

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département de Génie civil et hydraulique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : Génie civil

Spécialité : *Structure*

Par : **Abdelkader bouchaala**

**Thème**

**Contribution à l'étude de l'influence de finesse de sable sur la  
résistance du béton hydraulique**

Soutenu publiquement le 28/10/2020

Devant le jury :

<b>SAITI Issam</b>	MAA	Université	<b>Président</b>
<b>AZIEZ Mohammed Nadjib</b>	MAA	Université	<b>Examineur</b>
<b>AMIEUR Abdnacer</b>	D.T	L.T.P.Sud	<b>Encadreur</b>

Année universitaire 2019/2020

# Dédicaces

*A ma mère et mon père qui me sont les plus chers au monde qui illuminent ma vie, qui ont été toujours présents à mes côtés pour me soutenir et me donner le courage pour terminer mes études.*

*A mes frères et sœurs Bachir, Asma, Alia, Khadidja, Hadjer et Serine qui m'ont beaucoup aidé et soutenue, je vous souhaite tout le bonheur durant votre vie.*

*A toute ma famille Bouchaala et boufatah qui m'a encouragé et soutenu durant mes études.*

*A tous mes amis et collègues plus particulièrement Ali et Abdallah, Rania pour leur présence et encouragements.*

*pour m'avoir apporté tout l'aide possible pendant toute la durée de ce travail.*

*A tous ceux qui m'ont aidé à finir Ce mémoire.*

*« Abdelkader »*



# Remerciements

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

*Cette thèse est le fruit d'un long travail qui n'aurait pu arriver à terme sans l'aide de nombreuses personnes*

*Je tiens à remercier en second lieu mon encadreur Monsieur AMIYER 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 tout au long de mon projet.*

*Il m'est particulièrement agréable d'exprimer mes remerciements au responsable du service béton, M.Djekaoua ma profonde gratitude pour ses conseils et son aide compétente durant le déroulement de ce travail*

*Je remercie tous les responsables du LABORATOIRE LTP Sud Ghardaïa.*

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

*Je tiens à remercier les membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'examiner et évaluer mon mémoire.*

*Enfin, mes remerciements les plus sincères vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## **RÉSUMÉ**

La composition du béton dépend de la qualité du sable par conséquent, notre étude consiste à connaître l'effet de la finesse de sable sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton.

La méthodologie d'étude consiste à utiliser trois types de sable (grossier; Moyen et fin). nous avons adaptée un protocole expérimental basé sur des études de formulation du béton à base de sables à différentes modules de finesse et de déterminer leurs caractéristiques physico-mécaniques pour une éventuelle comparaison et interprétation.

Notre principe de recherche est de fixer toutes les variables et de ne changer qu'un seul facteur, qui fait l'objet de notre mémoire, qui est le module de finesse du sable.

Les résultats obtenus ont montré que plus que sable présente un module de finesse proche de l'intervalle 2.20-2.80 plus les performances physico-mécaniques du béton sont meilleures.

**Mots clés:** composition de béton, module de finesse, résistance à la compression, caractéristique de sable, gravier .

## **ABSTRACT**

The composition of the concrete depends on the quality of the sand therefore; our study consists in knowing the effect of the fineness of sand on the physico-mechanical characteristics of the concrete. The study methodology consists of using three types of sand (coarse, medium and fine). We have adapted an experimental protocol based on sand-based concrete formulation studies at different fineness moduli and to determine their physico-mechanical characteristics for a possible comparison and interpretation.

Our research principle is to fix all the variables and to change only one factor, which is the subject of our brief, which is the fineness modulus of the sand.

The results obtained showed that the more sand has a fineness modulus close to the range 2.20-2.80, the better the physico-mechanical performance of the concrete.

Key words: concrete composition, fineness modulus, compressive strength, sand characteristic, gravel.

**ملخص:**

يعتمد تكوين الخرسانة على جودة الرمل ، لذلك تتمثل دراستنا في معرفة تأثير نعومة الرمل على الخصائص الفيزيائية الميكانيكية للخرسانة.

تتكون منهجية الدراسة من ثلاثة أنواع من الرمل (خشن، متوسط ، ناعم). لقد قمنا بتكييف بروتوكول تجريبي يعتمد على دراسات صياغة الخرسانة القائمة على الرمل بمعايير دقة مختلفة ولتحديد خصائصها الفيزيائية الميكانيكية للمقارنة والتفسير الممكنين.

مبدأ بحثنا هو إصلاح جميع المتغيرات وتغيير عامل واحد فقط وهو موضوع موجزنا وهو معامل نعومة الرمل. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أنه كلما زادت كمية الرمل التي لها معامل نعومة قريب من النطاق 2.20-2.80 ، كان الأداء الفيزيائي والميكانيكي للخرسانة أفضل.

الكلمات المفتاحية: التركيب الخرساني ، معامل النعومة ، مقاومة الضغط ، خصائص الرمل ، الحصى.

## Table des matières

Dédicaces .....	I
Remerciements .....	II
Résumé.....	III
Table des matières.....	V
Liste des tableaux .....	IX
Liste des Figures.....	XI
Liste des photos.....	XIII
Liste d'abréviations.....	XIV
<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralité sur les bétons hydraulique.....</b>	<b>4</b>
I.1. Introduction.....	5
I.2. Historique du béton.....	5
I.3 Constituants et fabrication des matériaux.....	5
I.3.1 Cimentaires.....	5
I.3.2 Constituants .....	6
I.3.2.1 Ciment.....	6
I.3.2.2. - Les granulats .....	7
I.3.2.3 - Sable .....	9
I.3.2.3.1 Classification des sables .....	9
I.3.2.4. eau .....	10
I.3.2.5. adjuvants .....	10
I.3.2.6 Les ajouts.....	12
I.3.2.6.1 classification des ajouts.....	12
I.3.2.6.2 bénéfiques de l'utilisation des ajouts minéraux .....	13
I.4. Fabrication.....	13
I.4.1. Composition.....	13
I.4.2. Malaxage .....	14
I.5. Propriétés des bétons .....	14
I.5.1. Ouvrabilité .....	14
I.5.2. Compacité et porosité .....	14
I.5.3 Perméabilité .....	15
I.5.4. Résistance mécanique .....	15
I.5.5. Durabilité .....	16
I.5.6. Les pores .....	16
I.5.7. Retraits .....	17
I.5.8. La déformabilité .....	18
I.6. Méthodes de formulation des bétons .....	18
I.6.1. Méthode des Abaques de Dreux .....	18
I.6.2. Méthode de Bolomey .....	19
I.6.3. Méthode de Faury .....	19
I.7. Conclusion .....	19
<b>Chapitre II : Influence de certains facteurs sur les caractéristiques du béton.....</b>	<b>20</b>
II.1. Introduction.....	21
II.2. Influence de la température .....	21

## Table des matières

II.3. Influence de l'âge .....	22
II.4. Influence du dosage en ciment .....	23
II.5. Influence du type de ciment .....	24
II.6. Influence de rapport E/C .....	24
II.7. Influence du rapport granulat/ciment .....	25
II.8. Influence des granulats .....	26
II.8.1. Influence rapport gravier / sable (G/S) .....	26
II.8.2. Influence de la taille maximale du granulat .....	28
II.8.3. Influence de la granularité .....	28
II.9. Influence de sable .....	29
II.9.1. Influence de la granulométrie du sable .....	29
II.9.2. Influence de l'équivalent de sable .....	30
II.9.3. Influence de module de finesse .....	31
II.10. Conclusion.....	32
<b>Chapitre III : caractéristique des matériaux .....</b>	<b>33</b>
III.A. Préambule .....	34
III.B. Principe de la méthode de recherche.....	34
III.1. Introduction .....	36
III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés .....	36
III.3. Caractéristique de Gravier (15/25 ; 8/15 ; 3/8) .....	36
III.3.1. Analyse granulométrique .....	36
III.3.1.1. But.....	36
III.3.1.2. Principe.....	37
III.3.2. Coefficient d'aplatissement .....	39
III.3.3. Essai de masses volumiques apparentes et absolues .....	40
III.3.4. Essai de propreté .....	40
III.3.5. Essai d'absorption .....	41
III.3.6. Essai de durite Los angles .....	41
III.3.7. Essai d'usure micro-devel .....	42
III.3.8. Analyse chimique du gravier .....	42
III.4. Caractéristique de Sable.....	43
III.4.1. Analyse granulométrique (détermination de module de finesse) .....	43
III.4.2. Module de finesse .....	46
III.4.3. Equivalent de sable .....	47
III.4.4. Masse volumique (apparent et absolue).....	48
III.4.5. Analyse chimiques .....	49
III.5. Ciment .....	49
III.6. L'eau .....	51
III.6.1. Caractéristiques physiques .....	51
III.6.2. Caractéristiques chimiques .....	51
III.7. Conclusion .....	52
<b>Chapitre IV: Etude de formulation et essais au laboratoire.....</b>	<b>53</b>
IV.1 Introduction .....	54
IV.2. Etudes de formulation .....	54

## Table des matières

IV.2.1. Méthodes de formulation des bétons .....	54
IV.2.1.1 Méthode de Bolomey .....	54
IV.2.1.2 Méthode de Faury .....	54
IV.2.1.3. Méthode de Valette .....	55
IV.2.1.4.Méthode de Dreux-Gorisse .....	55
IV.3.- Essais ou laboratoire .....	61
IV.3.1. Essais sur béton frais .....	61
IV.3.1.1. Essais d'ouvrabilité cône d'Abrams .....	61
IV.3.1.2. Comment fonctionne le cône d'Abrams .....	63
IV.3.1.3. Teneur en air .....	65
IV.3.3. Préparation des éprouvettes .....	66
IV.3.3.1. Quantité de béton.....	66
IV.3.3.2. Procédure d'essai.....	67
IV.3.4. Essais sur béton durci .....	69
IV.3.4.1 Résistance à la compression simple .....	69
IV.3.4.2. Résistance à la traction .....	71
IV.4. Application pour notre cas pratique.....	78
<b>Chapitre V : Résultats Et Interprétation.....</b>	<b>83</b>
V.1. INTRODUCTION .....	84
V.2. Présentation et analyse des résultats.....	84
V.2.1. béton frais .....	84
V.2.1.1 Affaissement.....	84
V.2.2.2 Teneur en air .....	85
V.2.3. béton durci .....	86
V.2.3.1. Résistance à la compression à 7, 14 et 28 jours .....	86
V.2.3.2. Résistance à la traction à 7j ; 14j ; 28 jours .....	88
V.2.4. La masse volumique.....	89
V.2.5. La Perméabilité.....	90
V.2.6. Les résultats du scléromètre et ultrason.....	91
V.2.6.1. Essai scléromètre.....	91
V.2.6.2. Essai ultrason.....	92
V.3.Conclusion.....	93
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>94</b>
Références bibliographiques.....	96



## Liste des tableaux

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau I-1	la résistance mécanique des ciments	07
Tableau .I.2	Classification des ajouts selon leur réactivité, d'après	13
Tableau II-1	Principales qualités des bétons en fonction de leur (G/S) et leur granularité.	27
Tableau III.1	Analyse granulométrique de gravier 15/25	37
Tableau III.2	Analyse granulométrique de gravier 8/15.	38
Tableau .III.3	Analyse granulométrique de gravier 3/8.	38
Tableau .III.4	résultat d'essai coefficient d'aplatissement	40
Tableau .III.5	Masse volumique (absolue et apparent)	40
Tableau. III.6	résultats propreté superficielle des graviers.	41
Tableau. III.7	résultat d'absorption des graviers.	41
Tableau .III.8.	résultat d'essai LA	42
Tableau. III.9	Essai micro-devel.	42
TableauIII.10.	résultat des analyses chimiques du gravier	43
Tableau .III.11	Analyse granulométrique de sable grossier	44
Tableau .III.12	Analyse granulométrique de de sable moyen	45
Tableau .III.13	Analyse granulométrique de sable fin	46
Tableau. III.14	classement de sable selon leur module de finesse	47
Tableau .III.15	résultat d'essai module de finesse	47
Tableau .III.16	résultat d'essai ES	48
Tableau .III.17	résultat d'essai masse volumique	49
Tableau .III.18	Résultats d'analyse chimique	49
Tableau .III.19	Composition chimique du ciment CPJ CEM II/B-L42.5	51
Tableau .III.20	composition minéralogique du ciment CPJ CEM II/B-L42.5	50
Tableau. III.21	caractéristique physique du ciment CPJ CEM II/B-L42.5N	50
Tableau .IV.1	Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au $\geq$ cône ou au test d'ouvrabilité C.E.S	56
Tableau .IV.2	les dosages auxquels conduisent l'application des formules précédentes ainsi que des valeurs de en fonction de D	57
Tableau IV.3	Valeurs approximatives du coefficient granulaire G	58
Tableau. IV.4	Dénomination des affaissements selon la norme EN 206-1 en mm	64
Tableau .IV.5	Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône Plasticité Serrage Affaissement [cm] Classe NF-EN-206/CN	65
Tableau .IV.6	Confection d'éprouvettes	66
Tableau .IV. 7	ouvrabilité du béton en fonction moyen de vibra	67
Tableau .IV.8	Qualification de la résistance d'une éprouvette en fonction de la valeur de la résistance en compression simple $R_c$	71

## Liste des tableaux

Tableau .IV.9	Moyens de mesure selon type de recul au scléromètre.	76
Tableau. IV.10	les valeurs d'abscisse et ordonne A	79
Tableau IV.11	pourcentages de gravier et de sable obtenues à partir de courbe de référence	79
Tableaux.IV.12	masse volumique absolue de granulat	81
Tableau .IV.13	la quantité en Kg/1 m <sup>3</sup>	81
Tableau IV.14	La quantité de granulats et de sable pour les trois Composition pour1 m <sup>3</sup>	81
Tableaux.IV.15	les quantités des granulats et de sable pour les trois compositions pour 09 éprouvettes	82
Tableau.V.1	Tableau récapitulatif des résultats des essais d'affaissement au cône	85
Tableau.V.2	Variation de teneur en fonction du Mf	85
Tableau .V.3	Résultats de résistance à la compression à 7 ; 14et 28 jour	87
Tableau .V.4	Résistance à la traction par fendage, exprimées en Mpa	88
Tableau .V.5	masse volumique des bétons à l'état durci	89
Tableau .V.6	Résultat de la perméabilité à 28jours	90
Tableau .V.7	résultats de Résistance par scléromètre a 7 ; 14et 28 jour	91
Tableau. V.8	Résultats d'ultrason a 7 ; 14et 28 jour	92

## Liste des Figures et photos

Numéro	Titre	Page
Figure. I.1	Représentation schématique de la pâte de ciment à l'état frais et à l'état durci	17
Figure II.1	Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances	21
Figure II.2	Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire.	22
Figure II.3	Augmentation de la résistance de bétons (mesurée sur des cubes modifiés de 150 mm) sur une période de plus de 20 ans ; condition de conservation humide	23
Figure II.4	Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression à court terme du béton	23
Figure II.5	Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme	24
Figure II.6	Rapport E/C d'un béton confectionné avec un ciment portland à durcissement Rapide	25
Figure II.7	Influence du rapport G/C sur la résistance du béton	26
Figure II.8	Variation de la résistance à la compression selon le rapport G/S avec Différentes plasticités	27
Figure II.9	Influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosages en ciment	28
Figure II.10	Effets de la granularité sur la résistance du béton	29
Figure II.11	Résistance du béton en fonction de l'équivalent de sable	30
Figure II.12	variation de la plasticité et de la résistance en compression en fonction du module de finesse à dosage en eau constant.	31
Figure II.13	perméabilité mesurée par écoulement de kérosène sous pression (20bras) et pendant une heure (un dosage en ciment de 350 Kg/ m <sup>3</sup> ) et un affaissement constant.	31
Figure II.14	Relation approximative entre le module de finesse et la résistance en compression du béton	32
Figure II.15	affaissement au cône d'Abrams en fonction du module de finesse	32
Figure. III.1	Analyse granulométrique de gravier 15/25	37
Figure. III.2	Analyse granulométrique de gravier 8/15	38
Figure. III.3	Analyse granulométrique de gravier 3/8	39
Figure. III.4	Les graviers concassés utilisés	39
Figure .III.5	essai d'aplatissement	40
Figure .III.6	Essai de LOS ANGLES	41
Figure .III.7	Essai MDE	42
Figure .III.8	Analyse granulométrique du sable de Tamanrasset	44

## Liste des Figures et photos

Figure .III.09	Analyse granulométrique du sable moyen	45
Figure .III.10	Analyse granulométrique de sable	46
Figure IV.1	abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction de rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement de cône)	58
Figure IV.2	variation relatives moyennes du dosage en eau E et de nombres de chocs du test d'ouvrabilité C.E.S	59
Figure IV.3	Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse	60
Figure. IV.4	Le cône d'Abrams	62
Figure .IV.5	Schéma d'une mesure au cône d'Abrams	63
Figure .IV.6	Les profils d'affaissements	64
Figure .IV.7	Schéma de la mesure de la teneur en air du béton	65
Figure IV.8	Schéma d'un essai de compression [BEINISH, 2000]	70
Figure .IV.9	Modes de rupture corrects pour un essai de compression	70
Figure .IV.10	Appareillage nécessaire à la réalisation d'un essai de fendage	72
Figure .IV.11	Profil des vitesses d'un fluide visqueux dans un tube capillaire	74
Figure .IV.12	Profil des vitesses d'un gaz dans un tube capillaire	74
Figure .IV.13	Grille de mesure sur ouvrage	77
Figure .IV.14	Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter	78
Figure. V.1	Variation de l'affaissement en fonction du Mf	85
Figure. V.2	Variation de teneur en fonction du Mf	86
Figure V.3	Résultats de Résistance à la compression à 7 ; 14 et 28 jours des sables	87
FigureV.4	Résistances par fendage à 7 ; 14 et 28 jours	88
Figure V.5	la masse volumique des bétons à l'état durci	89
Figure .V.6	Résultat de la perméabilité à 28jours	90
Figure .V.7	Résistances en compression par scléromètre à 7 ; 14et 28 jours des compositions étudiés	91
Figure .V.8	Résultats d'ultrason a 7 ; 14 jours	92

**Liste des photos**

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Photo.I.1	présentation de la perméabilité	15
Photo .III.1	le sable de Tamanrasset utilisé (sable grossier)	45
Photo.III. 2	Essai de l'équivalent de sable	48
Photo .III. 3	Essai de la masse volumique apparent	49
Photo .III.4	qualité de ciment	51
Photo .IV.1	Cône d'Abrams rempli, piqué et arasé	64
Photo .IV.2	représentation d'éprouvette	67
Photo .IV.3	L'éprouvette est remplie	68
Photo .IV.4	L'éprouvette est arasée en deux phases	68
Photo .IV.5	Les éprouvettes remplies au béton	69
Photo .IV.6	Schéma d'un essai de traction par fendage	72
Photo .IV.7	Scléromètre	76

## Liste des abréviations

<b>E/C</b> : le rapport du béton
<b>G/C</b> : facteur de moindre importance sur l'évolution de la résistance à la compression
<b>G/S</b> : Le rapport (GS) correspond à celui des volumes absolus du gravier sur sable
<b>D<sub>max</sub></b> : la taille maximale du granulat
<b>M<sub>f</sub></b> : Module de finesse
<b>ρ<sub>abs</sub></b> : La masse volumique absolue
<b>ρ<sub>app</sub></b> : La masse volumique apparente du sable
<b>σ<sub>c</sub></b> = classe varie de ciment en (MPa)
<b>f<sub>CE</sub></b> : classe vraie de ciment en MPA.
<b>G</b> : coefficient granulaire
<b>C</b> : dosage en ciment (Kg de ciment/m <sup>3</sup> de béton)
<b>E</b> : dosage en eau (Kg d'eau/m <sup>3</sup> de béton ou litre d'eau/m <sup>3</sup> de béton)
<b>V<sub>abs</sub></b> : la masse absolue de ciment kg/m <sup>3</sup>
<b>V<sub>S</sub>, V<sub>g</sub> et V<sub>c</sub></b> : le volume de sable, gravier et ciment respectivement d'un mètre cube du béton
<b>p(%)</b> : Propreté
<b>Ab (%)</b> : le coefficient d'absorption
<b>S</b> : V <sub>s</sub> × M <sub>v<sub>abs</sub></sub> Masse de sable
<b>R<sub>c</sub></b> : la résistance à la compression uniaxiale
<b>R<sub>e</sub></b> : la résistance à la limite élastique
<b>σ<sub>rupt</sub></b> : la résistance en traction
<b>μ</b> : la viscosité dynamique (Pa.s) du fluide
<b>gradP</b> : le gradient de pression (Pa/m)
<b>Q</b> : le débit volumique du fluide
<b>V</b> : la vitesse d'écoulement
<b>L</b> : la longueur du matériau dans la direction du flux (m)
<b>ΔP</b> : la différence de la pression au sein du fluide dans le matériau (Pa)
<b>K<sub>i</sub></b> : coefficient de perméabilité intrinsèque
<b>P<sub>m</sub></b> : pression moyenne (MPa)
<b>P<sub>1</sub></b> : la pression du fluide à l'entre e
<b>P<sub>2</sub></b> : la pression du fluide à la sortie
<b>D</b> : coefficient de Klinkenberg

# *Introduction générale*

### Introduction générale :

Aujourd'hui le béton occupe une importante place dans le domaine de la construction son intérêt réside dans sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance en compression, sa durabilité, son ouvrabilité et son coût acceptable, qu'ont contribué à accroître son utilisation pour tous les ouvrages, comme des immeubles de bureaux ou d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, d'aéroports, des barrages, et des ports...etc.

D'autre part il est un matériau composite et hétérogène résulte d'un mélange intime de ciment, de granulats, d'eau, et présente des propriétés mécaniques qui peuvent être très supérieures à celles des roches naturelles. Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton. La demande sans cesse croissante sur les granulats a provoqué un épuisement rapide des sabliers et une exploitation anarchique des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages en ayant des répercussions directes sur les ressources naturelles, l'érosion des berges d'oued et l'avancée de mer.

Pour déterminer les caractéristiques du sable au niveau du laboratoire, le sable passe une série de tests comme suit:

- Analyse granulométrique (détermination du facteur de finesse).
- sable parabolique
- Densité (apparente et absolue).
- Analyse chimique.
- module de finesse.

Et l'effet du Module de finesse du sable a un effet important sur le béton coulé. Plus la valeur du module n'est en dehors de la fourchette recommandée, cela influe sur la compacité du mélange conduit à la présence du vide dans le béton provoquant ainsi des déformations inacceptables ; si La valeur est grande en dehors du champ, cela conduit à l'émergence du vide dans le béton.

Selon le DTR BE 2.1 2010 les sables admissibles pour un béton de qualité sont classés comme suit:

- 1.80 < MF < 2.20 Sable un peu trop fin
- 2.20 < MF < 2.80 Sable préférentiel
- 2.80 < MF < 3.20 Sable un peu trop grossier



## *Introduction Générale*

---

En dehors de ces fourchettes (inférieur à 1.80 et supérieur à 3.20) les sables sont inadmissibles pour formuler des béton de qualité

C'est dans ce contexte qui peut s'inscrire le sujet de notre mémoire, c'est contribution à l'étude de l'influence de la finesse de sable sur la résistance du béton.

Comment influe la finesse du sable sur la résistance du béton ?

Le module de finesse est-il un critère de choix principal pour les sables utilisés en béton hydraulique ?

