



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département de Sciences et Technologies

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Génie civil*

Spécialité : *Master en Structure*

Par : HACHANI MAROUA

Thème

**Influence de module de finesse de sable sur certaines caractéristiques de béton.
(Cas sable de dune)**

Soutenu publiquement le 17/09/2020

Devant le jury :

DAHEUR EL-HADJ GUESMIA	MAA	Université de Ghardaïa	Président
SALHI IMAD	MAA	Université de Ghardaïa	Examineur
SAITI ISSAM	MAA	Université de Ghardaïa	Examineur
AMIEUR ABDENACER	Magistère	DT(LTPS)	Encadreur

Année universitaire 2019/2020

الملخص:

هذا العمل لدراسة تأثير معامل النعومة على بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة واعتمدت المنهجية التجريبية على تحديد خصائص ثلاثة أنواع من الخرسانة. تم مزجها بواسطة رمال ذات معامل نعومة مختلفة. (رمل الكثبان وهو رمل رقيق معامل نعومته +1.16 ورمل مثالي معامل نعومته +2.02 ورمل خشن معامل نعومته +3.06) وتحليل النتائج التي تم الحصول عليها.

تسمح هذه الدراسة من جهة بتعريف خصائص الخرسانة التي ستتأثر بنعومة الرمل ومن جهة أخرى للتحقق من إمكانية استخدام رمال ذات معامل نعومة منخفض ولا سيما رمال الكثبان المتوفرة في منطقتنا بكثرة.

أظهرت النتائج الدراسة انه ليس من العدل دائما الغاء استعمال الرمل بسبب معامل نعومته ومن الممكن استخدام رمال دقيقة جدا لتكوين خرسانة عالية الجودة فلذا من الضروري فقط التأكد من خلال دراسات في المختبر.

الكلمات الافتتاحية:

الخرسانة الهيدروليكية، معامل النعومة، الرمل،

Résumé :

Le présent travail rentre dans le cadre de l'étude de l'impact du module de finesse sur certaines caractéristiques physiques et mécaniques du béton, la méthodologie adoptée est basée sur une approche expérimentale qui consiste à déterminer les caractéristiques de trois types de béton formulés par des sables à différents module de finesse (Sable de dune MF +1.16, Sable d'oued MF + 2.80 et sable trop Grossier MF +3.06) et d'analyser les résultats obtenus.

Cette étude permet d'un côté de définir les caractéristiques du béton qui seront influencé par la finesse de sable et d'un autre côté de vérifier la possibilité d'utiliser les sables à faibles module de finesse notamment les sables de dune très disponibles dans notre région.

Les résultats de l'étude ont montré qu'il n'a pas toujours juste de pénaliser le sable à cause de son module de finesse, et il est possible d'utiliser les sables trop fins pour formuler des bétons de qualité, il faut seulement passer par des études de formulation au laboratoire.

Mots clés : module de finesse, la résistance à compression, sable.

abstract:

It is in this context that we began this work to study the impact the fineness modulus on certain physical and mechanical characteristics of concrete, the methodology adopted is based on an experimental approach which consists in determining the characteristics of three types of concrete formulated by sands with different modulus of fineness (Dune sand MF +1.16, oued sand MF + 2.80 and too coarse sand MF + 3.06) and analyze the results obtained.

This study makes it possible on the one hand to define the characteristics of the concrete which will be influenced by the fineness of the sand and on the other hand to verify the possibility of using sands with low fineness modulus, in particular dune sands which are very available in our region.

The results of the study showed that it is not always right to penalize sand because of its fineness modulus, and it is possible to use sands that are too fine to formulate quality concretes, it is only necessary go through formulation studies in the laboratory.

Keywords: fineness modulus, compressive strength, sand .



Je tiens à remercier en premier lieu DIEU Miséricordieux qui m'a donné la force et la volonté d'achever ce modeste travail.

Je tiens à remercier mon encadreur Monsieur AMIVER ABD-NACEUR, qui m'a guidé pendant la réalisation de ce modeste travail.

Je tiens aussi à le remercier de m'a suivi, aidé, dirigé et aiguille tous au long de mon projet.

Je tiens à remercier Monsieur : DAHEURHADJ GUESMIA le président de jury

et Monsieur l'examineurs qui m'ont fait l'honneur d'examiner ma mémoire.

Cette thèse est le fruit d'un long travail qui n'aurait pu arriver à terme sans l'aide de nombreuses personnes. Nous tenons à ce que chacune d'elles sache que je la remercie sincèrement.

Il m'est particulièrement agréable d'exprimer mes remerciements au responsable du service béton, les ingénieurs et les techniciens AMER, LAOUAR et CHEIKH

Ma profonde gratitude pour leurs conseils et leurs aides permanents durant le déroulement de ce travail

Je remercie tous les responsables du laboratoire LTPSud Ghardaïa.

Un spécial remerciement à tous les enseignants du département de génie civil qui ont contribué à notre formation



Dédicace :

Je tiens c'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail :

À l'être le plus cher de ma vie, ma mère.

À l'homme qui m'a appris comment la patience est le chemin de
notre succès, mon père.

À mes chers frères et sœurs

à tous mes amis de promotion de 2^{-ème} année master en génie civil



Sommaire

Résumé	I
Abstract	III
Introduction générale	1

Partie théorique

CHAPITRE I : Etude bibliographique

1. Introduction	3
2. Historique de béton	3
3. Les composantes de béton	4
3.1 Ciment	5
3.1.1 Définition	5
3.1.2 Classification des ciments	6
A. Classification selon la composition	6
B. Classification selon la résistance	8
3.2 Granulat	8
3.2.1 Définition	8
3.2.2 Différents types de granulats	9
A. Granulats Naturels	9
B. Granulats Artificiels	9
C. Granulats Recyclés	9
3.2.3. Les classes granulaire	10
3.2.4. Caractéristiques de gravier	10
A. Propreté	10
B. texture et forme de granulat	11
C. Granularités	12
D. Porosité	12
E. coefficient d'absorption	13
3.3. Sables	13
3.3.1 Définition	13
3.3.2. Origine des sables	14
3.3.3 Différents types de sable	14
A. Sable naturel	14
B. Sable artificiel	15
3.4. L'eau de gâchage	15
3.5. Adjuvant	16
3.5.1. Définition	16
3.5.2 Classification des adjuvants	16
A. Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton	16
B. Adjuvants modifiant la prise et le durcissement	17
C. Adjuvants modifiant certaines propriétés du béton	17
4. utilisation de béton	18
5. Méthodes de formulation de béton	18
5.1. Méthode de Bolomey	19
5.2. Méthode de Faury	19
5.3. Méthode de Valette	21
5.4. Méthode de Dreux-Gorisse	22

5.4.1. Principe.....	22
5.4.2. Etapes	22
6. caractéristiques du béton	29
6.1. À l'état frais	29
6.1.1. Ouvrabilité.....	29
6.1.2. Compacité et porosité.....	30
6.1.3. Perméabilité	30
6.1.4. Masse volumique	30
6.2. À l'état durci	30
6.2.1. Retrait	30
6.2.2. Résistance mécanique	31
A. résistance à compression	31
B. résistance à flexion	32
C. résistance à traction	32
6.2.3 durabilité	32
7. caractérisations de béton.....	33
7.1. À l'état frais	33
7.1.1. Mesure de la teneur en air occlus.....	33
7.1.2. Masse volumique	33
7.1.3. Essai d'affaissement au cône d'Abrams	34
7.2. À l'état durci	35
7.2.1. Essais non destructifs par Auscultation sonique (Ultra Son).....	35
7.2.2. Essais non destructifs par Scléromètre	36
7.2.3. Résistance à la compression	37
7.2.4. Traction par fendage.....	37
7.2.5. Traction par flexion	38

CHAPITRE II : Les paramètres ayant une influence sur les caractéristiques de béton

1. Introduction	40
2. les paramètres liés à un composant	40
2.1. Influence de ciment	40
2.1.1 Influence de dosage de ciment.....	40
2.1.2. Influence de type de ciment	41
2.2. Influence de gravier	42
2.2.1. Influence de la taille maximale	42
2.3. Influence de sable	43
2.3.1. Influence de granulométrie.....	43
2.3.2. Influence de module de finesse	45
2.3.3. Influence de l'équivalent de sable	45
2.4. Influence d'eau	46
2.4.1. Rôle de l'eau	46
2.4.2. La composition chimique d'eau	47
2.4.3. Les effets d'eau	47
2.5. Adjuvants.....	49
3. les paramètres combinés entre deux ou plusieurs composants	50
3.1. Le rapport E/C.....	50
3.2. Le rapport granulat / ciment	53
3.3. Le rapport gravier / sable.....	53

4. Les paramètres de mise en œuvre et de protection	55
4.1. Les conditions climatiques	55
4.2. Temps de malaxage et la vitesse.....	56
4.3. La vibration	57
4.4. Transport du béton	59

Partie expérimentale

1. Introduction	62
2. Protocole d'essai	63

CHAPITRE III : Présentation et caractérisation des matériaux utilisés

1 Introduction.....	62
2.Sables.....	62
2.1. Granulométrie.....	62
2.2. Module de finesse.....	65
2.3. Equivalant de sable.....	65
2.4. Les Masse volumique.	66
2.4.1. Masse volumique Absolue.....	66
2.4.2 . Masse volumique Apparente.....	67
2.5. Le coefficient d'absorption (capacité d'absorption d'eau du sable).....	68
2.6 Essai Bleu Méthylène.....	69
2.7. Analyses chimiques du sable	69
3. Gravier.....	70
3.1. Granulométrie	70
3.2. Aplatissement.....	72
3.3. Masses volumiques absolue.....	73
3.4. Absorption d'eau.....	73
3.5. Propreté superficielle.....	74
3.6. Essai LOS ANGELES.....	75
3.7. Essai Micro DEVAL.....	75
3.8. Les analyses chimiques du gravier	76
4.Ciment	77
4.1. Caractéristiques chimique de ciment	77
4.2. Caractéristiques minéralogiques de ciment	77
4.3. Caractéristiques physiques de ciment.....	77
5. L'eau de gâchage.....	78
6. conclusion	79
A. Pour le sable.....	79
B. Pour le gravier.....	80

CHAPITRE IV : Etude de formulation et préparation de béton au laboratoire

1.Introduction	81
2.Présentation de la méthode de formulation	81
2.1. Critères de résistance	81
2.2. Courbe de référence	83
2.3. Détermination des pourcentages	84
2.3.1. Sable de dune.....	84
2.3.2. Sable d'oued m'zi	85
2.3.3. Sable Tamanrasset.....	85

2.4. Détermination les pourcentages en volume absolue de matériau.....	85
2.5. Détermination les quantités	86
2.6. Application de la méthode de formulation	87
3. préparation de béton au laboratoire	88

CHAPITRE V : les essais sur le béton et interprétation des résultats

1.Introduction	91
2.essais sur béton frais.....	91
2.1. Affaissement.....	91
2.2.air occlus.....	93
2.3. Masse volumique.....	94
3.essais sur béton durci.....	95
3.1. Résistance à la compression	95
3.2. Résistance à la traction	98
3.3. Ultra -son.....	99
3.4. Scléromètre.....	101
3.5. Perméabilité	103
4. les relations	105
4.1. La relation RC par presse et par scléromètre.....	105
4.2. La relation entre le teneur en air et perméabilité	106
Conclusion générale	108
Références bibliographiques.....	110

Liste des tableaux	
Chapitre I	
Tableau I.1 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un Béton ordinaire	4
Tableau I.2 : les types de ciment et leurs compositions	7
Tableau I.3 : les types de ciment et leurs résistances à la compression	8
Tableau I.4 : les classes granulaires	10
Tableau I.5 : valeur de A	20
Tableau I.6 : Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser.	23
Tableau I.7 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats Dmax	24
Tableau I.8 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de Dmax	25
Tableau I.9 : K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment	26
Tableau I.10 : Compacité du béton en fonction de Dmax, de la consistance et du serrage	28
Tableau I.11 : classe de consistance (Slump test) [50].	34
Tableau I.12 : Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de	36
Chapitre II	
Tableau II-1: Présente une récapitulation des qualités principales des bétons en fonction de leurs G/S.	54
Chapitre III	
Tableau III .1 : Résultat d'essai analyse granulométrique	63
Tableau III .2 : Classement de sable selon leur module de finesse	65
Tableau III .3 : Résultat d'essai module de finesse	65
Tableau III .4 :Résultat d'essai ES	66

Tableau III .5 : Résultat d'essai masse volumique	68
Tableau III .6 : Résultat d'essai coefficient d'absorption	69
Tableaux III .7 : Résultats de Bleu méthylène	69
Tableaux III .8 : Résultats d'analyse chimiques	70
Tableau III .9 : Résultat d'essai analyse granulométrique	71
Tableau III .10 : Résultat d'essai coefficient d'aplatissement	73
Tableau III .11 : Résultat d'essai masse volumique	73
Tableaux III .12 : Résultats d'absorption des graviers	74
Tableaux III .13 : Résultats Propreté superficielle des graviers	74
Tableau III .14 : Résultat d'essai LA	75
Tableaux III .15 : Résultats du Micro Deval	76
Tableaux III .16 : Résultats des analyses chimiques du gravier.	76
Tableau III .17: Composition chimique du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.	77
Tableau III .18 : Composition minéralogique de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R	77
Tableau III .19 :résumées les caractéristiques physiques du ciment utilisé	78
Tableau III .20 : composition chimique de l'eau	79
Chapitre IV	
Tableau IV.1 : valeurs approximatives du coefficient granulaire G.	82
Tableau IV.2 : les valeurs d'abscisse et ordonne de point A	84

Tableau IV.3 : les pourcentages de gravier et de sable obtenues à partir de courbe de référence	85
Tableau IV.4 : les quantités en volume pour 1m ³	86
Tableau IV.5 Masse volumique absolue de granulats	86
Tableau IV.6 : les quantités en kg pour 1m ³	87
Tableau IV.7 :les quantités de granulats et de sable pour les trois compositions	87
Tableau IV.8 : les quantités de granulats et de sable pour les trois compositions pour 1 sac de ciment	88
Tableau IV.9 : les quantités de granulats et de sable pour les trois compositions pour 12 éprouvettes	89
Chapitre V	
Tableau V .1: résulta d'essai corn d'Abrams Affaissement des trois compositions	92
Tableau V .2: résultat d'essai la teneur en air occlus	93
Tableau V .3 : résultats d'essai masse volumique de béton	94
Tableau V .4: résultat d'essai écrasement par compression	96
Tableau V.5 : résultat d'essai résistance à la traction	98
Tableau V .6 : résultat d'essai ultra –son	99
Tableau V .7: résultat d'essai scléromètre	102
Tableau V .8 : résultat d'essai pénétration	105

Liste des figures	
Chapitre I	
Figure I.1: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un Béton ordinaire	4
Figure I.2 : l'Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée	24
Figure I.3 : courbe de référence	27
Figure I.4 : courbe de RILEM	36
Chapitre II	
Figure II.1 : graphe de résistance à la compression en variation de dosage de ciment	40
Figure II.2 : Influence du classe de résistance de de ciment sur la résistance à la compression à court terme	41
Figure II.3 : Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme	41
Figure II.4 : Influence de la dimension maximale du granulats sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosages en ciment	43
Figure II.5 : Résistance du béton en fonction de l'équivalent de sable	46
Figure II.6 : les effets de l'ajout de l'eau dans le béton	48
Figure II.7 : béton poreux	49
Figure II.8 : influence de l'ajout d'un plastifiant sur la résistance au jeune âge	49
Figure II.9 : Graphe de résistance en variation le rapport E/C avec variation de dosage	50
Figure II.10 : Relation entre la résistance de compression à 7 jours et le rapport E/C	51
Figure II.11 : Relation entre la résistance calculée d'une pate pure de ciment et le rapport C/E [74].	52
Figure II.12 : La Relation entre C/E et la résistance à la compression (f_c) d'après la formule de Bolomey .	52
Figure II.13 : Influence du rapport G/C sur la résistance du béton.	53

Figure II.14 : Variation de la résistance à la compression selon le rapport G/S avec Différentes plasticité	55
Figure II.15: Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances	56
Figure II.16 : Relation entre la résistance à compression et le temps de malaxage	57
Figure II.17 : variation la résistance en compression en teneur en air	58
Chapitre III	
Figure III.1 : fuseaux normalisés de sable dune	63
Figure III.2 : fuseaux normalisés de sable oued m'zi	64
Figure III.3 : fuseaux normalisés de sable Tamanrasset	64
Figure III.4: fuseaux normalisés des graviers	71
Chapitre IV	
Figure IV.1 : courbe granulométrique des granulats	84
Chapitre V	
Figure V.1: Quantités d'eau pour avoir un Affaissement entre 5 et 9 cm	92
Figure V.2 : la variation de la teneur en air occlus en fonction de module de finesse	94
Figure V.3 : Evolution de la Masse volumique des bétons à l'état frais	95
Figure V.4: Evolution de la résistance à la compression en fonction de temps pour les 3 compositions	96
Figure V.5 : Evolution de la résistance à compression pour les 03 compositions	97
Figure V.6 : Evolution de la résistance mécanique à la traction pour les 03 compositions	98
Figure V.7 : Evolution de la vitesse de propagation pour les 3 formulations dans 7 jours	100
Figure V.8 : Evolution de la vitesse de propagation pour les 3 formulations dans 28 jours	100
Figure V.9 : Les positions d'utilisation scléromètre	101

Figure V.10: Evolution de la résistance à chocs par scléromètre en fonction de temps (Pour les 3 compositions)	102
Figure V.11: Evolution de pénétration en fonction de module de finesse	105
Figure V.12: la comparaison entre RC par scléromètre et RC par la presse	106
Figure V.13 : Relation entre la teneur en air et pénétration	106

Liste des photos	
Chapitre I	
Photo I.1: Essai teneur en air	33
Photo I.2: Essai masse volumique	34
Photo I.3: Essai d'affaissement	35
Photo I.4: Essai ultra son	36
Photo I.5: Essai scléromètre	37
Photo I.6: Machine d'essai l'écrasement à compression (la presse)	37
Photo I.7: Machine d'essai de Traction par fendage.	38
Photo I.8: Machine d'essai de Traction par flexion	39
Chapitre III	
Photo III.1: les tamis utilisés pour l'essai analyse granulométrique	62
Photo III.2 : Essai de l'ES	66
Photo III.3 : Essai de la masse volumique absolue	67
Photo III.4: Essai de la masse volumique apparente	67
Photo III.5 : Essai de capacité d'absorption d'eau	68
Photo III.6: Essai de bleu méthylène	69
Photo III.7 : la grille en fonte pour l'essai d'aplatissement	72
Photo III.8 : Essai de capacité d'absorption d'eau	73
Photo III.9 : Essai de propriété superficielle	74
Photo III.10 : Essai de LOS ANGLES	75
Photo III.11 : Essai de MDE	76
Photo III.12 : Essai de consistance de ciment	78
Chapitre IV	
Photo IV.1 : le bétonnier	89

Photo IV.2 : la table vibrante	90
Photo IV.3 : conservation des éprouvettes dans la chambre humide	90
Chapitre V	
Photo V.1 : étapes d'essai affaissement	91
Photo V.2 : l'essai la teneur en air occlus	93
Photo V.3 : Détermination la masse volumique à l'état frais	94
Photo V.4 : Essai de pénétration d'eau sous pression pour les 3 éprouvettes	103
Photo V.5 : Résultat d'essai pénétration d'eau sous pression pour l'éprouvette de B2- MF1.16	104
Photo V.6 : Résultat d'essai pénétration d'eau sous pression pour l'éprouvette de B3- MF2.02	104
Photo V.7 : Résultat d'essai pénétration d'eau sous pression pour l'éprouvette de B1- MF3.06	104

Introduction

Générale

Introduction générale :

Le matériau béton est irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques. Le compromis trouvé entre résistance mécanique, économie, esthétique et facilité de mise en œuvre, offre à ce matériau la première place dans la construction au niveau mondial. Au niveau régional et national le béton est le matériau de construction utilisé par excellence au sein de tous les chantiers, aussi bien dans les secteurs du bâtiment que ceux des travaux publics ; il n'a pas de substitut économique et performant qui possède les mêmes qualités. La résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydraté. De plus, la résistance du béton est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et de l'établissement des spécifications de conformité (Neville, 1995) [1]. Si le béton est un matériau purement local, ses propriétés le sont aussi et restent étroitement liées aux conditions locales (constituants, fabrication, mise en œuvre, conditions climatiques, *etc...*). Depuis longtemps en effet, la relation entre la composition du béton et sa résistance à la compression a intéressé les chercheurs.

Plusieurs études sur la connaissance des facteurs affectant les propriétés du béton ont été parmi les facteurs les plus importants que nous mentionnons le sable, qui est l'un des composants principaux de la composition du béton, et en particulier nous étudions l'effet de la finesse du sable.

Dans le but de contribuer à l'étude de la relation entre la résistance et le module de finesse (MF) nous avons choisi pour notre projet de fin d'étude ce thème intitulé : « **influence de module de finesse sur les caractéristiques de béton (cas sable de dune)** » qui est basé sur une étude au laboratoire de l'influence de le MF sur la résistance de béton et de proposer des méthodes pour son amélioration et valorisation.

L'objectif de ce travail, est étude de la possibilité de l'exploitation des sables de module de finesse dépasse la norme spécifiée pour le béton (sable hors de fuseau) car Nous avons également qu'il existe plusieurs types de sable qui ont un module de finesse important que nous ne pouvons pas utiliser dans le domaine de la construction (car ils sont interdit d'utilisation par le CTC) nous avons donc mené une étude afin d'exploiter ce sable , aussi déterminer l'influence de MF sur les caractéristiques de béton .

- La recherche consiste à mélange 03 compositions de bases des sables différentes en leur MF

On utilise sable dune du (MF 1.16) ; oued m'zi (MF 2.02) ; Tamanrasset du (MF 3.06) et comparer les résultats entre eux et finalement extraire la relation entre le module de finesse et la résistance mécanique.

Problématique posée :

Est-il possible d'utilisation des sables grossier et des sables fins (module de finesse hors fourchette recommandée) ?

Hypothèses :

- Plus le module de finesse hors fourchette tolérable plus les performances de béton sont médiocres

Structure de mémoire :

- En plus de l'introduction générale ce mémoire est composé de deux parties.
- Le premier chapitre, est consacré à une étude bibliographique détaillée sur le matériau béton et ces constituants, ainsi que les sables et leurs origines.
- Le deuxième chapitre, est consacré à l'étude des paramètres ayant influant sur propriétés de béton :
- Le troisième chapitre, décrit la caractérisation des matériaux utilisés pour la confection des bétons dans le cadre de ce travail, en présentant leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques.
- Le quatrième chapitre, présente La méthode de formulation, ainsi que les compositions retenues pour les différents bétons étudiés.
- Le cinquième chapitre, présente les résultats obtenus et leurs interprétations, à partir de nombreux essais expérimentaux, à l'état frais et à l'état durci sur les différentes formulations du béton.
- Finalement, on clôture notre travail par une conclusion générale

P

artie

Théorique

CHAPITRE I :

Etude bibliographique

1. Définition :

Le béton est l'un des matériaux de construction le plus utilisé dans le domaine du génie civil. Plus de 5 milliards de tonnes de béton sont produits par an dans le monde entier [2], avec environ 24 millions de tonnes de béton produits au Algérie

On sait que le béton est un matériau obtenu en solidarissant par une pâte liant de ciment, un squelette granulaire composé d'un ou plusieurs sables et d'un ou plusieurs graviers comme le liant a des propriétés hydrauliques sont aussi appelés béton hydraulique.[3]

2. Historique :

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

L'invention de la chaux hydraulique par Louis Vicat en 1817, celle du ciment portland par Aspdin en Ecosse en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil en France en 1830 préparent l'avènement du béton [4]

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

Au 20^{ème} siècle, le béton se développe considérablement avec l'évolution de ses techniques : usage croissant des adjuvants, béton prêt à l'emploi, matériel de mise en œuvre. Dans les années quatre -vingt et quatre-vingt-dix du siècle dernier, les études relatives aux bétons à hautes performances ont montré le rôle de l'excès d'eau dans les bétons. La réduction de cette quantité d'eau par l'emploi de défloculants, a conduit aux gains de résistance allant jusqu'à 200 MPA et à une excellente durabilité.

De nos jours, l'étendue des exigences possibles sont augmentées de façon spectaculaire, Par exemple l'affaissement au cône d'Abrams varie de 0 pour les bétons fermes à plus pour les bétons autoplaçants, qui sont caractérisés ailleurs par des étalements. De même les résistances en compression à 28 jours peuvent varier de l'ordre de 10 MPA pour certains bétons de masse, à des valeurs très élevées supérieures à 200 MPA [5]

3. Composition :

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et, le plus souvent, adjuvants (figure I.1) qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³ ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0.5 µm (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons). Mais cette liste s'allonge très vite dès que des propriétés particulières sont visées, on utilise alors des fines complémentaires ou additions minérales [6].

Tableau I.1 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un Béton ordinaire

Constituants	Volume (%)	Poids (%)
Granulats	60-78	65-85
ciment	7-14	9-18
Eau	14-22	5-9
Air	1-6	-

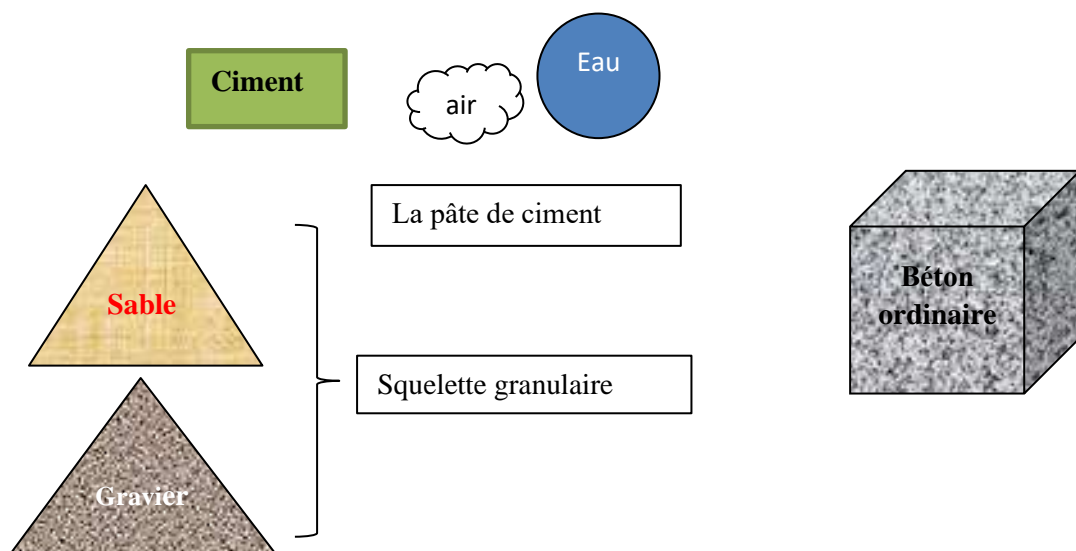


Figure I.1: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un Béton ordinaire [7].

La confection d'un béton approprié à sa destination consiste, à déterminer et à optimiser la composition granulaire et le dosage des divers constituants. Dans les bétons les plus simples, le squelette granulaire est composé de deux coupures seulement, un sable et un gravier. Le ciment et l'eau de gâchage, dont les proportions relatives en masse sont fixées par le rapport E/C, vont former, avec les adjuvants éventuels, la pâte de ciment qui constituera le liant du béton. Ce rapport E/C joue un rôle primordial durant les étapes de vie du béton, l'eau en excès le rend plus fluide à l'état frais mais diminue les résistances du béton durci. Des additions minérales (cendres volantes, fumées de silice laitiers, fillers,) peuvent être rajoutées dans le but de modifier les propriétés du béton.

L'utilisation de ces éléments fins est toujours combinée à l'emploi de super plastifiants pouvant réduire ainsi la quantité d'eau nécessaire à l'atteinte d'une fluidité suffisante. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes et dans lequel chacun de ces composants joue un rôle bien précis dans le mélange [7].

3.1. CIMENT :

3.1.1. Définition :

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant, les 1450 °C. Broyés sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau forment des minéraux hydratés très stables. Les travaux effectués [8] ont montré que les principaux composés du ciment portland sont :

- Le Silicate Tricalcique (Alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S).
- Le Silicate Bicalcique (Belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S).
- L'Aluminate Tricalcique : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A).
- L'Alu minot Ferrite Tétra calcique : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF).

