouveau guide du béton et de ses constituants", Huitième édition, Eyrolles 1998.
- [28]: **Safi B.** « les méthodes composition de béton », SL, pp1-5. 2011.
- [29] : **Adam M., Neville,** Propriété des bétons Edition eyrolles, septembre 2000
- [30]:« **J.Festa; G.Dreux** »Eyrols, Nouveau guide du béton et sesconstituants, huitièmeédition, troisièmetirage 2007