Est-ce qu'il toujours correct de rejeter le sable lorsque son module de finesse est en dehors des fourchettes recommandés ?

C'est à travers un protocole expérimental qui on va essayer de répondre à ces questions, la méthodologie adoptée consiste à préparer trois sables ; sable fin et sable moyen et un autre grossier à partir d'un sable grossier de tel façon que le sable le plus fin soit classé comme sable un peu trop fin le sable moyen soit un sable préférentiel et le sable grossier sera classé un peu trop grossier, les trois sables seront utilisés avec les mêmes agrégats et dans les mêmes conditions pour formuler trois bétons différents qui feront l'objet d'une comparaisant de leur caractéristiques physique et mécaniques.

Ce mémoire est structuré en deux parties et Cinq chapitres :

- La première partie est une étude recherche bibliographique qui contient deux chapitres
  - Le premier chapitre est consacré à la généralité sure le béton.
  - Le deuxième chapitre fait le point sur quelques paramètres qui influent sur les caractéristiques du béton.
- La deuxième partie est une étude expérimentale qui contient trois chapitres
- Le troisième chapitre est consacré aux caractéristiques des matériaux utilisés.
- Le quatrième illustre l'étude de formulation et essai au laboratoire.
- Le cinquième Spectacle les résultats de notre travaille
- En fin, une conclusion générale reprend les principaux résultats dégagés lors de cette étude et rapporte les intérêts pratiques qui en découlent.

*Chapitre I :*  
*Généralités sur les*  
*bétons hydrauliques*

### I.1. Introduction:

Le béton est un matériau hétérogène multiphasique poreux dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes. Il est constitué d'un mélange de granulats et d'une pâte (ciment, d'eau et éventuellement d'ajouts).

Les granulats sont des matériaux inertes qui, agglomérés par un liant, constituent le squelette du béton, lui confèrent sa compacité, participent à sa résistance mécanique et atténuent les variations volumiques lors du durcissement.

La pâte de ciment est le siège des réactions d'hydratation des constituants qui conduisent aux processus de prise et de durcissement et la transforment en matrice liante.

Les adjuvants fournissent aux formulations de béton une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des bétons, adapter leur fabrication au temps froid ou au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du béton durci, voire même lui conférer des propriétés nouvelles.

### I.2. Historique du béton:

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<sup>ème</sup> 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 Aspidine 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 [1].

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.

### I.3 Constituants et fabrication des matériaux:

#### I.3.1 Cimentaires:

Les caractéristiques physico-mécaniques du béton à l'état frais et à l'état durci dépendent de sa composition et des différentes actions mécaniques auxquelles il est soumis lors de sa fabrication. Le béton est sujet à un ensemble de mécanismes de structuration (hydratation, floculation, etc.) et de déstructuration (malaxage, vibration, écoulement, etc....).

### I.3.2 Constituants :

Les trois composants de base d'un béton sont l'eau, le ciment et les granulats. Des additifs peuvent y être rajoutés dans le but de modifier les propriétés telles que la maniabilité et la résistance. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des divers constituants sont différentes. Chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange.

#### I.3.2.1 Ciment:

**a- 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 ont montré que les principaux composés du ciment portland sont :

¾Le Silicate Tricalcique (Alite) :  $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$  (C3S) ;

¾Le Silicate Bi calcique (Belite) :  $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$  (C2S) ;

¾L'Aluminate Tricalcique :  $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$  (C3A) ;

¾L'Alumino-Ferrite Tétracalcique :  $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$  (C4AF) ;

¾Et 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. 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 ( $\text{SiO}_2$ ) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse [2].

#### b- Classification des ciments:

##### b.1 Classification suivant la composition :

Dans l'ouvrage, le ciment classifié selon différents critères, tel que: le mode d'utilisation, la performance...etc., le critère essentiel et le plus commun utilisé c'est la composition chimique de ciment ; et selon ce critère en les classant selon le pourcentage de Clinker et par la suite les pourcentages des compositions complémentaires (les ajouts), il existe cinq catégories de ciments courants reconnus:

- 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.

### b.2. Classification suivant les résistances à la compression :

Comme on a mentionné précédents, plusieurs classification de ciment dépends aux déférents facteurs, ci-dessous un tableau (Tableau I-1) classifier le ciment selon leurs résistances a la compression.

**Tableau I-1:** la résistance mécanique des ciments

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32.5N	-	≥16.0	≥32.5	≤52.5
32.5R	≥10.0	-		
42.5N	≥10.0	-	≥42.5	≤62.5
42.5R	≥20.0	-		
52.5N	≥20.0	-	≥52.5	-
52.5R	≥30.0	-		

### I.3.2.2. - Les granulats :

**a- Définition :** On appelle granulats 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 1er économique : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ; et le2eme technique : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigide que la pâte de ciment).

### **b-Classification des granulats selon la provenance :**

#### **b.1) Granulats naturels:**

##### **- Granulats roulés :**

Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel. Ainsi ils se sont formés des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes. Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

- Les granulats de rivière (d'oued).
- Les granulats de mer.
- Les granulats de dunes.

N.B. : Les granulats roulés se caractérisent par leur aspect de grains arrondis et polis.

##### **- Granulats concassés (de carrières) :**

Ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes, calcaires durs...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arêtes vives.

#### **b.2) Granulats artificiels :**

Ils proviennent de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut fourneau) ou de démolition d'ouvrages.

### **c-Classification des granulats selon la grosseur :**

Selon leurs dimensions on distingue : les sables, les graviers, les cailloux, les galets et les moellons. Les dimensions soulignées sont celles de la série de base préconisée par la norme européenne (NF EN 933-2). On distingue les familles de granulats suivantes :

- fillers 0/D où  $D < 2$  mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm;
- sablons 0/D où  $D < 1$  mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm;
- sables 0/D où  $1 < D < 6,3$  mm;
- graves 0/D où  $D > 6,3$  mm;
- gravillons d/D où  $d > \text{let } D < 125$  mm;
- ballasts d/D où  $d > 25$  mm et  $D < 50$  mm;

#### **d- Désignation des granulats :**

Les granulats sont souvent désignés en fonction de leur plus petite et leur plus grande dimension comme suit : Granulat d/D : sable ou gravier :

d : dimension minimale des grains

D : dimension maximale des grains Exemples : granulats rencontrés en pratique : sable 0/3, gravier 3/8, gravier 8/15, gravier 15/25.

### I.3.2.3 Sable

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton. La demande sans cesse croissante sur les granulats a provoqué un épuisement rapide des sabliers et une exploitation anarchique des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages en ayant des répercussions directes sur les ressources naturelles, l'érosion des berges d'oued et l'avancée de mer[3].

#### I.3.2.3.1 Classification des sables :

On peut classer les sables selon des paramètres dont :

##### a. Granulométrie :

Elle permet de séparer les sables en trois catégories :

##### - Sables fins :

plus de 75% des éléments supérieurs à  $80\mu\text{m}$ , sont inférieurs à  $0,5\text{mm}$ . Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.

##### - Sables moyens :

Moins de 20% des éléments sont supérieurs à  $2\text{mm}$  et plus de 50% des éléments supérieurs à  $80\mu\text{m}$  sont compris entre  $0,2$  et  $2\text{mm}$ .

##### - Sables grossiers :

Plus de 20% des éléments sont supérieurs à  $2\text{mm}$  et plus de 50% des éléments supérieurs à  $80\mu\text{m}$  sont compris entre  $0,5$  et  $5\text{mm}$ . Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves [4].

##### b. Les types des sables selon leurs provenances :

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

##### - Sable de rivière :

Il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.

##### - Sable de mer :

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

##### - Sable de carrière :

Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.

### - **Sable artificiel :**

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

### - **Sable de dune :**

C'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara [5].

### **I.3.2.4 Eau :**

L'eau présente dans le béton joue deux fonctions principales : Elle lui confère sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation du ciment.

L'eau est constituée de molécules polaires de H<sub>2</sub>O dont la taille est approximativement égale à 1'angström.. Ces particules exercent les unes sur les autres des forces d'attraction qui jouent un rôle fondamental sur ses propriétés rhéologiques. L'eau étant un milieu diélectrique, elle modifie les forces inter-granulaires. Son action n'est pas négligeable pour les grains très fins (tels que les ciments et les fines).

L'eau donne au béton sa maniabilité, d'une part par son action lubrifiante sur les différents grains, d'autre part par la cohésion due à la pâte provoquée par l'association des grains fins (ciment et fines) avec elle. [6].

Le dosage en eau doit donc être limité au «juste nécessaire» à l'hydratation du liant et aux exigences d'ouvrabilité. L'eau est le mal nécessaire de réglage le plus simple de la consistance, mais son augmentation entraîne une diminution de la résistance à la compression de béton et affecte la durabilité.

### **I.3.2.5. adjuvants :**

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.

Un adjuvant n'est pas un palliatif. Il n' ni pas 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 [7].

### - Les 3 grandes catégories d'adjuvants :

#### **A. Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton :**

- plastifiants réducteurs d'eau ;
- super plastifiants hauts réducteurs d'eau.

#### **B. Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement :**

- accélérateurs de prise ;
- accélérateurs de durcissement ;
- retardateurs de prise.

#### **C. Les adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton :**

- entraîneurs d'air ;
- hydrofuges de masse ;
- rétenteurs d'eau.

### - Les avantages :

#### **a. Avantage économique :**

La propriété de la plupart des adjuvants chimiques de réduire l'eau est recherchée pour deux raisons. En abaissant la quantité d'eau de gâchage nécessaire, ils augmentent la résistance à la compression pour une teneur en ciment et un affaissement donnés. Ceci permet également de réduire la teneur en ciment pour une résistance et un affaissement donnés. Cette dernière caractéristique est très intéressante du point de vue économique, étant donné que le ciment est l'ingrédient le plus cher dans la composition du béton. Il ne faut toutefois pas pousser trop loin l'économie de ciment, cela pourrait nuire à la qualité du béton, par exemple, quant à l'absorption, la perméabilité et la durabilité [7].

#### **b. Avantages écologiques :**

Les super plastifiants peuvent réduire la porosité du matériau en rendant le béton maniable avec moins d'eau. Cela accroît considérablement la durabilité du béton, qui prolonge la durée de vie de l'infrastructure dans laquelle il est utilisé, réduisant ainsi l'impact écologique du secteur de la construction [8].

### c. Avantages architecturaux :

Le béton, bien qu'il soit relativement bon marché, est unique comme matériau de construction parce qu'il peut être coulé dans différentes formes et tailles. Par ailleurs, comme l'utilisation de super plastifiants améliore la maniabilité et les propriétés mécaniques par réduction d'eau, les architectes peuvent désormais exploiter des modèles complètement nouveaux pour des structures élégantes possédant des capacités portantes normales [8].

### I.3.2.6 Les ajouts:

Les ajouts pour béton sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment, quelque fois également au béton. Les ajouts permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui conférer des propriétés spécifiques.

Les ajouts sont souvent meilleur marché que le ciment Portland et permettent d'obtenir un ciment composé ou divers plus économique. Contrairement aux adjuvants, les ajouts doivent être pris en compte dans le calcul de la composition du béton.

Des ajouts, tels que les cendres volantes, les fillers, les laitiers, etc., entrent dans la majorité des compositions du ciment dans le but d'améliorer ses caractéristiques rhéologiques et/ou mécaniques. On obtient ainsi un liant de composition binaire voire tertiaire. Les pays industrialisés tels que les États-Unis, la Russie, la France, l'Allemagne, le Japon et L'Angleterre, sont les plus grands producteurs de cendres volantes, de fumée de silice et de laitier de haut fourneau. La Chine et l'Inde produisent également des quantités importantes de cendres de balles de riz [9].

#### I.3.2.6.1 Classification des ajouts :

L'un des moyens efficaces qui existe à augmenter la production du ciment est d'utiliser des ajouts qui peuvent être naturels ou artificiels, inertes ou actifs. [10]. Les ajouts peuvent réagir en tant que matériau hydraulique, hydraulique latent ou pouzzolanique, ou encore sous forme de fillers. Les ajouts.

Se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau (I.1)

**Tableau I.2 :** Classification des ajouts selon leur réactivité, d'après [11].

Type	Réactivité	Matériaux
hydraulique	fortement réactif	ciments spéciaux, chaux hydraulique
hydraulique latent	fortement réactif	laitier granulé (laitiers de haut fourneaux vitreux granulé), cendres riches en calcium (cendres volantes calciques)
pouzzolanique	fortement réactif	fumée de silice
pouzzolanique	moyennement réactif	cendres volantes pauvres en calcium (cendres volantes siliceuses), pouzzolanes naturelles (verres volcaniques, tufs volcaniques, trass, phonolithe, terres à diatomées)
pouzzolanique	faiblement réactif	scories cristallines
inerte	pas réactif	filler (farine calcaire et poudre de quartz), fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétiques

### I.3.2.6.2 bénéfices de l'utilisation des ajouts minéraux :

#### -Bénéfices fonctionnels :

Incorporation des particules fines améliore la maniabilité et réduit la demande en eau (à l'exception des ajouts d'une grande finesse).

Peuvent modifier la nature et la texture des hydrates formés.

Prise et durcissement pour les ajouts qui interviennent dans le processus réactionnel du ciment avec l'eau.

vitriifié. La majorité des éléments tels que Ca, Mg, Si, et Al sont sous forme de phase non cristalline. Une fois broyé à environ 400 /kg à 500 /kg, ce produit développe de bonnes propriétés cimentaires. La production des laitiers est liée à celle des fontes à partir des quelles seront élaborés les aciers.

Les laitiers de haut fourneau trouvent leur utilisation surtout dans les ciments et pour les travaux routiers. Il existe d'autres laitiers métallurgiques provenant de métaux non ferreux et qui pourraient être utilisée [12].

## I.4. Fabrication:

### I.4.1. Composition:

Le mélange de ciment et d'eau constitue ce qu'on appelle «la pâte de ciment». En y rajoutant du sable, on obtient «un mortier». En y additionnant du sable et un granulat plus gros on obtient «un béton».

La pâte présente à l'intérieure du béton joue à la fois le rôle de liant et de remplissage. C'est l'élément actif du béton et elle représente environ 30 % du volume d'un béton. Les granulats constituent un squelette inerte dispersé dans cette pâte. La présence des granulats dans le mélange limite la propagation des fissures de la pâte due au retrait.

### **I.4.2. Malaxage :**

Les divers constituants d'un béton sont malaxés de façon à avoir un matériau de composition homogène, ayant par la suite des propriétés uniformes.

Lors d'un essai en laboratoire, il est nécessaire d'adopter rigoureusement une même procédure de malaxage des mélanges afin d'avoir des matériaux ayant des propriétés quasi constantes pour chaque gâchée. Cela concerne à la fois le temps de malaxage, la vitesse de malaxage et la séquence d'introduction des constituants dans le malaxeur. Selon Neville [5], ces paramètres influent de manière significative sur la teneur en air du mélange.

### **I.5. Propriétés des bétons :**

#### **I.5.1. Ouvrabilité :**

L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton (frais) et sa bonne adéquation à la méthode de sa mise en œuvre dans un ouvrage donné compte tenu de ses caractéristiques. Elle est influencée principalement par la granulométrie et la forme des granulats, la nature et le dosage de ciment, le dosage en eau et par l'emploi éventuel d'adjuvants. Les essais de mesure de consistance du béton les plus courants sont l'essai d'affaissement au cône d'Abrams et l'essai d'étalement à la table à secousses.

#### **I.5.2. 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 vide.

### I.5.3. 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.



**Photo.I.1** : présentation de la perméabilité

### I.5.4. 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.

#### A. Résistance à la compression :

La résistance à la compression est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton et en béton armé. Une bonne résistance à la compression est la qualité la plus recherchée pour le béton durci. Cette résistance est caractérisée par la

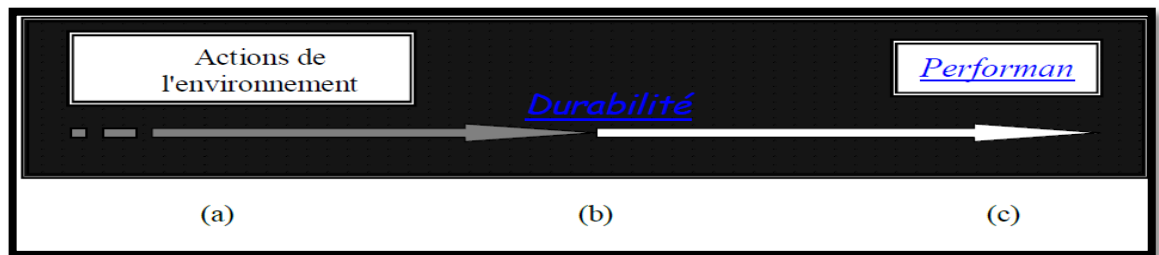
valeur mesurée des éprouvettes écrasées à vingt-huit jours (Rc28).

### B. Résistance à la traction :

La résistance à la traction est moins étudiée que celle à la compression car le béton est conçu essentiellement pour résister à la compression, et son comportement en traction est quasi fragile. Le comportement en traction du béton peut être identifié par l'essai de flexion sur trois points. Cette résistance est caractérisée par la valeur mesurée des éprouvettes écrasées à vingt-huit jours (Ft28).

### I.5.5. Durabilité :

Un ouvrage 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 d'utilisation [13].



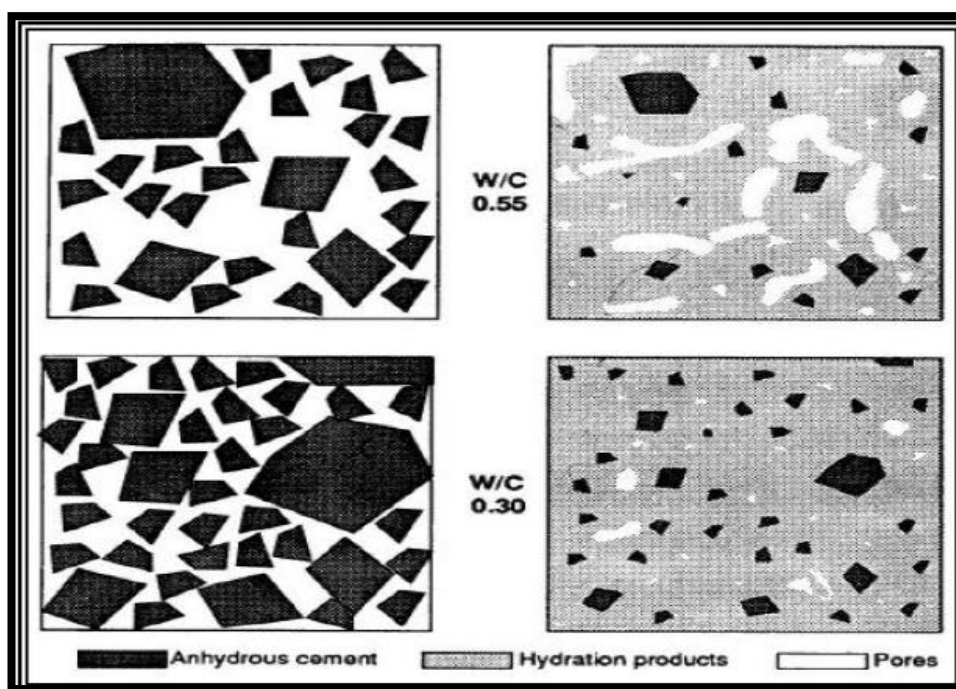
(a) Comprend tous les facteurs de dégradation affectant un matériau, traduit la résistance du matériau à la dégradation.

(b) Déterminer les caractéristiques spécifiques à mesurer qui seront considérées comme indicateurs de dégradation.

(c) Est une fonction qui décrit la variation dans le temps des propriétés spécifiques de mesure choisi

### I.5.6. Les pores :

Les pores sont des cavités vides ou remplies d'eau dans le béton durci. La porosité C'est le rapport entre le volume de vides  $V_v$  et le volume total  $V_t$  d'un corps. La porosité est une propriété volumétrique représentant le contenu des pores qui ne sont pas nécessairement interconnectés, alors que la perméabilité est une propriété d'écoulement qui caractérise la facilité avec laquelle un matériau poreux se laisse traverser par un fluide.



**Figure.I.1** : Représentation schématique de la pâte de ciment à l'état frais et à l'état durci, [14].

### I.5.7. Retraits :

Le retrait est une diminution de volume liée à la dessiccation du béton, au moment de la mise en œuvre puis au cours du vieillissement de l'ouvrage. Cette diminution crée des contraintes de traction dans le matériau. Si ces contraintes sont plus importantes que la limite de rupture du béton, il y a rupture du matériau, ce qui se traduit par des fissures.

Le phénomène a été observé dès les premières utilisations du béton de ciment, et fait encore aujourd'hui l'objet de recherches. Beaucoup de facteurs influent sur le retrait et ses conséquences, et il est difficile d'en faire l'analyse exhaustive. Les désordres causés par le retrait se caractérisent essentiellement par des fissures, dont la gravité est à analyser en fonction de la nature des pièces affectées et de leur environnement. Dans cet article on passe en revue rapidement les différents types de retrait et leurs origines.

### I.5.8. La déformabilité :

La résistance mécanique et la déformation sont des caractéristiques importantes du béton, car elles jouent un grand rôle non pas seulement pour la stabilité, mais aussi la durabilité des ouvrages.

Lorsque le béton est soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, il se comporte comme un matériau fragile. D'une part, sa rupture n'est pas précédée de déformations importantes et d'autre part, sa résistance à la traction est beaucoup plus faible que sa résistance à la compression. La résistance à la traction s'annule même complètement si des fissures de retrait se sont développées.

Le choix judicieux des matériaux, une mise en œuvre correcte, l'adoption de dispositions constructives appropriées jouent un rôle essentiel dans l'art de construire. Toutefois, comme une partie importante de ses activités est consacrée aux problèmes de dimensionnement des constructions, l'ingénieur attache une importance particulière aux caractéristiques de résistance mécanique et de déformation des matériaux, car leur connaissance lui est indispensable pour réaliser des constructions à la fois sûres et économiques.

Dès la fin de la mise en œuvre, le béton est soumis à des déformations, même en absence de charges.

Le béton soumis à l'action d'une charge assez faible subit une déformation pratiquement instantanée élastique, réversible. Il suit la loi de Hooke bien connue :

- $s = E \cdot e$  Avec :
- $s$  : Contrainte appliquée.
- $E$  : Module d'élasticité ( $1/E$  est le module de rigidité).
- $e$  : Déformation.

### I.6. Méthodes de formulation des bétons :

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

#### I.6.1. Méthode des Abaques de Dreux :

Les abaques de Dreux, permettent une approche pratique d'une composition de béton répondant à des objectifs déterminés, moyennant quelques hypothèses facilitant la démarche. Il est bien évident qu'une fois déterminée cette composition, elle devra, ainsi qu'il a été souligné, être soumise à l'expérimentation afin d'affiner les dosages indiqués.



### **I.6.2.Méthode de Bolomey :**

La méthode de Bolomey a le mérite d'avoir ouvert la voie aux études de béton. Toutefois, elle ne peut être appliquée qu'aux granulats dont la masse volumique absolue est comprise entre 2,5 et 2,7 kg/m<sup>3</sup> ; ce sont d'ailleurs les granulats les plus courants.