Et d'autres éléments tels que les sulfates, les alcalins ... etc.

La pâte du ciment est le constituant à l'origine de la cohésion du béton, elle représente 20% à 50% du volume total, se caractérise par sa capacité à s'hydrater et à former une matrice solide qui lie les granulats entre eux.

La pâte du ciment se constitue du ciment anhydre, d'eau et d'éventuels adjuvants additifs [9]. Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse.

3.1.2. Classification des ciments :

A / Classification suivant la composition :

La norme européenne [10] donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq principaux types à savoir :

- CEM I : Ciment Portland Artificiel.
- CEM II : Ciment Portland Composé.
- CEM III : Ciment de Haut Fourneau.
- CEM IV : Ciment Pouzzolanique.
- CEM V : Ciment aux Laitiers et aux Cendres.

Ces ciments sont différents par le type d'ajout, on trouve :

► **Laitier Granulé De Haut Fourneau** : Obtenu par refroidissement rapide du laitier fondu provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau ; il contient au moins deux tiers en masse de laitier vitreuse et présente des propriétés hydrauliques, après avoir subi une activation convenable.

► **Matériaux Pouzzolaniques** : Sont des substances naturelles ou artificielles siliceuses ou silico alumineuses, ou une combinaison de celles – ci contenant de l'oxyde de fer (**Fe₂O₃**) et d'autres oxydes mais la teneur en (**SiO₂**) réactif doit être au moins égale à 25 % en masse.

► **Cendres Volantes** : produits pulvérulents de grande finesse proviennent du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques. On distingue deux familles [11] :

✓ **Cendres Volantes Siliceuses** : Sont principalement des particules sphériques ayant des propriétés pouzzolaniques, constituées essentiellement de silice(**SiO₂**) et d'alumine (**Al₂O₃**)

✓ **Cendres Volantes Calciue** : Présentent des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolanique, contenant une teneur en oxyde de calcium (**CaO**) réactif >10% en masse, le reste était de la silice (**SiO₂**), d'alumine (**Al₂O₃**), d'oxyde de fer (**Fe₂O₃**).

► **Filler Calcaire** : est un matériau très finement broyé, il a pour rôle de remplir les vides

entre les sables et les graviers, tout en présentant une certaine activité physico- chimique en favorisant l'hydratation des silicates tricalciques [12]

► **Fumée De Silice** : provient de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours. Elle est formée de particules sphériques contenant au moins 85 % en masse en silice amorphe [13]

Tableau I.2 : Les types de ciment et leurs compositions [10]

<u>Type de ciment</u>	<u>Notation</u>	<u>Clinker</u>	<u>Autres compasantes</u>	<u>Principale utilité</u>
Ciment Portland	CPA – CEM I	Min. 95%	Max. 5% de filler	Bétons armés
Ciment Portland Composé B	CPJ – CEM II / A Ou CPJ – CEM II /	80 à 94% 65 à 79%	Max. 35% de cendres volantes, pouzzolanes, fumées de silice, laitiers	Travaux de dallage, routes
Ciment de Haut fourneau	CHF – CEM III / A Ou CHF – CEM III / B	35 à 64% 20 à 34%	De 35 à 80% de Laitier de haut Fourneau	Convienent aux Travaux peu Soumis à une Trop grande
Ciment de Haut fourneau	CLK – CEM III / C	5 à 19%	81 à 95% de laitier De haut fourneau	Augmentation de Chaleur : travaux Hydrauliques
Ciment aux Laitiers et aux	CLC – CEM V/A Ou	40 à 64%	18 à 30% laitier et 18 à 30%	Souterrains, Ouvrages

Cendres	CLC – CEM V / B	20 à 39%	Pouzzolanes ou Cendres volantes 31 à 50% laitier et 31 à 50% de Cendres volantes ou pouzzolanes	Massifs, travaux En eaux Agressives. A Éviter par temps Froid
---------	--------------------	----------	--	---

B/ Classification suivant les résistances à la compression :

La norme européenne [14] les ciments courant d'après leur résistance à la compression voir (Tableau I.3)

Tableau I.3 : Les types de ciment et leurs résistances à la compression [14]

CLASSE	Résistance à la compression			
	À court terme		Résistance courant	
	2 jours	7 jours	28 jours	
23.5N	-	≥ 16	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5R	≥ 10	-		
42.5N	≥ 10	-	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5R	≥ 20	-		
52.5N	≥ 20	-	≥ 52.5	-
52.5R	≥ 30	-		

3.2. Granulats :

3.2.1. Définition :

Granulat est un ensemble de grains compris entre 0 et 125 mm, ci des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (Gros et Fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent

satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. Il y a deux Intérêts d'utiliser des granulats dans le béton :

➤ *Le 1^{er} économique* : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ;

➤ *Le 2^{ème} technique* : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton.

Les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment [15]

3.2.2. Les Types de granulats :

A/ Granulats Naturels :

Les granulats naturels d'origine minérale sont issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage). Indépendamment de leur origine minéralogique, ils peuvent être classés en deux catégories :

- **Ceux issus des carrières de roches massives** : Dits concassé, obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. C'est ainsi que le sable concassé est fabriqué en gravière.

- **Ceux issus des gisements alluvionnaires** : Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière ou en mer éventuellement [16]. Géologiquement parlant, les granulats naturels sont de nature :

➤ éruptives : granites, basaltes porphyres ;

➤ sédimentaires : calcaires, grès, quartzites ;

➤ métamorphiques : gneiss, amphibolites.

B/ Granulats Artificiels :

Les granulats artificiels sont soit des sous-produits de l'industrie sidérurgique, soit fabriqués en vue d'obtenir un produit particulier. Ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique des roches ou des minerais. Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé, obtenu par refroidissement lent à l'air ; le laitier granulé de haut fourneau, obtenu par refroidissement rapide dans l'eau et les granulats allégés par expansion ou frittage (l'argile ou le schiste expansés). Les granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usage spécifique.

C / Granulats Recyclés :

Les granulats recyclés sont obtenus par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que ceux issus des ouvrages démolis suite à des sinistres naturels comme les séismes et les crues, ou par vieillissement et dégradations. Le

recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles [17].

3.2.3. Les classes granulaires :

Elles sont définies en fonction des grosseurs minimales (d) et maximales (D) des éléments après passage dans un tamis à mailles rondes ou carrées. La norme NF P 18-101 définit six classes granulaires chacune correspondant à une étendue granulaire d/D . [18]

Tableau I.4 : les classes granulaires

Dénomination des granulats	Etendu granulaire
Fillers 0/D	$D < 2\text{mm}$ et passant à $0.063\text{mm} > 70\%$
Sable 0/D	$D < 6.3\text{ mm}$ (4mm pour les sables à béton)
Gravillon d/D	$d > 1\text{mm}$ $D < 31.5\text{mm}$
Graves 0/D	$6.3\text{mm} < D < 80\text{mm}$
Ballast	$d > 25\text{mm}$ $D < 50\text{mm}$

3.2.4. Caractéristiques de gravier :

Il est évident que les granulats occupent la majorité dans la constitution du béton, ce qui révèle l'importance de l'influence des caractéristiques des granulats sur la qualité du béton. La norme expérimentale NA 5043 définit les caractéristiques des granulats pouvant être utilisé pour la confection de béton hydraulique.

A/ Propreté :

Tous les granulats contiennent une quantité, plus au moins grande, d'impuretés. Les impuretés ont un caractère commun : ils influent négativement sur les qualités essentielles du béton (résistance, imperméabilité, longévité). Cependant, on peut les classer en deux catégories :

- Impuretés prohibées : particules de charbon, de bois, d'argile, micas
- Impuretés tolérées, dans des limites qui seront à définir , parmi lesquelles on peut citer : les éléments très fins et/ou solubles , les matières organiques , les sulfates , les sulfures ..[9]

Pour la propreté des gravillons, il convient d'éviter surtout la présence de la gangue argileuse ou des poussières qui risquent de compromettre l'adhérence du mortier sur les graviers et par voie de conséquence de diminuer la résistance.

L'essai de propreté consiste donc à déterminer le pourcentage d'éléments $< 0.5\text{mm}$, conformément à la norme NF P 18591, que ces éléments soient simplement mélanges ou adhérents à la surface des grains.

Pour les sables, la propreté est contrôlée par l'essai dit « équivalent de sable » (E.S.) [19] Cet essai consiste à faire flocculer, dans des conditions normalisées de temps et d'agitation, les impuretés du sable [9] $ES < 60$ sables argileux à ne pas utiliser pour les bétons. $60 < ES < 70$ sables légèrement argileux : Admissible pour les bétons courants avec risque de retrait important. $70 < ES < 80$ sables propres : Convient bien pour les bétons de haute qualité. $ES > 80$ sables très propres : absence presque totale de fines argileuses.

La valeur optimale de l'équivalent de sable (mesurée à vue sans l'aide d'un piston) est comprise entre 70 et 80, dans le cas des sables silico-calcaires tout au moins et ne contenant que peu de fines argileuses nocives dont a faible importance doit alors être confirmée par l'Essai « au bleu » (norme NF P 18-592). [19]

B/ Texture et forme de granulat :

Les caractéristiques d'aspect des granulats sont important plus particulièrement les formes du grain et l'état de leur surface. Dans le béton les grains d'un granulat sont liés par la pâte de ciment qui constitue une matrice pour ces derniers. L'adhérence pâte -granulat est alors un facteur important du point de vue résistances mécaniques du béton. On conçoit donc que l'état de surface des granulats, surtout du sable est un paramètre qui influe beaucoup sur les performances physicochimiques des bétons. Par ailleurs l'état de surface d'un granulat n'influe pas uniquement sur l'adhérence [20], mais également il a une incidence sur la maniabilité du béton, donc il est préférable de chercher une forme se rapprochant de la sphère. Une mauvaise forme (aiguilles, plats) nécessite une quantité d'eau plus élevée et peut provoquer des défauts d'aspect [21]. En ce qui concerne les grains d'un gravier, ils sont caractérisés par des formes multiples à savoir, sphérique, cubiques, allongés, et plats.

Le coefficient volumétrique permet de donner une idée précise sur la forme de l'élément considéré. C'est pour un grain, le rapport entre le volume v du grain au volume v de la sphère circonscrite de diamètre D (D – étant la plus grande dimension du grain). Pour un ensemble

de grain on a :

$$C_v = \frac{\Sigma v}{\Sigma \pi D^3 / 6}$$

Un coefficient faible correspond à un granulat présentant un certain nombre de plats. A l'opposé, un coefficient élevé correspond à un granulat « cubique » ou « arrondi ». La norme AFNOR exige :

$C_v = 0.15$ pour les gravillons

$C_v = 0.11$ pour les cailloux

En général la texture et la forme géométrique des granulats se distinguent par deux catégories essentielles :

1. Granulats roulés :

Ils sont plus faciles à mettre en place, ne nécessitent pas de moyens de serrage importants, glissent bien entre les armatures et conviennent particulièrement au béton armé.

[9]

2. Granulats concassés :

Ils donnent lieu à des bétons raides à mise en place difficile. Par contre, ils adhèrent bien à la pâte de ciment et procurent au béton une plus grande résistance notamment à la traction.

[9]

C/ Granularité :

La granularité est la distribution par dimension des grains des granulats. Elle est déterminée par l'essai d'analyse granulométrique. Cet essai consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à maille carre et à peser les refus sur chaque tamis on trace en suite la courbe granulométrique. [22] La courbe granulométrique traduit la distribution pondérale des grains composant un granulat donné (d/D).

Les courbes granulométriques sont tracées en coordonnées semi-logarithmiques. En ordonnée on porte le pourcentage, en poids, des tamisât sous les tamis dont les mailles sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique. [9]

D/ Porosité des granulats :

La présence de pores internes dans les granulats est en rapport direct avec la densité des granulats et effectivement les caractéristiques de ces pores sont très importantes dans l'étude des propriétés des granulats. La porosité des granulats, leur imperméabilité et leur absorption influent certains de leurs propriétés : Leur liaison avec la pâte de ciment hydrate, leur stabilité

chimique leur résistance à l'abrasion ainsi que la résistance du béton au gel et au dégel. Comme décrit ci-dessus, la densité d'un granulat dépend aussi de sa porosité et le rendement du béton pour une masse donnée de granulat dépendent aussi de sa porosité et le rendement du béton pour une masse donnée de granulats en est affecté.

La taille des pores des granulats est très variable : les plus gros peuvent être vus au microscope ou même à l'œil nu ; les plus petits sont à peine plus gros que les pores de la pâte de ciment. Les pores inférieurs à $4\mu\text{m}$ sont d'un intérêt particulier : il est généralement admis qu'ils affectent la durabilité des granulats soumis à des cycles de gel-dégel. [20]

La porosité des granulats exprimée en % est le rapport du volume de vide contenu dans le grain au volume absolu des grains. Pratiquement on le détermine en multipliant par 100 la différence entre les volumes des grains à l'état saturé sans vide et l'état sec. [23]

E/ Coefficient d'absorption :

L'absorption de l'eau par les granulats est déterminée en mesurant l'augmentation de masse d'un échantillon séché au four après avoir été immergé dans l'eau pendant 24 heures et séché superficiellement. Le rapport entre l'augmentation de la masse immergée et la masse de l'échantillon sec, exprimé en pourcentage, est défini comme étant l'absorption ou coefficient d'absorption. [20]

Ce coefficient mesure le volume des pores accessibles à l'eau, ce qui signifie que plus sa valeur est élevée, moins la durabilité du béton est assurée dans un milieu agressif. En particulier la pénétration de l'eau dans les pores des granulats, donc du béton, fragilise la structure en cas de gel. Par ailleurs dans un milieu à faible hygrométrie, de l'ordre de 60 à 70 %, la vitesse de pénétration de la carbonatation est plus rapide. Enfin lors du malaxage du béton, l'emploi de granulats à fort coefficient d'absorption peut provoquer un léger raidissement s'ils n'ont pas été pré-mouillés avant leur introduction dans le malaxeur. [19]

3.3. Sables :

3.3.1. Définition :

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre $80\mu\text{m}$ et 05mm ; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à $6,3\text{mm}$ et dont le passant à 80microns n'excède pas 30%. Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" les éléments de dimensions 0 à 5mm , non compris les fillers. A cette définition se rattachent les sables de concassage ; mais lorsqu'on dit sable, on pense essentiellement aux sables naturels abondants dans de nombreux pays et dont les

réserves sont quasi inépuisables. En fait, la définition granulométrique du sable est plus compliquée, elle varie suivant les époques et diffère suivant les pays et selon la destination.

3.3.2. Origine des sables :

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches suivies par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques.

Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Il comporte, à des degrés divers, une décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. Les différents processus qui conduisent de la roche massive aux sables sont suffisamment agressifs vis-à-vis des minéraux pour que seul subsistent les plus résistants ; c'est ainsi que la plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz qui devient de plus en plus abondant à mesure que la taille des grains décroît. La fraction comprise entre 0,2mm et 0,5mm est le plus souvent constituée de quartz à plus de 75%. Selon l'importance et la nature de leur transport, ces grains de sable peuvent présenter un aspect différent à savoir :

- Grains émoussés et luisants (usure due au déplacement par l'eau) ;
- Grains ronds et mats (déplacement par le vent) ;
- Grains non usés. Selon leur histoire géologique, les sables se distinguent les uns des autres par une multitude d'aspects : granulométrie, teneur, nature et caractéristiques des fines, composition chimique, pétrologique et minéralogique, forme des grains, dureté, ...etc.

3.3.3. Différents types de sable :

Les sables se différencient par un grand nombre de paramètres et on peut distinguer deux types de sables :

A/ Sables naturels :

Ce sont des matériaux qui existent, dans certaines régions, en abondance dans la nature. Ils sont le résultat d'un processus complexe d'érosion et de sédimentation. Leur formation s'effectue en trois étapes successives : la décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport qui les amène à un dépôt où ils demeurent sous différentes formes. Les plus rencontrés et les plus connus sont :

❖ *Sables alluvionnaire*

Les sables de rivière rencontrés se trouvent soit dans des oueds à écoulement fréquent de la bordure de l'Atlas (dépôts actuels), soit dans des lits d'anciens oueds dont l'écoulement

remonté à des époques géologiques antérieures.

❖ *Sables éoliens*

Les dunes sont constituées de sable fin voir très fin, à granulométrie serrée ou très serrée.

❖ *Sables de regs*

Le reg est une formation de surface qui recouvre de vastes zones plates ou à relief très mou. L'action du vent a balayé le sable fin et enrichi la surface d'éléments plus gros tels les cailloux, gravier, gros sable, qui se trouvent disposés d'une manière régulière.

❖ *Sables géologiques en place :*

On peut ranger sous cette dénomination des formations continentales de sols fins, tels les sables argileux du continental intercalaire appelé parfois albien, qui affleurent à la bordure ouest et sud du Sahara central et oriental (Reggane, Adrar, In Salah, plateau du Tahouratine).

❖ *Sables gypseux :*

Nous rangeons dans une catégorie spéciale et en raison de leur large utilisation routière, des sables contenant des proportions variables de gypse et étant soit des sables géologiques en place, soit des dépôts alluvionnaires.

❖ *Sables gypso-calcaires :*

Dans les plateaux entre Ouargla et Hassi Messaoud, on trouve sous une dalle de calcaire assez dure de surface, un mélange de cailloux calcaires mi-durs et de sable gypso-calcaire. Ce tout-venants a été utilisé pour la route Ouargla/ Hassi Messaoud. Ces sables n'ont pas été utilisés seuls jusqu'ici.

B/ Sables artificiels :

Ce sont des matériaux produits dans une chaîne d'élaboration de granulats, et qui peuvent se trouver en excédent pour la production recherchée (gravier ou gravillon), ils peuvent être soit :

- Des sables roulés de dessablage qui résultent du criblage primaire d'un tout-venant.
- Des sables de concassage qui sont très souvent l'excédent de la production d'une carrière ou d'une ballastière, ces derniers sont de plus en plus utilisés en technique routière [24].

3.4. L'eau :

Est un des ingrédients essentiels du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage

et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue en réduisant la quantité d'eau et une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau. C'est lors de la recherche de cet optimum que les adjuvants peuvent jouer un rôle. [7]

Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ces performances : résistance à la compression, durabilité. Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher le béton. Certes, l'eau potable distribuée par le réseau du service public est toujours utilisable mais, de plus en plus souvent, nous sommes placés devant la nécessité d'utiliser une eau non potable. La norme [25] a permis de préciser à quelles conditions une eau est utilisable mais, de plus en plus souvent, nous sommes placés devant la nécessité d'utiliser une eau non potable.

3.5. ADJUVANTS

3.5.1. Définition :

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci [26].

Un adjuvant n'est pas un palliatif. Il n'a ni pour mission ni pour effet de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage ou d'une mise en œuvre défectueuse. Ce n'est pas un produit capable de se substituer aux règles de la bonne technique [19].

3.5.2. Classification des adjuvants :

La norme [27] classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

A/ Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton :

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la viscosité [28]

1- Plastifiants - Réducteurs d'eau : Ce sont des produits qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent l'affaissement (ou l'étalement), ou qui produisent les deux effets à la fois [29].

2- Super plastifiants - Haut réducteurs d'eau : Ce sont des produits qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent considérablement l'affaissement (ou l'étalement), ou qui produisent les deux effets à la fois [30].

B/Adjuvants modifiant la prise et le durcissement :

Ces adjuvants modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Leur action se traduit par une évolution différente de la résistance d'un béton, mortier ou coulis adjuvante comparée à celle du témoin [28]. On peut distinguer deux types d'adjuvants :

1- Accélérateurs de prise et durcissement : Les premiers diminuent le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils sont utilisés souvent en préfabrication et les derniers augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise. Ils sont préférentiellement utilisés par temps froid.

2- Retardateurs de prise : Ces adjuvants augmentent le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils sont généralement utilisés par temps chaud. [31]

C/ Adjuvants modifiant certaines propriétés du béton :

On peut distinguer deux types d'adjuvants :

1-Entraîneurs d'air : Ces adjuvants permettent d'incorporer pendant le malaxage une quantité contrôlée de fines bulles d'air entraîné uniformément réparties et qui subsistent après durcissement. Ils sont utilisés pour protéger les bétons du gel. [32]

2- Hydrofuges de masse : Ces adjuvants permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques, [33].

4. Utilisation du béton :

Le béton est un matériau omniprésent aujourd'hui, tant dans le monde de la construction que dans d'autres domaines tels que l'art. A la fois économique et facilement manipulable, le béton répond à de nombreux critères de performance. Sa durabilité et sa résistance font de lui un matériau incontournable dans le domaine de la construction. Sa composition peut être variable, ce qui permet d'obtenir un béton répondant à des besoins spécifiques [34]

- ❖ Construction de bâtiment
- ❖ Usines
- ❖ Pont
- ❖ Silos
- ❖ Routes
- ❖ Fondations
- ❖ Murs de soutènement
- ❖ Poutres poteaux voiles dalles

5. Méthodes de calcul pour formulation de béton :

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

Dans la littérature on trouve plusieurs méthodes de composition de béton. On peut situer :

- ❖ Méthode de Bolomey
- ❖ Méthode de Faury
- ❖ Méthode Britannique
- ❖ Méthode Américaine
- ❖ Méthode de Vallette
- ❖ Méthode d'Abrams
- ❖ Méthode de Dreux Goriss
- ❖ Méthode de Joisel

Toutefois, la méthode de Dreux Gorisse est la plus utilisée.

5.1. Méthode de Bolomey :

Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et d'où s'efforce de réaliser avec des granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris), dont la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique. La formule de base est la suivante [19] :

$$P=A+(100-A)\sqrt{d/D} \quad \dots\dots(I-1)$$

- P : Le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d.
- d : Le diamètre du plus petit granulat.
- D : Le diamètre du plus gros granulat.
- A : varie de 8 à 16. Sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort. Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins à une granularité continue.

5.2. Méthode de Faury

Faury [19] 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. 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 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 :

$$y = A + 17.8 \sqrt[5]{D_{max}} + \frac{B}{D^{-0.75}} \quad \dots\dots(I-2)$$

Où :

A : coefficient dépend de la nature des granulats (roulés, concassés) et la mise en œuvre de coulage (se choisit dans le tableau au-dessous (TAB I.5) ;

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.

$$D_{max} = D_n - 1 \left(1 + \frac{X}{2Y} \right) \dots\dots\dots (I-3)$$

Où :

D_{n-1} : le diamètre au tamis (n-1) ;

X : le refus sur le tamis (n-1) ;

Y : le refus entre D_{n-1} et $(D_{n-1})/2$.

La courbe granulair de référence AOB :

*le point O est repéré par ses coordonnées : [0.065 ; 1]

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

*Le point de brisure A aux coordonnées : [D/2 ; $D_{max}/2$]

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

$$E = \frac{0.39}{5\sqrt{D_{max}}} \times 1000 \dots\dots\dots (I-4)$$

On a : 1000 L de béton éléments sec \longrightarrow 1000-E

Quantité de ciment = Le dosage de ciment / volume de ciment

Le pourcentage de ciment = (quantité de ciment / éléments sec) x100

Tableau I.5 : Valeur de A

	Sable et graviers roulés	Sables roulés et gravier concassés	Sable et graviers concassés
Consistance très fluide sans serrage	>32	>34	>38
Consistance fluide faible serrage	30-32	32-34	36-38
Consistance molle serrage moyen	28-30	30-32	34-36

Consistance ferme serrage soigné	26-28	28-30	32-34
Consistance très ferme, serrage puissant	24-26	26-28	30-32
Consistance de terre humide, serrage très puissant	22-24	24-26	28-30
Serrage exceptionnellement puissant	<22	<24	<28

Pour tracer la courbe granulométrique et la courbe de référence de Faury on effectue tous les essais avant :

- Essais granulométrique sur sable et gravier ;
- Essai équivalent de sable ;
- La densité apparente et absolue de sable et gravier...etc.

On détermine les 3 points de la référence de Faury AOB [(0.0065 ; 1%), (D (max/2) ; Y (D_{max}/2), (D100% ; 100%)] et on trace cette courbe.

On a fait glisser une règle sur les courbe granulométrique et la courbe de référence de telle façon que les deux segments d'ordonnée extérieurs sont égaux, puis on détermine le point d'intersection (ordonné) ; (100-ordonné) est le pourcentage des éléments de cette fraction. Étapes de confection du béton. Dans cette partie on explique le mode de travail de notre étude, après la détermination des quantités des composants de méthode de Faury pour un mètre cube de béton, on doit transférer les quantités pour un volume d'éprouvette de 15×30 cm³

5.3. Méthode de Valette :

Valette [19] a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite certains nombres de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum des sables » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment. On ajoute ensuite, le maximum de gravier mouillé

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

5.4. Méthode Dreux : [35] [36]

5.4.1. Principe :

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

5.4.2. Etapes :

1. Hypothèses de travail
2. Détermination du rapport C/E :
3. Détermination de la composition granulaire
4. Détermination de la composition en volume absolu
5. Détermination de la composition pondérale sèche en kg

1- hypothèses :

- Diamètre du plus gros granulat
- Masse volumique absolue des granulats : Gravier et sable
- Résistance moyenne
- Affaissement
- Critère de maniabilité :

La maniabilité est caractérisée, entre autres, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams (Aff.). Elle est choisie en fonction du type d'ouvrage à réaliser, du mode de réalisation et des moyens de vibration disponibles sur chantier (Tab I.6).

Tableau I.6 : Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser.

Affaissement	Plasticité	Désignation	Vibration conseillée	Usage fréquent
0 à 4	Ferme	F	Puissante	Bétons extrudés Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normale	Génie civil Ouvrages d'art Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	Tp	Faible	Ouvrages courants
16	Fluide	Fl	Léger	Piquage, Fondations profondes Dalles et voiles minces

2- Détermination du rapport C/E :

Composition de béton Méthode DREUX-GORISSE

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

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5) \dots\dots\dots (I-5)$$

Avec :

 $\sigma'_{28} = 1,15 \times f_{c28}$ = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPA σ'_c = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPAC = Dosage en ciment en kg par m³ de bétonE = Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m³ de béton G' = Coefficient granulaire (Tab I.7) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau I.7 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max}

Classe de granulat passable Qualité des granulats	Dimension D de granulats		
	Fins $D < 16\text{mm}$	Moyen $25 < D < 40\text{mm}$	GROS $D > 63\text{mm}$
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Graphé : La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure (I.2) en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.

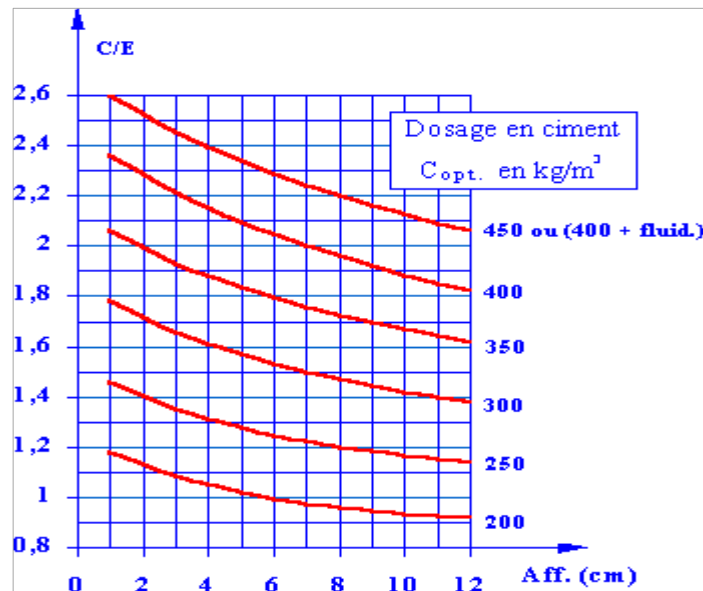


Figure I.2 : l'Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée

Corrections sur le dosage en ciment C et le dosage en eau E Lorsque la dimension maximale des granulats D_{max} est différente de 20 mm, une correction sur la quantité de pâte est nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. Les corrections (Tab. I.8) sont à apporter sur les quantités d'eau et de ciment (le rapport C/E reste inchangé).

Tableau I.8 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de Dmax

Dimension max de granulats	5	10	16	25	40	63	100
Correction du dosage en eau (%)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

3- détermination Composition :

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

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

- Le point O est l'origine de la droite et défini en

Son abscisse : par la plus petite ouverture de tamis utilisé lors de la granulométrie, dans notre cas c'est $0,08\mu\text{m}$.