### **I.6.3. Méthode de Faury :**

Cette méthode est venue en 1942 compléter la méthode de Bolomey. La méthode de Faury donne des bétons comportant moins de sable et plus de gravier. Ces bétons sont plus raides et conviendront à des travaux pour lesquels une très bonne maniabilité n'est pas indispensable. Les bétons Faury auront souvent une résistance mécanique supérieure aux bétons Bolomey correspondants.

### **I.7.Conclusion :**

Cette partie théorique nous permet de conclure ce qui suit:

Le béton est un matériau hétérogène dont le choix des composants dépend des normes requises. Ces normes sont essentiellement des résistances mécaniques et la qualité des composants.

Le sable est un matériau essentiel à la fabrication du béton. Comme il forme de 30% à 40% en tant que composant principal de l'ensemble du bloc de béton. Comme les dunes de sable, car le sable affecte certaines propriétés du béton. Comme la disponibilité du sable dans les régions méridionales du pays est très importante et non précisée.

*Chapitre II :*  
*Influence de certains*  
*facteurs sur les*  
*caractéristiques du*  
*béton*

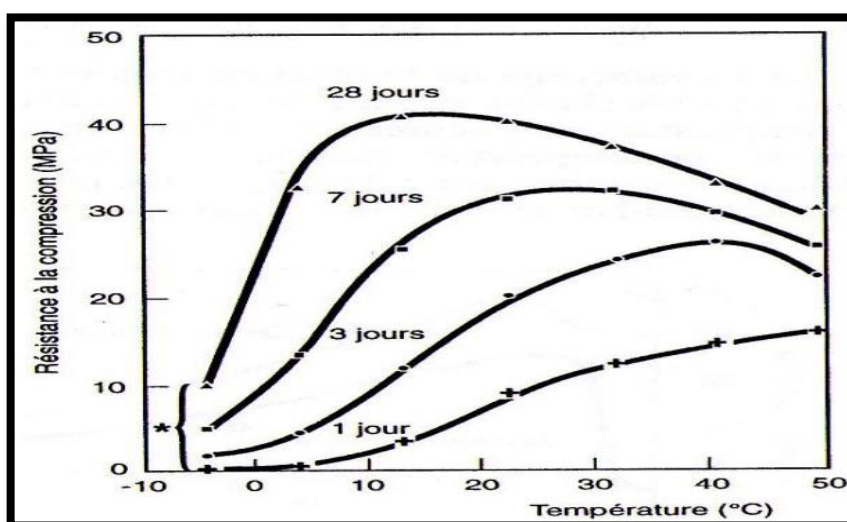
### II.1. Introduction

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde il est composé de granulats fins (sable), gros granulats (gravier), eau et de ciment. Les différents constituants du béton ont des influences plus ou moins importantes sur les propriétés du béton. L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal de différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage en cause. Devant la multiplicité des méthodes utilisables pour déterminer la composition du béton. Plusieurs recherches sont intéressées sur l'influence des constituants de béton sur ça comportement tels que : Le dosage en ciment, le type du ciment, le rapport E/C, le rapport G/S et la propreté et la granulométrie des granulats, la propreté de sable et son finesse et sa teneur en fins, les adjuvants ...etc.

### II.2. Influence de la température :

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.)[15].

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 [15].

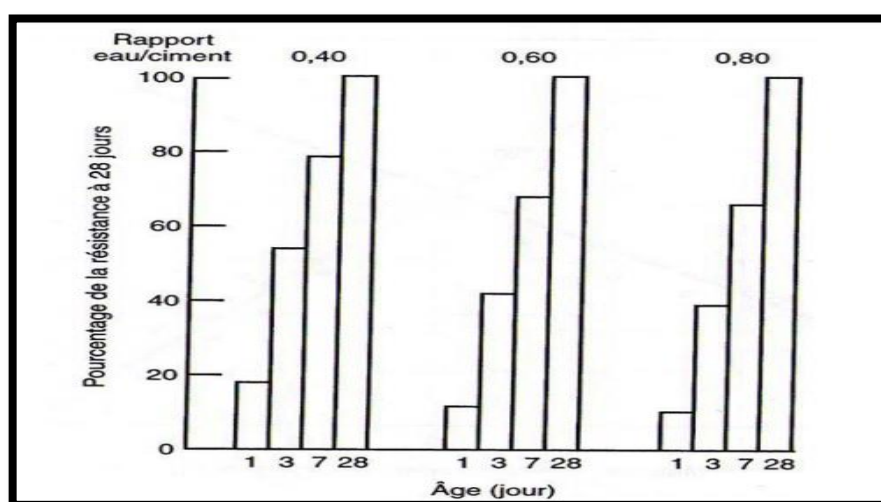


**Figure II-1:** Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances [15].

La figure (II-1) 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 [15].

### II.3. Influence de l'âge :

Meyer (1963) a montré que l'augmentation de la résistance (exprimée en pourcentage de la résistance à long terme) des bétons à faible rapport E/C est plus rapide que celle des bétons ayant un rapport E/C plus élevé (figure II-2). Ceci s'explique par le fait que les grains de ciment sont plus près les uns des autres et que le réseau de gel continu s'établit plus rapidement.



**Figure II-2 :** Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire.

Il est important de connaître l'évolution de la résistance en fonction du temps lors de la mise en service d'une structure, c'est-à-dire lorsque cette dernière devra supporter, à un âge plus éloigné, la charge totale pour laquelle elle a été dimensionnée. Dans ce cas, le gain de résistance après l'âge de 28 jours peut être pris en compte lors du dimensionnement de la structure. Dans d'autres situations, comme dans le cas des bétons précontraints, préfabriqués ou lorsque les coffrages doivent être enlevés rapidement, il est important de connaître la résistance au jeune âge.

La figure( II-3) présente l'évolution de la résistance en fonction du temps pour des bétons de rapports E/C de 0,40, 0,53 et 0,71 confectionnés avec un ciment de type I en 1948 et conservés constamment dans l'eau .

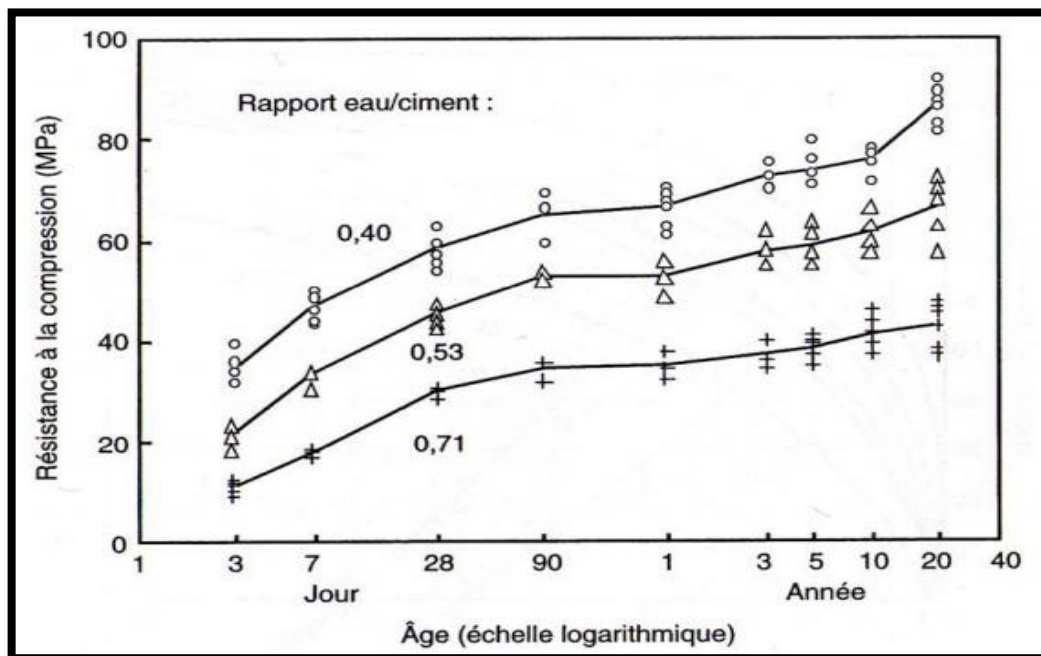


Figure II-3: Augmentation de la résistance de bétons (mesurée sur des cubes modifiés de 150 mm) sur une période de plus de 20 ans ; condition de conservation humide [15].

#### II.4. Influence du dosage en ciment :

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.

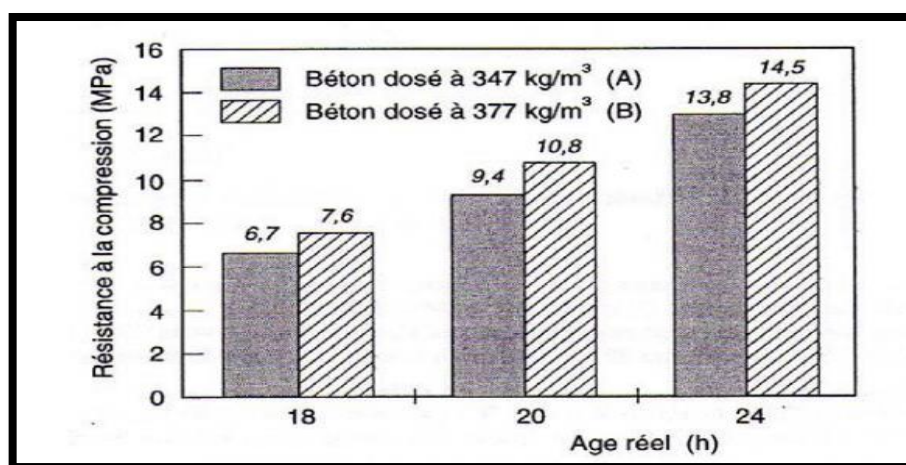
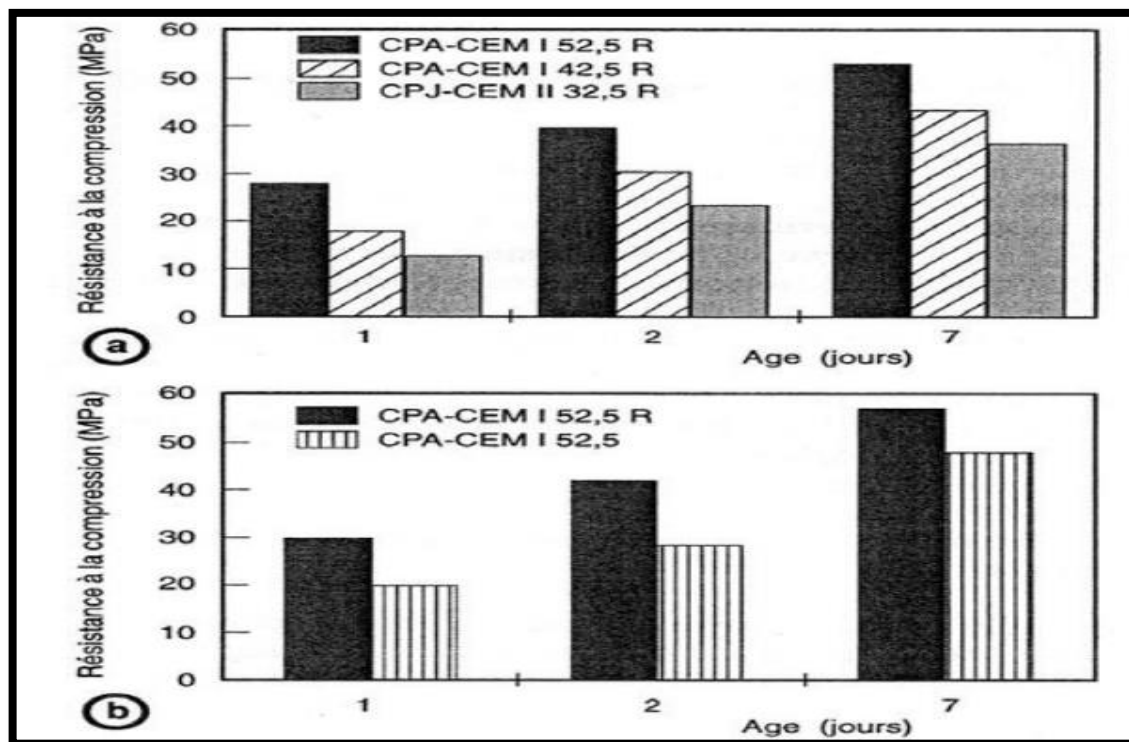


Figure II-4 : Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression à court terme du béton [15].

## II.5. Influence du type de ciment :

La démarche de formulation d'un béton passe par le choix du type de ciment. L'influence de ce paramètre sur la résistance à court terme est présentée sur la figure (II-5) suivant :



**Figure II-5:** Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme [16].

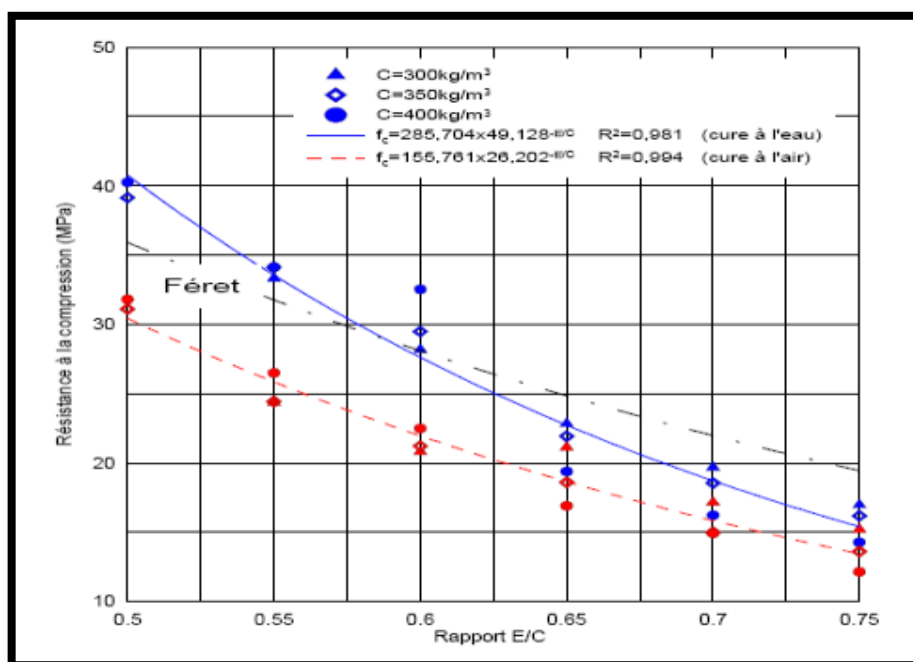
Cette figure (II-5) montre que le choix d'un ciment CPA-CEM I 52,5 R développera, à dosage identique dans le béton, des résistances à court terme considérablement supérieures à celles d'un ciment CPJ-CEM II 32,5 R, c'est-à-dire que, plus la classe de résistance est élevée, plus les résistances sont élevées, 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 [16].

## II.6. Influence de rapport E/C :

A part 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.

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.



**Figure II-6 :** Rapport E/C d'un béton confectionné avec un ciment portland à durcissement Rapide [17].

La figure (II-6) montre que la courbe représentant la résistance en fonction du rapport E/C a 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 [16].

### II.7. Influence du rapport granulat/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-7).

L'explication la plus probable est le faible pourcentage des vides par rapport au volume total de béton.

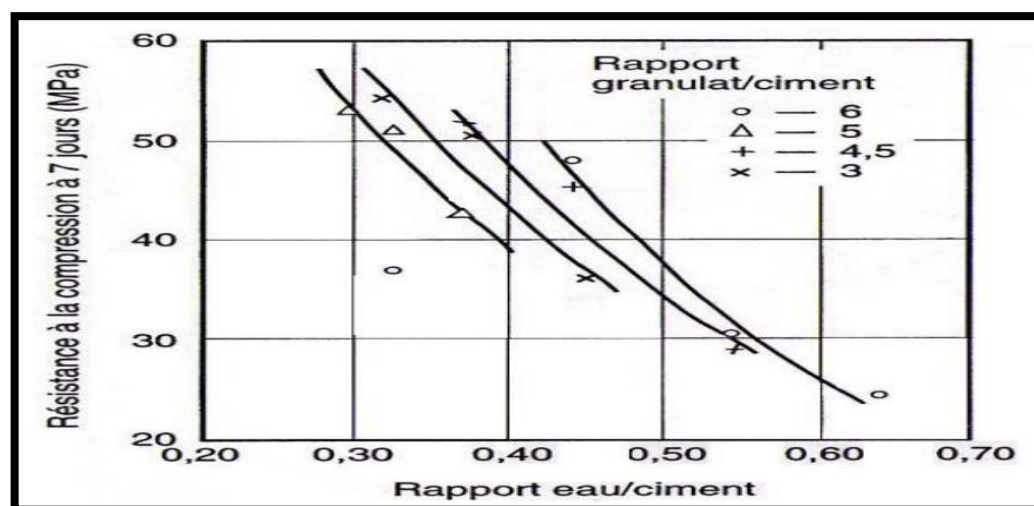


Figure II-7 : Influence du rapport G/C sur la résistance du béton.

La figure (II-7) 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 [16].

## II.8. Influence des granulats :

Il est intéressant pour la fabrication des éléments en béton de savoir et connaître l'influence des caractéristiques des granulats sur la qualité du béton, afin d'avoir l'opportunité pour le choix des granulats compatibles au béton souhaité.

A cet effet, plusieurs recherches ont étudié l'influence des caractéristiques des granulats sur la propriété du béton, et en ce qui suit on va citer l'effet des principaux caractéristiques sur la propriété du béton.

### II.8.1. Influence rapport gravier / sable (G/S) :

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 Le tableau (II-1) présente une récapitulation des qualités principales des bétons en fonction de leurs G/S.



Tableau II-1 : Principales qualités des bétons en fonction de leur (G/S) et leur granularité.

Caractéristiques	Appréciation concernant les bétons	
	G/S élevé par rapport à ceux à G/S faible	à granularité discontinue 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 inférieure
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 légèrement supérieure
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-8) 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 [18].

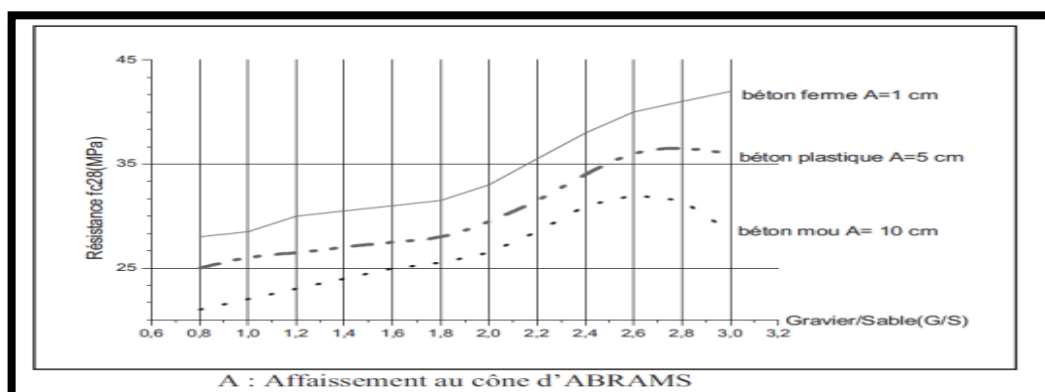


Figure II- 8 : Variation de la résistance à la compression selon le rapport G/S avec Différentes plasticités [18].

### II.8.2. Influence de la taille maximale du granulat :

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 [15]:

- 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-9). Pour des dimensions supérieures, le bilan des deux effets dépend du dosage du béton.

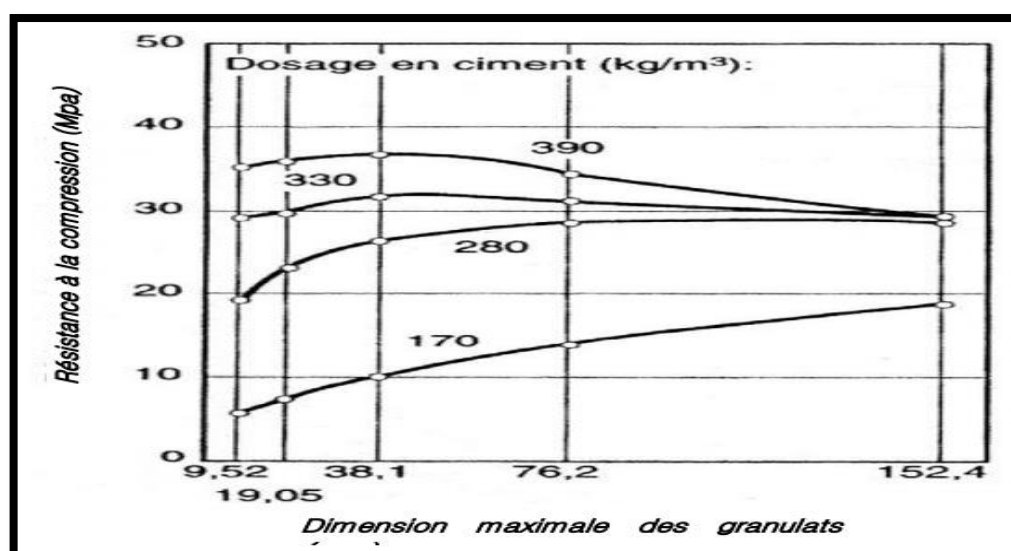
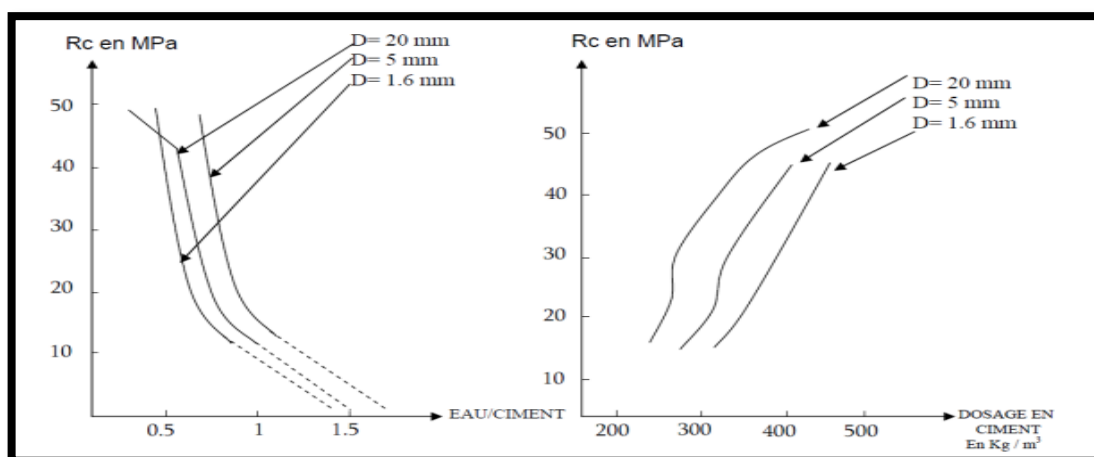


Figure II-9 : Influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosages en ciment [16].

### II.8.3. Influence de la granularité :

La figure (II-10) ci-après donne une idée de l'effet de la granularité sur la résistance du béton à 28 jours.



**Figure II-10 :** Effets de la granularité sur la résistance du béton [19].

On remarque sur cette présentation, que l'augmentation de la granularité augmente la résistance. Mais si on fixe le paramètre E/C dans les limites de la plasticité (0.5-1.5) les meilleurs résultats correspondent de granularité moyenne.