Son ordonnée : est prise à zéro pour correspondre avec l'origine de l'axe.

- Le point B est défini en Son abscisse : $X = D_{max}$ et Son ordonnée : $Y = 100\%$
- Le point de brisure est A est défini par :

Son abscisse : $D_{max} > 20\text{mm}$ $Module(X) = (Module(D_{max})-5)/2$

Son ordonnée : $Y = 50 - \sqrt{D_{MAX}} + K'$ (I.6)

Où : $K' = K + K_s + K_p$ (I.7)

Y : est donné en pourcentage de passants cumulés

K : est un coefficient donné par le tableau N°, et qui est fonction de la forme des granulats, du dosage en ciment, et de la force de vibration.

K_s : est fonction du module de finesse du sable (Mfs), et déterminé par : $6Mfs - 15$

K_p : correction supplémentaire si le béton doit être pompé = 0 béton non pompé

Tableau I.9 : K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment	400 + Fluid	- 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

4- Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux :

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide il est nécessaire de tracer comme indiqué sur la figure 3 des droites reliant deux à deux les courbes granulométriques des matériaux du mélange.

Ces droites sont définies par 5 % de refus pour le matériau à faible granularité et par 5 % de passant pour le matériau à forte granularité. L'intersection des droites ainsi tracées avec

la droite brisée de Dreux permet, par prolongement sur l'axe des ordonnées, de déterminer les pourcentages en volumes absolus de chaque matériau. Ces pourcentages doivent permettre l'obtention d'un mélange dont la courbe granulométrique est proche de la droite brisée de Dreux. Si la courbe du mélange obtenue est trop éloignée de la courbe de Dreux, un ajustement de ces pourcentages peut s'avérer nécessaire

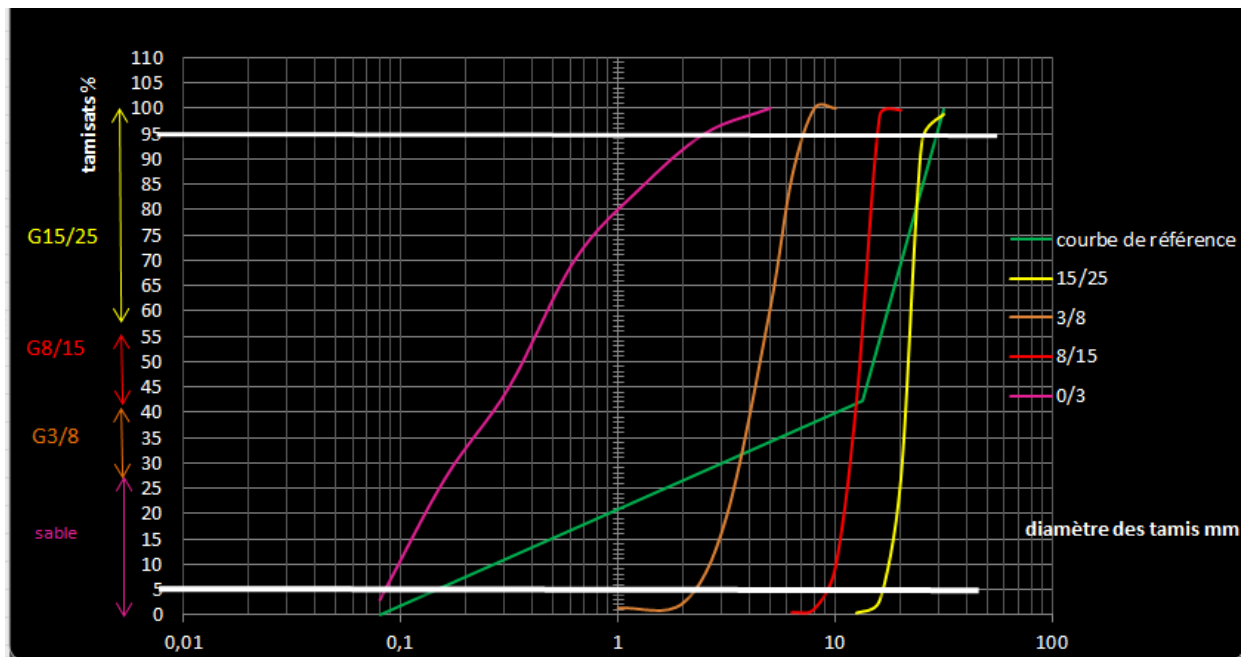


Figure I.3 : Courbe de référence

Détermination de la compacité du béton :

Pour déterminer les masses de granulats entrant dans la composition de béton, il est nécessaire de déterminer la compacité du béton qui correspond au volume absolu en m³ de solide contenu dans un mètre cube de béton (volumes absolus de ciment, de sable, de gravette et de gravier). Sa valeur de base c_0 est fonction de la taille des granulats, de la consistance du mélange et des moyens de vibration mis en œuvre (Tab I.10). Des corrections (c_1 , c_2 et c_3) fonctions de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment, doivent être apportées (Tab I.10.) $c = c_0 + c_1 + c_2 + c_3$

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

Tableau I.10 : Compacité du béton en fonction de Dmax, de la consistance et du serrage.

consistance	Serrage	Coefficient g en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31.5	D=50	D=60
Molle	piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

Remarque :

- ✓ Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés si non il conviendra d'apporter les corrections suivantes :
Sable roulé et gravier concassé ($c_1 = - 0,01$)
Sable et gravier concassé ($c_1 = - 0,03$)
- ✓ Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0,03 les valeurs de c : ($c_2 = -0.03$)
- ✓ Pour un dosage en ciment C / 350 kg/m³ on apportera le terme correctif suivant :
 $(c_3 = (C - 350) / 5000)$

Détermination de la composition en volume absolu Le dosage en béton est déterminé pour obtenir 1 m³ béton en place ; cela signifie que le volume de matière vaut 1 m³.

$$V_{abs} = V_C + V_g + V_S = 1 \text{ m}^3 \quad \dots\dots\dots (I.8)$$

Le volume totale absolu (l/m³)

$$V_{abs} = \gamma_c * 1000 \text{ (l/m}^3 \text{)} \quad \dots\dots\dots (I.9)$$

- Le volume absolu du ciment : (dosage /masse volumique)
- Le volume absolu des granulats : volume totale – volume granulats
- Le volume absolu du gravier 01 : $V_{G1} = \text{Volume absolue de granulats} * \text{pourcentage gravier 1}$
- Le volume absolu du gravier 02 : $V_{G2} = \text{Volume absolue de granulats} * \text{pourcentage gravier 2}$
- Le volume absolu du gravier 03 : $V_{G3} = \text{Volume absolue de granulats} * \text{pourcentage gravier 3}$
- Le volume absolu du sable S1 : $V_{S1} = \text{Volume absolue de granulats} * \text{pourcentage sable}$

5- détermination des quantités en kg /m³

- Quantité : Le volume absolu du gravier 1* masse volumique absolue G1
- Quantité : Le volume absolu du gravier 2* masse volumique absolue G2
- Quantité : Le volume absolu du gravier 3 *masse volumique absolue G3
- Quantité : Le volume absolu du sable S1 *masse volumique absolue sable
- Eau
- Ciment

6. Caractéristiques du béton :

6.1 À l'état frais :

6.1.1. L'ouvrabilité :

Propriété essentielle pour le béton elle est définie comme étant la qualité qui permet de garantir la facilité de sa mise en œuvre. Qualité sur laquelle repose différents aspects du béton une fois durci (résistance, état de parement, enrobage des armatures,). Sachant que la tendance

actuelle est tournée vers une multitude de techniques de bétonnage et de serrage (béton pompé, béton projeté, béton autocompactant, autonivelant,).

6.1.2. Compacité et porosité :

La compacité est le rapport à un mètre cube du volume absolu des matières solides (ciment et granulats) réellement contenues dans un mètre cube de béton frais en œuvre. Mais, la porosité c'est le pourcentage de vides rapporté au volume total du béton frais. Donc, la compacité et la porosité sont des caractéristiques physiques essentielles du béton, assurant certaines propriétés de ce dernier telles que, ses résistances mécaniques, sa perméabilité, son module d'élasticité et surtout sa durabilité. Le sable provoque un effet essentiel sur la compacité et la porosité parce qu'il permet de remplir les pores contenus dans les granulats. Le sable avec des particules ultrafines réduisent la porosité du béton, c'est-à-dire le pourcentage de vides

6.1.3. Perméabilité :

La perméabilité est la mesure de la migration d'eau à travers le béton. Un béton perméable ouvre la porte aux différents agents agressifs extérieurs (eau, air, ou un autre gaz) qui sont la principale cause de la corrosion des armatures et de la dégradation du béton. À l'inverse, un béton étanche ou très peu perméable est un béton durable. La perméabilité est directement liée aux caractéristiques du réseau poreux (forme, dimension, distribution, sinuosité, etc.) qui varie avec la progression d'hydratation

6.1.4. Masse volumique :

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse de matériau (béton) par unité de volume. Mesure du poids du béton par unité de volume est combien pèse 1m^3 de béton en kg. Un béton normal pèse entre 2200 à 2400 kg/m^3

6.2. À l'état durci :

6.2.1. Retrait :

Le retrait est un phénomène simple qui correspond à une contraction volumétrique que l'on observe quand du béton dessèche [37]. Le retrait peut être défini également, comme un ensemble de variations dimensionnelles intimement liées au départ d'eau vers l'extérieur ou à la consommation d'eau par hydratation [38]. Ces variations sont indépendantes de tout chargement ou de toute sollicitation. Elles sont dues à des phénomènes chimiques (hydratation) et physiques (départ d'eau vers l'extérieur, pression capillaire). En d'autres

termes, le retrait est une variation dimensionnelle, fonction du temps et de la variation d'eau dans le matériau cimentaire, sans chargement extérieur de ce dernier.

Les Facteurs influençant au retrait : [20]

- Teneur en granulats dans le béton :
- Rapport eau/ciment
- Type de granulats (grés ; gravier ; quartez)
- Température

6.2.2. Résistance mécanique :

La résistance mécanique est une caractéristique essentielle du béton durci. Le béton est employé, en général, comme matériau porteur et le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique qui évolue avec le durcissement du béton. La résistance mécanique dépend d'un certain nombre de paramètres à savoir :

- ✓ La nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvant)
- ✓ Les conditions de mise en œuvre de ces constituants
- ✓ Les conditions thermo hygrométriques ambiantes de conservation

La résistance se présente sous deux aspects : résistance à la compression, et la résistance à la traction. La résistance joue un rôle très important en béton armé. On doit donc s'efforcer d'aboutir à des résultats convenables aussi bien pour la résistance à la compression qu'à la traction. [39]

A/ La Résistance à la compression :

C'est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton et en béton armé, qui en général, est considérée comme la plus importante des propriétés du béton. Cette résistance, projette une image globale de la qualité d'un béton [40] Cette résistance est caractérisée par la valeur mesurée des éprouvettes écrasées à vingt-huit jours (Rc28). Elle définit la force maximale de compression à de laquelle le béton peut résister. La résistance d'un béton courant est en grande partie, liée à l'homogénéité de son squelette granulaire.

B/ La résistance à la flexion :

La flexion est une déformation au cours de laquelle l'axe des barres rectilignes fléchit ou alors la courbure des barres curvilignes change après déformation [41] Dans le cas présent, la flexion c'est l'état du béton qui est fléchi, sous l'effet de la force normale à sa section [42]. Lorsque le béton fléchi, il oppose une résistance à la force de flexion. Cette résistance qu'il oppose est sa résistance à la flexion

C/ La résistance à la traction :

La résistance à la traction désigne la résistance d'une surface contre une force de traction qui s'exerce verticalement à la surface. [43] C'est une force qu'oppose le béton contre une sollicitation de type allongement. [44] Cette résistance est caractérisée par la valeur mesurée des éprouvettes écrasées à vingt-huit jours (Ft28)

6.2.3. Durabilité :

Un ouvrage en béton doit résister au cours du temps aux diverses agressions ou sollicitations (physiques, mécaniques, chimiques...) c'est-à-dire aux charges auxquelles il est soumis, ainsi qu'aux actions diverses telles que le vent, la pluie, le froid, la chaleur, le milieu ambiant tout en conservant son esthétisme. Il doit satisfaire, avec un niveau constant, les besoins des utilisateurs au cours de sa durée de service. La durabilité d'un ouvrage dépend de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, la qualité des matériaux et des produits utilisés, la qualité des dispositions constructives, de la réalisation de l'ouvrage et de la mise en œuvre des produits ainsi que des diverses conditions d'usage, d'exploitation et de maintenance.

Les facteurs influençant la durabilité du béton peuvent être internes ou externes au béton.

- Internes : comme la fissuration, perméabilité et diffusivité, porosité, perméabilité aux ions chlore (présent dans certains accélérateurs et eau de gâchage), réactions alcalis granulats et les ions sulfates
- Externes : comme l'instar des ambiances hivernales (la répétition des cycles de gel dégel, l'action des sels de déverglace et formation de sels gonflants), et des ambiances chimiquement agressives notamment le dioxyde de carbone, les eaux de pluies de neiges, les eaux souterraines, l'eau de mer, les acides, les bases ainsi que toutes les solutions résultant de la dissolution de sel ou de gaz [19]

7. Caractérisations de béton :

7.1. À l'état frais :

7.1.1. Mesure de la teneur en air occlus :

Pour la mesure de l'air occlus dans le béton frais, on utilise la méthode dite « par pression ». Comme le seul élément compressible dans le béton frais est l'air occlus, la compression de l'air fait chuter la pression appliquée au béton frais. Cette diminution est proportionnelle à la quantité d'air présent dans le béton. Cet essai est effectué à l'aide d'un aéromètre conformément à la norme EN 12350-7. La teneur en air entraîné est prescrite par une valeur minimale, La limite supérieure maximale pour la teneur en air est la valeur minimale spécifiée augmentée de 4 % en valeur absolue.



Photo I.1: Essai teneur en air occlus.

7.1.2. Masse volumique :

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

Où :

$$D = \frac{M2 - M1}{V} \dots\dots\dots (I.10)$$

D : la masse volumique du béton frais, en (kg/m³) .

M1 : la masse du récipient, en (kg) .

M₂ : la masse du récipient plus la masse de béton contenu dans le récipient, en (kg) .

V : le volume du récipient, en mètre cube m³

Calcul de la masse volumique doit être réalisé selon la norme [45]



Photo I.2: Essai masse volumique

7.1.3. Essai d'affaissement au cône d'Abrams :

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre au laboratoire et au niveau des chantiers [46]. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40 mm. Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son poids propre. Selon la norme NF P 18 -451 l'essai consiste à remplir de béton un moule en tôle tronconique (D = 20 cm, d = 10 cm, h = 30 cm), le remplissage s'effectue en trois couches tassées avec une tige en acier de 16mm de diamètre et dont l'extrémité est arrondie, à raison de 25 coups par couche (On soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l'affaissement).

Tableau I. 11 : Classe de consistance (Slump test) [47].

Classe des consistances	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme	0 à 4	1
Plastique	5 à 9	2
Très plastique	10 à 15	3
Fluide	> 16	



Photo I.3: Essai d'affaissement

7.2 À l'état durci :

7.2.1. Essais non destructifs par Auscultation sonique (Ultra Son) :

Il s'agit d'évaluer la résistance du béton à partir de la vitesse de propagation d'ondes (voir le tableau I.12). Mesure du temps de propagation de la première impulsion d'un train d'ondes appelées ondes longitudinales, généré par un transducteur, entre deux points déterminés du béton. Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et consiste à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions [48] Consiste à presser les deux têtes sur les faces des éprouvettes, donc la surface du béton est bien nettoyée. En utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission du son. La vitesse de propagation est donnée par l'équation suivante :

$$V = \frac{L}{t} \dots\dots\dots(I.11)$$

Où :

V : la vitesse de propagation en (m/s) .

L : est la distance entre les transducteurs en (m) .

t : est le temps de propagation en (seconde).

L'essai de la vitesse de propagation doit être réalisé selon la norme [49]

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM (voir figure I.4) sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ.



Photo I.4: Essai ultra son

Tableau I.12 : Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation [48]

Vitesse de propagation (m/s)	Qualité du béton de selon la résistance
$2500 \leq V < 3200$	Béton de faible résistance
$3200 \leq V < 3700$,	Béton de moyenne résistance
$3700 \leq V < 4200$,	Béton à haute résistance
$V \geq 4200$.	Béton à très haute résistance

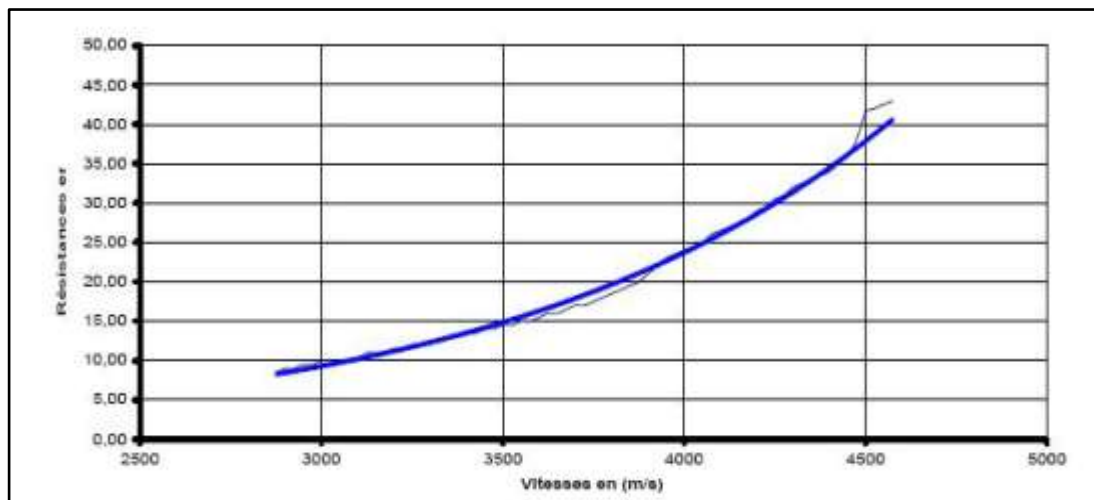


Figure I.4 : Courbe de RILEM [48]

7.2.2. Essais non destructifs par Scléromètre :

Essai consiste à évaluer la résistance à la compression [50]. Le scléromètre constitué d'un marteau en acier comprimé par un ressort qui, après libération, projette une tige de percussion en acier au contact de la surface de béton. La vitesse de déplacement du marteau produite par le ressort doit être constante et reproductible. Le rebondissement du marteau en acier par rapport à la tige de percussion en acier doit être mesuré sur une échelle linéaire solidaire du bâti de l'instrument.



Photo I.5: Essai scléromètre

7.2.3. Résistance à la compression :

La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 15 cm de diamètre et de 30 cm de hauteur [51] (voir figure I.6). Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée. L'essai d'écrasement doit être réalisé selon les normes [52.53]



Photo I.6: Machine d'essai l'écrasement à compression (la presse)

7.2.4. Traction par fendage : (essai brésilien).

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton placé suivant deux génératrices opposées entre les deux plateaux de la presse. La résistance en traction par fendage est donnée par l'équation suivante :

$$F_{ct} = \frac{2F}{\pi DL} \dots\dots\dots (I.12)$$

Où :

F_{ct} : est la résistance en traction par fendage, en (Mpa) ou en (MN/m²) .

F : est la charge maximale, (N) .

L : est la longueur de la ligne de contact de l'éprouvette, en (mm) .

D : est le diamètre nominal de l'éprouvette, en (mm).

L'essai d'écrasement doit être réalisé selon la norme [54].



Photo I.7: Machine d'essai de Traction par fendage.

7.2.5. Traction par flexion :

L'essai consiste à rompre une éprouvette prismatique de dimensions 7 x 7 x 28 (cm) sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée. La résistance en traction par flexion est donnée par l'équation suivante :

$$F_t = \frac{3FL}{2BH^2} \dots\dots\dots (I.13)$$

Où :

F_t : est la résistance en traction par fendage, en (Mpa) ou en (MN/m²) ;

F : est la charge maximale, (N) ..

L : écartement entre les appuis, en (mm)

b : épaisseur de l'éprouvette, en (mm).

L'essai d'écrasement doit être réalisé selon la norme [55]



Photo I.8 : Machine d'essai de Traction par flexion

CHAPITRE II:

*Les majeurs paramètres
ayant une influence sur
les caractéristiques de
Béton*

1. Introduction :

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le béton est le matériau le plus utilisé dans construction, ce qui rend son rôle efficace et important. En raison de la composition différente du béton (sable, granulats, eau, adjuvant), cette différence de composants entraîne des effets sur les propriétés du béton

C'est ce qui a amené de nombreuses études à s'intéresser aux les paramètres qui peuvent influencer le comportement des bétons, notamment sur la résistance. C'est ce que j'ai abordé dans ce chapitre, afin que nous mentionnions les effets de ces paramètres tels que :

- Rapport E/C
- Rapport G/S
- Adjuvant
- Températureetc

2. Les paramètres liés à un composant :

2.1. Le ciment :

2.1.1. L'influence des dosages en ciments ou la résistance :

Pour un dosage en eau constant, l'augmentation du dosage en ciment du béton aura pour conséquence de diminuer le rapport E/C du béton, ce qui se traduira nécessairement par une augmentation de la résistance à court terme [56].

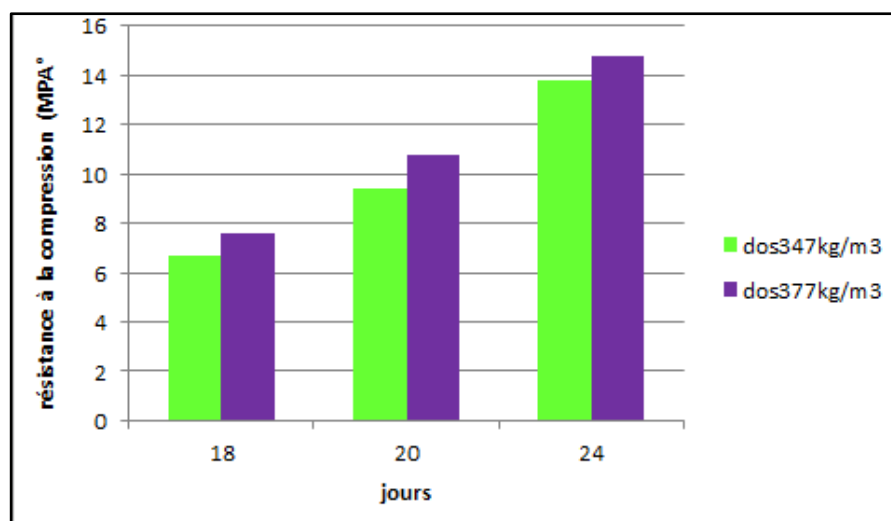


Figure II.1 : Graphe de résistance à la compression en variation de dosage de ciment [56]

Résultats :

La résistance à compression du béton augmente avec l’augmentation du dosage [20]. Une augmentation de 10% du ciment donnera une augmentation de 5% de la résistance [57].

2.1.2. L’influence de Type ciment :

A démarche de formulation d’un béton passe par le choix du type de ciment. Plus la classe de résistance est élevée et plus la résistance à la compression est élevée, à toutes les échéances. L’influence de ce paramètre sur la résistance à court terme est présentée sur la (figure II.2 et figure II.3)

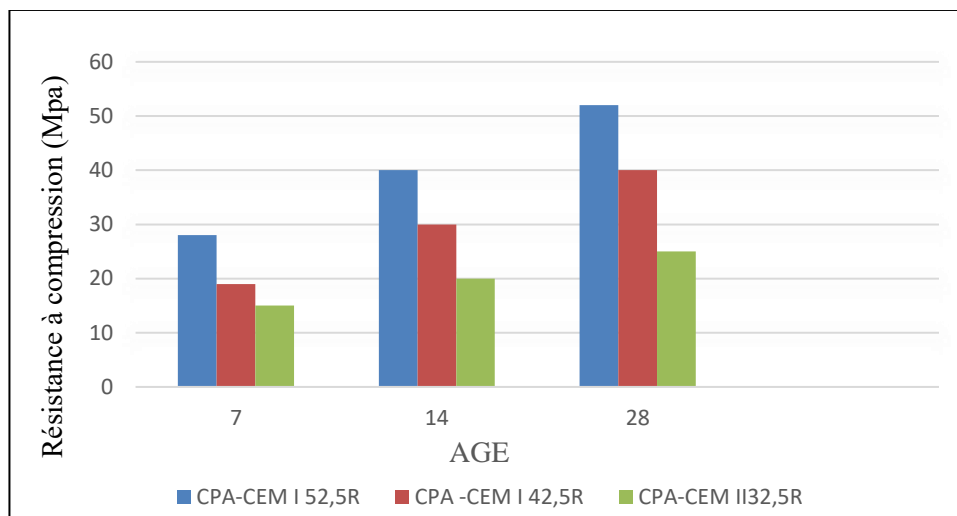


Figure II.2 : Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme [56]

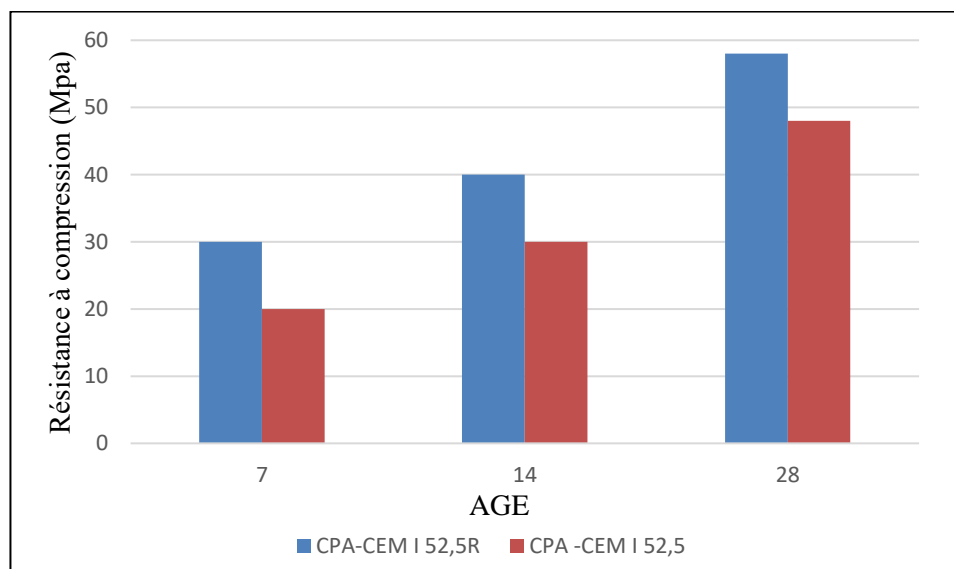


Figure II.3 : Influence du classe de résistance de ciment sur la résistance à la compression à court terme [56]

Cette figure montre que le choix d'un ciment CPA-CEM I 52,5 R développera, à dosage identique dans le béton, des résistances à court terme considérablement supérieures à celles d'un ciment CPJ-CEM II 32,5 R, c'est-à-dire que, plus la classe de résistance est élevée, plus les résistances sont élevées, à toutes les échéances. De même, un CPA-CEM I 52,5 R développe des résistances à court terme beaucoup plus rapidement qu'un CPA-CEM I 52,5, tout en présentant à 28 jours des résistances équivalentes [56].

2.2. Le gravier :

2.2.1. L'influence de la taille maximale :

L'utilisation des granulats de dimension maximale contribue de façon très significative à l'augmentation de la résistance du béton. Mais cela reste dans les limites de la faisabilité, parce que le choix de D max reste conditionné par le [20] :

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

L'effet négatif de l'augmentation de la dimension maximale du granulat dans le béton s'applique à l'échelle de toutes les grosseurs, mais l'effet de la dimension des grains sur la diminution de la demande en eau est particulièrement important en dessous de 38,1 mm (figure II-3). Pour des dimensions supérieures, le bilan des deux effets dépend du dosage du béton.

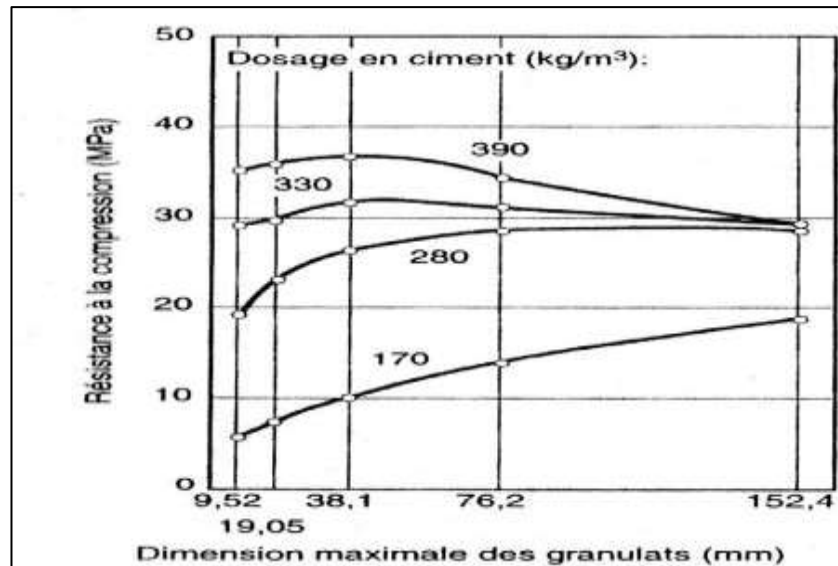


Figure II.4 : Influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosages en ciment [20]

2.3. Le sable :

Le terme sable est généralement utilisé pour désigner un mélange de grains meuble n'ayant aucune cohésion et dont la dimension des grains est généralement comprise entre 0,062 et 5 mm, Du point de vue géologique, le terme sable recouvre deux aspects : un aspect granulométrique (taille des grains) et un aspect minéralogique (nature minéralogique des grains). Une particule individuelle est appelée grain de sable, le paramètre de sable qu'influence sur la résistance est présentée.

2.3.1. Influence de La granulométrie :

La granulométrie du sable a une grande importance sur la qualité des bétons. Une bonne granulométrie du sable permet d'économiser le liant sans réduire la résistance mécanique du béton. La granulométrie du sable doit assurer :

- D'une part un volume minimal des vides entre les grains.
- Une surface spécifique minimale des grains.

L'analyse réalisé a été consacrée à la mise en évidence de l'influence de la composition granulométrique du sable sur les propriétés du béton et les mélanges de béton. D'après l'analyse expérimentale on voit que lorsque les intervalles entre les particules de sable sont petits, ils peuvent être remplis partiellement d'air ou d'eau mais ils ne remplissent pas de

Pierre de ciment. Ce phénomène apaise la résistance au gel et la résistance du béton ainsi que son étanchéité. [58]

Quand on utilise le sable avec une grande teneur en grains fins (de dimensions 0.15 à 0.6 mm) les boules sableuses non imbibées de pâte de ciment se forment. Les grains de sable dont les dimensions s'approchent de celles du ciment jouent en réalité le rôle d'adjuvants minéraux actifs ou inertes en fonction de leur composition minéralogique et du régime de durcissement. Le sable dont les dimensions dépassent 50 μ peut être considéré comme un vrai agrégat. On recommande de séparer les fractions inférieures à 0.15 mm en deux ou trois fractions ; par exemple :

- la fraction 0 à 50 μ
- la fraction 50 à 100 μ
- la fraction 100 à 150 μ

Pour préciser l'influence de la granulométrie du sable sur la résistance du béton et la consommation en ciment, **Gordon** (cité par [22]) a étudié les sables de granulométries diverses ; Cet auteur a conclu que la granulométrie du sable de 0.15 à 5 mm n'influe pas sur la résistance du béton si sa composition est optimale.

D'autres chercheurs ont aussi confirmé cette conclusion [59] On souligne que lorsqu'on remplace un sable par un autre et que cela fait varier la résistance du béton, la cause ne consiste pas en granulométrie. Il faut rechercher dans d'autres facteurs tels que : la composition du béton, son ouvrabilité, le coefficient de compactage du béton frais, la composition minéralogique et forme des grains ainsi que leur propreté. Contenu de la fraction granulométrique 0 à 0.15 mm. Présence des grains argileux de dimensions 0 à 0.15mm et des impuretés nuisibles.

Un facteur de grande importance c'est la dépense en ciment qui dépend beaucoup de la granulométrie du sable. Le béton préparé à base de sable moyen exige une dépense minimale en ciment. Le besoin en eau et la dépense en ciment augmentent de 8 à 20% quand on utilise le sable fin ; pour le sable gros cette augmentation est insignifiante. Le fait que l'utilisation des gros sables mène à un petit excédent de dépenses en ciment peut être expliqué par le contenu diminué de la fraction inférieure à 0.6mm dans ces sables ; ce qui influe négativement sur l'ouvrabilité du béton frais. Les sables fins augmentent la surface spécifique totale ce qui exige aussi l'augmentation de la dépense en pâte de ciment dans les mélanges de béton de même maniabilité. Il convient de noter que les auteurs précédemment cités indiquent qu'au cours de la réalisation des recherches de l'influence de la granulométrie du sable sur la

résistance du béton. Il n'était pas possible de sélectionner la granulométrie des sables comme l'unique variable car la variation de la composition est aussi nécessaire.

2.3.2. Influence de module de finesse :

C'est une caractéristique intéressante surtout en ce qui concerne les sables un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2.2 à 2.8 [60] la norme indique d'ailleurs pour les catégories A et B une limite inférieure =1.8 et une limite supérieure =3.2

Des recherches sur l'influence de la finesse des sables sur les diverses qualités du béton ont conduit à délimiter certains fuseaux de valeurs admissibles tels que ceux représentés sur la figure fuseau

- ❖ La partie centrale A ($2.2 < MF < 2.8$) convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités
- ❖ La partie supérieure B ($1.8 < MF < 2.2$) est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance
- ❖ La partie inférieure C ($2.8 < MF < 3.2$) correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistances élevées mais on aura en général une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation

Selon l'ouvrage [19] l'augmentation de module de finesse conduit à une augmentation en résistance et diminution en eau de gâchage jusqu'à la limite où la résistance soit minimum pour des valeurs de module de finesse entre 2.2 et 2.8 au de la résistance diminue et l'eau de gâchage augmente.

2.3.3. Influence de l'équivalent de sable :

Au but d'éclaircir l'effet de l'équivalent de sable sur la résistance à la compression, on affiche un résultat d'une recherche précédente. [61], dans la figure ci – dessous ce qui présente la relation entre la résistance et l'équivalent de sable.

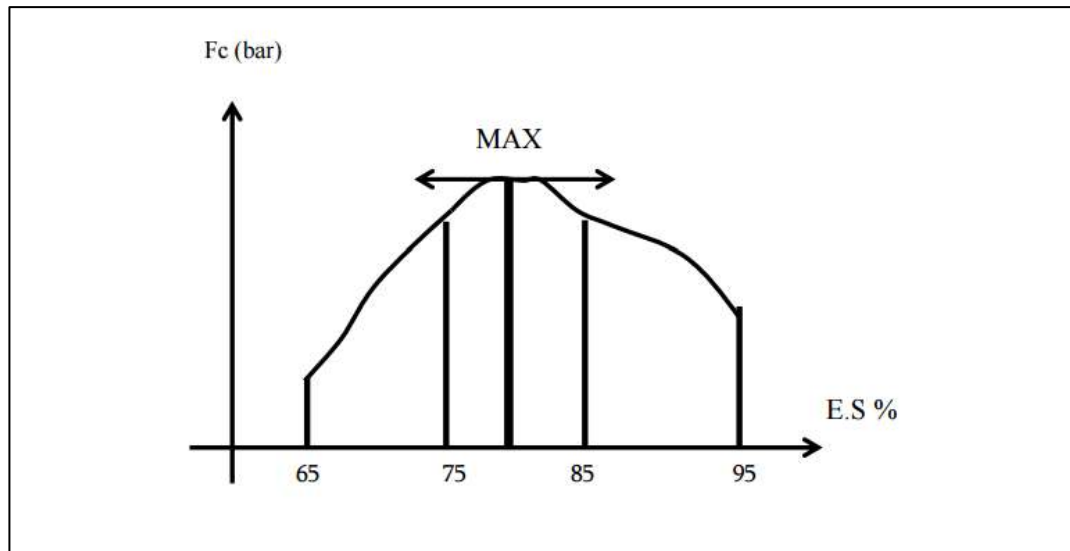


Figure II.5 : Résistance du béton en fonction de l'équivalent de sable [61]

Et suivant à ce résultat montre dans la Figure (II-5), sort que les valeurs favorables de l'équivalent de sable (E.S) pour un béton résistant, se trouvent dans l'intervalle entre 75% et 85%

2.4. Eau :

L'eau est l'un des quatre composants de base du béton avec le sable, les granulats et le ciment, il ne faut donc surtout pas le négliger lors de la composition de votre béton et faire bien attention à son dosage.[19]

Les eaux ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment les granulats ou les armatures ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles .la norme P18-303 limite à cet effet le pourcentage de matière en suspension à 2 ou 5 g/l et la teneur en sels dessous à 15 ou 30 g/l suivant la nature de béton ,spécifications qui ne différencient pas les éléments nocifs même en très faible pourcentage de ceux qui en pourcentage éventuellement plus important ne le sont pas.

2.4.1. Rôle de l'eau :

- Un premier consistant à transformer le ciment en colle. En effet, cette eau va se saturer en ions présents dans le ciment puis, après quelques heures, elle va permettre diverses réactions qui vont solidifier le ciment.
- Un second consistant à offrir au mélange sable-ciment-granulats une certaine fluidité et donc une maniabilité.

2.4.2. La composition chimique d'eau selon la norme :

Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection de béton, on trouve :

- les eaux potables (qui bien évidemment conviennent)
- les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonnières ou des camions malaxeurs à condition de vérifier leur aptitude dans le cas de changement de ciment ou d'adjuvant d'une gâchée à l'autre. Sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments. Fines des sables...). Il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation :
- les eaux de pluie et de ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent conformes aux prescriptions de la norme conviennent également. À côté, les catégories d'eaux ne devant pas être utilisées comprennent :
- les eaux usées
- les eaux vannes ou contenant des détergents
- les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques.

Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur non-nocivité avant tout emploi. La norme autorise l'emploi d'eau de mer dans la confection des bétons qui ne sont ni armés ni précontraints, mais les spécifications du fascicule 65 A sont plus rigoureuses et en interdisent formellement l'emploi lors du gâchage. Bien que les textes officiels ne traitent pas de ce sujet d'utilisation d'eau de mer pour le gâchage de bétons non armés ne présente pas de risque quant à la pérennité de l'ouvrage, seules des efflorescences, dues à une migration des sels, pouvant apparaître sur le parement

2.4.3. Les effets d'eau :

Nous allons voir que l'eau a de nombreux effets sur la résistance, la durabilité, la qualité et la maniabilité de votre béton à différents stades. L'eau a une influence directe sur la résistance initiale du béton à travers le rapport E/C (quantité d'eau/quantité de ciment), elle est observable sur le graphique ci-dessous. Pas besoin de grandes paroles pour comprendre que trop peu d'eau offrira peu de résistance, car la réaction n'aura pas lieu et ajouter trop d'eau (soit dépasser le facteur E/C=0,5) fera chuter très rapidement en résistance et le béton risquera de ne plus résister aux charges.

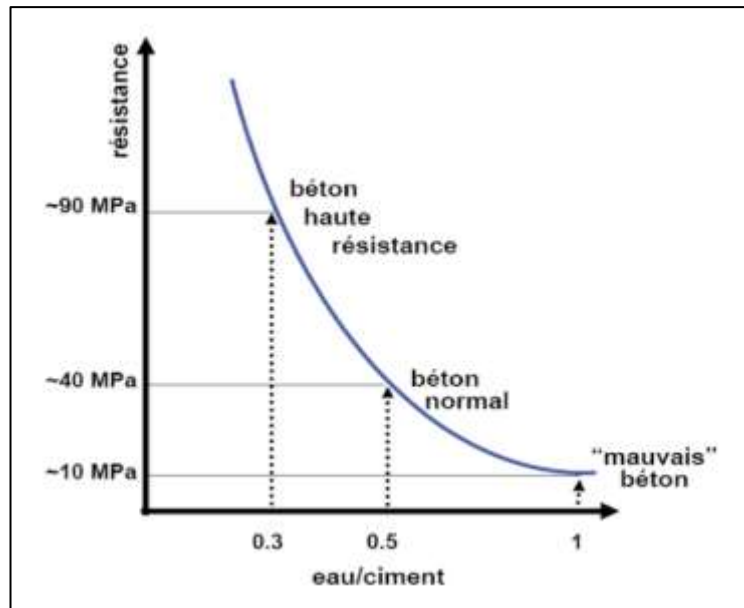


Figure II.6 : Les effets de l'ajout de l'eau dans le béton

L'ajout d'eau a énormément d'effets néfastes qui sont listés ici :

- Le béton est plus poreux, car l'eau a laissé des vides en ressuant. De ce fait, le béton perd énormément en résistance face aux cycles gel/dégel et aux sels de déverglaçage, le sel atteint plus facilement les aciers qui vont rouiller.
- Création de vides internes, car l'eau en excès remonte dans la paroi et laisse des tunnels vides. Des fissures vont alors se créer et les éléments perdront encore en résistance.
- L'eau qui remonte par ressuage va former une croûte qui va donner un phénomène de faïençage pouvant créer de nouvelles fissures et surtout un écaillage très simple, peu esthétique et faisant perdre de la résistance.
- Le béton étant plus maniable les gravillons à l'intérieur se déplacent plus facilement, un phénomène de ségrégation va donc s'en suivre. Les éléments lourds vont tomber au fond du volume et la pâte ciment/eau va rester au-dessus, ce béton perdra donc toute sa résistance, car elle est principalement fournie par les cailloux.
- Plus il y a d'eau plus le phénomène de **dessiccation** sera important et donc beaucoup d'eau sera évaporée. Il manquera donc de l'eau pour la prise et le béton ne sera pas fini ce qui impliquera une nouvelle **perte** de résistance.



Figure II.7 : Béton poreux

2.5. Adjuvants :

Utilisation de super plastifiant est la confection de bétons de maniabilité normale mais ayant très grande résistance en raison d'une réduction substantielle du rapport eau /ciment [20]

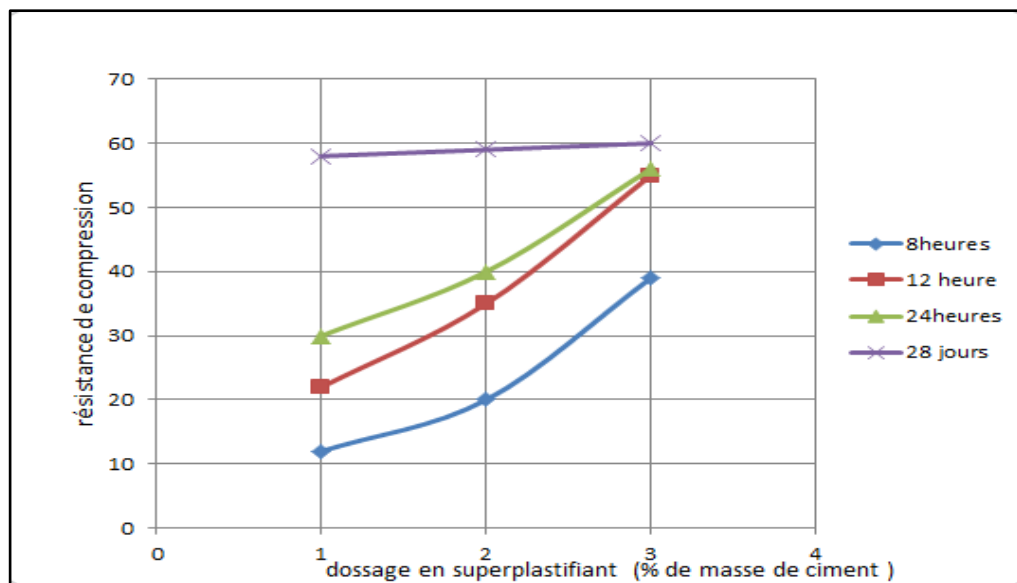


Figure II.8 : Influence de l'ajout d'un plastifiant sur la résistance au jeune âge [20]

La figure II.8 :les super plastifiants peuvent réduire la teneur en eau de 25 à 35 % et augmente la résistance à 24 heures de 50 à 75% et même plus à de plus jeunes âges

3. Les paramètres combinés entre deux ou plusieurs composants :

3.1. Le rapport E/C :

Par son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides. Au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent [62]. Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais. Le dosage du ciment est très souvent relié aux propriétés mécaniques du béton et à sa durabilité. On considère aussi que l'écoulement et l'ouvrabilité du béton sont reliés au rapport E/C. La formulation des bétons ordinaires doit impérativement passer par l'optimisation de ces paramètres.

Neville [20], a montré que la courbe qui représente la résistance en fonction du rapport E/C avait l'allure d'une hyperbole. Le même auteur a montré que cette relation ne dépendait ni du type des granulats utilisés ni de l'âge du béton. Ce résultat a aussi été trouvé par Boukli Hacene [7] qui a montré aussi que cette relation dépend très peu du dosage en ciment (figure II-9)

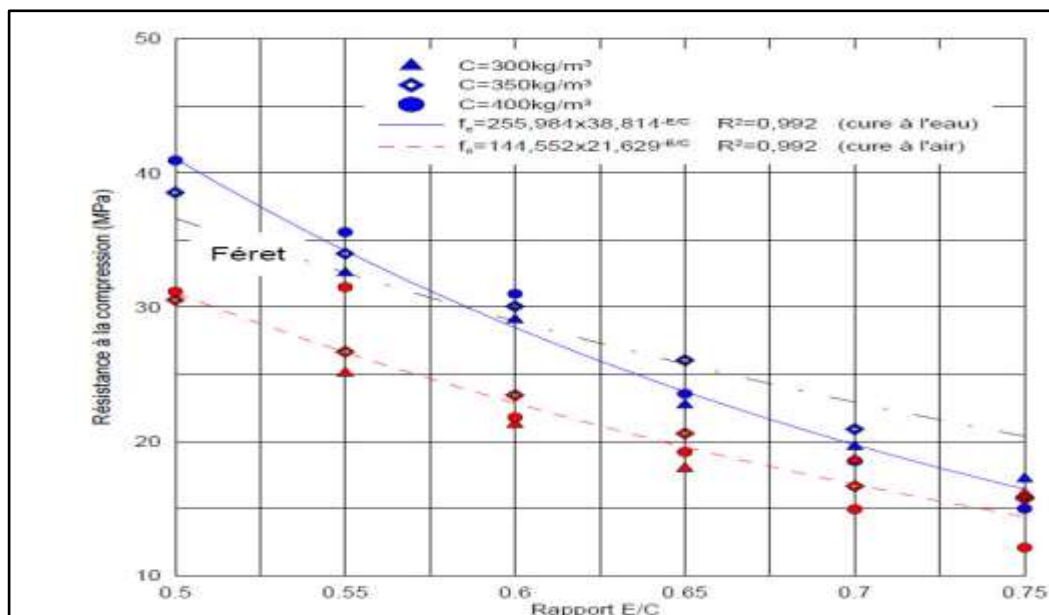


Figure II.9 : Graphe de résistance en variation le rapport E/C avec variation de dosage [8]

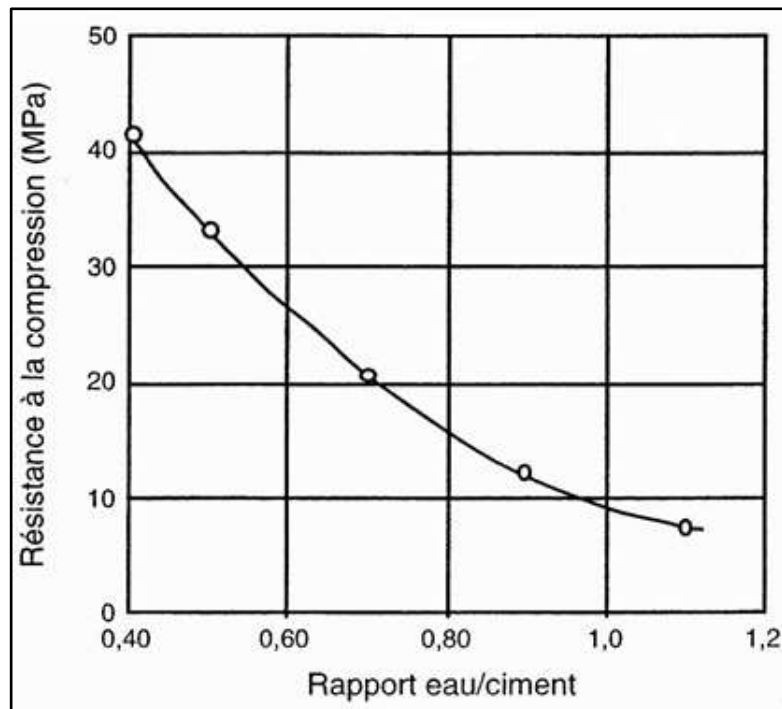


Figure II.10: Relation entre la résistance de compression à 7 jours et le rapport E/C [20].

La figure (II-10) montre que la courbe représentant la résistance en fonction du rapport E/C approximativement la forme d'une hyperbole. Cette relation est valable pour n'importe quel béton quels que soient le type de granulat et l'âge de béton et La résistance est d'autant plus élevée que le rapport E/C diminue Le rapport E/C conditionne aussi la porosité de la matrice cimentaire du béton durci, qui est un paramètre qui influe beaucoup sur la durabilité du béton [20].

Nielsen [63] a montré que la linéarité de la relation entre la résistance et le rapport (C/E) n'est plus valable pour des rapports C/E supérieurs à 2,6, ce qui correspond à un rapport E/C égale à 0,38. Comme on le voit sur la (figure II-11), pour des rapports C/E supérieurs à 2,6 la relation avec la résistance est quelque peu différente même si elle demeure linéaire

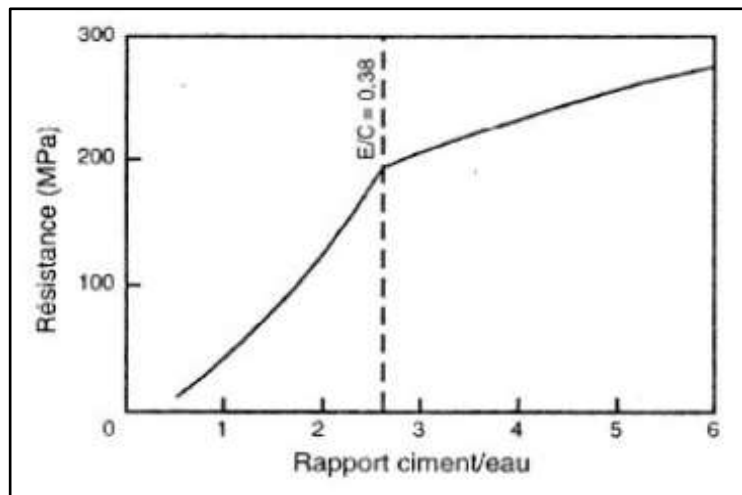


Figure II.11 : Relation entre la résistance calculée d'une pate pure de ciment et le rapport C/E [63].

La (figure II-12) montre que la relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E d'après la formule de Bolomey est linéaire et croissante surtout dans l'intervalle de C/E entre 1,5 et 2,5 c'est-à-dire entre 0,4 et 0,66 pour E/C

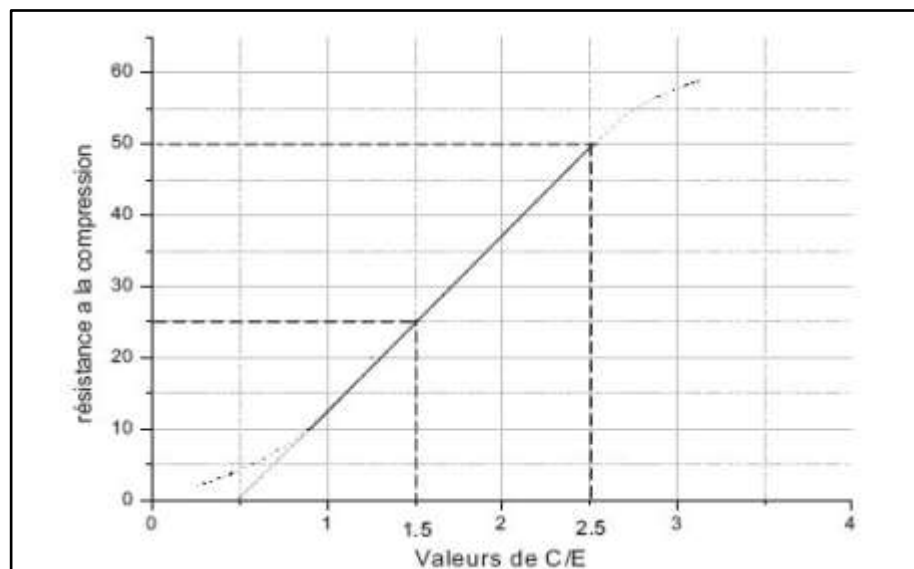


Figure II.12 : La Relation entre C/E et la résistance à la compression (f_c) d'après la formule de Bolomey [19].

$$c = G \times CE (C / E - 0.5)$$

G : coefficient de granularité égale à 0.5.

CE : classe vraie du ciment, égale à 50 MPa.

Le rapport E/C conditionne aussi la porosité de la matrice cimentaire du béton durci, qui est un paramètre qui influe beaucoup sur la durabilité du béton [64].

Résultat :6

Le rapport E/C exerce une très grande influence sur la résistance à la compression, plus E/C est faible plus la résistance augmente [65 et 66], une réduction de 15 litres (par m³) de la quantité d'eau de gâchage conduit à une augmentation de 5 à 10% de la résistance à la compression [67]

3.2. Le rapport granulats/ciment :

Le rapport G/C est un facteur de moindre importance sur l'évolution de la résistance à la compression. Avec un rapport E/C constant, il a été démontré qu'un béton faiblement dosé en ciment demeurerait plus résistant selon les résultats de la figure (II-13). L'explication la plus probable est le faible pourcentage des vides par rapport au volume total de béton.

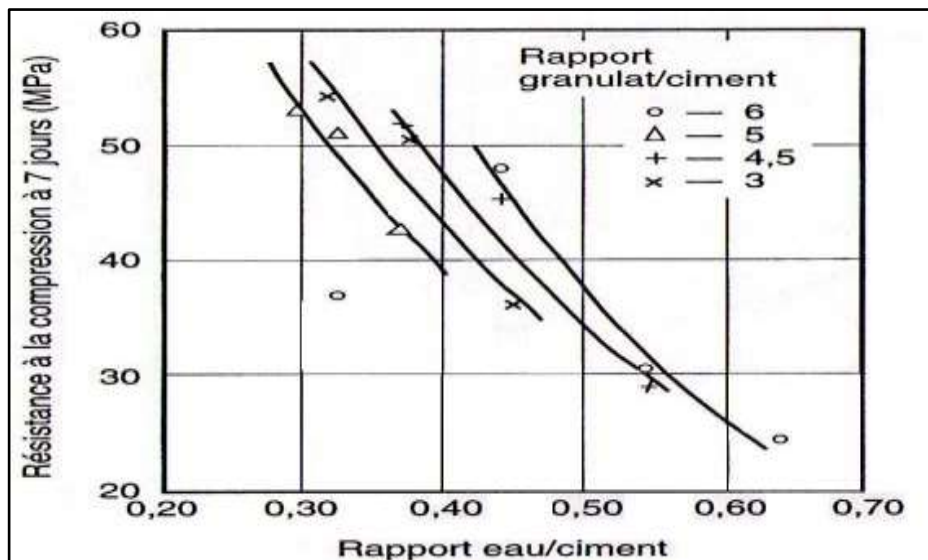


Figure II.13 : Influence du rapport G/C sur la résistance du béton [20].

La figure (II-13) montre que par Neville, qu'un béton plus faiblement dosé était plus résistant. Les raisons de ce comportement ne sont pas bien connues. Dans certains cas, une partie de l'eau peut être absorbée par le granulat : plus il y a de granulat, plus la quantité d'eau absorbé est importante, ce qui contribue à réduire le rapport eau/ciment réel du béton. Dans d'autre cas, une plus forte teneur en granulats contribue à diminuer le retrait et le ressuage, ce qui diminue les désordres dans les liaisons granulat et pâte de ciment. De même, les modifications thermiques dues à la chaleur d'hydratation du ciment sont plus faibles [20]

3.3. Le rapport gravier / sable :

Le rapport (G/S) correspond à celui des volumes absolus du gravier sur sable. La coupure entre sable et gravier se fait au tamis de module 38(5mm) Pour G/S =2.2 (valeurs

les plus courantes) l'influence de G/S est faible. Mais, la résistance augmente sensiblement pour des valeurs élevées de G/S surtout pour les bétons fermes

Tableau II.1 : présente une récapitulation des qualités principales des bétons en fonction de leurs G/S.