### II.9. Influence de 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 5mm, 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 que influence sur la résistance est présentée.

#### II.9.1. Influence de la granulométrie du sable :

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.

Quand on utilise le sable avec une grande teneur en grains fins (de dimensions 0.15 à 0.6 mm) les boules sableuses non imbibés 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  $50\mu$  peut être considéré comme un vrai agrégat. On recommande de séparer les fractions inférieures à  $0.15\text{ mm}$  en deux ou trois fractions ; par exemple:

- la fraction  $0$  à  $50\mu\text{m}$ .
- la fraction  $50$  à  $100\mu\text{m}$ .
- la fraction  $100$  à  $150\mu\text{m}$ .

Pour préciser l'influence de la granulométrie du sable sur la résistance du béton et la consommation en ciment, Gordon [20] a étudié les sables de granulométries diverses ; Cet auteur a conclu que la granulométrie du sable de  $0.15$  à  $5\text{ mm}$  n'influe pas sur la résistance du béton si sa composition est optimale. 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  $0.6\text{mm}$  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 [18].

### II.9.2. 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 précédents. [18], dans la figure ci – dessous ce qui présente la relation entre la résistance et l'équivalent de sable.

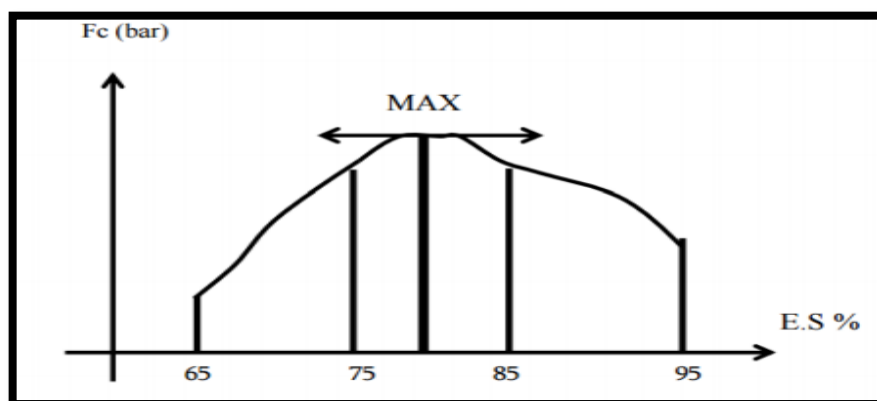
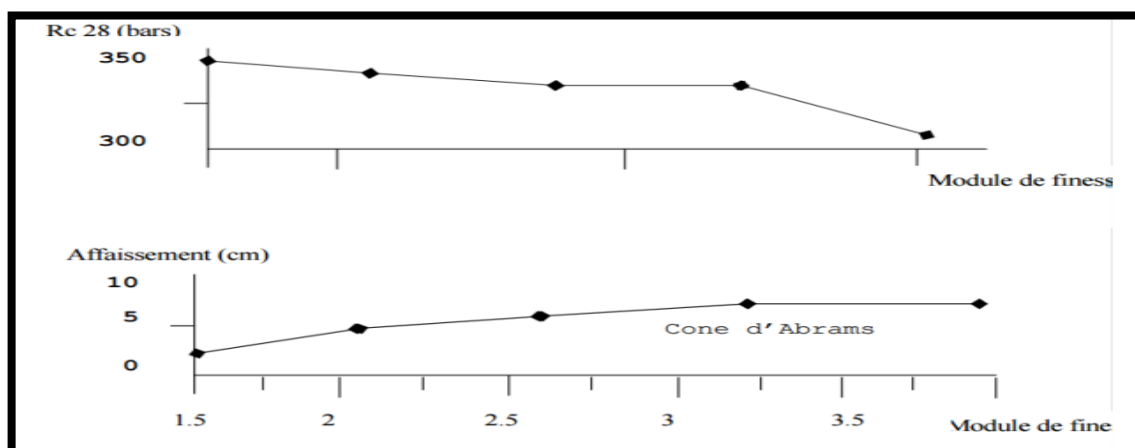


Figure II-11: Résistance du béton en fonction de l'équivalent de sable [18].

Et suivant à ce résultat montre dans la Figure (II-11), 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% [18].

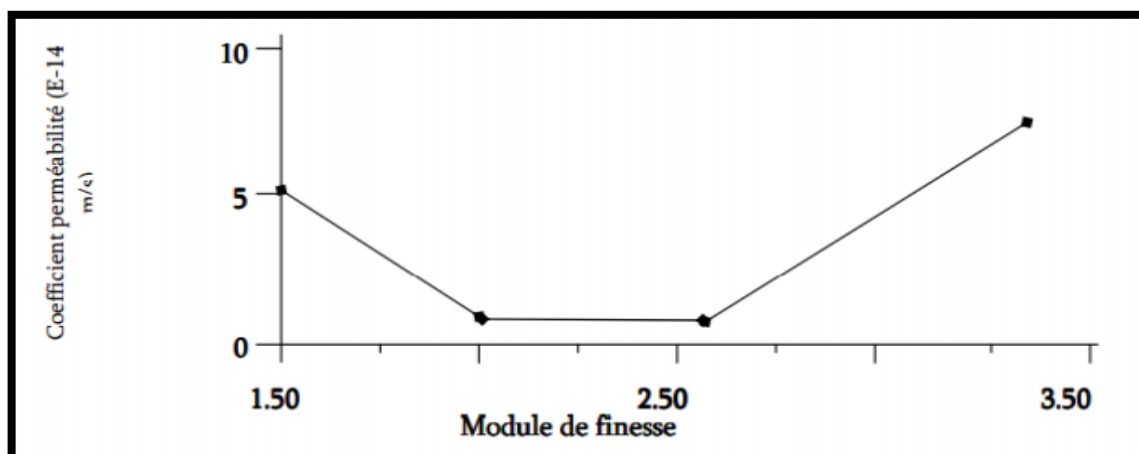
### II.9.3. Influence de module de finesse :

Figure II-12 Montre les variations de la plasticité et de la résistance d'un béton en fonction du module de finesse à dosage en eau constant.

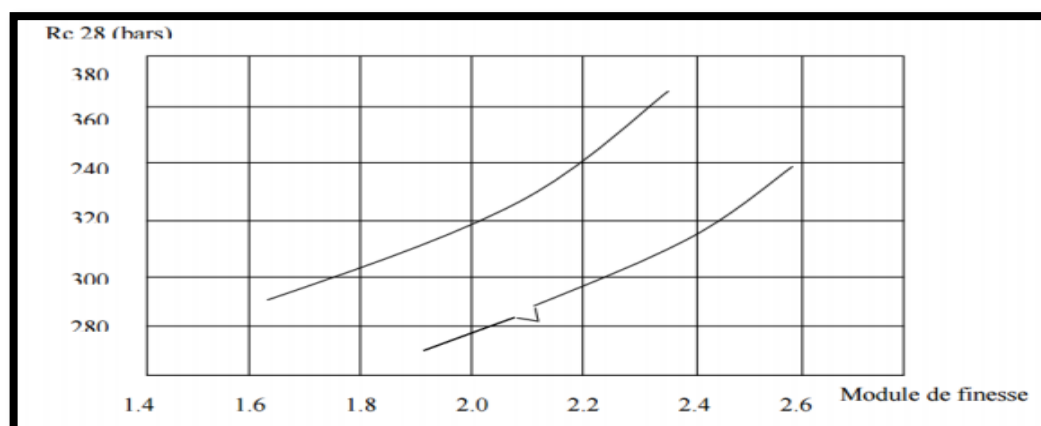


**Figure II-12 :** variation de la plasticité et de la résistance en compression en fonction du module de finesse à dosage en eau constant.

Les Figure (II-13) et Figure (II-14) montrent successivement la variation du coefficient de perméabilité et de la résistance en fonction du module de finesse selon.

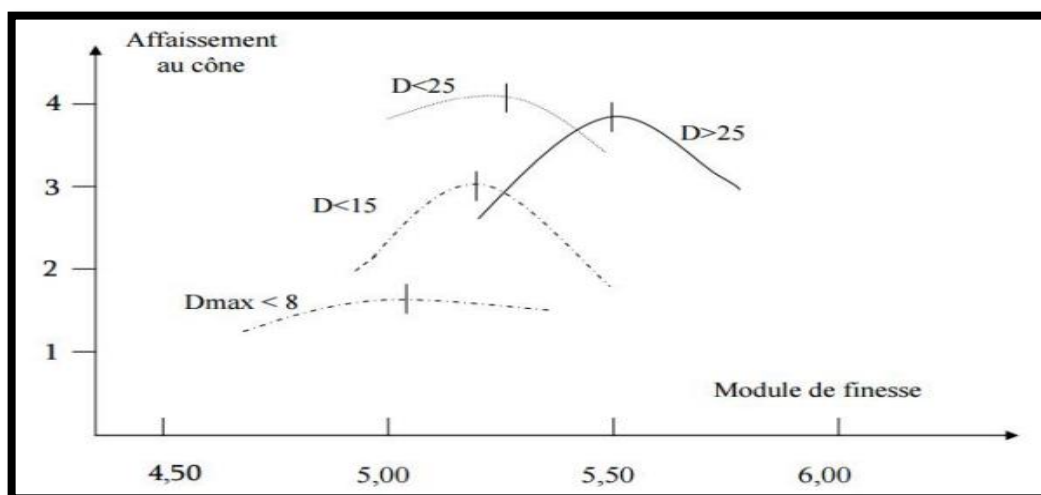


**Figure II-13:** perméabilité mesurée par écoulement de kérosène sous pression (20bras) et pendant une heure (un dosage en ciment de 350 Kg/ m<sup>3</sup>) et un affaissement constant.



**Figure II-14:** Relation approximative entre le module de finesse et la résistance en compression du béton.

Figure (II-15), montre que la variation d'affaissement au cône en fonction de module de finesse, est liée également par les dimensions des granulats. Sachant que le module de finesse d'un bon sable est compris entre 2,2 à 2,8, des finesse.



**Figure II-15:** affaissement au cône d'Abrams en fonction du module de finesse.

Un bon sable pour béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 à 2,8. Au-dessous de 2,2, le sable est riche en éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du besoin en eau. Au-dessus de 2,8, le sable manque de fines particules et le béton y perd en ouvrabilité [18].

## II.10. Conclusion:

A la fin de ce chapitre, on peut conclure que le béton est un matériau complexe, très sensible à la variation des paramètres liés à ces composantes et à son environnement, Et l'objectif principal qui était l'étude de l'influence des paramètres de composition d'un béton Et l'effet du facteur de finesse du sable sur le béton (C'est le sujet de notre étude), C'est dans ce contexte qu'on peut inscrire notre étude, qui est une contribution à l'étude de l'influence de sable sur la résistance de béton à court et moyen terme.

*Chapitre III:*  
**CRARACTERISATION  
DES MATERIAUX**

### III.A. Préambule :

La problématique posée dans notre mémoire est la recherche dans les paramètres qui faisant l'objet d'une modification lorsque le module de finesse du sable change, autrement dit quelles sont les paramètres qui dépendent de la finesse du sable est à quelle grandeur.

Pour participer à la recherche dans ce sujet nous avons tracée la méthodologie suivante.

### III.B. Principe de la méthode de recherche :

Dans notre travail nous avons adopté un protocole purement expérimental, basé sur des études de formulation de béton au laboratoire et des essais de convenance sur un béton préparé en petites quantité dans le laboratoire toujours.

Le principe de notre travail est de fixer tous les paramètres et changer un seul facteur qui est le sujet de notre recherche à savoir la finesse de sable, donc on a étudié trois formules en fixant.

- Le gravier utilisé.
- La nature de sable.
- Le ciment utilisé.
- L'eau de gâchage.
- La méthode d'étude de formulation.
- L'environnement de l'étude.

Le seul paramètre changé est la finesse de sable, pour cela nous avons utilisé un sable trop grossier ramené de la région de Tamanrasset et nous avons extrait à partir de ce matériau trois sables a diffèrent module de finesse (un sable un peu trop grossier ; un sable préférentiel et un sable un peu trop fin)

Les études des formulations ont été faites par la méthode de Dreux.

Les bétons préparés au laboratoire à base des trois sables ont fait l'objet d'un programme d'essai pour déterminer certaines performances de béton à savoir

#### a) Béton frais :

- Mesure de l'affaissement.
- Détermination du taux d'air occlu.

#### b) Béton durci :

- Détermination de la résistance à la compression simple à 7 ; 14 et 28 jours.
- Détermination de la résistance à la traction par fendage a 7 ; 14 et 28 jours.
- Détermination de la résistance du béton par scléromètre.



- Détermination de la résistance du béton par ultra-son.
- Détermination de la masse volumique du béton durci
- Détermination de la perméabilité du béton.

Nous allons analyser les résultats obtenus et faire l'interprétation et la comparaison entre les différents sables et tirer des conclusions et des recommandations.

Donc notre étude expérimentale se divise en trois parties :

1. Identification et caractérisation des matériaux utilisés
2. Etude de formulation de trois bétons, et préparation des échantillons de béton pour chaque type.
3. Réalisation des essais sur béton frais et béton durci sur les échantillons préparés

En fin la préparation et l'interprétation des résultats et les conclusions.

### III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les matériaux utilisés et leurs caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques.

### III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés :

Dans la présente étude nous avons utilisé les matériaux suivants :

- Gravier 15/25 ramené de la station de concassage de l'entreprise ALCOGAZ située dans la zone d'activité de Metlili.
- Gravier 8/15 ramené de la station de concassage de l'entreprise ALCOGAZ située dans la zone d'activité de Metlili.
- Gravier 3/8 ramené de la station de concassage de l'entreprise ALCOGAZ située dans la zone d'activité de Metlili.
- Sable d'oued ramené de la région de Tamanrasset (se sable a permet de préparer 03 type de sable).
- Ciment CPJ 42.5 (Matin)
- Eau de gâchage

### III.3. Caractéristique de Gravier (15/25 ; 8/15 ; 3/8) :

Pour déterminer les caractéristiques de gravier au laboratoire nous avons soumis des échantillons prélevés de chaque classe aux essais suivants :

- **Analyse granulométrique ;**
- **Coefficient d'aplatissement ;**
- **Masse volumique (absolue et apparent) ;**
- **Essai de propreté ;**
- **Essai d'absorption ;**
- **Essai de durite Los angles ;**
- **Essai d'usure micro-devel ;**
- **Analyse chimique.**

#### III.3.1. Analyse granulométrique :

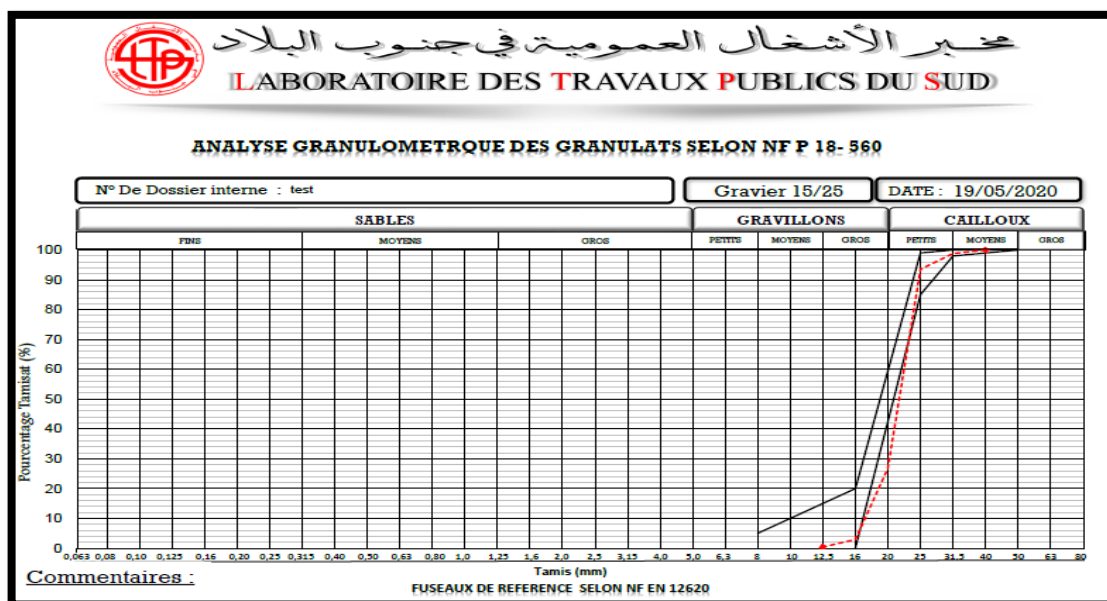
**III.3.1.1. But :** déterminer le pourcentage pondéral respectif de différentes familles de grains constituant l'échantillon.

**III.3.1.2. Principe:** essai consiste à classer les différents grains en utilisant série des tamis.

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 une forme graphique comme courbe granulométrique.

**Tableau III.1. :** Analyse granulométrique de gravier 15/25

Ouverture tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
40.00	0	0	0	100.00
31.5	11.8	11.8	1.18	98.82
25.00	52.8	64.6	6.46	93.54
20.00	667.6	732.2	73.22	26.78
16.00	238.5	970.7	97.07	2.93
12.5	25.3	996	99.6	0.40



**Figure. III.1.:** Analyse granulométrique de gravier 15/25

Tableau III.2. : Analyse granulométrique de gravier 8/15.

Ouverture tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
25.00	0	0	0	100
20.00	3.8	3.8	0.38	99.62
16.00	9.5	13.3	1.33	98.67
12.5	564.8	578.1	57.81	42.19
10.00	327.6	905.7	90.57	9.43
8.00	82.1	987.8	98.78	1.22
6.3	7	994.8	99.48	0.52

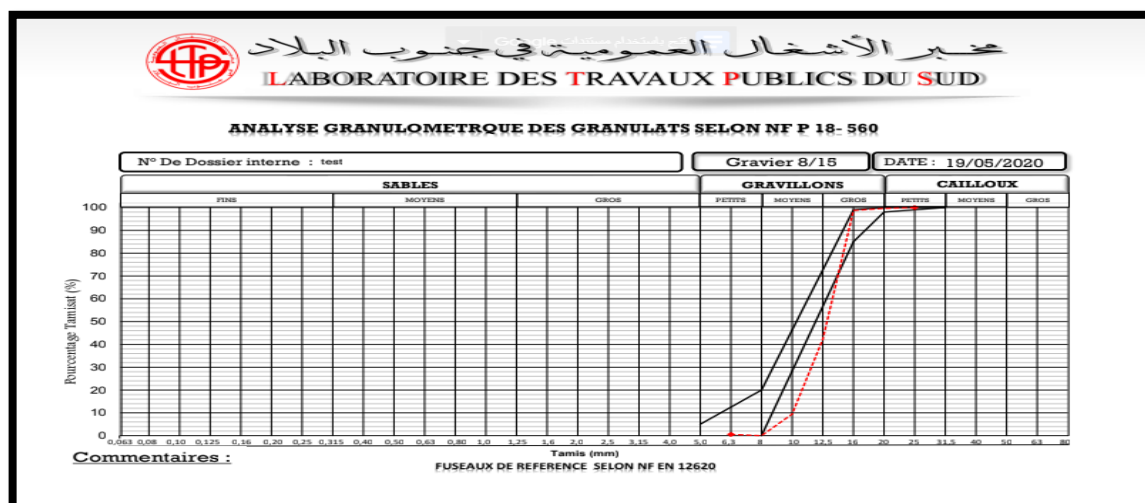


Figure. III.2.: Analyse granulométrique de gravier 8/15.

Tableau .III.3. Analyse granulométrique de gravier 3/8.

Ouverture Tamis (mm)	Refus Partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage Refus (%)	Pourcentage Passant (%)
8.00	0	0	0	100.00
6.3	136.7	136.7	13.67	86.33
5.00	260.5	397.2	39.72	60.28
3.15	409.2	806.4	80.64	19.36
2.00	169.0	975.4	97.54	2.46
1.00	10.9	986.3	98.63	1.37

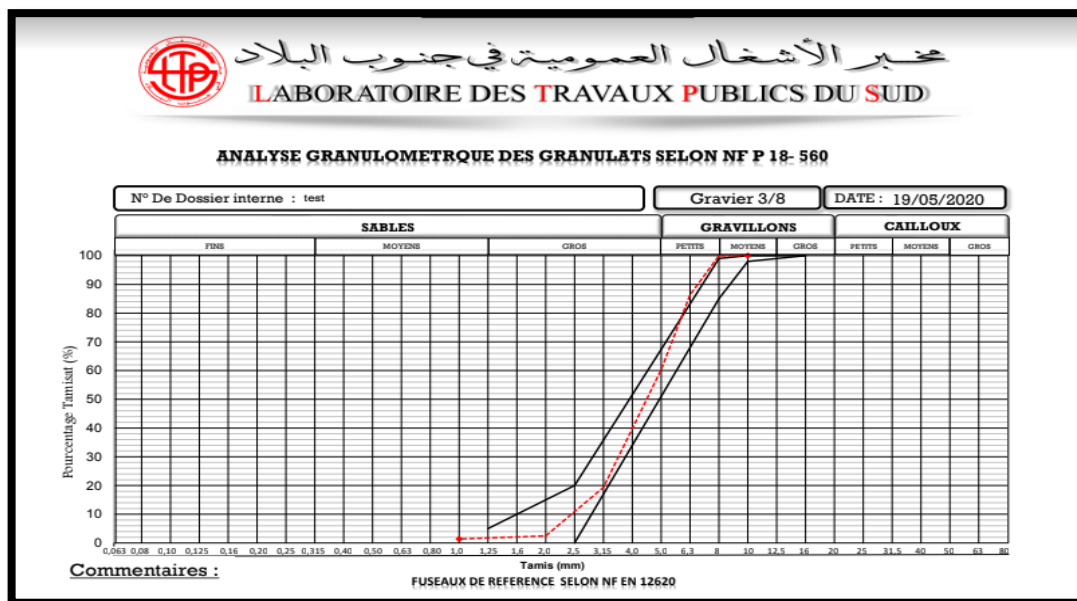


Figure. III.3.: Analyse granulométrique de gravier 3/8



Figure. III.4.: Les graviers concassés utilisés

### III.3.2. Coefficient d'aplatissement :

La détermination du coefficient d'aplatissement d'un échantillon de granulats dont les dimensions sont comprises en 4 et 40 mm, le présent coefficient s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle suivant la norme NA256 [21].

$$A = \frac{\sum_1^i M_{ei}}{\sum_1^i M_{gi}} \times 100 (\%)$$

Mg : Tamisage par tamis

Me : Tamisage par grilles



Figure .III.5. Essai d'aplatissement

Tableau .III.4: résultat d'essai coefficient d'aplatissement

Gravier	15/25	8/15	3/8
Aplatissement	4.85	17.68	30.15

### III.3.3. Essai de masses volumiques apparentes et absolues :

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.

Tableau .III.5. Masse volumique (absolue et apparent)

Classe de gravier	Gravier15/25	Gravier8/15	Gravier3/8
Mabs (g/cm <sup>3</sup> )	2.59	2.58	2.59
Mapp (g/cm <sup>3</sup> )	1.22	1.13	1.08

### III.3.4. Essai de propreté :

Pour savoir la propreté des granulats on utilise l'essai de propreté superficielle suivant la norme NA 463, qui consiste à mesure le pourcentage d'éléments fins subsistant après lavage NA 463[22].

$$\text{Propreté } p(\%) = [(p1-p2)/p \times 100 \dots\dots]$$

- poids humide échantillon p1
- poids sec échantillon p2

Tableau. III.6: résultats propreté superficielle des graviers.