	Appréciation concernant les bétons	
Caractéristiques	G/S élevé par rapport à ceux à G/S faible	à granularité discontinu par rapport à ceux à granularité continue
Ouvrabilité	Moins bonne surtout si $G/S > 2.2$	Moins bonne
Résistance à la compression	Meilleure surtout pour $G/S > 2.2$	Très légèrement supérieure
Résistance à la traction	Sans corrélation apparente	Très légèrement inférieur
Module d'élasticité	Sans corrélation très nette sauf pour le module statique un peu plus élevé en fonction de G/S	Un peu plus élevé
Vitesse de son	Sans corrélation très nette	Légèrement supérieure
Indice sclérométrique	Un peu supérieur	Très supérieure légèrement
Retrait	Sans corrélation très nette	Moins élevé surtout si $G/S > 2.2$
Compacité, densité	Légèrement plus élevé pour $G/S > 2.2$	Un peu plus élevé

il y apparaît en effet que pour des $G/S \leq 2$ (valeurs les plus courantes) l'influence du rapport G/S est relativement faible, tandis que la résistance augmente plus sensiblement pour des valeurs plus élevées de G/S surtout pour les bétons fermes ; mais pour des raisons d'ouvrabilité, il ne convient pas de dépasser $G/S = 2.0$ à 2.2 pour les bétons courants, sauf à prendre des précautions particulières à la mise en œuvre.

La figure (II-14) ci-dessous montre l'influence de rapport G/S sur la résistance du béton avec plasticités différées. La tendance actuelle est de ne pas dépasser des valeurs de G/S entre 1.5 à 1.6 ; c'est un léger sacrifice de la résistance au profit de l'ouvrabilité [19]

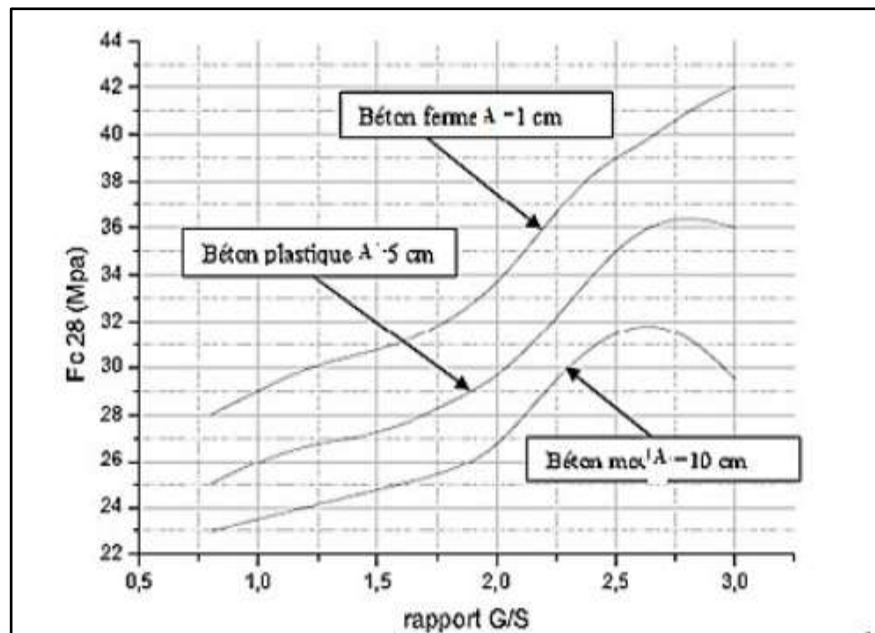


Figure II.14 : Variation de la résistance à la compression selon le rapport G/S avec Différentes plasticité [19]

4. Les paramètres de mise en œuvre et de protection :

4.1. Les conditions climatiques :

L'influence de la température de fabrication puis de mûrissement du béton sur ses résistances à court et à long terme a fait l'objet de plusieurs études au cours des soixante dernières années. De façon générale, toutes ces études (Klieger P., 1958 ; Verbeck G.J. et Helmuth R.H., 1968 ; Mamillan M., 1970 ; Alexandersson J., 1972 ; Byfors J., 1980 ; Regourd M. et Gautier E., 1980, etc.) [7]. Ont montré que : plus la température de fabrication et/ou de mûrissement est élevée, plus la résistance à court terme est élevée. Alors qu'à long terme, l'influence de la température est inversée, c'est-à-dire que plus la température initiale est élevée, moins bonnes sont les résistances.

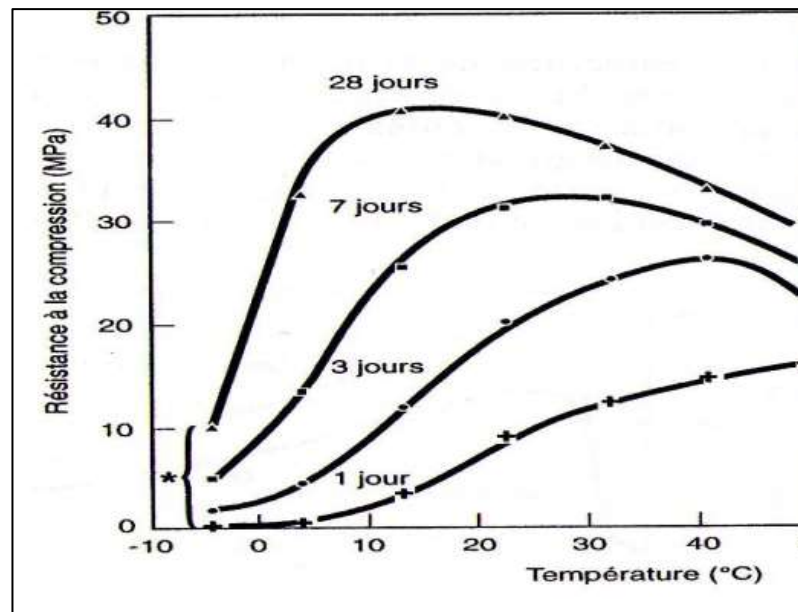


Figure II.15 : Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances [7].

La figure (II-15) montre que plus la température de fabrication et de mûrissement du béton est élevée, plus la résistance à un jour de ce béton est élevée ; alors que pour les âges de trois à vingt-huit jours l'influence de la température change radicalement. En effet, pour chacun des âges étudiés à partir de trois jours, il existe une température optimale à laquelle correspond le maximum de résistance. En fait, cette température optimale de mûrissement diminue lorsque l'échéance considérée augmente. Cependant, les causes à l'origine des réductions de résistances observées à long terme pour les bétons mûris à des températures élevées sont beaucoup plus complexes et suscitent encore aujourd'hui des questions [7].

4.2. Temps de malaxage et la vitesse :

Il est essentiel que les constituants de base soient mélangés correctement afin de produire un béton frais dont la surface de tous les granulats sera enrobée de pâte de ciment et qui sera alors homogène à grande échelle

Sur le chantier on a souvent tendance à vouloir malaxer le béton le plus rapidement possible il est cependant nécessaire de connaître quel est le temps minimal de malaxer pour produire un béton de composition homogène et par conséquent de résistance satisfaisante ce temps varie en fonction du type de malaxeur utilisé et en fait ce n'est pas tant le temps de malaxage qui importe mais bien le nombre de tours que la cuve du malaxeur doit effectuer

généralement environ 20 tours suffisent comme il existe une vitesse optimale recommandée par le fabricant du malaxeur le nombre de tours et la durée de malaxage sont interdépendants pour un malaxeur donné il existe une relation entre la durée de malaxage et l'homogénéité du mélange des données types tirées de SHALON et REINITZ sont présentées à la figure ces données montrent la dispersion représentée par une plage de résistance à la compression du béton mais dans les éprouvettes ont été prélevées après des durées de malaxage spécifiées

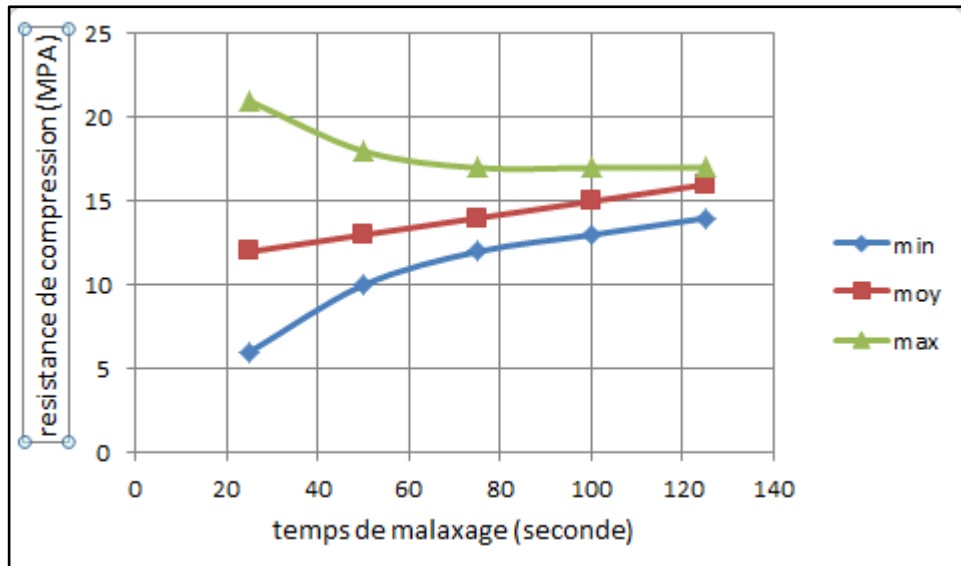


Figure II.16 : Relation entre la résistance à compression et le temps de malaxage [20]

La vitesse de rotation de ces matériels (bétonnière et malaxeur) est fonction du diamètre de la cuve : il est de l'ordre de 15 à 25 tours par minute on admet en général comme vitesse optimale pour les bétonnières [19]

$$N \text{ (en tours par minute)} = 20/D$$

D : étant le diamètre de la cuve (D en mètres)

La durée de malaxage doit être suffisante pour assurer une bonne homogénéité du mélange. On compte au minimum 2 à 3 minutes avec les bétonnières courantes. on préconise comme temps minimal T(en secondes) :

$$T=90 \quad D \text{ (axe horizontal)}$$

$$T=120 \quad D \text{ (axe incliné)}$$

4.3. La vibration :

La vibration appliquée au béton frais a pour fonction, en le fluidifiant, de favoriser l'arrangement optimal des grains qui sont les constituants du béton (gravillons, sables, fines,

ciment...). Les grains s'imbriquent les uns dans les autres et laissent le moins de vide possible entre eux, les plus fins s'insèrent entre les plus gros .la vibration permet un remplissage optimal des coffrages. La fréquence et la durée de vibration doivent être adaptées à la composition du béton et aux caractéristiques de l'ouvrage.

Sous l'effet de la vibration, le béton se liquéfie (les grains se rapprochent, l'air remonte à la surface, les vides se remplissent par le mortier de ciment), il est comparable à une sorte de liquide visqueux, ce qui permet une meilleure mise en place dans les coffrages, un remplissage intégral des coffrages et des moules, un parfait enrobage des armatures et une adhérence optimale entre le béton et les armatures.

La vibration permet aussi d'évacuer une grande partie de l'air contenu dans le béton (air occlus dont le volume est de l'ordre de 1,5% du volume du béton) et d'améliorer ainsi sa compacité (sans vibration, les bulles restent piégées au sein de la pâte cimentaire, ces bulles d'air sont créées lors du malaxage, du transport et du déverser du béton dans le coffrage).

Les effets de la vibration sur le béton frais se traduisent par des propriétés améliorées du Béton durci : compacité et densité supérieur, caractéristiques mécaniques améliorées, porosité réduite, Meilleure homogénéité, retrait diminué, enrobage et adhérence efficaces des armatures, durabilité augmentée et amélioration de l'aspect de surface

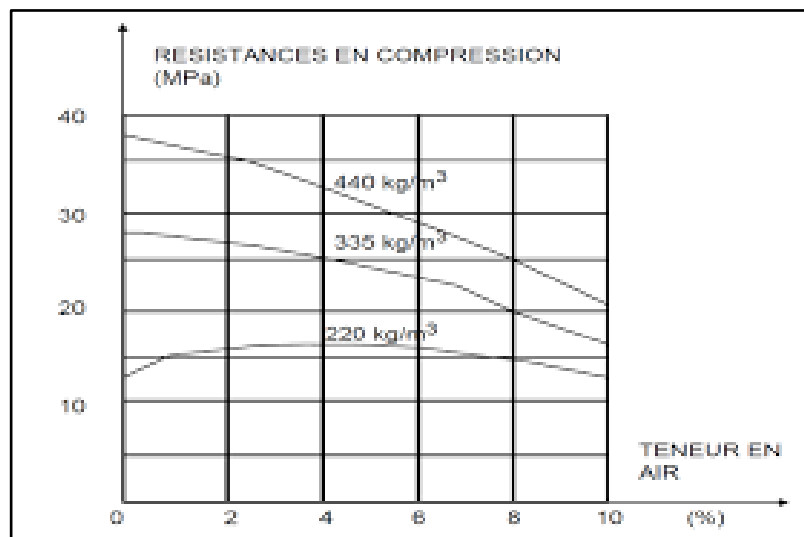


Figure II.17 : Variation la résistance en compression en teneur en air

La vibration doit être appliquée à la totalité du volume du béton et de manière homogène sous peine de créer des hétérogénéités tant au niveau de la porosité, que de l'enrobage des armatures et de l'aspect des parements [19]

4.4. Transport du béton :

Le transport du béton frais jusqu'au lieu de coulage fait appel à des matériels très différents, selon qu'il s'agit de parcourir de courtes distances sur un chantier ou qu'il doit être acheminé depuis une centrale de fabrication, parfois éloignée de plusieurs kilomètres.

A cet effet, des camions à bennes fixes ou des bétonnières portées type toupies ou bennes rotatives assurent le malaxage pendant le transport (l'agitation), évitant toute ségrégation due aux chocs répétés et aux trépidations pendant le roulage. La capacité de ces bétonnières portées varie de 4 à 10 m³. Le temps de transport doit être limité à 45 mn environ, surtout par temps chaud.

Le risque rencontré est une chute de la maniabilité du béton. L'emploi de retardateurs de prise et de plastifiants a néanmoins permis de résoudre en grande partie ce type de difficultés.

Les types de transport :

- ❖ Le transport par benne
- ❖ Le transport par pompage, brouette

P

artie

Expérimentale

1. Introduction :

L'objet de cette étude est de vérifier l'influence de la finesse de sable sur les caractéristiques de béton. Comme il a été déjà signalé dans la partie recherche bibliographique, le sable est un acteur principal dans la formulation de béton et il a une influence directe sur le comportement de béton frais et durci, cette relation entre la qualité de béton et celle sable nous conduit à préparer des mélanges du béton avec différentes sables et comparer les caractéristiques obtenues.

2. Protocole d'essai :

Le protocole adopté dans la présente étude est purement expérimental, il consiste à déterminer les caractéristiques du béton en modifiant la finesse de sable et de faire l'analyse et la comparaison des résultats.

La méthode utilisée est la suivante :

- Utiliser trois sables de finesse différentes ;
- Utiliser le même gravier ;
- Utiliser le même ciment et avec le même dosage ;
- Utiliser la même eau de gâchage ;
- Utiliser la même méthode d'étude de formulation ;
- Respecter les mêmes conditions de préparation et de conservation de béton.

Des mélanges d'essais ont été réalisés pour déterminer les caractéristiques de béton frais et durci dans les trois cas de sables.

Les caractéristiques ciblées dans le cadre de notre étude selon les moyens disposés sont :

- Pour le béton frais :
 - L'affaissement.
 - L'air occlus.
- Pour le béton durci :
 - La densité.
 - La résistance à la compression.
 - La résistance à la traction.
 - La propagation des ondes soniques.

- La propagation de chocs (scléromètre).
- La perméabilité.

CHAPITRE III :

*Présentation et
caractérisation des
matériaux utilisés*

1. Introduction :

La présent chapitre à s'intéresse à l'identification et préparation des matériaux de l'étude parce que chacune de ces caractéristiques à une influence importante sur les résultats d'étude.

On situé les propriétés physiques et mécaniques des granulats ont été mesurées selon les normes algériennes ou AFNOR, aussi présente classification et la composition chimiques et minéralogiques de ciment de tous les matériaux utilisées (eau, granulats, ciment)

2. Sable :

Les sables utilisés pour notre recherche sont des sables alluvionnaires des gaines roulés proviennent des Oueds de la région Ghardaïa, il s'agit de :

- Sable de dune (FHEL) sable de nature siliceuse de couleur rosâtre
- Sable de la zone TAMENERASSET (sable grossier)
- Sable oued m'zi de la zone LAGHOUAT, sable de nature siliceu à un couleur brunâtre

2.1. Analyse Granulométrie :

L'essai de L'analyse granulométrique Permet de déterminer par la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon, le sable passe à travers une série de tamis décroissante des mailles en (mm) 5 ; 2.5 ; 1.25 ; 0.63 ; 0.315 ; 0.16 ; 0.08. Selon la norme NA2607 [68]



PhotoIII.1 : Tamis utilisées pour l'essai analyse granulométrique

Tableau III .1 : Résultat d’essai analyse granulométrique des sables

Sable	OUED M’ZI	TAMENERASSET	DUNE
Tamis (mm)	Tamisât (%)	Tamisât (%)	Tamisât (%)
5	100	100	100
2.5	94	84	100
1.25	87	61	100
0.63	74	30	100
0.315	37	9	74
0.160	10	3	9
0.08	4	2	0

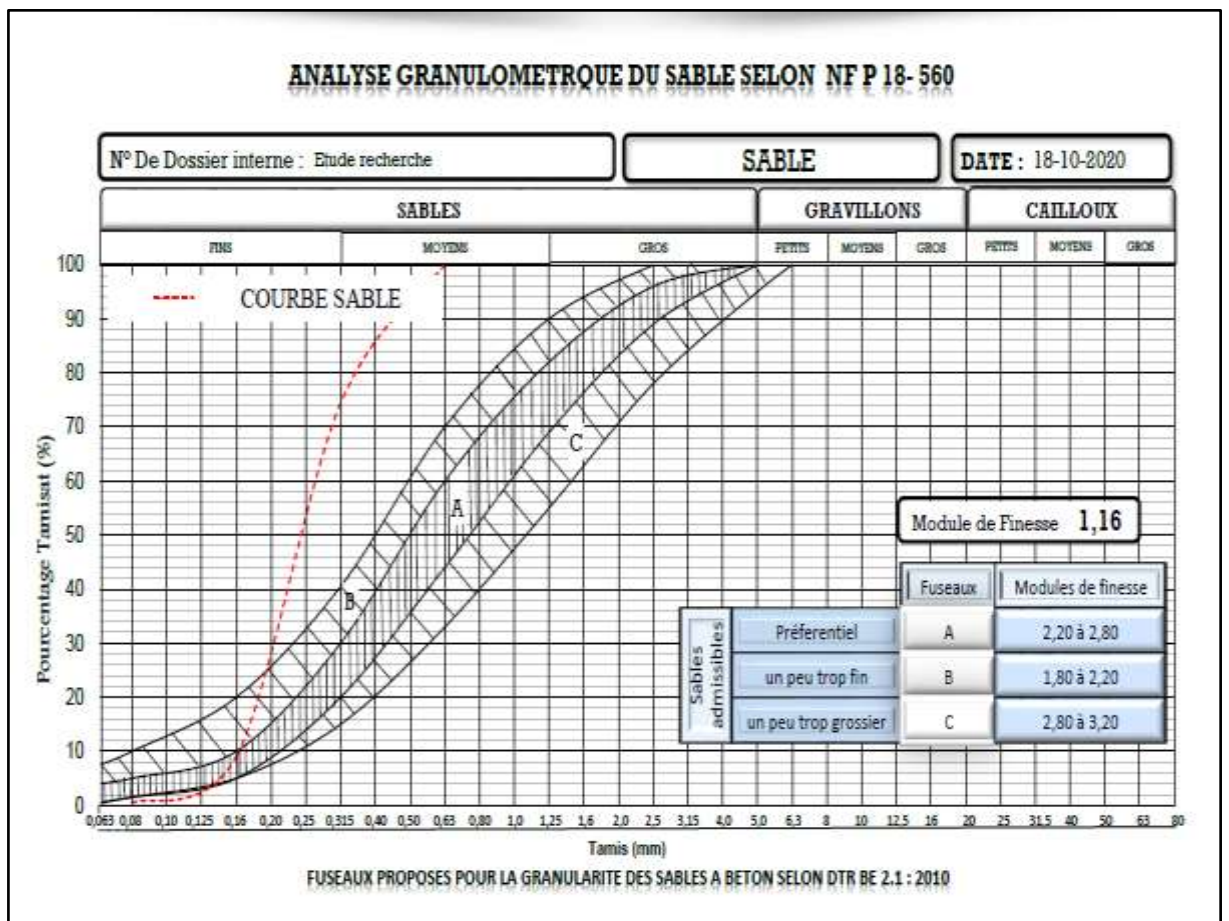


Figure III.1 : fuseaux normalisés de sable dune

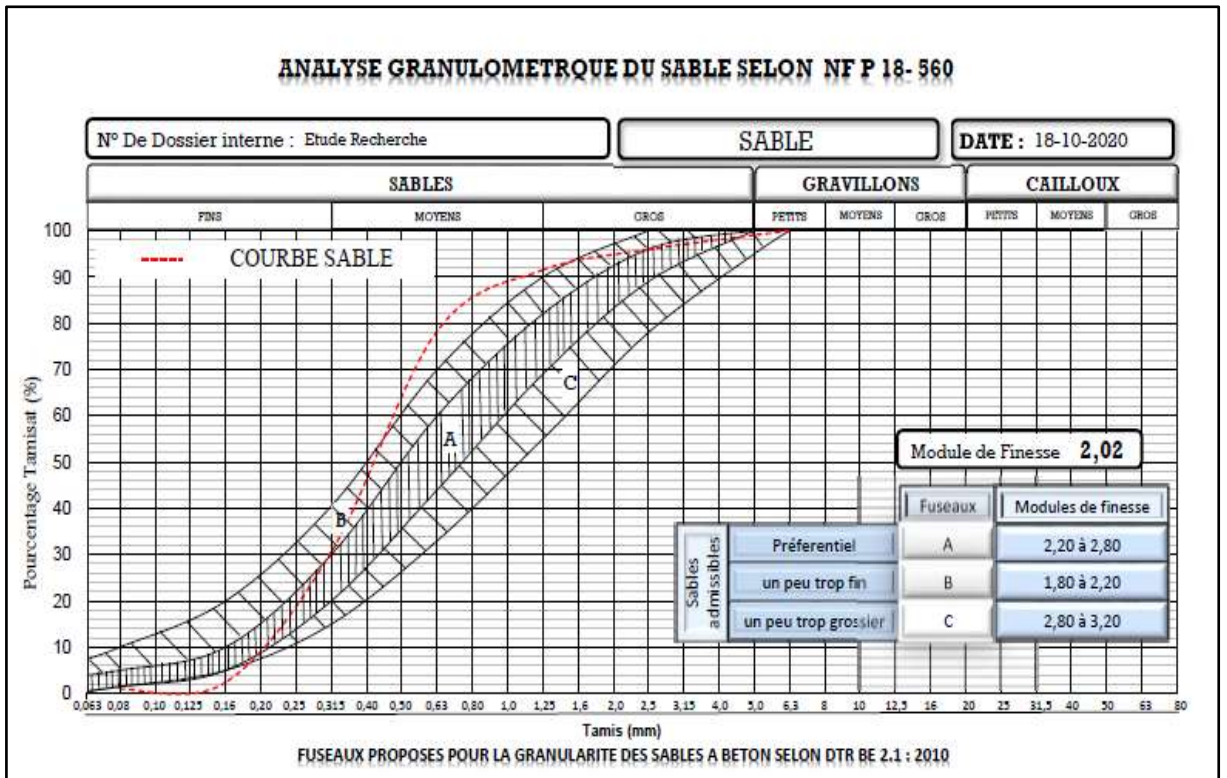


Figure III.2 : fuseaux normalisés de sable oued m’zi

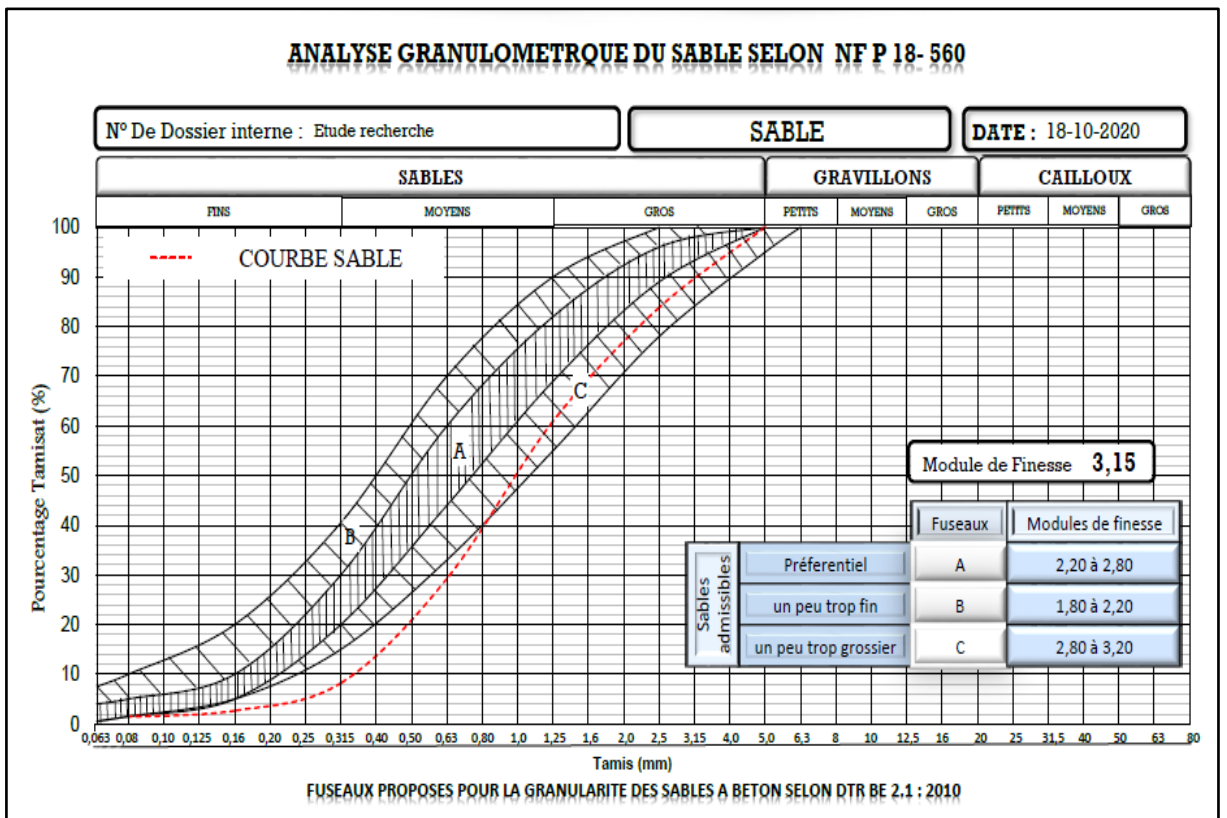


Figure III.3 : fuseaux normalisés de sable Tamanrasset

2.2. Module de finesse :

Correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés des tamis d'ouvertures (0.16-0.315- 0.63- 1.25 -2.5 -5) (mm). Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons selon la norme NA504 [69]

Les normes soviétiques spécifient le Module de finesse des sables comme suit :

Tableau III .2 : Classement de sable selon leur module de finesse.

Qualité de sable	Sable très fin	Sable fin	Sable moyenne	Sable gros
Module de finesse	$1 < Mf < 1.5$	$1.5 < Mf < 2$	$2 < Mf < 2.5$	$Mf > 2.5$

Il est donné par la relation suivant :

$$MF = \frac{\sum Rc(0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5)}{100} \dots\dots(III.1)$$

Tableau III .3 : Résultat d'essai module de finesse

Sable	DUNE	OUED M'ZI	TAMENERASSET	Exigences de NA504
Mf	1.16	2.02	3.06	$1.5 \leq MF \leq 2.8$

2.3. Equivalent de sable :

Il est défini par la norme NA 455, cet permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis a maille carrée de 5mm. Il rend compte globalement de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux sédimentent et les éléments fins qui floclent.