Classe de gravier	15/25	8/15	3/8
P(%)	0.00	0.78	2.29

### III.3.5. Essai d'absorption :

Cette manipulation a pour objectif de déterminer le coefficient d'absorption de un matériau à partir de différentes pesées suivant la norme NA255. 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, a la masse séché de l'échantillon [23].

Dans notre cas nous avons trouvé que :

Tableau. III.7: résultat d'absorption des graviers.

Classe de gravier	Gravier 15/25	Gravier 8/15	Gravier 3/8
Ab (%)	2.27	3.95	6.04

### III.3.6. Essai de durite Los angles :

La première propreté mécanique des granulats est la dureté est définie comme étant la résistance d'un échantillon de roche a se briser sous un choc. Qui définit a partir d'essai los angles la norme NA 458, qui permet nous connaitre est que les granulats répondre à la spécification de béton ou non [24].

$$L_A = \left(\frac{m}{M}\right) \times 100$$



Figure .III.6: Essai de LOS ANGLES

**Tableau .III.8:** résultat d'essai LA

Classe de gravier	Gravier 15/25	Gravier8/15	Gravier 3/8
LA (%)	33.5	43.68	44.84

### III.3.7. Essai d'usure micro-deval :

Pour but la détermination de la résistance a l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat, ont procédé l'essai de micro DEVAL en présence d'eau suivant la norme NA 457 [25].

$$M_{DE} = \left( \frac{M - m'}{M} \right) \times 100 = \left( \frac{m}{M} \right) \times 100$$

Dans notre cas :

**Tableau. III.9:** Essai micro-deval

Essai micro deval	Gravier 15/25	Gravier 8/15	Gravier 3/8
	-	31.38	14.62



**Figure .III.7:** Essai MDE

### III.3.8. Analyse chimique du gravier :

Le tableau donne la composition chimique du gravier



**Tableau. III.10:** résultat des analyses chimiques du gravier [26].

Types	Gravier 15/25	Gravier 8/15	Gravier 3/8
Taux des insolubles[(%)]	3.5	5.4	5.4
Taux de carbonates CaCo3 [(%)]	90	89	89
Taux chlorure cl-[(%)]	0.006	0.005	0.005
Taux de sulfates SO3 [(%)]	0.00	0.00	0.00

**Remarque :**

Plus le coefficient Los Angeles est petit, plus la roche est bonne, ce qui se traduit En résistance du béton composé, car la dureté est synonyme de très grande Résistance. Cependant, l'ensemble des grains déduits des roches même avec un C Réduit assure un squelette de béton très rigide Essai sur le béton durci.

### III.4. Caractéristique de Sable:

Dans notre étude nous avons utilisé trois sables extraits d'un sable grossier de la région de Tamanrasset appelé localement "AZERZI".

Les trois sables préparés pour avoir des finesses différentes ont été soumis aux essais de laboratoire

Les trois sables ont été nommés dans la présente étude comme suit :

- **-Sable grossier -SG**
- **-Sable moyen – SM**
- **-Sable fin – SF**

Pour déterminer les caractéristiques de sable au laboratoire nous avons soumis des échantillons prélevés de chaque classe aux essais suivants :

- **Analyse granulométrique (détermination de module de finesse).**
- **Equivalent de sable**
- **Masse volumique (apparent et absolue)**
- **Analyse chimiques.**

Les résultats obtenus sont présentés comme suit :

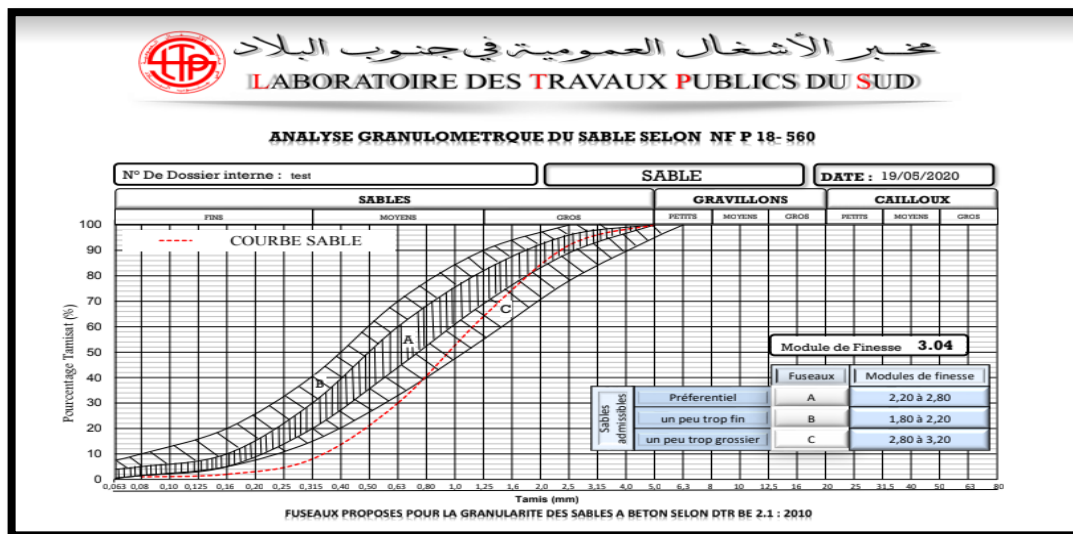
#### III.4.1. Analyse granulométrique (détermination de module de finesse) :

On a préparé un sac de sable qui contient 50 kg par étape.

Par la suite en après un échantillon d'un 01 kg pour définir la qualité

**Tableau .III.11:** Analyse granulométrique de sable grossier

Ouverture tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
5.00	25	25	2.5	97.5
2.5	150	175	17.5	82.5
1.25	215	390	39	61
0.63	260	650	65	35
0.315	175	825	82.5	17.5
0.16	125	950	95	5
0.08	45	995	99.5	0.5



**Figure .III.8:** Analyse granulométrique du sable de Tamanrasset



Photo .III.1: le sable de Tamanrasset utilisé (sable grossier)

Tableau .III.12: Analyse granulométrique de de sable moyen

Ouverture tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
5.00	0	0	0	100
2.5	85	85	8.5	91.5
1.25	155	240	24	76
0.63	265	505	50.5	49.5
0.315	245	750	75	25
0.16	170	920	92	8
0.08	55	975	97.5	2.5

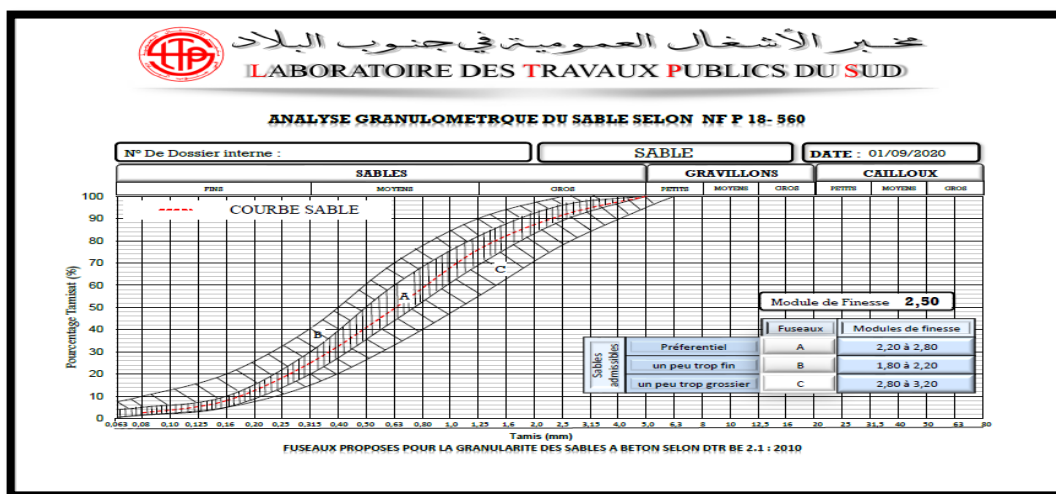


Figure .III.09: Analyse granulométrique du sable moyen [49].

Tableau .III.13: Analyse granulométrique de sable fin

Ouverture tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
5.00	20	20	2	98
2.5	0	20	2	98
1.25	105	125	12.5	87.5
0.63	230	355	35.5	64.5
0.315	295	650	65	35
0.16	200	850	85	15
0.08	75	925	92.5	7.5

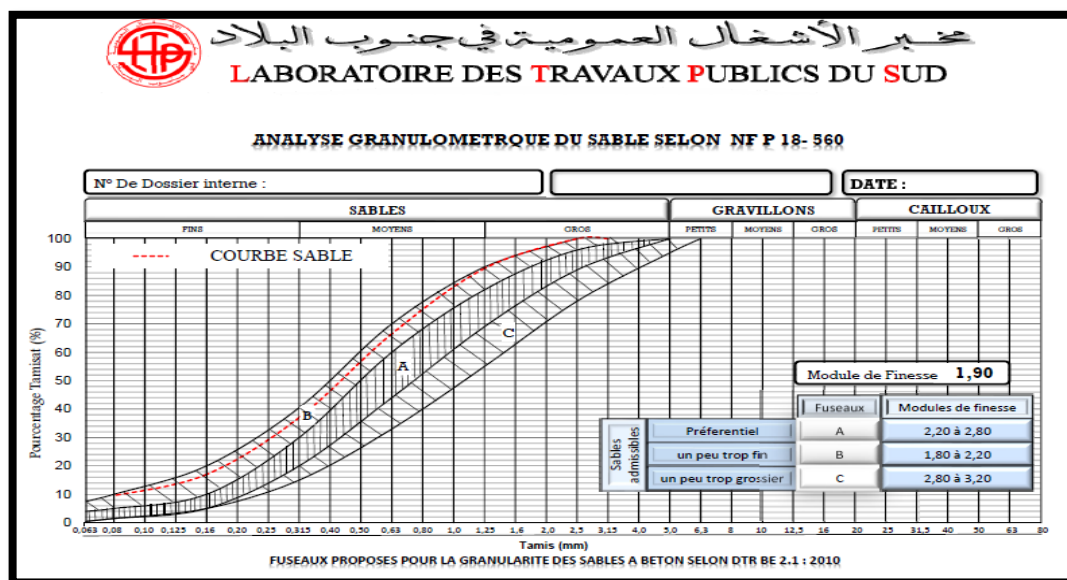


Figure .III.10. Analyse granulométrique de sable.

#### III.4.2. Module de finesse :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis [27].

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

**Tableau. III.14:** classement de sable selon leur module de finesse

Qualité de sable	Module de finesse
Sable grossie	2.80 < MF < 3.20
Sable moyen	2.20 < MF < 2.80
Sable fin	21.80 < MF < 2.20

$$Mf = \frac{\sum RC(0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5)}{100}$$

**Tableau .III.15 :** Résultat d'essai module de finesse

Sable	Grossier	Moyen	Fin
Mf	3.04	2.50	1.90

### III.4.3. Equivalent de sable :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition du béton. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier.

A l'aide de la formule suivante NA455 [28]:

$$ES = \frac{h1}{h2} \times 100 (\%)$$

h1 : hauteur du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette.

h2 : hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée.

h1 : équivalent de sable.



**Photo. III. 2:** Essai de l'équivalent de sable

**Tableau.III.16:** résultat d'essai ES

Essai	Sable grossier	Sable moyen	Sable fin
Equivalent de sable [%]	85	62.07	53.16

#### III.4.4. Masse volumique (apparent et absolue):

##### 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 [23].

$$\rho_{abs} = \frac{\text{poidsdesagrégatssecs}}{\text{volumedesagrégats}}$$

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

Masse volumique apparente

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

$$\rho_{app} = \frac{(M2 - M1)}{Vr}$$

**Avec :**

M2 : Masse de récipient vide.

M1 : Masse de récipient plein agrégats.

Vr : Volume du récipient.



**Photo .III. 3:** Essai de la masse volumique apparent

Dans notre cas sable de Tamanrasset (grosier ; moyen ; fin) :

**Tableau .III.17:** résultat d'essai masse volumique

Sable	Grosier	Moyen	Fin
MV Absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.69	2.88	2.88
MV Apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.39	1.49	1.52

#### III.4.5. Analyse chimiques :

**Tableau .III.18:** Résultats d'analyse chimique

Sable	Sable grosier	Sable moyen	Sable fin
Taux de carbonates CaCo <sub>3</sub> [%]	04	3	1
Taux de sulfatas SO <sub>3</sub> [%]	0	0	0
Taux insolubles %	93.3	90.8	90
Taux Chlorure Cl-[%]	0.001	0.00	0.00

#### III.5. Ciment :

Mâtine Ciment gris pour béton de haut –performance destiné la construction des ouvrages d'art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

**-Mâtine :** NA442CPJ CEM II/B-L42.5 (tirer la fiche technique de la Farge) .

Mâtine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442-2013) [29] et Européen (EN 197-1)

#### -Avantage produit :

- une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide.
- favorise la maniabilité du béton et le maintien De sa rhéologie.
- une classe vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

#### -Application recommandées :

- construction des ouvrages d'art, infrastructure et superstructure pour bâtiments.
- préfabrication légère.
- béton de haute performance.

#### -Caractéristique technique :

**Tableau .III.19:** Composition chimique du ciment CPJ CEM II/B-L42.5

Analyse chimique	Valeur
Teneur en sulfates (so3) (%)	8.0±2
Teneur en oxyde de magnésium Mg O (%)	2.5±0.5
Teneur en chlorures (NA5042) (%)	0.02-0.05

**Tableau .III.20.** Composition minéralogique du ciment CPJ CEM II/B-L42.5

Composition minéralogique du clinker (bogue)	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A(%)	7.5±1

**Tableau. III.21.:** caractéristique physique du ciment CPJ CEM II/B-L42.5N.

Propriété physique	Valeur
Consistance normale (%)	26.5± 2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine ( $cm^2/g$ ) (NA231)	3700 -5200
Retrait a 28 jours ( $\mu m/m$ )	<1000
Expansion (mm)	≤ 3.0



Temps de prise à 20 <sup>0</sup> (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	150 ± 30
Fin de prise (min)	230 ± 50

Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5



Photo .III.4: qualité de ciment

### III.6. L'eau :

L'eau de gâchage utilisée pour la totalité de nos essais de formulation de béton, est une eau courante de robinet, dépourvue des excès de sels, de sulfates et des acides. Les caractéristiques physiques et chimiques de cette eau sont données par la norme AFNOR P18-303[30].

#### III.6.1. Caractéristiques physiques :

L'eau contient des matières en suspension au-delà de :

- 2g/l pour les bétons de type A & B,
- 5g/l pour les bétons de type C.

#### III.6.2. Caractéristiques chimiques :

L'eau ne doit pas contenir les sels dissous au-delà de :

- 15g/l pour les bétons de type A & B,
- 30g/l pour les bétons de type C.
- Type A : Béton de haute qualité à forte résistance,

- Type B : Béton à grande imperméabilité,
- Type C : Béton courant peu ou non armé.

### III.7. Conclusion :

Cette campagne d'essais permet de déterminer les caractéristiques de différentes composantes rentrant dans la formulation des bétons à étudier dans le chapitre suivant.

A la lumière des résultats obtenus et d'après la norme algérienne NA 5043[26], on peut conclure que :

Les classes granulaires 15/25 et 8/15 inscrivant dans leurs fuseaux de référence par contre le gravier 3/8 est légalement supérieur à sa classe ;

- ❖ Les autres caractéristiques de fabrication tel que la propreté et l'aplatissement sont acceptable vue les exigences de la norme correspond (sauf le gravier 3/8 est gravier impropre) ;

- ❖ L'essai de l'absorption des graviers sont acceptable, excepté le taux celle du classe 3/8 il est supérieur à la valeur exigé ;

- ❖ L'essai m mécanique sur gravier à savoir LOS ANGLES montre que les graviers ont une faible dureté, néanmoins ils sont tolérable pour du béton notre étude ;

- ❖ Les essais chimiques montrent que les graviers sont de nature carbonaté, ne sont pas agressive vis-à-vis le béton et en cas 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, les trois sables, l'eau de gâchage et le ciment peuvent être utilisés pour formuler nos bétons.

NB : Certaines caractéristiques sont bonnes et d'autres sont médiocres, dans un sujet de recherche on s'inquiète pas beaucoup sur la qualité des matériaux utilisés mais on doit les connaître pour interpréter leurs influences.

*Chapitre IV:*  
*Etude de formulation*  
*et essais au laboratoire*

### IV.1 Introduction :

La composition du béton a pour but de déterminer les proportions des divers constituants (ciment, eau, sable et gravier ou pierre concassées) conduisant à des béton dont l'ouvrabilité est compatible avec les moyens de mise en œuvre et qui possédera, après durcissement, les meilleures caractéristiques (bonne étanchéité, résistance mécanique élevée, faible retrait, etc...). Plusieurs méthodes de composition sont proposées par des spécialités renom, tels que Bolomey, Faury, Valette, Dreux Gorisse, etc....

### IV.2. Etudes de formulation :

#### IV.2.1. Méthodes de formulation des bétons :

##### IV.2.1.1 Méthode de Bolomey :

Bolomey se base sur les travaux de Féret et sur ses propres expériences pour développer sa méthode de formulation nécessitant la connaissance de la résistance en compression, de la densité du béton à l'état frais et des squelettes granulaires des granulats. Contrairement à Féret, Bolomey a étudié différentes tailles de grains et il a également fait varier la consistance des bétons testés [31]. La formule de base est la suivante :

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

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.

##### IV.2.1.2 Méthode de Faury :

En 1942 Faury [31], proposa une nouvelle loi de granulation du type continu.

Il s'inspirait 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  $5\sqrt{d}$ . 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  $5\sqrt{d}$ .

L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à  $D/2$  et son ordonnée  $Y$  est donnée par la formule suivante :

$$Y = A + 17.5\sqrt{D} + \frac{B}{\frac{R-0.75}{D}}$$

A : constante, traduisant la maniabilité du béton ;

B : Varie de 1 à 2 selon que le béton ferme au no ;

D : Exprimé en dimension de passoire ;

R : Le rayon moyen du moule.

### IV.2.1.3. Méthode de Valette :

Valette [32] 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.

### IV.2.1.4. Méthode de Dreux-Gorisse :

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

Cette méthode a pour seul but de permettre de définir d'une façon simple et Rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié, mais que seules quelques gâchées d'essai et la confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés.

Elle est d'autre part très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés [33].

**A/ Données de base :**

**a)- Nature de l'ouvrage :**

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrillé. Il sera nécessaire de connaître l'épaisseur minimale des éléments et les dispositions des armatures dans les zones les plus ferrillées : distance minimale entre elles et couverture par rapport au coffrage...etc.

**b)- Résistance souhaitée :**

En général on demandera une résistance en comparaison à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique  $s$ , il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours.

Car :

Si l'on admet un coefficient de variation moyen de l'ordre de 20%. On pourra adopter la règle approximative pour la résistance moyenne à viser:

**c)- Consistance désirée:**

Elle est en fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massif ou plus moins ferrillé) de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage, etc. elle peut se définir en général par la plasticité désirée mesurée par affaissement ou cône comme indiqué dans le tableau IV.1

**Tableau .IV.1:** Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au  $\geq$ cône ou au test d'ouvrabilité C.E.S.

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

**B/ Dosage en ciment :**

On commencera par évaluer approximativement le rapport en fonction de la résistance moyenne désirée.

Avec :

- résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en MPA.
- F CE, classe vraie du ciment (à 28 jours) en MPA
- C, dosage en ciment (en kg/m<sup>3</sup>).
- E, dosage en eau totale sur matériaux secs (en litre pour 1 m<sup>3</sup>).
- G, coefficient granulaire (tableau IV.3).

En fonction de l'environnement, les dosages minimaux prescrits par le fascicule 65 A qui, nous les rappelons, est le cahier des clauses techniques générales appliquées aux marchés publics pour l'exécution des ouvrages en béton armé ou précontraint, sont les suivants :

- En béton armé exposé à un milieu sans agressivité particulière :  $C \geq$  ce qui revient à

Faire varier le dosage minimal entre 315 et 250 kg de ciment par m<sup>3</sup>, lorsque D varie de 16 à 50mm

- En béton armé exposé à un milieu sans agressivité particulière mais comportant un parement.

Fin :

$C \geq$ , soit un dosage minimal en ciment variant de 345 à 275 kg/m<sup>3</sup>, lorsque D varie de 16 à 50 mm

- En béton armé exposé à des conditions agressives sévères ou coulé sous l'eau, ainsi qu'en béton précontraint :  $C \geq$ , correspondant un dosage minimal variant de 400 à 320 kg/m<sup>3</sup> lorsque D varie de 16 à 50 mm Plusieurs autres textes réglementaires donnent également des indications sur les dosages, Notamment la norme AFNOR P 18 011, mais les valeurs précédentes représentent pratiquement la synthèse de différents documents, on peut se limiter à ces spécifications.

**Tableau.IV.2.:**Les dosages auxquels conduit l'application des formules précédentes ainsi que des valeurs de en fonction de D [33]:

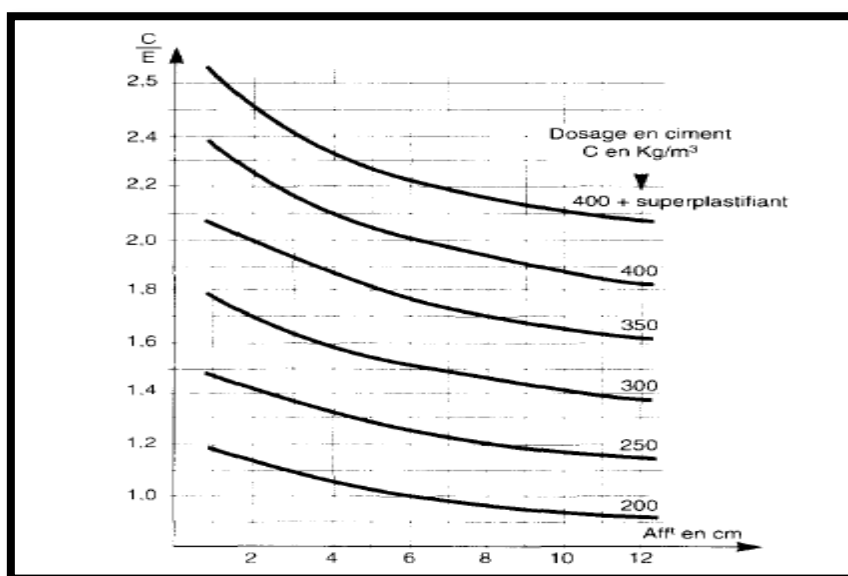
D en mm	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
$\frac{5}{D}$	1.38	1.45	1.52	1.59	1.66	1.74	1.82	1.90	2.00	2.09	2.19	2.29	2.40	2.51
$\frac{550}{D}$	400	380	362	346	332	316	302	288	275	263	251	240	230	220
$\frac{600}{D}$	435	415	395	378	362	345	330	315	300	288	275	262	250	240
$\frac{700}{D}$	500	480	460	440	420	400	385	370	350	335	320	305	290	280

**Tableau IV.3:** Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.

Qualité des granulats	Dimensions D des granulats		
	Fin ( $D \leq 16$ mm)	Moyens ( $20 \leq D \leq 40$ mm)	Gros ( $D \geq 50$ mm)
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

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

Il ne suffit pas alors, connaissant C/E, de fixer arbitrairement le dosage en ciment et d'en déduire le dosage en eau E ; en effet, en choisissant par exemple, un faible dosage en ciment, on trouvera un dosage en eau faible ; on risquera alors d'obtenir un béton beaucoup trop sec (et vice versa), le dosage en ciment est donc fonction de C/E mais également du dosage en eau E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante. L'abaque de la figure IV.1 permet d'évaluer approximativement C en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée qui doit être considérée comme une donnée du problème.