- **Principe :** Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers.

- On détermine l'équivalent de sable selon la norme NA 455 [70], à l'aide de la formule suivante :

$$Es = \frac{H2}{H1} \dots\dots(III.2)$$

H1 : hauteur du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette

H2 : hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée.

Es : équivalent de sable



PhotoIII.2 : Essai de l'équivalent de sable

Tableau III .4 :Résultat d'essai ES

Sable	DUNE	OUED M' ZI	TAMENERASSET	Exigences de NA455
ES [%]	96.74	70.14	85	≥ 60 %

2.4. La Masse volumique :

2.4.1. Masse volumique absolue :

Elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains

La relation selon la norme NA 255 [71].

$$\rho_{abs} = \frac{\text{poids des agrégats secs}}{\text{volume des agégats}} \dots\dots\dots (III.3)$$

volume des agégats = poids récipient plein d'eau – (poids récipient + d'eau + agrégats)



PhotoIII.3: Essai de la masse volumique absolue

2.4.2. Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente du sable, c'est la masse à l'état naturel du matériau rapportée à l'unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

$$\rho_{\text{app}} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r} \cdot \dots\dots\dots (\text{III.4})$$

Avec : **M1** : Masse du récipient vide.

M2 : Masse du récipient plein agrégats

V r : Volume du récipient.



PhotoIII.4 : Essai de la masse volumique apparente

Tableau III .5 : Résultat d'essai masse volumique

SABLE	DUNE	OUED M'ZI	TAMENERASSET
MV APPARENTE	1.54	1.51	1.39
MV ABSOLUE	2.32	2.64	2.69

2.5. Le coefficient d'absorption (capacité d'absorption d'eau du sable :

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraîne par une imbibition partielle en eau, à la masse séchée de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20 c° à la pression atmosphérique. Pour le sable il faut utilise le cône et le piston pour détermine le coefficient d'absorption du sable, Ab est déterminer par la formule suivante : norme NA255 [71]

$$Ab = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100 \quad \dots \dots \dots (III.5)$$

**PhotoIII.5 : Essai de capacité d'absorption d'eau**

Tableau III .6 : Résultat d'essai coefficient d'absorption

Sable	DUNE	OUED M'ZI	TAMENERASSET	Exigences de NA5043[72]
Taux d'absorption de sable [%]	0.45	1.06	0.69	≤ 5.0 %

2.6. Essai Bleu Méthylène :

Couramment l'essai au bleu de méthylène est utilisé pour caractériser l'activité des argiles contenues dans les sols. Il est utilisé également pour quantifier de manière sûre et simple la propreté des granulats. Objectif de l'essai Evaluer l'influence des fines d'origines argileuses contenues dans les sables ou tout-venant suivant la norme NA 1948 [73].

$$VB = \frac{V}{MS} \dots\dots\dots (III.6)$$

**PhotoIII.6 :** Essai de bleu méthylène**Tableau III .7 :** Résultats de Bleu méthylène

	DUNE	OUED M'ZI	TAMENRASSET	Exigences de NA1948[73].
Bleu méthylène	0.07	0.17	0.13	≤ 1.0

2.7. Analyses chimiques du sable :

Tableau III .8 : Résultats d'analyse chimiques NA461 [74]

	OUED M'ZI	TAMENNERASET	DUNE	Exigences de NA461 [72]
Taux de carbonates CaCo3 [%]	03	04	00	-
Taux de Sulfatas SO ₃ [%]	-	-	-	≤ 0.2 %-
Taux Insolubles %	93.3	90.8	98.1	
Taux Chlorure Cl- [%]	0.00	0.00	0.00	≤ 0.06 %-

3. Le gravier :

Les trois classes de gravier (15/25, 8/15,3/8) utilisées dans cette étude ont été ramenées de la station de concassage de l'entreprise ALCOGAZ située dans la zone d'activité de METLILI a GHARDAIA, il s'agit d'un gravier concassé de nature calcaire

3.1. Analyse granulométrique :

- **Objectif :** Déterminer les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains Constituant l'échantillon
- **Principe :** essai consiste à classer les différents grains en utilisant série des tamis, emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le classement obtient par vibration. Les masses des différents refus ou celles des différents tamises sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique)

Tableau III .9 : Résultat d'essai analyse granulométrique

Référence normative : NA2607.[68]			
Echantillon : gravier 3/8 gravier 8/15 gravier 15/25			
Classe	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Tamis d'ouvertures(mm)	Tamisât (%)	Tamisât (%)	Tamisât (%)
31.5	100	100	100
25	100	100	94
20	100	100	27
16	100	99	3
12.5	100	42	0
10	100	9	0
8	100	1	0
6.3	86.33	1	0
5	60.28	0	0
4	31.4	0	0
3.15	19.36	0	0
2.52	4.86	0	0
1.60	2.46	0	0
1.25	1.79	0	0
1	1.5	0	0

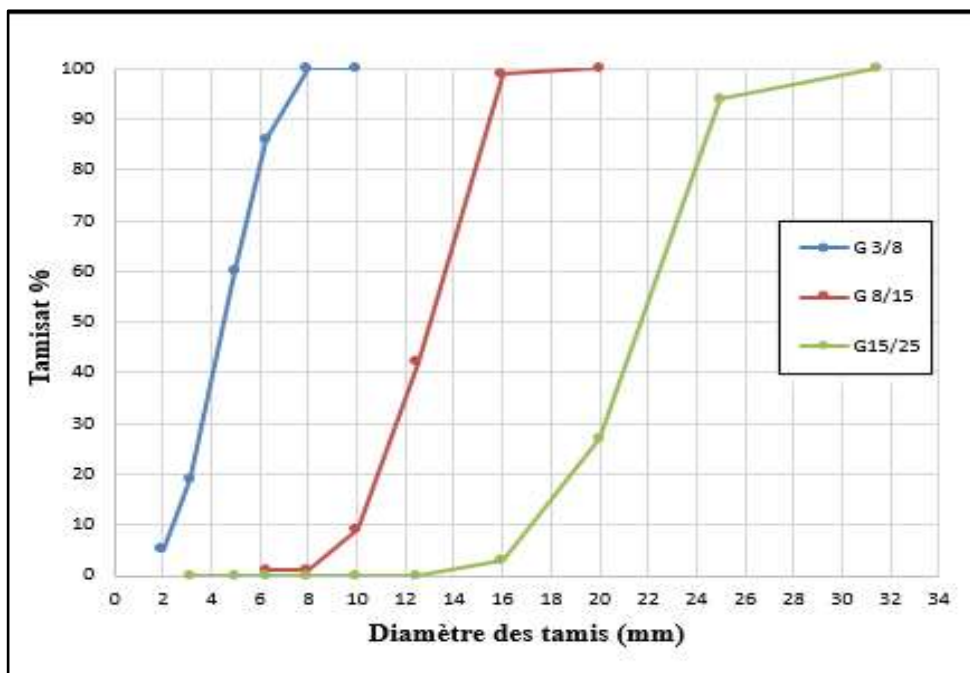


Figure III.4 : Fuseaux normalisés des graviers

3.2. Aplatissement :

La détermination du coefficient d’aplatissement d’un échantillon de granulats dont les dimensions sont comprises entre 4 et 40 mm, Le présent coefficient s’applique aux granulats d’origine naturelle ou artificielle suivant la norme NA256 [75]

$$A_p = \frac{\sum M_e}{\sum M_g} \times 100 \dots\dots\dots (III.7)$$

Mg : Tamisage par tamis

Me: Tamisage par grilles



PhotoIII.7 : Grille en fonte pour l’essai d’aplatissement

Tableau III .10 : Résultat d'essai coefficient d'aplatissement

GRAVIER	15/25	8/15	3/8	Exigences NA 5043 [72]
Aplatissement (%)	4.85	17.68	30.15	$\leq 35 \%$

3.3. Masse volumique absolue et apparente :**Tableau III .11** : Résultat d'essai masse volumique [71]

Classe de gravier	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
$\gamma_{abs}(Kg/m^3)$	2.59	2.58	2.59
$\gamma_{app}(Kg/m^3)$	1.08	1.13	1.22

3.4. Absorption :**PhotoIII.8** : Essai de capacité d'absorption d'eau

Cette manipulation a pour objectif de déterminer le coefficient d'absorption d'un matériau à partir de différentes pesées suivant la norme NA255 [71]. On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon.

Dans notre cas nous avons trouvé que :

Tableau III .12 : Résultats d'absorption d'eau

Classe de gravier	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Exigences NA 5043 [72]
Ab (%)	6.04	3.95	2.27	≤ 5 %

3.5. Propreté superficielle :

Pour savoir la propreté des granulats on utilise l'essai de propreté superficielle suivant la norme NA 463[76], qui consiste à mesurer le pourcentage d'éléments fins subsistant après lavage.

$$\text{Propreté P (\%)} = [(P1-P2)/P2 \times 100] \dots\dots\dots (\text{III.8})$$

- Poids humide échantillon P1 (g)
- Poids sec échantillon P2 (g)

**PhotoIII.9 : Essai de propriété superficielle**

Dans notre cas, les graviers ont :

Tableaux III .13 : Résultats Propreté superficielle des graviers.

Classe de gravier	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Exigences NA 5043 [72]
P(%)	2.29	0.78	0.00	≤ 1.5 %

3.6. Essai LOS ANGELES :

La première propriété mécanique des granulats est la dureté qui est définie comme étant la résistance d'un échantillon de roche à se briser sous un choc. Qui définit à partir d'essai los angles la norme NA 458 [77], qui permet nous connaître est que les granulats répondre aux spécifications de fabrication de béton ou non

$$LA = 100 \frac{M-m}{M} \dots\dots\dots (III.9)$$



Photo III.10: Essai de LOS ANGLES

Tableau III .14 : Résultat d'essai LA

Classe de gravier	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Exigences NA 5043 [72]
LA (%)	44.84	43.68	33.5	≤ 40 %

3.7. Essai Micro DEVAL :

Pour but la détermination de la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat, on a procédé l'essai de micro DEVAL en présence d'eau suivant la norme NA 457 [78].

$$MDE (\%) = 100 \frac{M-m}{M} \dots\dots\dots (III.10)$$



PhotoIII.11 : Essai de MDE

Dans notre cas :

Tableau III .15 : Résultats du Micro Deval

Essai	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier15/25	Exigences NA 5043[72]
Micro deval	14.62	31.38	-	≤ 30 %

3.8. Les analyses chimiques du gravier :

Le tableau (III.16) donne la composition chimique du gravier.

Tableau III .16 : Résultats des analyses chimiques

	Gravier 3/	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Exigences NA 5043
Taux des insolubles [%]	5.4	5.4	3.5	-
Taux de carbonates CaCo3 [%]	89	89	90	-
Taux Chlorure Cl- [%]	0.005	0.005	0.006	≤ 0.06 %
Taux de Sulfatas SO3 [%]	0.00	0.00	0.00	≤ 0.2 %

4. Le ciment :

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico mécaniques et chimiques satisfont aux exigences des ciments CPJ CEM II/A 42.5 R selon la norme NA 442 [79].

4.1. Caractéristiques chimiques du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R :

Tableau III .17 : Composition chimique du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.[80]

Composition Chimique	Teneur %
Perte au feu % NA5042	102
Teneur en sulfates SO ₃ %	2.5 ± 0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO %	1.7 ± 0.5
Teneur en chlorures NA5042 %	0.02 – 0.05

4.2. Caractéristiques minéralogiques du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R : .[80]

Les caractéristiques minéralogiques du ciment utilisé sont résumées dans le tableau (III .18).

Tableau III .18 : Composition minéralogique de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R

Phase	Constituants minéraux du clinker	Teneur rapporté au clinker (%)
CLINKER	C ₃ S	60 ± 3
Régulateur de prise	C ₃ A	7.5 ± 1

4.3. Caractéristiques physiques du ciment CPJ CEM II/A 42.5 :

L'analyse physique de ciment déterminé selon la norme français NA230 [81]



PhotoIII.12 : Essai de consistance de ciment

Tableau III .19 : Résumées les caractéristiques physiques du ciment utilisé

Temps 0	8 :45min	Exigences de NA 442 général [79]
Début de prise	11 :46 min	60 mn
Fin de prise	13 : 30 min	

Temps 0 afin de prise	4h et 45min
Temps 0 à début de prise	3h et 1min
Début de prise	1h et 44min

5.L'eau de gâchage :

L'eau Utilisée dans la formulation est l'eau potable de réseau AEP de la ville de Ghardaïa, donc selon la norme NA 1966 [82]

Tableau III .20 : La composition chimique de l'eau

	Résultats	Concentration maximal
Phi	8.32	4
PHt	6.94	-
Sulfate SO mg/l	613.21	< 2000 mg/l
Chlorure Cl mg/l	710.43	1000 mg/l
Résidus du sel mg/l	2425	-

6. Conclusion :

Dans ce chapitre on a essayé d'identifier les caractéristiques des matériaux utilisés suivant les normes "AFNOR", et cela afin d'avoir l'opportunité de savoir la compatibilité de ces matériaux pour la composition d'un béton courant. Cependant les conclusions qu'on peut tirer de la caractérisation de ces matériaux sont

A/ Pour le sable :

A la lumière des résultats obtenus et d'après la norme algérienne NA 5043[72], on peut conclure que :

- La granulométrie des trois sables est partiellement hors fuseau de référence, ils sont peu sévères, néanmoins ils ont module de finesse différente ;
- Les valeurs de bleu Méthylène des 03 sables sont admis,
- Les valeurs de l'équivalent de sable sont indiqués que les sables utilisés sont propres
- Les valeurs d'absorption indiquent que les sables non absorbants
- Les résultats des essais chimiques montrent que les sables sont de nature siliceuse vue taux des insolubles, et pauvre des éléments agressifs tels que les sulfates et les chlorure.

La variation des valeurs de module de finesse MF de sable sur notre recherche permet de nous faire un balayage large de ce critère des sables, aussi pour éclaircir l'effet de la valeur de MF de sable sur les propriétés mécaniques de béton surtout que les toutes autres caractéristiques sont tolérables ou bien sont presque égales.

B/pour le gravier :

A la lumière des résultats obtenus et d'après la norme algérienne NA 5043 [72], on peut conclure que :

- Les classes granulaires 8/15 et 15/25 inscrivent dans leurs fuseaux de référence par contre le gravier 3/8 est légèrement supérieur à sa classe ;
- Les autres caractéristiques de fabrication tel que la propreté et le l'aplatissement sont acceptable vue les exigences de la norme corresponde (sauf le gravier 3/8 est gravier impropre)
- L'essai de l'absorption des graviers sont acceptables, excepte le taux celle du classe 3/8 il est supérieur à la valeur exigé ;
- Les essais mécaniques sur gravier à savoir LOS ANGELES montre que les graviers ont une faible dureté, néanmoins ils sont tolérable pour des bétons ordinaires, ce qui peut influencer sur les résultats de résistance à la compression simple du béton notre étude ;
- Les essais chimiques montrent que les graviers sont de nature carbonatée (calcaire), ne sont pas agressive vis-à-vis le béton et en cas de présence des armatures tel que les Sulfates et les Chlorure, ce que nous permet de dire que il n'y a pas de risque d'attaque chimique interne dans le béton. . Donc les trois classes de gravier peuvent être utilisées pour formuler un béton de qualité.

CHAPITRE IV :

*Etude de formulation
et préparation de béton
au laboratoire*

1. Introduction :

L'étude de composition de béton consiste à définir les quantités des différents constituants : graviers, sable, ciment ainsi que la quantité d'eau, afin de réaliser un béton de qualité.

Les bétons étudiés dans ce travail sont des bétons ordinaires de classe de résistances, C 25 MPa avec un dosage en ciment égale 350 kg/m³ et consistance désirée de classe S2 (bétons plastiques Affaissement (4 à 9 cm).

Les trois (03) formulations étudiées sont les suivantes :

- Composition 1 : en utilisant le sable d'OUED M'ZI (LAGHOUCHE)
- Composition 2 : en utilisant le sable de DUNE
- Composition 3 : en utilisant le sable de TAMENERASSET

2. Présentation de la méthode de formulation :

Les étapes de formulation selon la méthode de « **DREUX GORISS** » basées sur la résistance visée et l'affaissement au cône d'ABRAMS.

2.1. Critère de résistance :

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique σ'_{28j} . Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15% à la résistance minimale en compression σ_{28j} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

$$\sigma'_{28j} = 1.15\sigma_{28j} \quad \dots\dots (IV.1)$$

La résistance désirée pour le béton témoin à 28 jours est :

de notre cas : $\sigma_{28j} = 27$ MPA. Alors, La résistance moyenne visée pour le béton témoin à 28 jours :

$$\sigma'_{28j} = 27 * 1.15$$

$$\sigma'_{28j} = 31.05 \text{ MPA}$$

- Calcule dosage en ciment

D max = 31.5mm, granulats de bonne qualité G = 0.5 (Tableau IV.1).

$$\sigma'_{28j} = \sigma'c * G * C / E^{-0.5} \dots\dots\dots (IV.2)$$

D'où =

- σ'_{28j} : résistance visée à 28 jours
- $\sigma'c$: classe vraie de ciment en (MPa)
- G** : coefficient granulaire
- C** : dosage en ciment (kg/m³)
- E** : dosage en eau (kg/m³)

Alors : C/E = 1.72

Tableau IV.1 : Les valeurs approximatives du coefficient granulaire G.

Classe de granulats passable Qualité des granulats	Dimension D de granulats		
	Fins D < 16mm	Moyen 25 < D < 40mm	GROS D > 63mm
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Les granulats utilisés ont un diamètre de 31.5 mm et son bonne Qualité, d'où un coefficient granulaire **G = 0.5** (car D_{max} = 31.5 et granulats de bonne qualité)

Le ciment retenu est un CPJ CEM II/A 42.5 R.

Donc le rapport C/E vaut : C/ E = 1.72.

• Dosage en ciment par 1 m³ de béton

Connaissant le rapport C/E et l'affaissement au cône d'ABRAMS souhaité A, on en déduit :

$$\left\{ \begin{array}{l} A = 8 \text{ cm} \\ C/E = 1.72 \end{array} \right. \quad \text{voir l'abaque dosage} = 350 \text{ kg}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C/E = 1.72 \\ C = 350 \text{ kg} \end{array} \right. \quad E = 350 / 1.72 = 203.5 \text{ kg}$$

2.2. Courbe de référence :

Cette courbe correspondant au mélange des granulats (sable et gravier). Sur le même graphe d'analyse granulométrique (pourcentage des tamis en fonction du module ou diamètre des tamis), déjà obtenu (voir figure IV.1), on trace un courbe granulaire de référence OAB avec :

- Le point **O** est l'origine de la droite et défini en :

{ Son abscisse : par la plus petite ouverture de tamis utilisé lors de la granulométrie, dans notre cas c'est $0,08\mu\text{m}$.

Son ordonnée : est prise à zéro pour correspondre avec l'origine de l'axe.

- Le point **B** est défini en Son abscisse : $X = D_{max}$ et Son ordonnée : $Y = 100\%$
 $X=31.5 \text{ mm}$ et Son ordonnée : $Y = 100\%$
- Le point de brisure est **A** est défini par :

{ Son abscisse : $D_{max} > 20\text{mm}$

$$\text{Module}(X) = (\text{Module}(D_{max})-5)/2 \quad \dots\dots\dots (\text{IV.3})$$

{ Son ordonnée : $Y = 50 - \sqrt{D_{MAX} + K'}$ (IV.4)

Y : est donné en pourcentage de passants cumulés

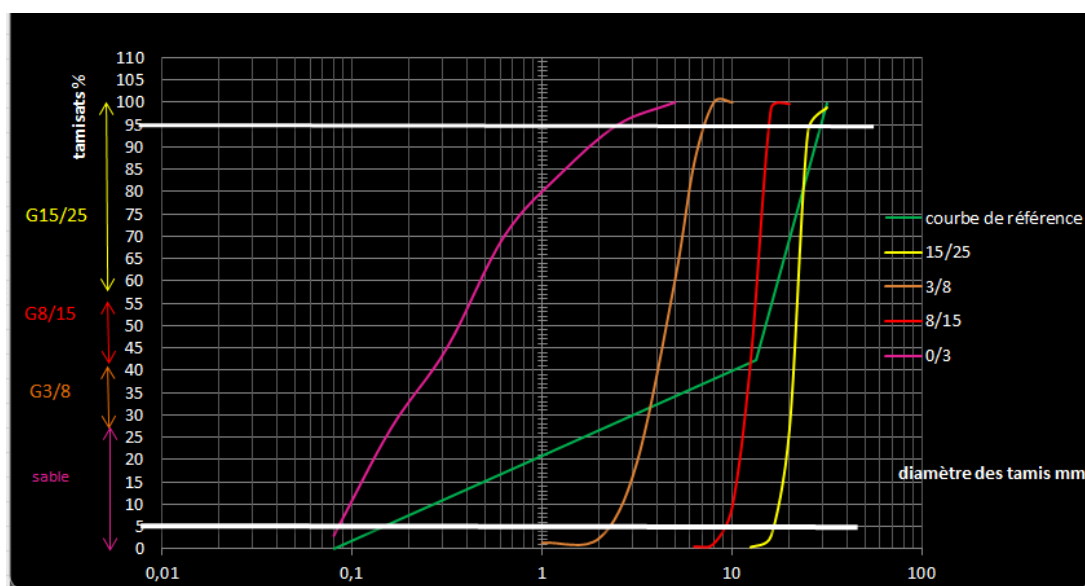
Où : $K' = K + K_s + K_p \dots\dots\dots (\text{IV.5})$

- **K** : est un coefficient donné par le tableau I.10, et qui est fonction de la forme des granulats, du dosage en ciment, et de la force de vibration.
De notre cas =+2 (car dosage =350 kg/m³ et vibration normale)
- **K_s** : est fonction du module de finesse du sable (*Mfs*), et déterminé par : $6Mfs - 15$
- **K_p** : correction supplémentaire si le béton doit être pompé, **K_p** =0 si béton non pompé

La ligne OAB est définie :

Tableau IV.2 : Les valeurs d'abscisse et ordonne de point A

Cas de sable	Ks	X abscisse (point A)	Y ordonne (point A)
Dune	-8.04	13.25	38.35
Oued m'zi	-2.88	13.25	43.50
Tamanrasset	3.3	13.25	49.68

**Figure IV.1 :** La courbe granulométrique des granulats

2.3 Détermination des pourcentages :

- déterminer points "s" sable à 95% et "g" gravier à 5%
- tracer droite passant par ces deux points, cette droite coupe la droite OAB en un point
- ce point permet de déterminer le pourcentage de gravier ainsi que celui du sable

Les Pourcentages :

2.3.1 - Sable de dune

Sable = 22.5%

Gravier 3/8 = 35 - 22.5 = 12.5%

Gravier 8/15 = 51 - 35 = 16%

Gravier 15/25 = 49%

2.3.2 -Sable d'oued m'zi

- Sable = 28%
- Gravier 3/8 =40-28= 12%
- Gravier 8/15 =55-40=15%
- Gravier15/25 =45%

2.3.3-Sable Tamanrasset

- Sable = 32%
- Gravier 3/8 =45-32=13%
- Gravier 8/15 =60-45=15%
- Gravier15/25 =40%

Tableau IV.3 : Les pourcentages de gravier et de sable obtenues à partir de courbe de référence

	Gravier 3/8 (%)	Gravier 8/15 (%)	Gravier 15/25 (%)	Sable (%)
B.S. DUNE	12.5	16	49	22.5
B.S.OUED M'ZI	12	15	45	28
B .S. TAM	13	15	40	32

2.4. Déterminations les pourcentages en Volume absolue de matériau :

Le dosage en béton En volume déterminé pour obtenir un mètre cube de béton en place cela signifie que le volume de matière vaut 1m3:

$$V_{abs} = V_S + V_g + V_C = 1m^3 \dots\dots\dots (IV.6)$$

- Volume de ciment $V_C = \frac{c}{\gamma} \dots\dots\dots (IV.7)$

- Volume absolu de granulats :
- $\gamma_c = 0.83$ Tableau (car $D_{max} = 31.5$ mm et vibration normal)
- $C = -0.01$ car (sable roulé ; gravier concasse)

- $1000\gamma = 1000(\gamma_c - C) \dots\dots\dots (IV.8)$

- $V_{Granulats} = 1000\gamma - V_C \dots\dots\dots (IV.9)$

- $V_{\text{Gravier}} = V_{\text{Granulats}} * (\text{pourcentage Gravier}) \dots\dots\dots (IV.10)$

- $V_{\text{sable}} = V_{\text{Granulats}} * (\text{pourcentage sable}) \dots\dots\dots (IV.11)$

De notre cas :

- $V_c = 350 / 3.1 = 112.9 \text{ l/m}^3$
- $1000\gamma = 1000(0.83 - 0.01) = 820 \text{ l/m}^3$
- $V_{\text{Granulats}} = 820 - 112.9 = 707.1 \text{ l/m}^3$

Tableau IV.4 : Les quantités en volume pour 1m³

	Sable	Gravier3/8	Gravier8/15	Gravier15/25
B.S. DUNE	159.09	88.38	113.14	346.5
B.S. OUED MZI	197.98	84.85	106.06	318.2
TAMENRASSET	226.27	91.92	106.07	282.84

2.5. Détermination les quantités en kg /m³ :

Quantité = volume * masse volumique absolue

Tableau IV.5 : Masse volumique absolue de granulats

Classe de gravier	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Sable de dune	Sable oued M'zi	Sable TAMNERASSET
$\gamma_{\text{abs}}(\text{Kg/m}^3)$	2.59	2.58	2.59	2.32	2.64	2.69

Tableau IV.6 : Les quantités en (kg) pour 1m³

	Sable	Gravier3/8	Gravier8/15	Gravier15/25
B.S.DUNE	368.135	228.9	291.9	897.43
B.S.OUED M'ZI	522.68	219.76	273.63	824.14
B.S. Tamanrasset	610.92	238.07	273.66	732.55

On a noté :

- Le béton en utilisant le sable de DUNE est **B2-MF1.16**
- Le béton en utilisant le sable d'OUED M'ZI est **B3-MF2.80**
- Le béton en utilisant le sable de TAMNERASSET est **B1-MF3.06**

2.6. Application de la méthode de formulation :

La formulation optimale selon ²la méthode de DREUX GORISS

Tableau IV.7 : Les quantités de granulats et de sable pour les trois compositions pour 1 m³

	B2-MF1.16	B3-MF2.02	B1-MF3.06
Composition	Masse (kg)	Masse(kg)	Masse(kg)
Ciment	350		
Sable	367.5	522.7	610.92
G3/8	228.9	219.76	238.07
G8/15	291.93	273.63	273.66
G15/25	897.43	824.14	732.55
Eau	203.5	212.1	203.5
E/c	0.58	0.61	0.58
G/S	3.85	2.52	2.1

3 - préparation de béton au laboratoire :

La préparation de béton au niveau du laboratoire LTPS est exécuter selon les normes, elle est un ensemble des étapes comme suite : NA 2606 [83]

Etape 01 : préparation des quantités :

❖ Pour un sac de ciment (50kg)

Tableau IV.8 : Les quantités de granulats et de sable pour les trois compositions pour 1 sac de ciment

	B2-MF1.16	B3-MF2.02	B1-MF3.06
Composition	Masse (kg)	Masse(kg)	Masse(kg)
Ciment	50		
Sable	52.5	74.67	87.27
G3/8	32.7	31.40	34.01
G8/15	41.7	39.09	39.09
G15/25	104.65	117.8	104.65
Eau	29.06	30.287	29.06

❖ Pour les éprouvettes utilisées :

Volume des éprouvettes :

On a besoin 12 moules. Volume de 1 moule = $\pi r^2 h = \pi \cdot 7.5^2 \cdot 30$

$$= 5298.75 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume total} = 63585 \text{ cm}^3 = 0.06\text{m}^3$$

Tableau IV.9 : Les Quantités de granulats et de sable pour les trois compositions pour 12 éprouvettes

	B2-MF1.16	B3-MF2.02	B1-MF3.06
Composition	Masse (kg)	Masse(kg)	Masse(kg)
Ciment	21		
Sable	22.05	31.36	36.65
G3/8	13.73	13.18	14.28
G8/15	17.52	16.42	16.42
G15/25	53.85	49.5	43.95
Eau	12.21	12.72	12.21

Étape 02 : malaxage

Les constituants sont introduits dans l'ordre suivant : gros éléments, liant, sable. Après un malaxage à sec de l'ordre de 1 min, ajouter l'eau de gâchage et poursuivre le malaxage pendant 2 min. Vider le béton malaxé dans un béroutte afin de prélever le béton pour la suite des essais. Selon la norme NA 2606 [83]



Photo IV.1 : Bétonnier

Étape 03 : serrage

Nous remplissons les moules en béton puis le plaçons sur la table vibrante pour processus de serrage fin d'éviter l'indice de vide entre les éléments en béton et de renforcer la liaison entre eux NA 2598 [84]



Photo IV.2 : Table vibrante

Étape 04 : Conservation des éprouvettes

Lorsque la procédure de gâchage est achevée, et après avoir fait les essais relatifs au béton à l'état frais, des éprouvettes de type cylindrique (15×30) ont été confectionnés selon la norme NA 2600[85], les éprouvettes sont démoulées après 24 h de coulage, ensuite elles sont conservées dans la chambre humide à une température de 20 ± 2 C° et humidité ≤ 95 % jusqu'à le jour d'écrasement. NA 5093[86]



Photo IV.3 : Conservation des éprouvettes dans la chambre humide

CHAPITRE V :

Essais sur le béton et

Interprétation de

Résultats

1. Introduction :

Présentation dans ce chapitre les différents résultats obtenus à partir des nombreux essais expérimentaux, réalisés sur les différentes formulations du béton à l'état frais et durci. Ainsi que les essais exécutés au laboratoire de travaux publics au sud LTPS

Nomination :

Trois compositions :

- ❖ Composition 1 : Béton à base sable de TAMENRASSET on a noté **B1-MF 3.06**
- ❖ Composition 2 : Béton à base sable de DUNE on a noté **B2-MF 1.16**
- ❖ Composition 3 Béton à base sable d'oued m'zi on a noté **B3 –MF 2**

2.Essais sur béton frais :

2.1. Affaissement :

L'essai d'affaissement a été réalisé à l'aide du cône d'Abrams selon la norme NA 5102 [87]. Les valeurs d'affaissement mesurées des bétons étudiés sont présentées dans le tableau (VI.1).

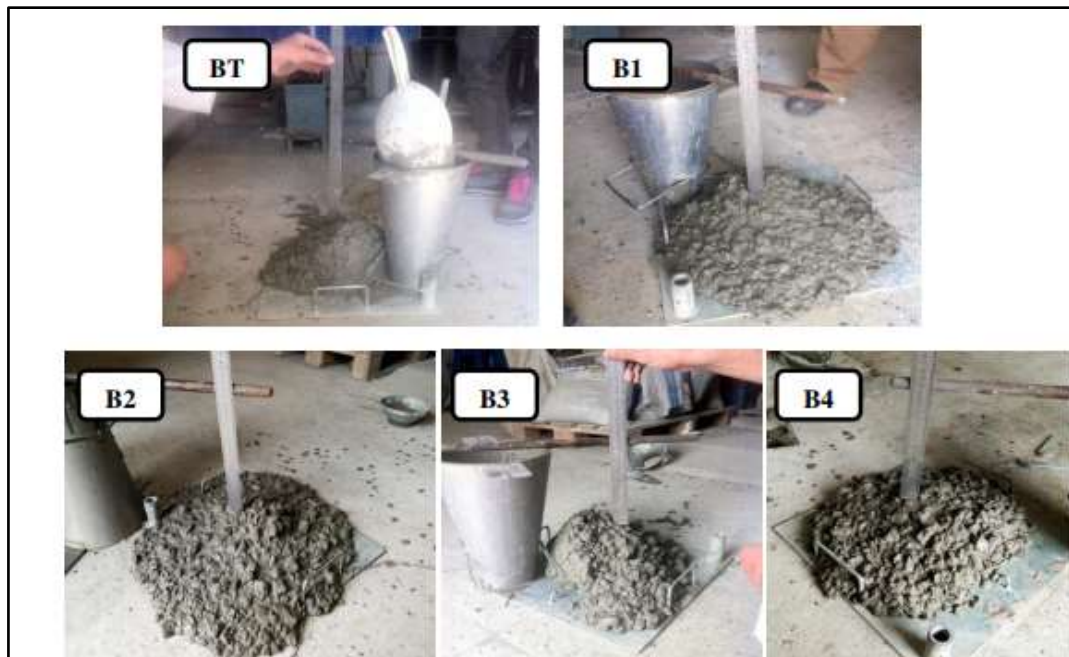
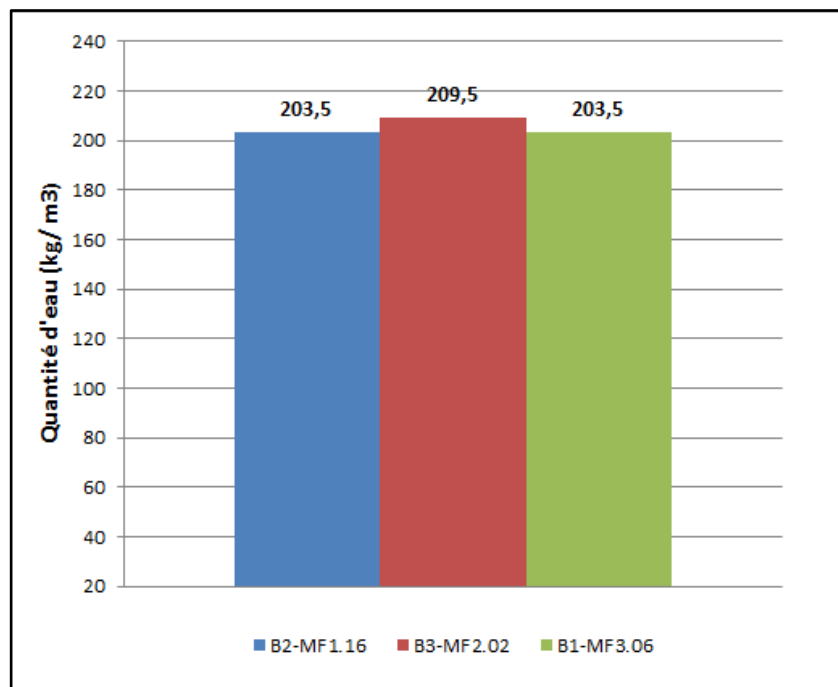


Photo V.1 : Etapes d'essai affaissement

Tableau V .1 : Résultats d'essai corn d'Abrams Affaissement de trois compositions

<i>Bétons</i>	<i>Affaissement</i>
B2-MF1.16	8
B3-MF2.02	6
B1-MF3.06	4

**Figure V.1 :** Quantités d'eau pour avoir un Affaissement entre 4 et 9 cm

La figure (V.1) Montre la variation de la quantité d'eau pour obtenir un affaissement entre 4 et 9. D'après les résultats obtenus on peut conclure que:

Tous les bétons étudiés dans ce travail sont classés comme des bétons plastiques (classe **S2**: affaissement entre 4 à 8 cm conformément aux prescriptions de la norme NA 429 [88], On remarque que **B2- MF1.16** a donné l'affaissement la plus élevée (8.00cm), et le **B1-MF 3.06** à donner la valeur la plus faible (4.5 cm).

- Le sable d'Oued m'zi (LAGHOUAT) **B3- MF2.02** a demandé plus d'eau pour obtenir un béton plastique (on a ajouté 600g/14.21kg)
- La présence des fins sur le sable et le taux d'absorption d'eau des sables influé sur les affaissements des bétons.

2.2. Air occlus :



Photo V.2: Essai air occlus

Tableau V .2 : Résultat d'essai teneur en air

	B2-MF1.16	B3-MF2.02	B1-MF3.06	Norme NA 434
Teneur	4.8	3.44	2.90	2- 6%

Toutes les valeurs obtenues sont acceptables par rapport à la norme NA434 [89] en vigueur

- La valeur minimale d'air a été obtenue pour le sable Tamanrasset MF (3.06)
- La valeur maximale d'air a été obtenue pour la sable dune MF (1.16)

J'ai conclu que plus le MF petit la teneur en air augmente, alors on peut dire relation inverse.

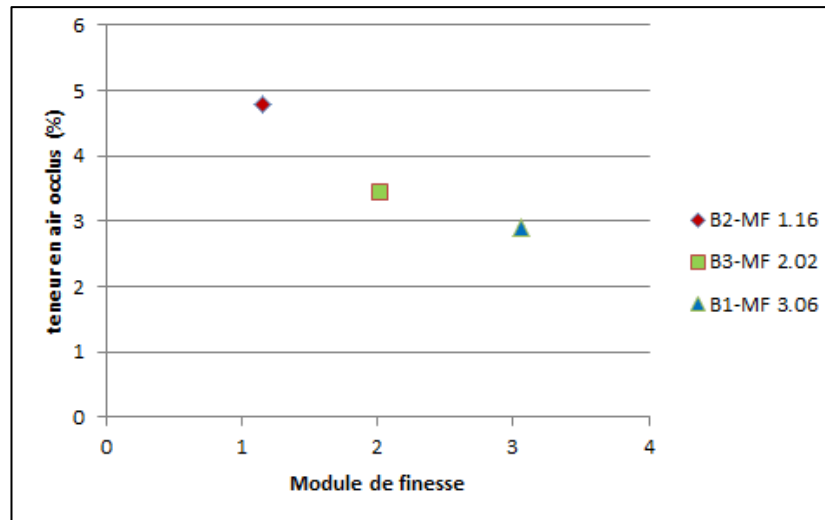


Figure V.2 : La variation de la teneur en air occlus en fonction de module de finesse

2.3 Masse volumique :

La masse volumique à l'état frais des différents bétons déterminé selon la norme NA436 [90] Le tableau (V.3), présentés les résultats obtenus de la masse volumique mesurée des différents bétons étudiés.



Photo V.3: Détermination la masse volumique à l'état frais

Tableau V .3 : Résultats d'essai masse volumique de béton à l'état frais

Bétons	B2-MF1.16	B3-MF2.02	B1-MF3.06
Masse volumique t / m3	2.36	2.46	2.22

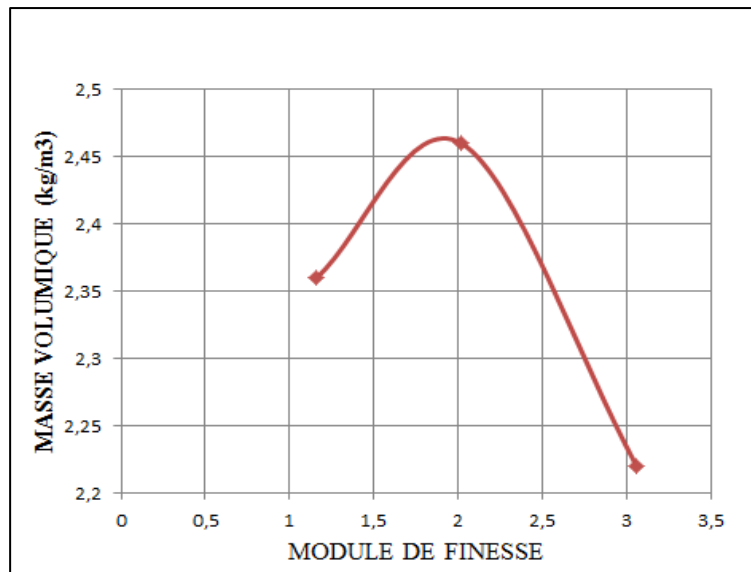


Figure V.3 : Evolution de la Masse volumique des bétons à l'état frais

La figure (V.3), montre la variation de la masse volumique des bétons étudiés en fonction de module de finesse à l'état frais. D'après les résultats obtenus on remarque que :

- La masse volumique maximale a été obtenue pour le sable Oued m'zi (Laghouat) B3-MF2.02
- La masse volumique minimale a été obtenue pour de sable Tamanrasset B1-MF3.06

Ceci montre que le sable préférentiel [2.20 à 2.80] donne bonne continuité avec le gravier qui donne meilleure valeur de masse volumique, Le sable qui hors fuseau [2.20 à 2.80] tels que :

- Sable trop fin comme sable de dune ou sable un peu trop grossier comme le sable de Tamanrasset, il en résulte la discontinuité avec le gravier conduisant à des vides entre les composantes de béton.

3. Essais sur béton durci :

3.1. Résistance à la compression :

L'essai mécanique de compression est déterminé selon la norme Algérienne NA 5075 [91] sur des éprouvettes 15*30 cm. Nous avons procédé à trois mesures (essais), pour chaque formulation, les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (V .4).

$$F_c = F / A_c \quad \dots\dots(V.1)$$

Où :

F_c : Est la résistance en compression, exprimée en méga pascals (Newtons par millimètres carrés) ;

F : Est la charge maximale, exprimée en Newtons ;

A_c : Est l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, exprimée en millimètres carrés.

Tableau V .4 : Résultat d'essai écrasement par compression

Bétons	Résistance à la compression (MPA)							
	07 JOURS				28 JOURS			
	Rc	Rc	Rc	Rc moy	Rc	Rc	Rc	Rc moy
B2- MF1.16	29.27	31.88	29.10	30.1	37	38	37	37.
B3- MF2.02	27.91	27.55	27.83	27.80	34	35	34	34.33
B1- MF3.06	35.19	35.27	35.092	35.2	44	43	44	43.66

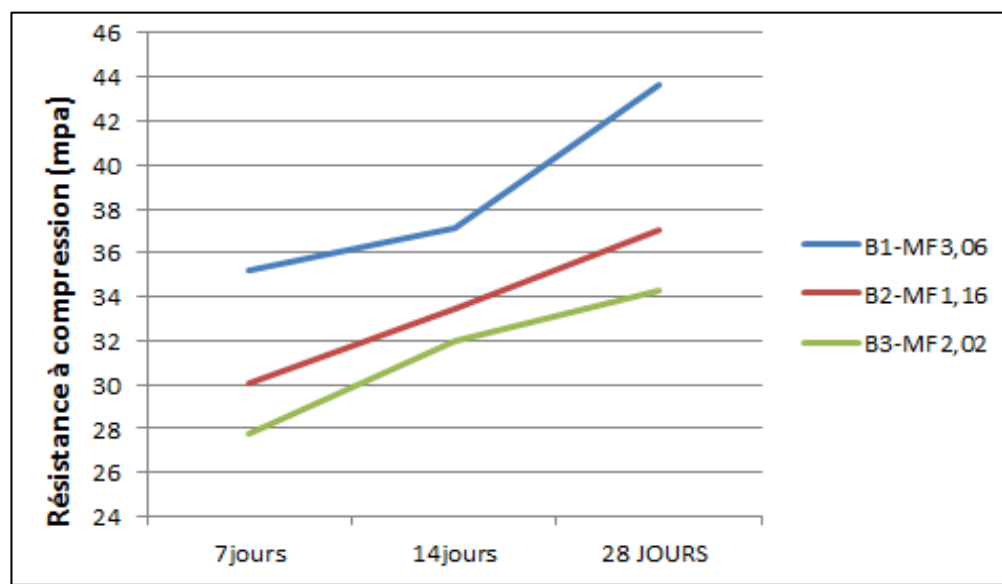


Figure V.4 : Evolution de la résistance à compression en fonction de temps pour les 03 compositions

La figure (V.4), montre la variation de la résistance mécanique à la compression des bétons étudiés en fonction de temps (7 à 28 jour). Les résultats obtenus montrent que :

-Le béton (**B3- MF 2.02**) à base de sable oued m'zi présente une diminution de la résistance mécanique à la compression à 28 jours de l'ordre de (27%) par rapport au béton B1- MF 3.06

- Le béton **B2 –MF 1.16** à base de sable dune assurer une bonne résistance.
- Le béton **B1 –MF 3.06** à base de sable Tamanrasset donne la meilleure résistance.

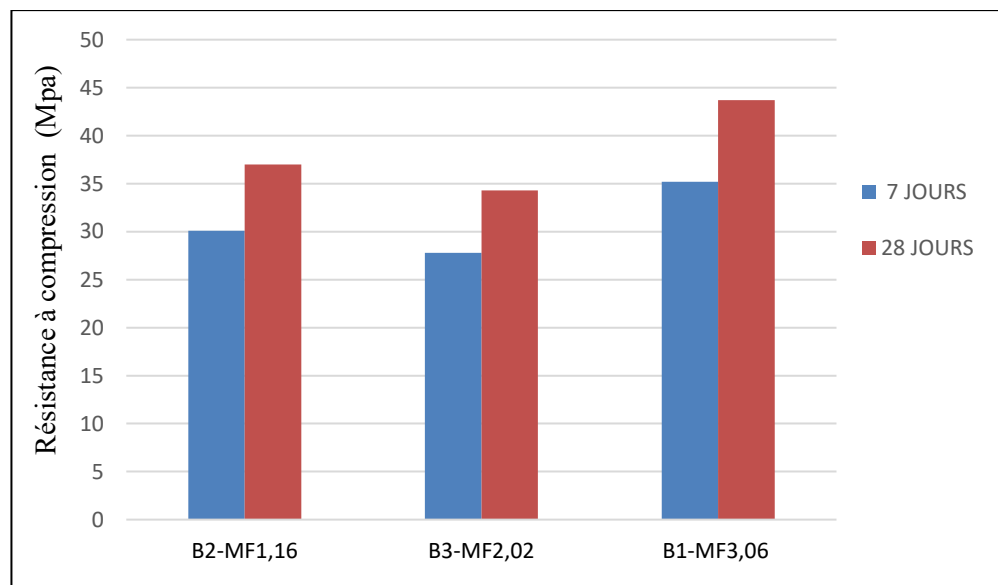


Figure V.5 : Evolution de la résistance à compression pour les 03 compositions

Le développement de la résistance à la compression en fonction de l'âge des bétons. On remarque que la résistance de tous les bétons augmente régulièrement :

- L'évolution de la résistance n'était pas de même rapport, le béton à base de sable oued m'zi (MF=2.02) a une faible pente d'augmentation.
- Résultat de la résistance obtenue par le sable de d'une diminution d'ordre 18% par rapport au résultat de sable Tamanrasset
- la divergence entre les résultats confirme que malgré le MF différente n'influe pas sur la résistance car les valeurs résistance mécanique sont acceptables
- L'ensemble des résistances obtenues à 28 jours en utilisant les 3 sables sont supérieures à la valeur recommandée pour un béton dosé à 350 kg/m³ (27Mpa).

En première conclusion on peut dire que la module de finesse a une influence sur la résistance de béton, mais on peut obtenir un béton classique de résistance acceptable même si MF du sable est différente et hors de fuseau

3.2. Résistance à la traction :

$$R_t = 0.06 f_{cj} + 0.6 \dots \dots \dots (V.2)$$

Tableau V.5: Résultat d’essai résistance à la traction

Bétons	Résistance à la traction (Mpa)							
	07 JOURS				28 JOURS			
	Rt1	Rt2	Rt3	Rt _{moy}	Rt1	Rt2	Rt3	Rt _{moy}
B2- MF1.16	2.35	2.51	2.34	2.4	2.82	2.88	2.82	2.85
B3- MF2.02	2.27	2.25	2.27	2.26	2.64	2.7	2.64	2.67
B1- MF3.06	2.71	2.71	2.70	2.70	3.24	3.18	3.24	3.21

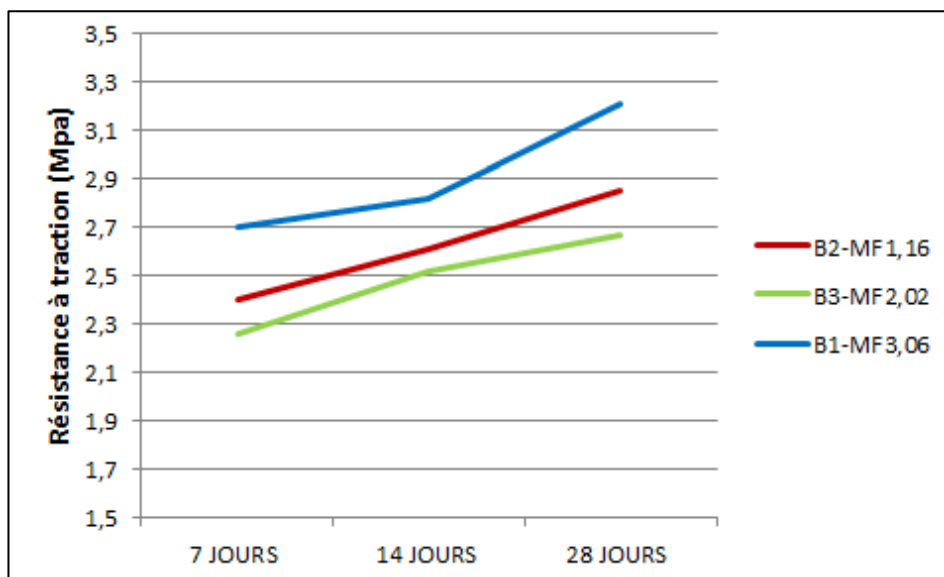


Figure V.6 : Evolution de la résistance mécanique à la traction pour les 03 compositions

La figure (V.6), montre la variation de la résistance mécanique à la traction des bétons étudiés en fonction de temps (7 à 28 jour). Les résultats obtenus montrent que :

- Le béton (B3- MF 2.02) à base de sable oued m’zi présente une diminution de la

résistance mécanique à la traction à 28 jours de l'ordre de (16%) par rapport au béton B1- MF 3.06

- Le béton B2 –MF 1.16 et B1 –MF 3.06 sont de valeurs proches, sont assurent une bonne résistance

3.3. Ultra son :

Tableau V .6 : Résultat d'essai ultra –son

Bétons	La Vitesse de propagation (m/s)							
	07 JOURS				28 JOURS			
	V	V	V	V moyen	V	V	V	V moyen
B2- MF1.16	2900	2950	2960	2936.66	4800	4400	4820	4673.3
B3- MF2.02	4706	3560	2780	3682	4890	3190	4950	4343.3
B1- MF3.06	3840	3810	2950	3533.33	4900	4980	4690	4856.7

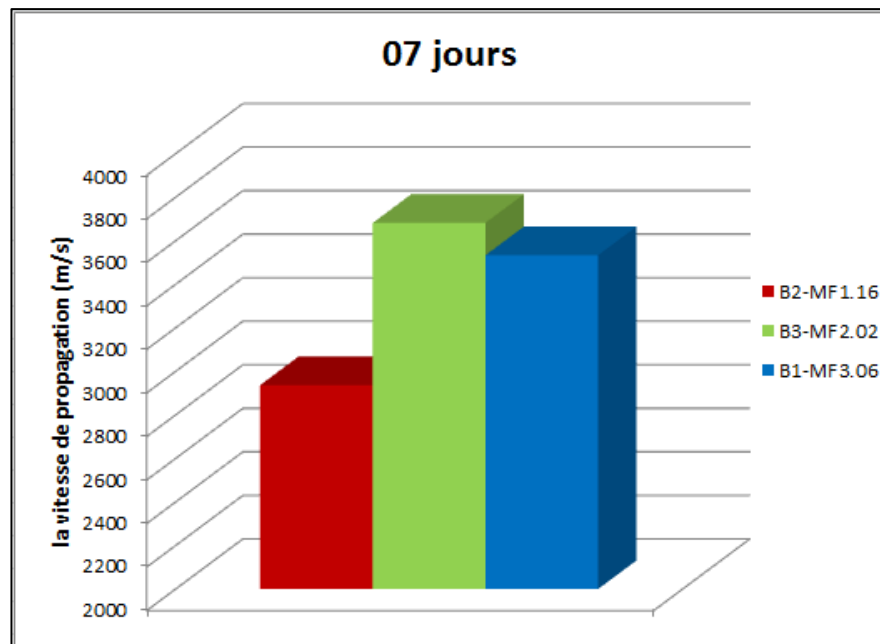


Figure V. 7 : Evolution de la vitesse de propagation pour les 3 formulations dans 7 jours

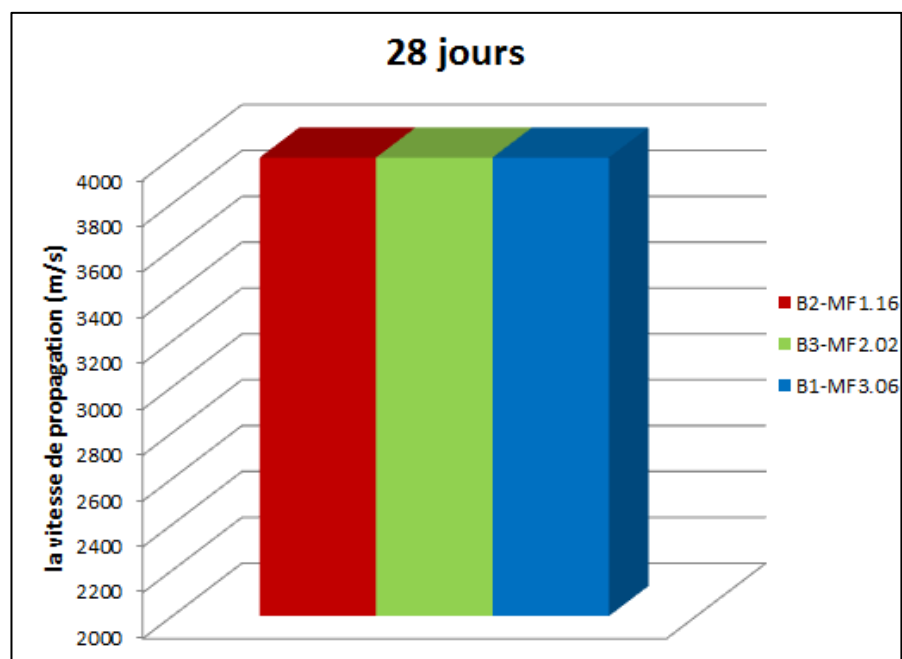


Figure V. 8 : Evolution de la vitesse de propagation pour les 3 formulations dans 28 jours

La figure (V.7) et (V.8) montre la variation de la vitesse de propagation des ondes ultrasons dans les bétons étudiés à 28 jours et 7 jours. D'après les résultats obtenus on remarque que :

Pour 7 jours :

Les bétons **B1-MF3.06** et **B3- MF2.02** présente des valeurs de vitesse de propagation sonore supérieures à 3500 m/s ce qui correspond à un béton de moyenne qualité, ainsi que le béton **B2-MF1.16** présente valeur 2900 m/s ce qui correspond à un béton de faible résistance.

Pour 28 jours :

Les valeurs sont proches, la vitesse de propagation sonore supérieures à 4200 m/s ce qui correspond à des bétons à très haute résistance.

Sachant que le classement qualitatif exigée par la norme NA5027[92] est comme suit :

- ✓ $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$ béton de faible résistance,
- ✓ $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$ béton de moyenne résistance,
- ✓ $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$ béton à haute résistance,
- ✓ $V \geq 4200 \text{ m/s}$ béton à très haute résistance.