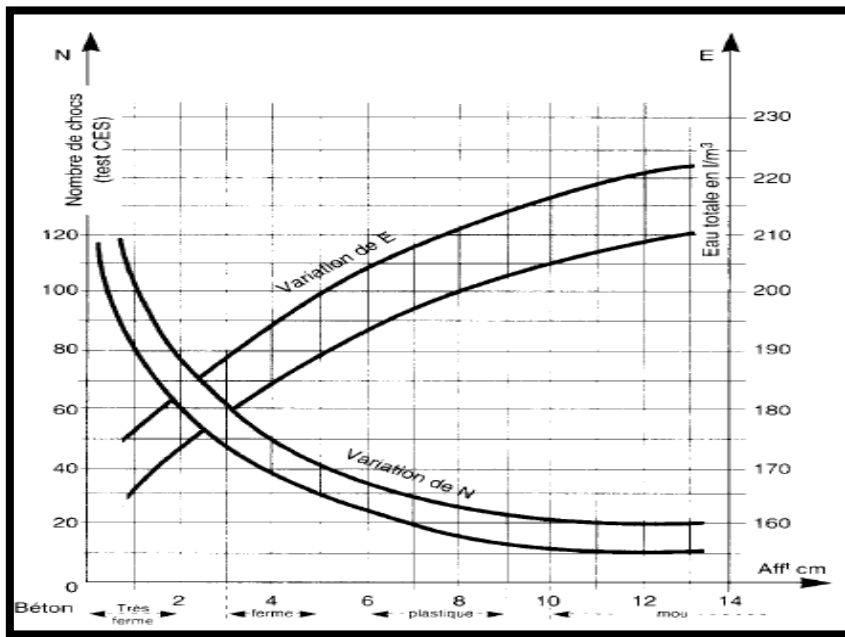
**Figure IV.1:** abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction de rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement de cône) [33].

#### C/ Dosage en eau :

Ayant fait choix du dosage en ciment C, on déduit alors le dosage approximatif en eau totale à prévoir (provisoirement) et qu'il conviendra bien entendu d'ajuster ultérieurement par quelques essais de plasticité et d'ouvrabilité.



L'abaque de la figure IV.2 donne l'allure générale de la variation du dosage en eau en fonction de l'affaissement au cône et du test d'ouvrabilité C.E.S il ne s'agit bien entendu que d'ordre de grandeur pour des bétons courants et permettant de dégrossir rapidement une formule de composition mais comme pour tous les facteurs de cette composition, c'est par des essais sur éprouvettes que les divers éléments constitutifs et l'eau tout particulièrement, peuvent être définitivement dosés.



**Figure IV.2:** variation relatives moyennes du dosage en eau E et de nombres de chocs du test d'ouvrabilité C.E.S

- Résistance visée :

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

- Dosage en ciment et en eau :

$$fc' = G \cdot f_{CE} \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

Avec :  $fc' = \sigma'_{28j}$  résistance visée à 28 jours

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

G : coefficient granulaire.

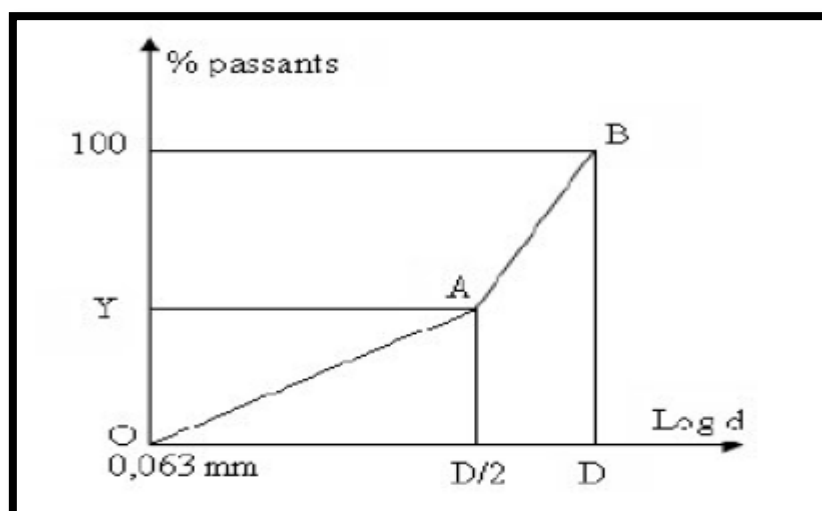
C : dosage en ciment (Kg de ciment/m<sup>3</sup> de béton).

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

- par la suite d'après le rapport  $\frac{C}{E}$  on détermine le volume d'eau comme suit :

$$E = \text{le rapport } \left( \frac{C}{E} \right) \times \text{dosage de ciment} \dots \dots \dots (1)$$

- Tracé de la courbe granulaire de référence AOB :



**Figure IV.3:** Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse [34].

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

Avec:

- le point O est repéré par ses coordonnées: [0.01; 0]
- le point B est repéré par ses coordonnées: [D; 100], (D: le diamètre du plus gros granulat).

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

- en abscisse :
- si  $D \leq 20$  mm, le point de brisure a pour abscisse:  $A = D/2$
- en ordonnée :  $Y = 50 - \sqrt{D} + K$

D : diamètre du plus gros granulat

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

- La ligne de partage :

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

- Après le traçage de la courbe on obtient les pourcentages des granulats (sable et gravier).
- Détermination de la composition en volume absolu :

Le dosage en béton est déterminé pour obtenir un mètre cube de béton en place cela

Signifie que le volume de matière vaut  $1\text{m}^3$ :

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

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

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

$$V_c = \frac{C}{V_{abs}} \text{ soit, } C: \text{ dosage en ciment (kg/m}^3\text{)}$$

- Volume absolu de granulats :

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

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

$$\text{Alors : } \gamma = (V_c + V_G)$$

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

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

$\gamma$  : Coefficient de compacité

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

$$G_{8/15} = V_G \times M_{v_{abs}}$$

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

### IV.3.- Essais ou laboratoire :

#### IV.3.1. Essais sur béton frais :

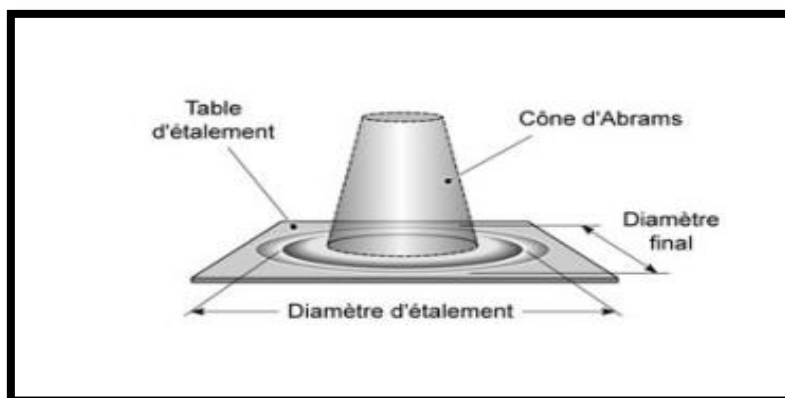
##### IV.3.1.1. Essais d'ouvrabilité cône d'Abrams :

Méthode de calcul de l'ouvrabilité d'un béton à l'état frais. Elle consiste, avant coulage, à mesurer la hauteur d'affaissement d'un échantillon versé dans un moule métallique de forme tronconique, après différents temps de démoulage. Le test du cône d'Abrams (du nom de son inventeur, synonyme : "Slump Test") est défini par la norme Afnor NF.P 18-451[35]

qui détermine quatre niveaux de consistance (donc d'ouvrabilité - voir ce mot) suivant la hauteur d'affaissement, au terme de 10 minutes d'âge:

- Ferme de 0 à 4 cm d'affaissement;
- Plastique de 5 à 9 cm;
- Très Plastique de 10 à 15 cm;
- Fluide à partir de 16 cm.

Cet essai ne doit pas être confondu avec la méthode de Châte qui reproduit les conditions d'une mise en œuvre de coulage en coffrages en mesurant l'affaissement d'une masse de béton après une chute, essai au cône d'Abrams:



**Figure. IV.4:**Le cône d'Abrams

Le contrôle de la plasticité au cône d'Abrams [35] permet de déterminer le temps de vibration nécessaire ainsi que la classe de maniabilité de notre béton. C'est une propriété essentielle du béton frais, elle caractérise son aptitude à remplir les coffrages et à enrober convenablement les armatures. Cet essai est réalisé à l'aide d'un tronc de cône en acier galvanisé de 10 et 20 cm de diamètres intérieurs sur une hauteur de 30 cm, d'une plaque en acier à la surface dure et non absorbante et d'une tige d'acier de 16 mm diamètre dont l'extrémité est arrondie. Le cône est placé sur la plaque (figure IV. 4) puis rempli en trois couches de béton frais. Chaque couche est piquée 25 fois à l'aide de la tige. La tige doit être enfoncée jusqu'aux couches précédentes afin de correctement lier les différentes strates. Une fois le cône entièrement rempli et après avoir été arasé (figure IV.2) il est levé doucement, verticalement avec une légère rotation pour obtenir le démoulage. L'affaissement du béton peut ensuite être mesuré.

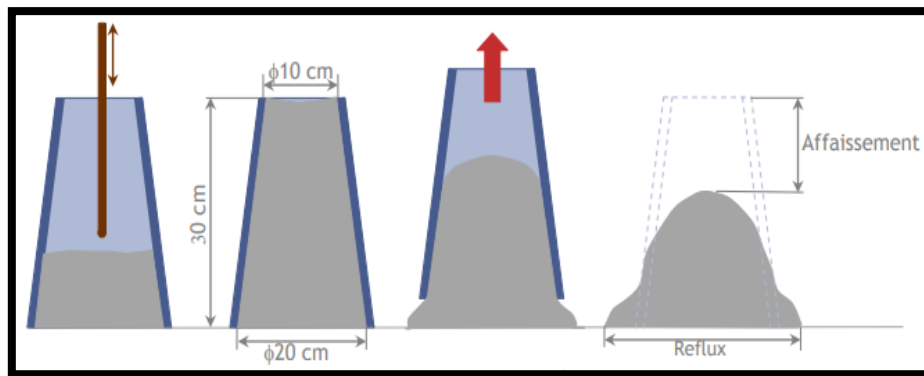


Figure .IV.5: Schéma d'une mesure au cône d'Abrams

#### IV.3.1.2. Comment fonctionne le cône d'Abrams ?

Le cône d'Abrams s'emploie en laboratoire ou sur chantier. Le test est réalisé selon les étapes suivantes :

- On positionne le cône ;
- On remplit le cône de béton.

Le remplissage s'effectue en trois fois. Pour chaque couche, on vibre le béton avec la tige de piquetage (25 coups par couche).

- On arase pour enlever l'excédent de béton
- On démoule
- On mesure l'affaissement

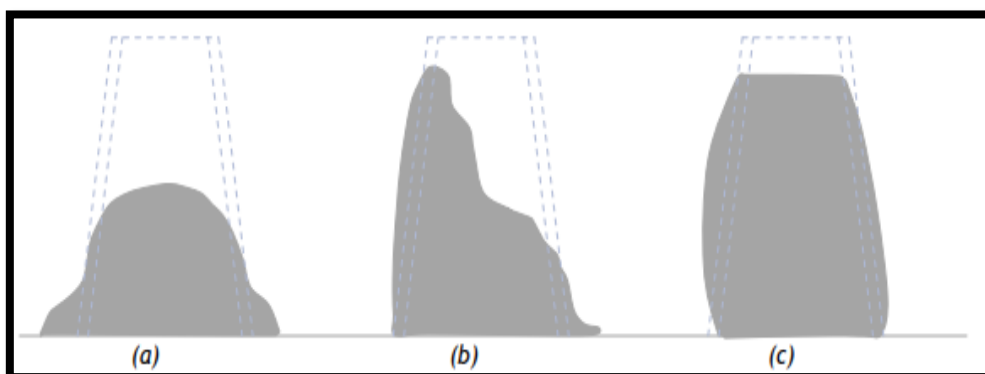


Remplissage → Piquage → Démoulage → Mesure de la hauteur



**Photo .IV.1 :** Cône d'Abrams rempli, piqué et arasé

L'affaissement peut prendre différentes formes mais certaines ne sont pas acceptables et l'essai doit alors être recommencé avec un nouveau prélèvement de béton. Les figures 1 et 3a sont schématisés des affaissements complets du béton et en conséquence élargissement de la base du cône : ce sont des essais acceptables. En revanche, l'affaissement peut être aussi par cisaillement de la partie supérieure du béton qui glisse ensuite latéralement (figure 7b), ou encore par simple abaissement (figure 7c) le béton gardant globalement sa forme. Ces formes ne sont pas acceptables et l'essai est alors jugé non conforme.



**Figure .IV.6:** Les profils d'affaissements

Plus l'abaissement est élevé plus le béton est fluide. Si par exemple, un affaissement de 13,5 cm est mesuré, la classe de maniabilité du béton est déterminée à partir du tableau figure 4. Un béton de classe S3 est un béton très plastique à maniabilité élevée. Il est a priori soit très humide soit très adjuvant avec un plastifiant ou un super plastifiant tels que définis dans la norme NF-EN-934-2 [36].

**Tableau .IV.4:** Dénomination des affaissements selon la norme EN 206-1 en mm

S1	S2	S3	S4	S5
De 10 à 40	De 50 à 90	De 100 à 150	De 160 à 210	≥ 220

Connaissant sa classe, son ouvrabilité est évaluée à partir du tableau suivant :

Un béton affaissé de 13,5 cm (classe S3), est un béton mou voire liquide qu'il faudra donc serrer par piquage.

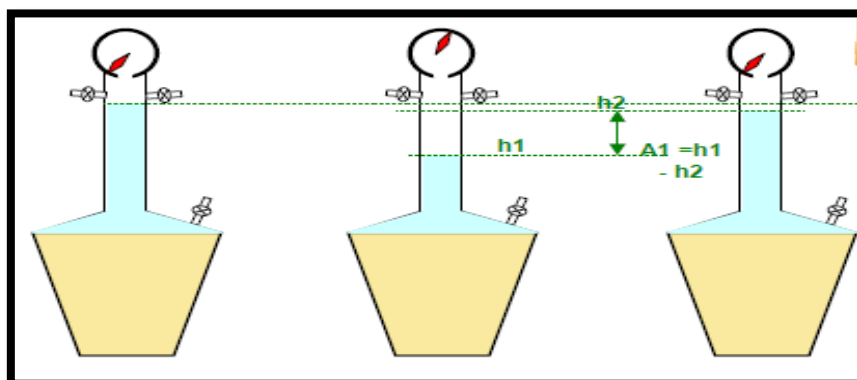
**Tableau .IV.5:** Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône Plasticité Serrage Affaissement [cm] Classe NF-EN-206/CN [37].

Plasticité	Serrage	Affaissement [cm]	Dénomination NF-EN-206/CN
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	S1
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	S1 / S2
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	S2
Béton mou	Piquage	10 à 13	S3
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	S3 / S4 / S5

### IV.3.1.3. Teneur en air :

a/ **Méthode de la colonne d'eau :** (NF EN 12350-7) [38].

On introduit de l'eau sur une hauteur prédéfinie au-dessus d'un échantillon de béton serré de volume connu se trouvant dans une enceinte hermétique et on applique sur l'eau une pression d'air prédéterminée. On mesure alors la diminution du volume d'air contenu dans le béton en observant la baisse du niveau d'eau. mise en œuvre du béton en 3 couches avec serrage à refus.



**Figure .IV.7. :** Schéma de la mesure de la teneur en air du béton

**b/ Confection d'éprouvettes :**

**Tableau .IV.6:** Confection d'éprouvettes

béton	Remplissage		
	16x32 cm	11x22 cm	Moyens
courant et BHP	4 couches < 10 cm serrage à Refus	3 couches < 10 cm serrage à refus	Main écope

**IV.3.3. Préparation des éprouvettes :**

La vérification de la qualité d'un béton nécessite de vérifier sa résistance à la compression à 28 jours,  $F_{c28}$ , pour cela, des éprouvettes de béton sont confectionnées à l'aide de moule en carton et de forme cylindrique de 15 cm de diamètre et 30 cm de hauteur. La confection de l'éprouvette désigne deux choses:

- Il y a la quantité de béton nécessaire, la façon de remplir et de manipuler l'éprouvette afin de garantir la qualité de l'éprouvette en béton. Cette procédure est décrite dans la norme NF P18-404[39].
- Il y a la mise en place du béton dans l'éprouvette par vibration pour reproduire les conditions de mise en place du béton selon l'ouvrabilité désirée. Ces procédures sont décrites dans la norme NF P 18-422[40], lorsque le béton est mis en place par une aiguille vibrante, et par la norme NF P 18-423, lorsque le béton est mis en place par piquage.

**IV.3.3.1. Quantité de béton :** (NORME NF P 18-404) [39].

- Le volume de béton nécessaire correspond au volume de l'éprouvette majoré d'au moins 25% afin de compenser notamment les imperfections de dosage de la méthode C.E.S DREUX. Cela représente approximativement un volume de béton de 10l pour une
  - confectionner éprouvette.
  - moyen de vibration, nombre de couche et temps de vibration: NORMES NF P 18-422[40] ET NF P 18-423[41].
- La vibration du béton dépend de son ouvrabilité. Au-delà d'une ouvrabilité de 10 cm, le béton se met en place par un simple piquage. En deçà la mise en place du béton ne nécessite une forte vibration. Les éprouvettes sont vibrées par une aiguille de 25mm de diamètre.
  - La mise en place du béton s'effectue en deux couches.
  - Le temps de vibration dépend du moyen de vibration, de l'ouvrabilité du béton et de la nature



des granulats le constituant. Les deux normes indiquent les temps de vibrations par couche en fonction de tous ces paramètres et sous forme de tableau.

**Tableau .IV.7:** ouvrabilité du béton en fonction moyen de vibration

Ouvrabilité du béton	Moyen de vibration des éprouvettes 16x32
AŠ10cm	Piquage
A<10cm	Aiguille vibrante

**IV.3.3.2. Procédure d'essai :** (NORME NF P18-404)[39].

La date de fabrication, l'affaissement obtenu et la résistance de béton  $F_{c28}$  attendu l'éprouvette.

Le béton est confectionné incorporant dans l'ordre, le gravier, puis le sable et en fin le ciment. Le mélange est brassé à sec durant approximativement une minute. L'eau est ensuite ajoutée doucement afin de vérifier visuellement l'ouvrabilité du béton. L'ensemble est ensuite brassé durant approximativement 2 minutes. L'essai d'ouvrabilité est mené afin de vérifierait d'ajuster le dosage en eau.

La rigidité de l'éprouvette durant la manipulation est vérifiée en plaçant le moule en carton dans un cylindre métallique normalisé.

L'éprouvette est ensuite remplie selon le nombre de couches nécessaires à la vibration du béton et vibré conformément au temps indiqué.



**Photo .IV.2. :** Remplissage de l'éprouvette

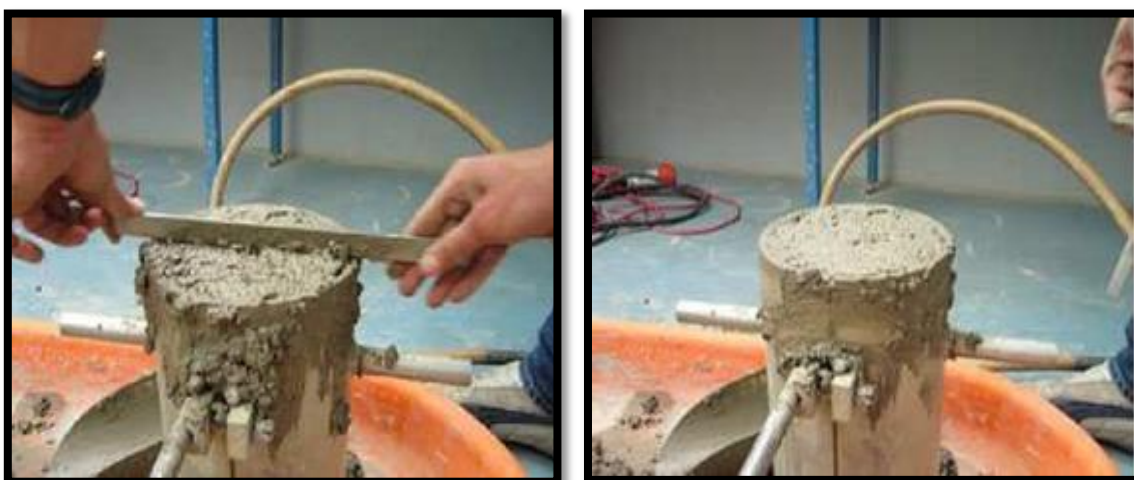
La dernière couche est remplie jusqu'au bord de l'éprouvette. Elle est ensuite vibrée conformément au temps indiqué. La vibration contracte le béton. Le volume de béton dans

l'éprouvette diminue. Cette diminution de volume est compensée en remplissant l'éprouvette au fur et à mesure afin que le niveau de béton soit maintenu jusqu'au bord supérieur de l'éprouvette.



**Photo .IV.3:** Vibration de béton

Une phase de dégrossissage consiste à passer un réglé sur le plat de son biseau. Une phase d'affinage consiste à passer le réglé sur le plat.



**Photo .IV.4:** Finition de la surface.

L'éprouvette est recouverte d'un capuchon en plastique afin de garantir les conditions d'hydratation du béton.

Elle est pesée, puis stockée 24h à 20°C. Le cylindre métallique est retiré.

L'éprouvette est ensuite démoulée et stockée dans un local à 95% d'humidité et à 20°C.



Photo .IV.5. : Les éprouvettes remplies au béton.

#### IV.3.4. Essais sur béton durci :

Le béton durci est un matériau hétérogène : un 'squelette' de granulats gros et fins est enveloppé et lié par un 'tissu' de fibres d'hydrates de ciment. La qualité du béton à l'état durci dépend des caractéristiques du squelette pierreux, de la pâte de ciment durcie, et de l'adhérence entre les deux. L'obtention des performances théoriquement possibles du béton est déterminée en grande partie par une mise en œuvre correcte. Après durcissement, la 'peau' du béton est composée principalement de ciment hydraté. Par rapport au noyau, la zone superficielle du béton fraîchement coulé contient moins de gros granulats, mais plus de sable, plus de grains de ciment et plus d'eau. La qualité de cette zone, dont l'épaisseur correspond à environ la moitié du  $D_{max}$ , est essentielle pour la durabilité du béton. Un béton compact, c.-à-d. dont le rapport E/C est le plus bas possible et qui a été serré selon les règles de l'art, résistera le plus longtemps aux diverses agressions.

Le béton durci se caractérise par plusieurs propriétés, en particulier :

La résistance mécanique et surtout la résistance à la compression. Les bétons usuels présentent des résistances comprises entre 25 et 40 MPa. Au-delà de 50 MPa, on parle de bétons hautes performances (50 MPa correspond à une force de 50 tonnes agissant sur un carré de 10 cm de côté).

##### IV.3.4.1 Résistance à la compression simple :

L'essai de compression uni axiale ou de compression simple consiste à comprimer un échantillon de roche de forme cylindrique entre deux plateaux parallèles d'une presse rigide. Les essais se font généralement par lots de 5 échantillons par roche homogène pour obtenir une bonne moyenne. Dans certains cas, et selon la taille de l'échantillon de roche disponible, les lots peuvent être plus grands

ou plus petits. L'échantillon doit présenter de préférence une elongation (rapport hauteur sur diamètre) de 2 à 2,5. La dimension usuelle dans le laboratoire est de 80 mm de hauteur par 40 mm de diamètre. Dans certains cas (manque de matériaux, qualité de la roche,...) les échantillons peuvent avoir des dimensions inférieures pour pouvoir réaliser les essais. Les échantillons sont préparés par forage au diamètre 40 mm (ou inférieur, préciser le cas de l'expertise en cours si différent), découpage et rectification pour l'obtention de surfaces strictement parallèles. L'essai de compression uni axiale est réalisé suivant les recommandations de la Société Internationale de Mécanique des Roches (I.S.R.M.). Au cours de l'essai, un enregistreur permet de relever l'évolution de la contrainte axiale grâce à un capteur de force ou de pression, ainsi que celle des déformations soit par des capteurs de déplacement soit par des jauges de déformation. Cet enregistrement permet de déterminer différentes caractéristiques mécaniques selon le besoin : la résistance à la compression uni axiale  $R_c$ , la limite élastique  $R_e$ , le module d'Young  $E$  et le coefficient de Poisson  $\nu$ . Le Tableau 1 reprend un classement des roches en fonction de leur résistance à la compression uni axiale.

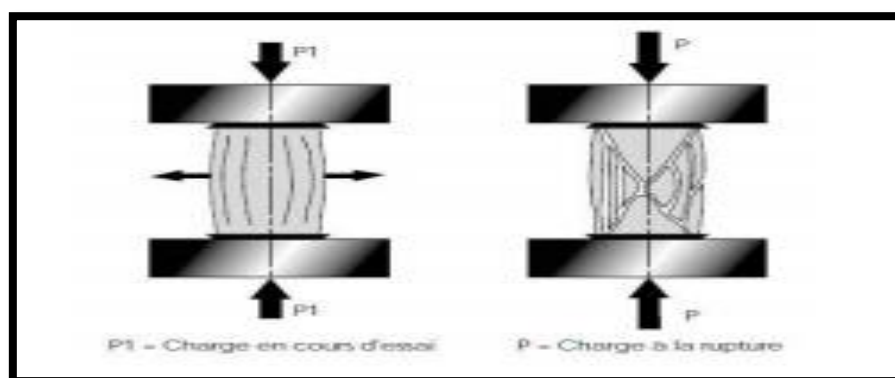


Figure IV.8. : Schéma d'un essai de compression [BEINISH, 2000] [42]

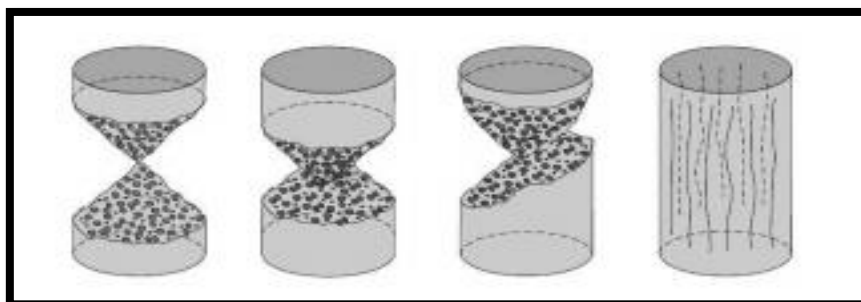


Figure IV.9. : Modes de rupture corrects pour un essai de compression

**Tableau .IV.8. :** Qualification de la résistance d'une éprouvette en fonction de la valeur de la résistance en compression simple  $R_c$ .

$R_c$ (MPa)	Terme descriptif
$R_c > 200$	Très élevée
$60 < R_c < 200$	Elevée
$20 < R_c < 60$	Moyenne
$6 < R_c < 20$	Faible
$R_c < 6$	Très faible

Trois types de résultats peuvent être fournis :

- Détermination de  $R_c$ ,  $R_e$  et  $E$  avec mesure de la déformation axiale par capteur de déplacement à tige.
- Détermination de  $R_c$ ,  $R_e$ ,  $E$  et  $\nu$  avec mesure des déformations axiales et latérales par capteurs à tiges.
- Détermination de  $R_c$ ,  $R_e$ ,  $E$  et  $\nu$  avec mesure des déformations axiales et latérales par jauges collées.

#### IV.3.4.2. Résistance à la traction :

Les trois essais les plus fréquemment effectués à l'heure actuelle pour mesurer la résistance du béton à la traction sont : traction directe, traction par fendage (brésilien), traction par flexion.

Dans notre recherche on utilise la traction par fendage.

#### -Essai de traction par fendage :

(Dit essai brésilien) [BEINISH, 2000] [AFNOR, 2001g][43]. L'essai brésilien est utilisé sur les matériaux fragiles pour caractériser la limite de rupture en traction. Il consiste à comprimer un disque en deux points opposés, cet effort induit un effort en traction perpendiculairement au chargement. Le matériau étant fragile, la rupture se fait en traction. Pour cela on utilise des éprouvettes cylindriques telles que décrites précédemment, il est à noter que l'élancement (rapport entre la hauteur et le diamètre) peut descendre jusqu'à une valeur de un. Afin d'avoir un contact de bonne qualité entre l'éprouvette et les plateaux, il est recommandé d'utiliser un dispositif de guidage (tel que sur la figure 1.17) où l'on vient disposer des bandelettes. La vitesse de chargement de ce test est normalisée à :  $\dot{\sigma} \in [0,04; 0,06]$  MPa/s en contrainte imposée –  $\dot{\epsilon} = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  en déformation imposée. Selon le critère de Griffith la rupture doit se produire au centre du disque, à ce point l'état de contrainte est [HONDROS, 1959][44]:

$$\sigma_x = -3 \frac{F}{\pi \left(\frac{d}{2}\right) L}$$

$$\sigma_\theta = -\frac{F}{\pi \left(\frac{d}{2}\right) L}$$

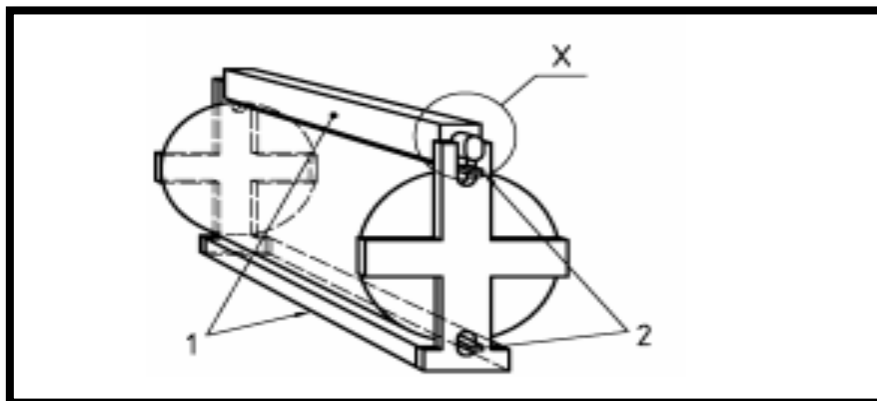


Figure IV.10. : Appareillage nécessaire à la réalisation d'un essai de fendage



Photo IV.6 : Schéma d'un essai de traction par fendage

Ainsi, même si la contrainte de compression est trois fois plus élevée que la contrainte de traction au centre, le béton ayant une résistance de l'ordre de dix fois plus élevée en compression, la rupture se fait en traction. Et la résistance en traction  $\sigma_{rupt}$ , en MPa, est donc égale à :

$$\sigma_{rupt} = 2 \frac{F}{\pi d L}$$

Avec F la charge maximale en N, d le diamètre de l'éprouvette en mm et L la hauteur de l'éprouvette en mm.

#### - Essais de perméabilité du béton : (NF EN12390-8) [45]

La perméabilité est définie comme la capacité d'un milieu poreux à être traversé par des fluides sous gradient de pression. La perméabilité est indépendante des propriétés du fluide saturant

contrairement à la conductivité hydraulique. La perméabilité du béton est fortement influencée par les paramètres du milieu poreux comme la porosité, la tortuosité et la connectivité [Dana 99;Dullien 92]. En effet, plus la porosité augmente ou est connectée, plus la résistance au flux est faible ; moins la tortuosité est prononcée et plus la perméabilité est grande. La perméabilité d'un béton dépend également fortement de ses constituants, la nature des granulats, du sable, des additifs etc.

### - Loi de Darcy :

Darcy (1856) a proposé une loi d'écoulement des fluides dans un milieu poreux avec les hypothèses suivantes [Dullien 92][46] :

- les forces d'écoulement sont dues à la viscosité (les forces d'inertie sont négligées) ;
- le milieu poreux est totalement saturé par une seule phase fluide ;
- les écoulements du fluide sont supposés laminaires ;
- le fluide n'a pas d'interaction physico-chimique avec le matériau.

Dans la dernière hypothèse, le fluide est supposé sans interaction avec le milieu poreux, mais ce n'est pas le cas de l'eau dans les matériaux cimentaires. Loosveldt a montré qu'il existait une bonne corrélation entre la perméabilité au gaz (Argon) et la perméabilité de l'éthanol corrigée par l'effet de Klineberg sur mortier séché à 60°C jusqu'à stabilisation de la masse. Cependant la perméabilité à l'eau présente au moins un ordre de grandeur de moins que la perméabilité à l'éthanol [Loosveldt 02]. La perméabilité intrinsèque  $K$  ( $m^2$ ) est définie selon la loi de Darcy qui s'écrit:

$$v = - \frac{K}{\mu} \text{grad } P$$

avec  $v$ , la vitesse du fluide (m/s),  $\mu$ , la viscosité dynamique (Pa.s) du fluide et  $\text{grad } P$  le gradient de pression (Pa/m), pour un écoulement unidirectionnel liquide, le débit volumique  $Q$  ( $m^3/s$ ) du fluide est défini par:

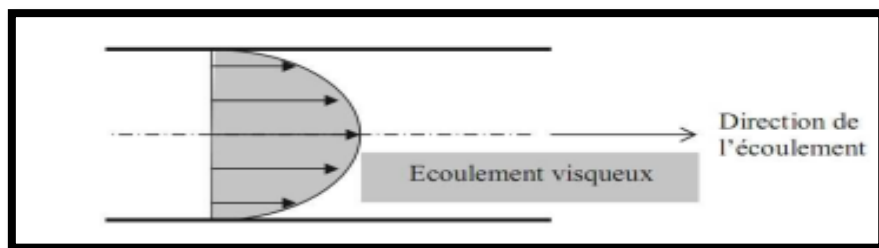
$$Q = \frac{KA \Delta P}{\mu L}$$

Et est relié à la vitesse d'écoulement par :  $v = \frac{Q}{A}$

Avec  $A$  l'aire de section ( $m^2$ ),  $L$  : la longueur du matériau dans la direction du flux (m) et  $\Delta P$  : la différence de la pression au sein du fluide dans le matériau (Pa).

### - Perméabilité intrinsèque :

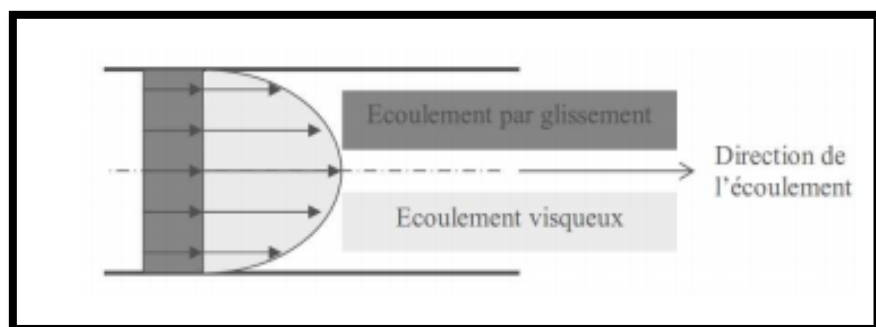
La loi de Darcy ne prend en compte que la viscosité dynamique et le gradient de pression du fluide de percolation, c'est-à-dire que la viscosité du fluide gouverne l'écoulement. La figure suivante montre un exemple du profil des vitesses d'un fluide visqueux dans un tube capillaire.



**Figure .IV.11. :** Profil des vitesses d'un fluide visqueux dans un tube capillaire

Pour un coulement visqueux, les vitesses sont nulles aux parois du tube capillaire. Ceci est une condition n Césaire pour l'application de la loi de Darcy. Cette condition est satisfaite lorsque le fluide de percolation est un liquide.

Lorsque le fluide injecté est un gaz compressible, à l'écoulement visqueux peut s'ajouter un autre écoulement : un coulement de glissement. L'écoulement par glissement est une part de l'écoulement total du gaz et est lié au phénomène de non adhérence du gaz au contact de la paroi du capillaire. En effet, la vitesse aux parois des pores n'est plus nulle du fait de la collision des mol cules de gaz avec les parois des pores. Le profil de la vitesse du gaz des coulements visqueux et par glissement dans un tube capillaire est représenté sur la figure suivant :



**Figure .IV.12. :** Profil des vitesses d'un gaz dans un tube capillaire

Lorsque le diamètre des pores est du même ordre de grandeur que le libre parcours moyen de gaz, un écoulement de glissement apparaît (appel effet Klinkenberg [Klinkenberg 41]). Cet effet s'accompagne d'une augmentation de la perméabilité. Cette augmentation est également observable lorsque la pression moyenne d'injection du gaz d'essai est faible. En effet, plus la pression moyenne est faible, plus le libre parcours moyen augmente, c'est-à-dire qu'il faut lever la pression du gaz afin de diminuer les phénomènes de glissement. Si la pression du gaz tendait vers l'infini, l'écoulement par glissement serait entièrement éliminé.

Ainsi, la perméabilité mesurée au gaz est apparente et une correction de celle-ci est nécessaire pour la détermination de la perméabilité intrinsèque. Plusieurs méthodes existent pour calculer la perméabilité intrinsèque, telle que la méthode de Klinkenberg, de Carman, etc [Carman 56 ; Berryman 87]. La méthode de Klinkenberg [Klinkenberg 41] la plus utilisée [Villain 01 ; Picandet



01 ; Lion 04 et Chen 09], est traduite par l'équation (1.5a), qui permet de déterminer la perméabilité intrinsèque  $K_i$  ( $m^2$ ), uniquement relative aux écoulements visqueux, à partir de plusieurs mesures de perméabilité apparente  $K_a$  à différentes pressions. Nous pouvons observer que les cartes entre la perméabilité intrinsèque et la perméabilité apparente sont de plus en plus faibles lorsque la pression augmente, Klinkenberg établit une évaluation du coefficient de perméabilité intrinsèque  $K_i$ , en fonction de la perméabilité apparente  $K_a$  et l'inverse de la pression moyenne (équation 1.5b).

$$K_a = K_i \left( 1 + \frac{B}{P_m} \right) \quad (1.5a)$$

Avec :  $P_m$  : pression moyenne (MPa) ;  $D$  : coefficient de Klinkenberg.

$$P_m = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad (1.5b)$$

Avec :  $P_1$  : la pression du fluide à l'entre e et  $P_2$  : la pression du fluide à la sortie.

### - Essai ultrason et scléromètre : (NFEN12504-2/NF12504-4) [47]

L'essai au scléromètre consiste à projeter une masse sur la surface du béton avec une Énergie initiale constante. Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton, l'autre partie provoque le rebondissement de la masse. L'énergie d'impact est produite par un système de ressorts dont l'amplitude du mouvement de recul est fonction de:

- L'énergie de recul ; Caractéristiques des systèmes de ressorts, La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive. Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

- La détermination de la dureté est basée sur la mesure du recul que subit un dispositif mobile (commandé par un ressort) à la suite d'une collision entre le dispositif et la surface du béton. Cet essai est l'un des plus vieux essais non destructifs et il est encore très utilisé de nos jours il été développé par ERNST SCHMIDT EN (1948) et est connu sous le nom l'essai au marteau Schmidt ou essai au scléromètre. Le marteau de Schmidt (photo .IV.1.)).

est resté le seul instrument connu qui utilise le principe de rebondissement pour les essais sur le béton selon R.F FELDMAN (1977) [48]. En (1984) T.AKASHI ET S.AMASAKI ont déclarés que malgré son apparente simplicité, l'essai au scléromètre sous-tend des problèmes complexes d'impact de propagation de l'onde qui lui sont associés.



Photo .IV.7: scléromètre

#### a. Principe :

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur la quelle frappe la masse.

Dans l'essai au scléromètre une masse approximative de 1.8 kg montée sur un ressort à une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu à partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête, toujours en contact avec la surface du béton et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement. Cet indice est indiqué par un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée.

Quelques modèles de scléromètres impriment le relevé des résultats sur un rouleau de papier paraffiné. L'indice de rebondissement est une mesure arbitraire, car elle dépend de l'énergie emmagasinée par le ressort et de la dimension de la masse.

Tableau .IV.9. : Moyens de mesure selon type de recul au scléromètre.

Type de recul	Moyen de mesure
Recul linéaire	Un indicateur à lame
Recul angulaire	Un système de freinage

#### b. Appareillage :

Il existe plusieurs modèles de scléromètres selon le type de recul ainsi que l'énergie d'impact. Le modèle le plus utilisé est le scléromètre SCHMIDT (Suisse).

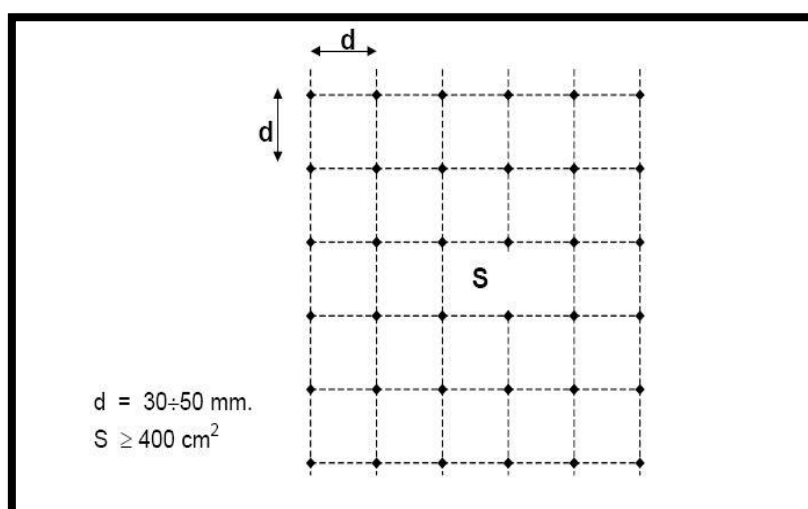
L'appareil est composé d'une masselotte chargée par un ressort qui se projette sur une tige métallique appelée tige de percussion. Il est livré avec une pierre à polir et un bloc d'étalonnage.

### c. Préparation de la surface :

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas de nids de gravier, des écaillages, de texture grossière, de porosité élevée ou de armatures affleurant es. La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture Adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute Trace d'eau sur la surface doit être essuyée.

### d. Points de mesures :

La surface de mesure doit être divisée en zones de  $400 \text{ cm}^2$  au moins, et structurée en une Grille de points de mesure ayant pour espacement  $d = 30\div 50 \text{ mm}$ . Les points de mesures Extrêmes doivent être au moins à  $30 \text{ mm}$  des bords de la surface tes



**Figure .IV.13:** Grille de mesure sur ouvrage

Effectuer au moins 10 mesures successives dans la même zone. La surface de cette zone est équivalente à celle d'un carré d'environ  $25 \text{ cm}$  de côté. Au cours de ces mesures, il convient de ne pas effectuer l'essai à moins de  $3$  à  $4 \text{ cm}$  des bords de l'élément testé.

### e. Méthode de mesure de l'Indice de rebondissement :

L 'indice de rebondissement est la mesure enregistrée sur une échelle graduée fixe par Rapport au bâti de l'appareil de scléromètre, après la projection d'une masselotte chargée par ressort sur une tige métallique en contact avec la surface du béton. Cette mesure est fonction de l'angle d'inclination de l'appareil par rapport à l'horizontal.

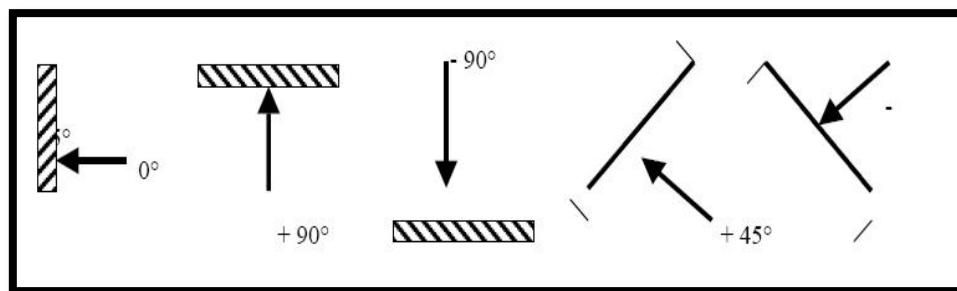


Figure .IV.14: Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter

#### f. Étalonnage de l'appareil :

Le scléromètre doit être contrôlé par des essais d'étalonnage avec d'étalon de 80, car les constantes des ressorts changent après plusieurs utilisations.

### IV.4. Application pour notre cas pratique

- **Caractéristique du béton :**

Résistance moyenne à 28 jours du béton:..... $f_c = 27$  Mpa

Affaissement au cône d'Abram:..... $A = 8$  cm

- **Caractéristique du ciment :**

Classe des granulats:.....courante

Diamètre du plus gros granulat .....  $D = 25$  mm

Coefficient granulaire:..... $G = 0,5$

- **Masse volumique des granulats :**

Mvabs  $g = 2,65$  .....

Mvabs SG, SM, SF =  $2,69 \text{ kg/dm}^3$

- **Détermination du rapport C/E:**

$$f_c = G * FCE (C/E - 0,5) \quad \text{Formule de Bolomey}$$

Sable grossier :  $1,96 = C/E$  ;

Sable moyen :  $1,96 = C/E$  ;

Sable fin :  $1,96 = C/E$ .