3.4. Scléromètre :

L'essai selon la norme NA17004 [93] consiste à bruter la surface et en doit éviter les armatures dans cette section

- ❖ Lire directement la valeur indiquée par l'index. Effectuer 3 mesures et en faire la moyenne.
- ❖ La distance entre 2 points de mesure doit être d'au moins 30mm. L'appareil est étalonné pour fonctionner en position horizontale. Dans le cas d'une utilisation sur des surfaces inclinées, une correction doit être effectuée selon l'abaque ci-dessous

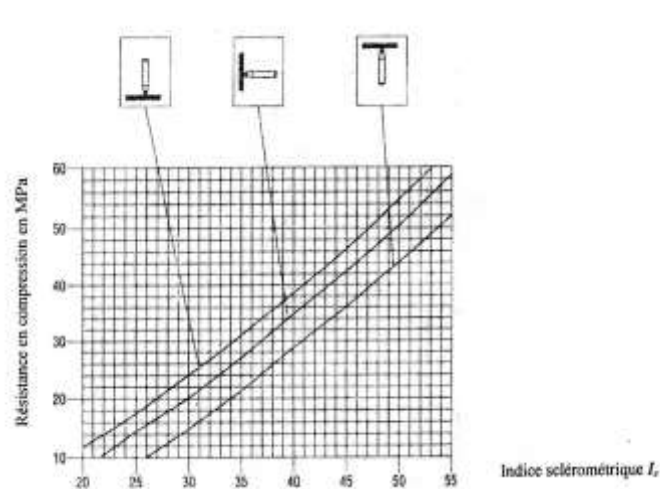
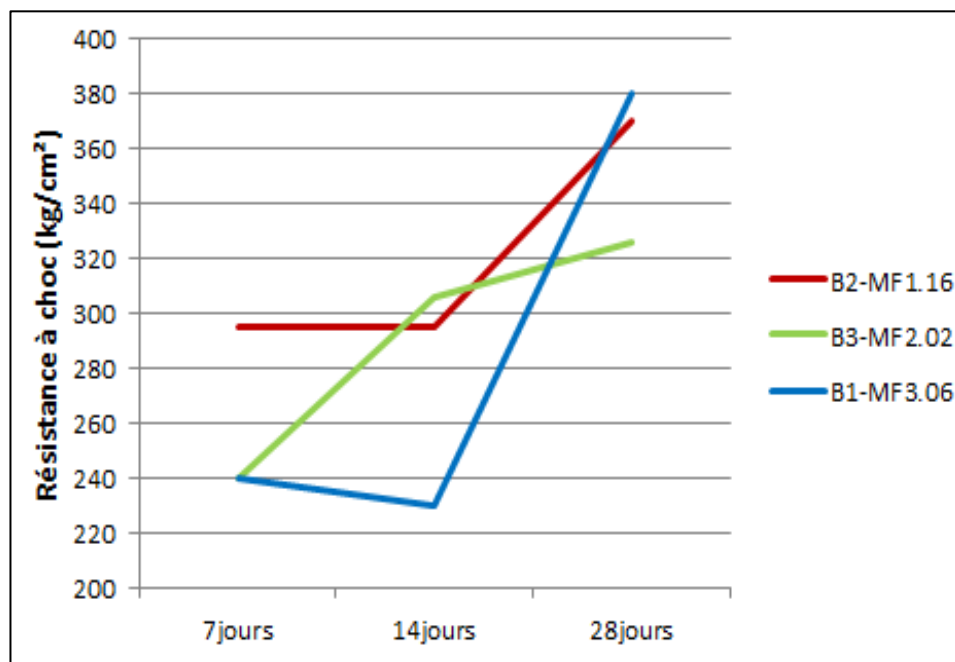


Figure V .9 : Les positions d'utilisation scléromètre

Tableau V .7 : Résultat d'essai scléromètre

Bétons	Résistance à la compression per chocs MPA							
	07 JOURS				28 JOURS			
	Fc	Fc	Fc	Fc moy	Fc	Fc	Fc	Fc moy
B2-MF1.16	28	28	28	28	36	34	36	35.33
B3-MF2.02	25	26	28	26.3	33	34	34	33.33
B1-MF3.06	22	28	25	25	36	36	36	36

**Figure V .10** : Evolution de la résistance à chocs par scléromètre en fonction de temps

(Pour les 3 compositions)

Interprétation :

- Evaluation de RC au choc n'est pas régulière (non linéaire)
- Les valeurs de résistance **B1-MF3.06** et **B2-MF1.16** sont très proches

Pour RC par chocs :

- **7 jours : B1-MF3.06 et B3-MF2.02** sont donne la même valeur pour RC mais **B2-MF1.16** assurer la meilleure résistance
- **14 jours : le B1-MF3.06** donne la valeur minimale pour RC
- **28 jours : B3-MF2.02** donne la mauvaise résistance par apport les autres compositions mais malgré cette résulta toutes les valeurs sont acceptables selon la norme.

3.5. Perméabilité :

La surface de l'éprouvette qui reçoit la pression d'eau doit être rendue rugueuse à l'aide d'une brosse métallique, immédiatement après le démoulage. Conserver l'éprouvette dans l'eau confus

L'essai doit être pratiqué sur des éprouvettes âgées d'au moins 28 jours. Ne pas appliquer la pression d'eau sur la surface d'une éprouvette arasée à la truelle. Placer l'éprouvette dans le dispositif d'essai et appliquer une pression d'eau de (500 ± 50) kPa pendant (72 ± 2) h. Au cours de l'essai, observer régulièrement les surfaces de l'éprouvette d'essai non exposées à la pression d'eau pour noter l'éventuelle présence d'eau. En cas de fuite, s'interroger sur la validité de l'essai et consigner l'événement [94]



Photo V.4 : Essai de pénétration d'eau sous pression pour les 3 éprouvettes



Photo V.5 : Résultat d'essai pénétration d'eau sous pression pour l'éprouvette de B2-MF1.16



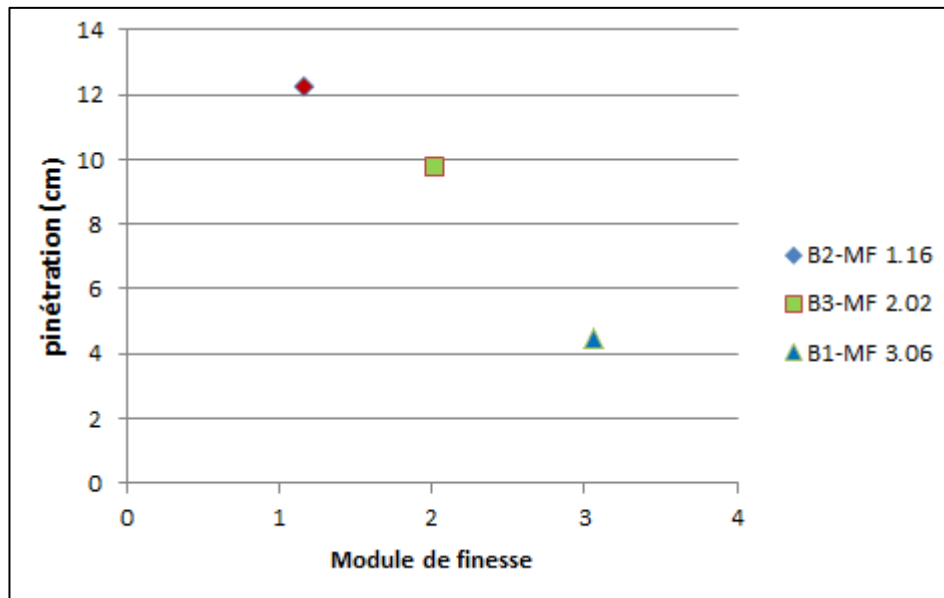
Photo V.6 : Résultat d'essai pénétration d'eau sous pression pour l'éprouvette de B3-MF2.02



Photo V.7 : Résultat d'essai pénétration d'eau sous pression pour l'éprouvette de B1-MF3.06

Tableau V .8: Résultat d'essai pénétration

<i>Bétons</i>	<i>Pénétration (cm)</i>
B2-MF 1.16	12.25
B3-MF 2.02	9.75
B1-MF 3.06	4.5

**Figure V.11 :** Evolution de pénétration en fonction de module de finesse

D'après la figure (V.11). Je remarque que tels que le module de finesse augmente, la pénétration d'eau sous la pression diminue, alors on peut dire la relation entre le module de finesse et la pénétration d'eau sous la pression est une relation inverse.

4.1. La relation RC par presse et par scléromètre :

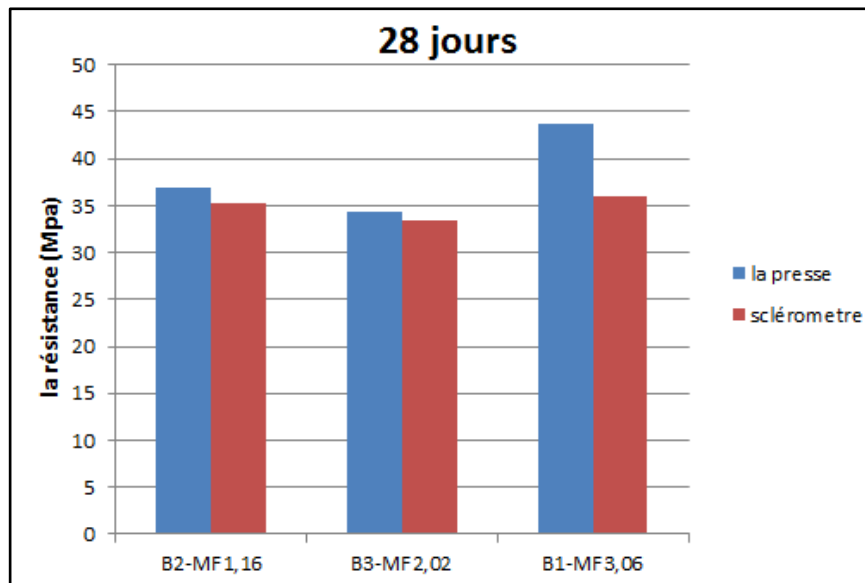


Figure V.12 : la comparaison entre RC par scléromètre et RC par la presse

La figure (V.12) montre qu'il y a différence entre les essais destructifs et les essais non destructifs. Les résultats de résistance obtenue à partir de scléromètre (R_c au choc) sont d'ordre de diminution presque 20% par rapport les résultats de résistance obtenue à partir de presse.

Les méthodes d'essais non destructives des ouvrages en béton représente le contrôle de la qualité directement sur la construction mais leur inconvénient elles ne peuvent pas fournir au constructeur des données suffisamment précises pour remplacer totalement.

4.2. La relation entre la teneur en air et perméabilité :

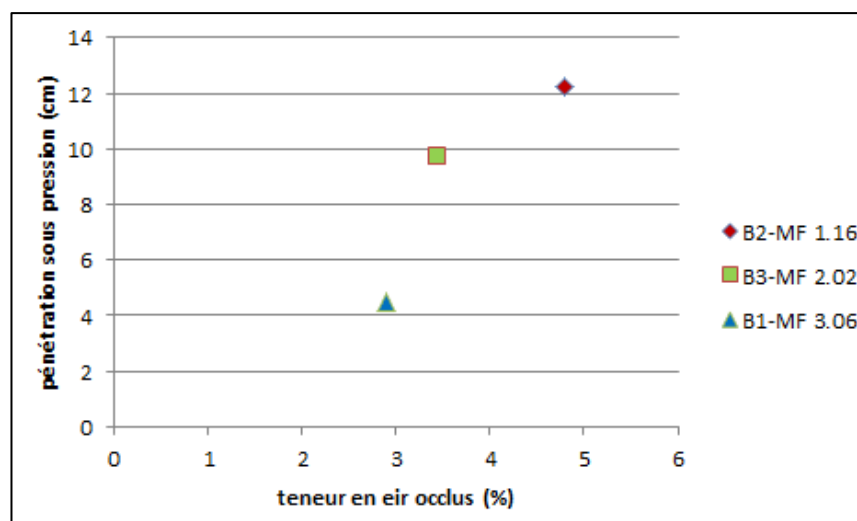


Figure V.13 : Relation entre la teneur en air et pénétration

D'après la figure (V.13) : nous concluons que tel que la teneur en air augmente la pénétration d'eau sous pression augmente, relation linéaire.

Conclusion

Générale

Conclusion :

A travers ce travail nous avons eu une grande occasion de confronter le domaine des études de formulation de béton et la détermination des caractéristiques physico-mécaniques du béton et de ses composantes.

Nous avons eu l'occasion aussi d'établir un programme de recherche permettant l'étude de l'influence des différents paramètres sur le béton, nous avons consacré notre étude sur l'influence d'une des caractéristiques de sable qui est le module de finesse sur certaines propriétés de béton, nous avons essayé par la même occasion de vérifier la possibilité de valoriser les sables de dune de notre région qui sont considérés comme des sables fins à faible module de finesse, pour une utilisation optimale dans les bétons hydrauliques.

Au terme de cette mémoire nous avons tiré plusieurs conclusions à savoir :

- ❖ En termes de résistance à la compression, le module de finesse n'a pas beaucoup d'influence sur les résultats notamment pour les bétons ordinaires ;
- ❖ Pour la résistance à la traction, le béton à base de sable hors fuseau (sable trop gros et sable fin) n'a pas un effet négatif sur la résistance
- ❖ La densité de béton exprimée par la masse volumique, est très bien reliée par le module de finesse.
- ❖ La densité de béton exprimée par la vitesse de propagation de l'onde sonique, ne change pas avec le module de finesse. Tous les bétons à base des différents sables donnent la même vitesse de propagation.
- ❖ La perméabilité de béton et la teneur en air sont influencées par le module de finesse de sable, le sable fin permet une grande perméabilité pour béton et pourcentage acceptable en teneur en air.
- ❖ L'affaissement varie avec la variation de module de finesse

En conclusion générale, on peut dire qu'il n'est pas toujours juste de pénaliser le sable par sa finesse, notamment lorsqu'il s'agit des bétons ordinaires, d'autre part-il possible d'utiliser les sables locaux malgré leurs finesses qui ne répondent pas aux exigences, ce qui est applicables pour les sables de dune, toute fois il faut toujours passer par des études de formulations en laboratoires.

En perspective, pour d'éventuels dossiers de recherche nous proposons :

- ❖ Etude de comportement de béton à base des sables de module de finesse hors fuseaux à long terme (durabilité, attaque chimique) .
- ❖ Une étude et suivi du comportement du béton vis-à-vis la déformabilité à long terme.
- ❖ Etude de possibilité de correction des modules de finesse .
- ❖ Etude l'influence de module de finesse sur les propriétés de mortier .

Référence bibliographique :

- [1] : NEVILL ADAM « Propriétés des Bétons » Ed. Eyrolles.1995
- [2] : ALLICHE « le matériau béton nature physico chimique et comportement mécanique » Cent .Paris
- [3] : R. DUPAIN& J.-C. SAINT-ARROMAN« Granulats, Sols, Ciments et Bétons », Editions Casteilla, 4ème édition
- [4] : CIMBÉTON, « Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre » , Paris ,2006
- [5] : AYADI & GUENOUNE « Valorisation des sables locaux dans la formulation de béton ordinaire », Université M'hamed Bougara-Boumerdes
- [6] : Chanvillard et d'Aloia : « Préviation de la résistance en compression au jeune âge du béton, Application de la méthode du temps équivalent, Bull. Liaison Lab. Ponts et Ch. »,1994
- [7] : BOUKLI HACENE Sidi Mohammed El Amine: « Contribution A L'étude De La Resistance Caracteristique Des Betons De La Region De Tlemcen », Thèse de Doctorat à L'université aboubekr belkaid, tlemcen, 2009.
- [8] : ANDRIA MANANSTILAVO.N: « Comportement des matériaux cimentaires dans un coffrage expérimentation, modélisation et simulation de la poussée et du processus de maturation ». Thèse de doctorat à l'Université de Boumerdes
- [9] : Brahma A., « Le béton » - Université de Blida P 130
- [10] : Norme Française NF EN 197-1 : Ciment - Composition, spécification et critères de conformité des ciment courants indice de classement P 15-101-1 .
- [11]: Norme Française NF EN 450 : Cendres volantes pour béton - Définitions, exigences et contrôle de qualité: indice de classement P 18-050
- [12] :Norme Française NF P 18 -508 : Additions pour béton hydraulique – Additions calcaires-Spécification et critères de qualité : indice de classement P 18-508
- [13] : Norme Française NF P 18-502 : Additions pour béton hydraulique – Fumée de silice : indice de classement P 18-509.

- [14] :Norme Française NF EN 196 -1 : Méthodes d'essais des ciments – Détermination des résistances Mécaniques : indice de classement P 15 – 471
- [15] : COURS DE MDC, « LES GRANULAT », Université De Sétif.
- [16] :Francque ville G, La Technologie du Béton, Degussa Construction Chemicals France Guf\Formation\Béton\Techno béton, V05, 111
- [17] :Maillot R. Mémento technique des Granulats. Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris. P166. 2001.
- [18] :GILLES CHANVILLARD «Le matériau béton : connaissance générales, ENTPE ALEAS, octobre 1999.
- [19] :G. DREUX & J. FESTA « Nouveau guide du béton et ses constituants », 8ème Edition
- [20] : Neville .A.M : « Propriétés des Bétons », Traduit par le CRIB, Ed. Eyrolles, Paris, 2000.
- [21] : Derbala A.« contribution aux possibilités d'amélioration du béton » thèse de magistère - Université de Blida - 1999 P 169
- [22] : Remadnia A. « Etude de l'influence de la qualité des granulats locaux sur les propriétés des melanges de béton et du bétons durci dans les conditions des entreprises de fabrication de la région d'Annaba » -thèse de majester -Université de Annaba - P 180 .1986
- [23] : Baron J.et Sauterey R. « Le béton hydraulique » -Presse deL'E.N.P.C- P . 1995
- [24] : CHAUVIN J.J. Les sables, guide pratique d'utilisation routière, I.S.T.E.D,Paris,France, KETTAB Ratiba «Contribution à la valorisation du sable de dunes », Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique .1987
- [25] :Norme Française NF EN 1008 : Eau de gâchage pour béton s –Spécifications d'échantillonnage, d'essais. et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton indice de classement P 18-211
- [26] :ELBACHIR Yasmina : « Effet des différents adjuvants sur la performance du béton »,mémoire de Master Professionnel, Université de Mohamed Boudiaf, 2014.

- [27] : Norme Française NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-342
- [28] : CIMBÉTON : « Les constituants des bétons et des mortiers, chapitre 2, Les adjuvants »,
- [29] : Norme Française NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-335.
- [30] : Norme Française NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-336
- [31] : Norme Française NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-337
- [32] : Norme Française NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-338. .
- [33] : Norme Française NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-334.
- [34] : JEAN –MICHEL TORRENTI « Béton » Encyclopaedia Universalis 31 mai 2020
<http://www.universalis.fr> consulté le 18 mars 2020
- [35] : G. DREUX « Composition des bétons. Technique de l'ingénieur ». C 2 220
- [36] : J.F. Picardat ; « LE BETON », Edition « brutdebeton.com »
- [37] : Pierre.C AÏTCİN, Adam NEVILLE, and Paul ACKER, “Les différents types de retrait du béton,” Mai - Juin 1998
- [38] : Fatma SAIDAT, “Activation chimique du métakaolin dans une matrice cimentaire,” p. 15 à 102, Dec. 2013
- [39] : Groupe Eyrolles « Matériaux de construction » par une réunion d'ingénieur 1979-P401
- [40] : H.A DICKO, “LA FLEXION SIMPLE.”
- [41] : 38 dictionnaires et recueil de connaissances.”
- [42] : PAVIDENSA, “Résistance à la traction – Résistance à la traction d'adhérence,” pp. 1–5, 2015

- [43]:Jean-L CLEMENT, “Les essais de fluage sur le béton,” Lab. Cent. Ponts Chaussées
- [44] : CIM Béton. Les ouvrages en béton, durabilité, dimensionnement et esthétique. Fichestechniques; 110p. , 2008
- [45] :EN 12350-6 : Essai pour béton – Partie 6 : Masse Volumique : indice de classement P18-431, 1999
- [46] :Groupe Eyrolles : « Cône d’Abrams. » Edition Eyrolles.2010
- [47] : R. DUPAIN, R. LANCHAN & J.-C. SAINT-ARROMAN : « Granulats, Sols, Ciments et Bétons », Editions Casteilla, 2ème édition conforme aux normes européennes, p50 .2000.
- [48] :Norme expérimentale : béton, Auscultation Sonique, AFNOR, Décembre 1989
- [49] :EN 1250-4 : Détermination de la vitesse de propagation du Ultra Son –Partie 4 : indice de classement P18-418.
- [50] : www.GENIECIVILFRANCE.com consulté le 18 mars2020
- [51] :Norme Française 12390-1 : Essai pour béton durci – Partie 1 : Dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules : indice de classement P 18-438)
- [52] :Norme Française 12390-3 : Essai pour béton durci – Partie 3: Résistance à la compression des éprouvettes : indice de classement P 18-433 2).
- [53] :Norme Française 12390-4. Essai pour béton durci – Partie 4: Résistance en compression d’essai caractéristiques des machines : indice de classement P 18-441
- [54] :Norme Française 12390-6. Essai pour béton durci – Partie 6: Résistance en traction par fendage des éprouvettes : indice de classement P 18-434
- [55] :Norme Française 12390-5. Essai pour béton durci – Partie 6 : Résistance en traction par flexion des éprouvettes.
- [56] : BARON J., OLLIVIER J.P : « Les bétons bases et données pour leur formulation », Edition Eyrolles, 522 p, Paris, 1996
- [57] : Sahin,R., R.Demirboga, H.Uysal and R.Gul “ The effects of different cement dosage slumps and pumice aggregate ratios on the compressive strengthand densities of concrete. Cement and Concrete Research 33(8): 1245-1249 ” . 2003

- [58] :G. Dreux / « contribution à l'étude de la finesse des sables sur diverses qualités des bétons »-Annales J.T.B.T.P- 1969
- [59] :G.Dreux « contribution à l'étude de l'influence de la propreté du sable sur les qualités du béton »-J.T.B.T.P - P]. 1964
- [60] : fuseaux proposés du granularité des sables a béton tirer du DTR BE 2.1. 2010
- [61] : Bultin de C.T.C mars - « contrôle du béton » - P 38 .1992
- [62]: UTSI. S, EMBORG .M, CARSWARD. J : «Relation between workability and theological parameters», Therd International RILEM symposium on self-compacting concrete, RILEM Publication s.a.r.l, 2003 ».
- [63] :NIELSEN L.F : «Strength development in hardned cement paste: examination of some empirical equations, Materials and Structures, 26», N° 159, p 255-60, 1993.
- [64] : OLLIVIER J.P., BUIL M : « Conception des bétons : la structure poreuse, La durabilité des bétons », Presses de l'école Nationale des Ponts et Chaussées, Eds, Paris, 1992
- [65] : Gagné durable and P.C.Aïtcin « Superplasticizers for concrète comptes rendues de la conférence Monterrey internationale sur la durabilité du béton», Mexique, pp. 200-217. 1993
- [66] : Rabehi,M., S. Guettala et B.Mezghiche « la porosité ouverte de béton d'enrobage corrélation entre la résistance à la compression et l'absorption initiale». European Journal of Environmental and Civil Engineering 16 (6):730-74 . 2012
- [67] : Arnould, M., M. Virlogeux « Granulats et bétons légers ». Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, paris . 1986
- [68] :Norme Algérienne NA 2607 : Essai pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1: essai analyse granulométrique aout 1992
- [69] : Norme Algérienne NA 504 : Essai pour déterminer le module de finesse du sable
- [70] : Norme Algérienne NA 455 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Evaluation des fines 2006
- [71] : Norme Algérienne NA 255 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau 2006

- [72] : Norme Algérienne NA 5043 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications 2007
- [73] : Norme Algérienne NA 1948 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Qualification des fines/ Essai au bleu de méthylène 2006
- [74] : Norme Algérienne NA 461 : Essais pour déterminer les propriétés chimiques des granulats - Analyse chimique 2005
- [75] : Norme Algérienne NA 256 : Essais pour déterminer coefficient d'aplatissement 1990
- [76] : Norme Algérienne NA 463 : Granulats - Détermination de la propreté superficielle 1990
- [77] : Norme Algérienne NA 458 : la Granulats - essai LOS ANGLES 1990
- [78] : Norme Algérienne NA 457 : Granulats – Essai micro Deval 1990
- [79] : Norme Algérienne NA 442 : Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants 2006
- [80]: www.lafargealgerie.com consulté le 19 mai 2020
- [81] : Norme Algérienne NA 230 : Ciments - Détermination du temps de prise et de la stabilité 2010
- [82] : Norme Algérienne NA 1966 :Eau de gâchage pour bétons spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude a l'emploi, y compris les eaux de processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton mai 2009
- [83] : Norme Algérienne NA 2606 : Bétons - Mise en œuvre des bétons de structure octobre 1992
- [84] : Norme Algérienne NA 2598 : Bétons - Mise en place par micro table vibrante octobre 1992
- [85] : Norme Algérienne NA 2600 : Bétons - Moulent pour éprouvettes cylindriques et prismatiques octobre 1992
- [86] : Norme Algérienne NA 5093 : Essai pour béton durci - Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance novembre 2007

[87] : Norme Algérienne NA 5102 : Essai pour béton frais détermination la consistance essai d'affaissement novembre 2007

[88] : Norme Algérienne NA 429 : Essai Bétons - Classification de la consistance aout 1992

[89] : Norme Algérienne NA 434 : Béton - Détermination de la teneur en air du béton frais - Méthode de la compressibilité aout 1992

[90] : Norme Algérienne NA 436 : Béton frais compacté - détermination de la masse volumique aout 1992

[91] : Norme Algérienne NA 5075 : Essai pour béton durci – Résistance à la compression des éprouvettes 2006

[92] : Norme Algérienne NA 5027 : Béton - Auscultation sonique - Mesure du temps de propagation d'ondes soniques dans le béton 1997

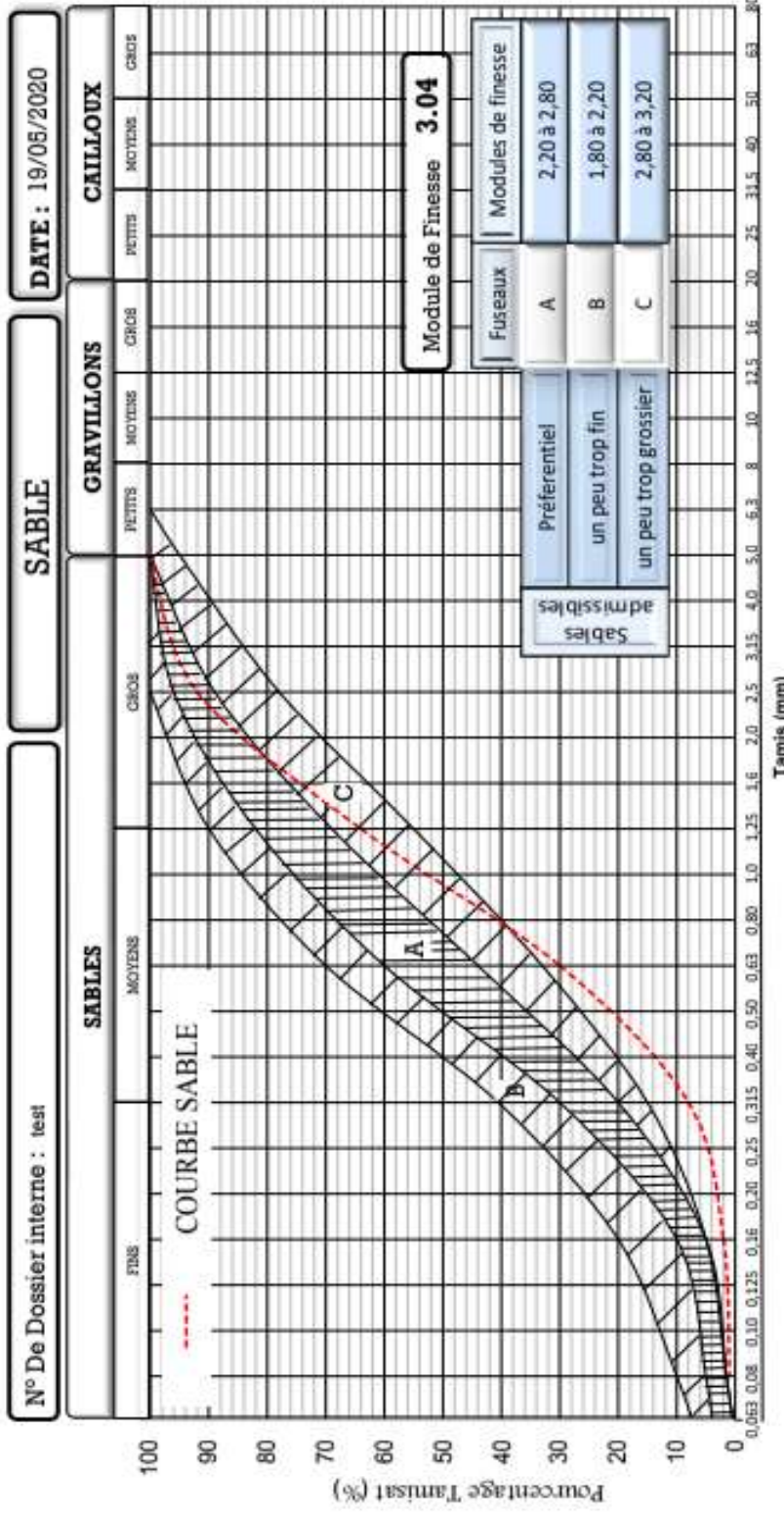
[93] : Norme Algérienne NA 17004 : Evaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton 2007

[94] : Norme Française NF EN12990-3 : Essai pour béton durci profondeur de pénétration d'eau sous pression la partie 8



مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SABLE SELON NF P 18-560



FUSEAUX PROPOSES POUR LA GRANULARITE DES SABLES A BETON SELON DTR BE 2.1 : 2010