- **Détermination du dosage en ciment C d'après l'abaque :**

Estimation du dosage en ciment :

SG : C = 405Kg pour 1 m<sup>3</sup> de béton

SM : C = 405Kg pour 1 m<sup>3</sup> de béton

SF : C = 405Kg pour 1 m<sup>3</sup> de béton

- **Détermination du dosage en eau E :**

$$1,96 = \frac{C}{E} \Rightarrow E = \frac{C}{1,96} = \frac{405}{1,96} = 206.5 \text{ litres}$$

**E=206.5litres**

- **Détermination de la composition granulaire :**

Tracé de la courbe granulométrique de référence

Ordonnée du point A :

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

- **Détermination des proportions de granulats :**

Le point B a pour abscisse D et pour ordonnée 100 % de tamisât :

$$x_B = 25\text{mm}$$

$$y_B = 100 \%$$

**Tableau.IV.10:** les valeurs d'abscisse et ordonne A

Cas de sable	Ks	X abscisse (point A)	Y ordonne point(A)
Fin	-3.6	12.5	39.43
moyen	0	12.5	43
grossier	3.3	13.25	49.68

**Tableau.IV.11:** les pourcentages de gravier et de sable obtenues a partir de courbe de référence

	Gravire15/25(%)	gravier 8/15(%)	Gravier 3/8(%)	Sable(%)
Sable fin	49%	14%	12%	25%
Sable moyen	45%	15 %	10 %	30%
Sable grossier	40%	15%	13%	32%

- **Détermination de la composition en volume absolu :**

Le dosage en béton est déterminé pour obtenir 1 m<sup>3</sup> béton en place ; cela signifie que le volume de matière vaut 1 m<sup>3</sup>.

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

La compacité représente la proportion du volume de matière que contient le matériau :

$\gamma = \frac{V_{\text{abs}}}{V_{\text{app}}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le volume de matière représente le volume absolu du matériau (<math>V_{\text{abs}}</math>)</li> <li>• Le volume du matériau représente le volume apparent du matériau (<math>V_{\text{app}}</math>)</li> </ul>
--	---

$$\gamma = \frac{V_C + V_g + V_s}{1}$$

Soit :

$$\gamma = (V_C + V_g + V_s) \text{ en volume absolu}$$

- Volume absolu de ciment :

$$V_C = c / M_{\text{Vabs c}}$$

- Volume absolu de granulats :

De la relation de :  $y = (V_C + V_g + V_s)$  on en déduit  $V_g$  et  $V_s$

En remplaçant le volume de granulats  $V_s + V_g$  par la valeur  $V_G$  on déduit de  $y =$

$$(V_C + V_G)$$

$V_G = (1000 \times \gamma) - V_C$	<p><math>V_G</math>: volume absolus des granulats en <math>\text{dm}^3</math> (<math>V_G = V_g + V_s</math>)</p> <p><math>\gamma</math>: coefficient de compacité</p>
------------------------------------	---

$$\gamma = 0,825 - 0,03 = 0,795$$

$$V_G = (1000 * 0,795) - 130,64$$

$$V_G = 870 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

- Volume de sable :

$$V_S = S \% * V_G$$

- Volume de gravillons :

$$V_g = G \% * VG$$

- **Détermination de la composition pondérale sèche en kg :**

**Tableau.IV.12:** masse volumique absolue de granulat

Classe	Gravier15/25	Gravier 8/15	Gravier3/8	SG	SM	SF
$\gamma_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.59	2.58	2.59	2.88	2..88	2.88

**Tableau.IV.13.:** la quantité en Kg/1 m<sup>3</sup>

	Sable	Gravier 15/25	Gravier 8/15	Gravier 3/8
<b>Sable fin</b>	626.4	1146.747	327.642	280.836
<b>Sable moyen</b>	751.68	1037.475	351.045	234.03
<b>Sable grossier</b>	610.92	732.55	273.66	238.07

On a noté :

- Mf (3.04) : sable grossier
- Mf (2.50) : sable moyen
- Mf (1.90) : sable fin
- **Application de la méthode de formulation :**

**Tableau.IV.14.:** La quantité de granulats et de sable pour les trois Mf pour 1 m<sup>3</sup>

Composition	Mf (1.90)	Mf (2.50)	Mf (3.04)
<b>Masse</b>	Masse (Kg)	Masse (kg)	Masse (Kg)
<b>Sable</b>	626.4	751.68	610.92
<b>G 15/25</b>	1146.747	1037.475	732.55
<b>G8/15</b>	327.642	351.045	273.66
<b>G3/8</b>	280.836	234.03	238.07
<b>Ciment</b>	405	405	350
<b>Eau</b>	206.5		
<b>E/c</b>	0.50	0.50	0.50

Pour les éprouvettes utilisées :

Volume des éprouvettes :

On a besoin 09 moules, volume de 1 moule =  $\pi r^2 h = \pi \cdot 7.5^2 \cdot 30$

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

**Tableau.IV.15.:** Les quantités des granulats et de sable pour les trois Mf pour 09 éprouvettes

	<b>Mf (1.90)</b>	<b>Mf (2.50)</b>	<b>Mf (3.04)</b>
<b>Composition</b>	Masse (Kg)	Masse (kg)	Masse (Kg)
<b>Sable</b>	29.82	35.85	29.09
<b>G 15/25</b>	53.88	49.40	34.88
<b>G8/15</b>	15.60	16.71	13.03
<b>G3/8</b>	13.37	11.14	11.33
<b>Ciment</b>	19.28	19.31	19.31
<b>Eau</b>	9.85	9.85	9.85



*Chapitre v:*  
*Résultats ET*  
*Interprétation*

### V.1. INTRODUCTION :

Pour déterminer les caractéristiques du béton et définir l'influence du Mf sur quelque performance du béton nous avons soumis le béton préparé au laboratoire à des essais physique et mécanique,

Le programme adopté est le suivant :

#### A-Essai sur béton frais

- Ouvrabilité au cône d'abrams
- Air oclus

#### B-Essai sur béton durci

- Résistance à la compression simple (Rc)
- Résistance à la traction par fendage (Rt)
- Détermination du la masse volumique de béton (Mv)
- La perméabilité
- Résistance à la compression au moyen de scléromètre
- Résistance à la compression au moyen d'ultrason

Dans le présent chapitre nous avons adopté les appellations suivantes :

Pour le sable grossier  Mf (3.04)

Pour le sable moyen  Mf (2.50)

Pour le sable fin  Mf (1.90)

Nous avons précédé à la préparation des gâchages au laboratoire, pour déterminer les caractéristiques des bétons frais et durci.

### V.2. Présentation et analyse des résultats:

#### V.2.1. béton frais :

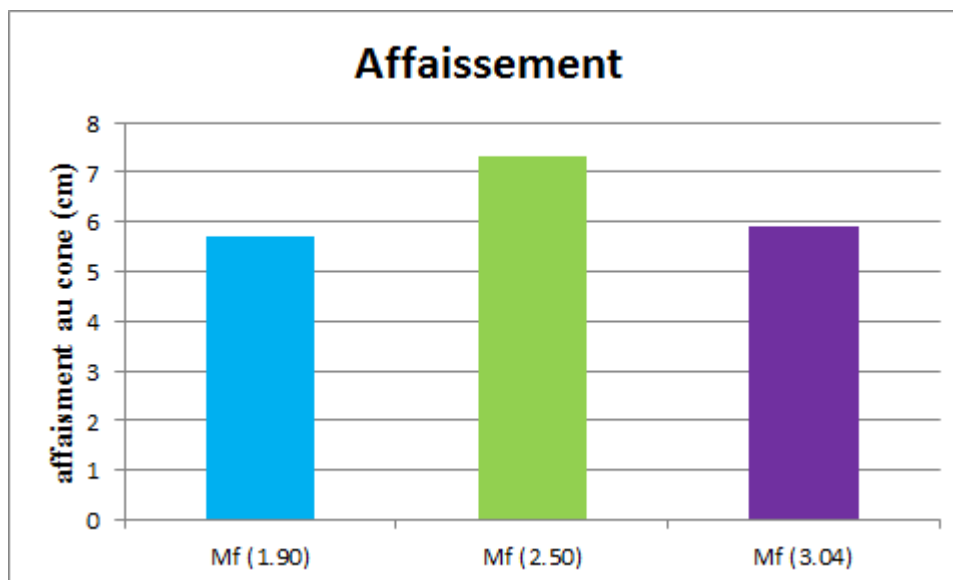
##### V.2.1.1 Affaissement :

Sur le béton frais nous avons déterminé l'affaissement de chaque composition à l'aide du cône d'Abrams selon la norme NF.P 18-451.

Les résultats obtenus sont portés dans le tableau suivant :

**Tableau.V.1:** Tableau récapitulatif des résultats des essais d'affaissement au cône

Composition de béton	Mf (1.90)	Mf (2.50)	Mf (3.04)
Affaissement	5.7	7.3	5.9



**Figure.V.1:** Variation de l'affaissement en fonction du Mf

### -Commentaire sur les résultats:

Il est à noter que nous avons cherché à la confectionner d'un béton plastique (Aff = 8 cm) On remarque que le sable moyen (Mf=2.50) a donné l'affaissement le plus élevée 7.3 cm, et le sable grossier (Mf = 3.04) a donné la valeur 5.9 cm et le sable fin a donné la valeur 5.7 cm ;

Donc en peut dire que la finesse du sable influe sur les Affaissements des bétons.

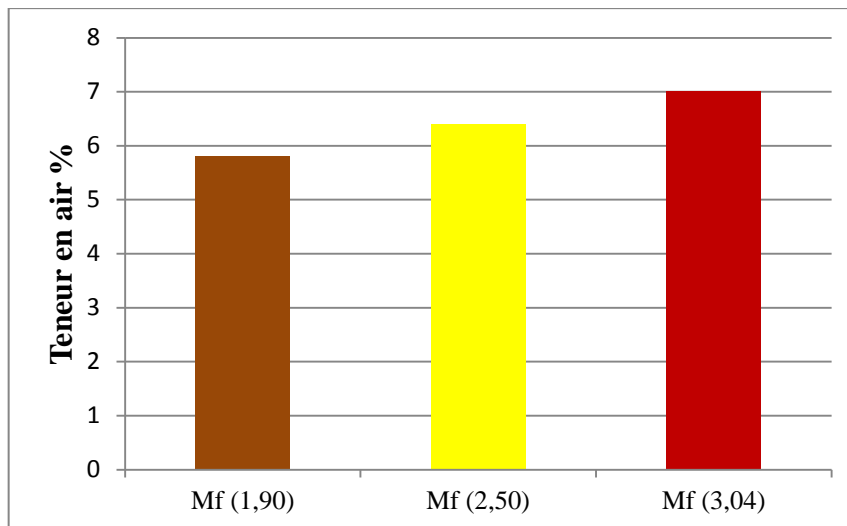
### V.2.2.2 Teneur en air :

Sur le béton frais nous avons déterminé aussi la teneur en air de chaque composition à l'aide du d'aéromètre de béton selon la-norme-NF EN 12350-7.

Les résultats obtenus sont portés dans le tableau suivant (V.2) :

**Tableau.V.2.**Variation de teneur en fonction du Mf

Composition de béton	Mf (1.90)	Mf (2.50)	Mf (3.04)
teneur en air %	5.8	6.4	7



**Figure.V.2:** Variation de teneur en fonction du Mf

**- Commentaire sur les résultats :**

On remarque que le sable grossier (Mf (3.04)) a donné le plus grand teneur en air soit (7%), et le sable moyen (Mf (2.50)) a donné la valeur (6.4%) et le sable fin Mf (1.90) a donné la plus faible valeur soit (5.8%).

Donc, on peut dire que le module de finesse a une influence proportionnelle avec le module de finesse (la présence des vides dans les compositions avec proportions variables)

**V.2.3. béton durci :**

Les éprouvettes préparées et conservées au laboratoire ont été soumis aux essais :

- Détermination de la résistance à la compression simple (Rc) ;
- Détermination de la résistance à la traction par fendage (Rt) ;
- Détermination de la masse volumique du béton (Mv) ;
- Détermination la perméabilité du béton ;
- Détermination la résistance du béton au moyen de scléromètre ;
- Détermination la résistance du béton par ultrason.

**Les résultats obtenus sont :**

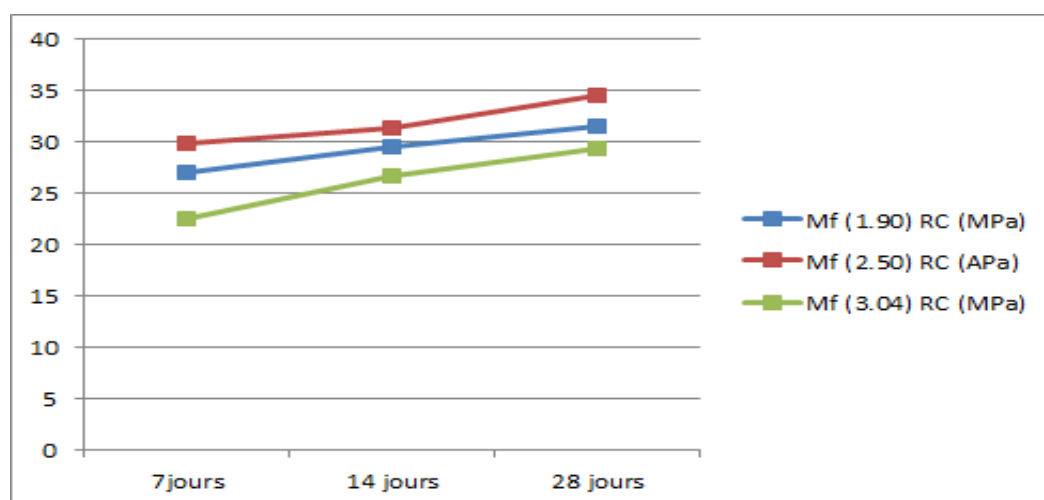
**V.2.3.1. Résistance à la compression à 7, 14 et 28 jours :**

La détermination de la résistance à la compression a été faite à 7 ; 14 et 28 jours, les résultats obtenus sont porté dans le tableau suivant :

**Tableaux .V.3. :** Résultats de résistance à la compression à 7 ; 14et 28 jour

Age	Résistance à la compression (MPa)		
	Mf (1.90)	Mf (2.50)	Mf (3.04)
<b>7jours</b>	27.00	29.82	22.60
<b>14 jours</b>	29.58	31.34	26.72
<b>28 jours</b>	31.62	34.58	29.45

Les résultats obtenus sont consignés dans le graphe suivant :



**Figure.V.3. :** Résultats de Résistance à la compression à 7 ; 14 et 28 jours des sables

**Commentaire sur les résultats :**

- La résistance à la compression des trois Compositions augmente régulièrement en fonction de l'âge ;
- Au 7<sup>ème</sup> jour ; On observe que la composition qui a donné la plus haute résistance est Mf (2.50), et la plus faible résistance a été obtenue pour (Mf (3.04)) avec un taux de + 24.22 % ;
- Au 14<sup>ème</sup> jour ; On remarque que l'échantillon Mf (2.50) a une résistance de + 14.75 % par rapport à l'échantillon Mf (3.04) ;
- Au 28<sup>ème</sup> jour ; la résistance à la compression de Mf (3.04) est inférieure à celle de Mf (2.50) avec un taux de -14.84 % ;
- Ces résultats confirment que la meilleure résistance est obtenue en utilisant le sable préférentiel (Mf = 2.50) l'effet de module de finesse sur le béton.

V.2.3.2. Résistance à la traction à 7j ; 14j ; 28 jours :

La détermination de la résistance à la traction a été faite à 7 ; 14 et 28 jours au moyen de l'essai de fendage, les résultats obtenus sont portés dans le tableau suivant :

Tableaux .V.4. : Résistance à la traction par fendage, exprimées en Mpa

Age	Résistances à la traction (MPa)		
	Mf (1.90)	Mf (2.50)	Mf (3.04)
7jours	2.54	2.10	1.57
14 jours	2.63	2.78	2.68
28 jours	2.78	2.97	2.90

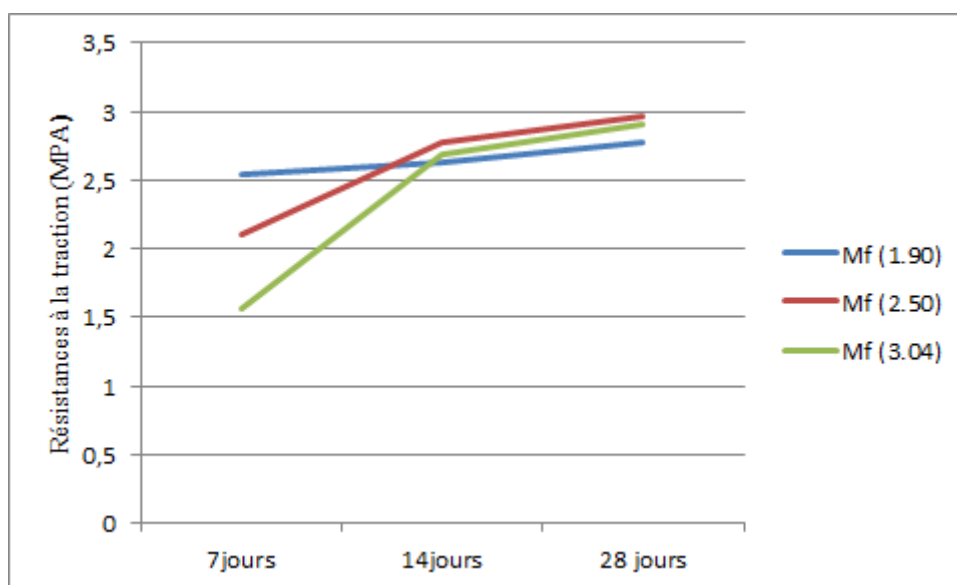


Figure V.4.:Résistances par fendage à 7 ; 14 et 28 jours

-Commentaire sur les résultats :

- La résistance à la traction des trois Compositions augmente régulièrement en fonction de l'âge ;
- Au 7<sup>ème</sup> jour ; On observe que la formule qui a donné la plus haute résistance est celle du sable Mf (1.90), elle est supérieure des résistances des formules (Mf (3.04)) et Mf (2.50) ;
- Au 14<sup>ème</sup> et 28<sup>ème</sup> jour ; On remarque que l'échantillon Mf (2.50) a donné la plus haute résistance par rapport aux échantillons Mf (3.04) et Mf (1.90) ;
- Les résistances obtenues au 28<sup>ème</sup> jour pour les trois formules caractérisent un béton ordinaire (faible résistance).

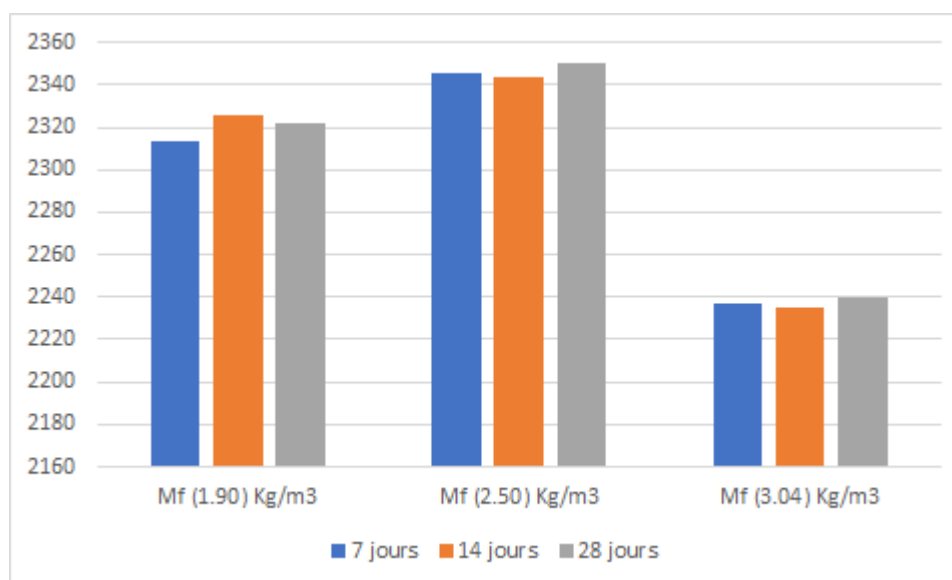
#### V.2.4. La masse volumique :

Les éprouvettes soumis aux essais d'écrasement ont fait l'objet de détermination de leurs masses volumiques (avant écrasement), la méthode utilisée est celle basée sur la détermination de volume par formule géométrique ;

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau.V.5.:** masse volumique des bétons à l'état durci

Composition de béton	Mf (1.90) Kg/m <sup>3</sup>	Mf (2.50) Kg/m <sup>3</sup>	Mf (3.04) Kg/m <sup>3</sup>
7 jours	2313.07	2345.19	2237.32
14 jours	2325.38	2344.03	2235.12
28 jours	2321.63	2349.80	2239.42



**Figure.V.5. :** la masse volumique des bétons à l'état durci

#### -Commentaire sur les résultats :

On remarque que la meilleure masse volumique a été obtenue pour le béton à base de sable a Mf = 2.50, celle du béton de sable Mf = 1.90 n'est pas trop loin par contre la Mv du béton à base de sable Mf = 3.04 est plus petite (4% de perte).

### V.2.5. La Perméabilité :

Une éprouvette de chaque formule a été préparée est conservée pour déterminer la perméabilité du béton (pénétration d'eau sous pression) au moyen d'un perméabilémètre de béton selon la norme : NF EN12390-8.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau.V.6.: Résultat de la perméabilité à 28jours

Age	Mf (1.90)	Mf (2.50)	Mf (3.04)
	La Pénétration en mm		
28 jours	75	45	100

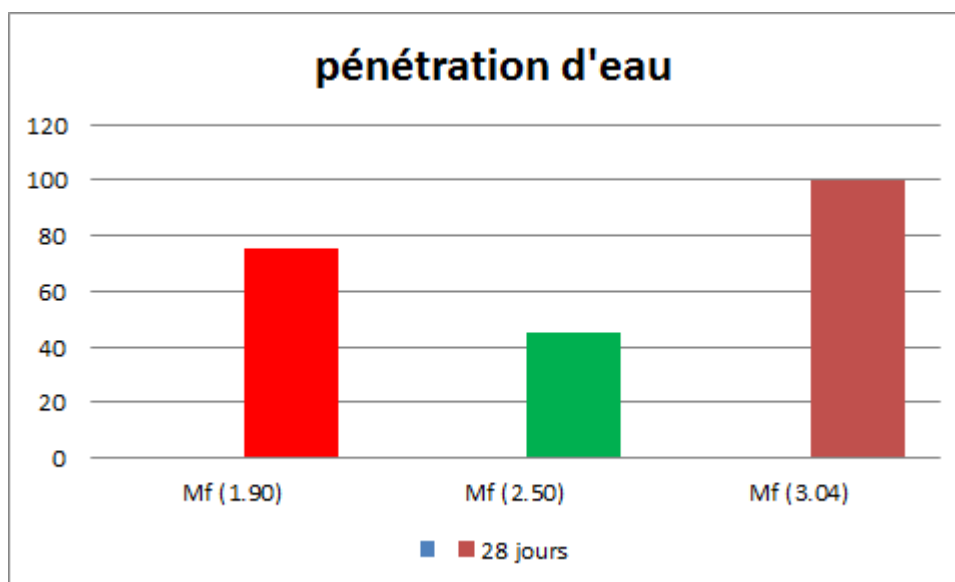


Figure.V.6. : Résultat de la perméabilité à 28jours

#### Commentaire sur les résultats :

- Le béton à base de sable Mf (3.04) a donné une valeur le plus élevée 100 mm « plus de vide »;
- Le béton à base de sable Mf (2.50) a donné la plus faible valeur de pénétration à savoir 45mm (béton moins perméable);
- Donc la perméabilité du béton dépend de la finesse de sable et la meilleure valeur est obtenue pour les sables préférentiel.



### V.2.6. Les résultats du scléromètre et ultrason :

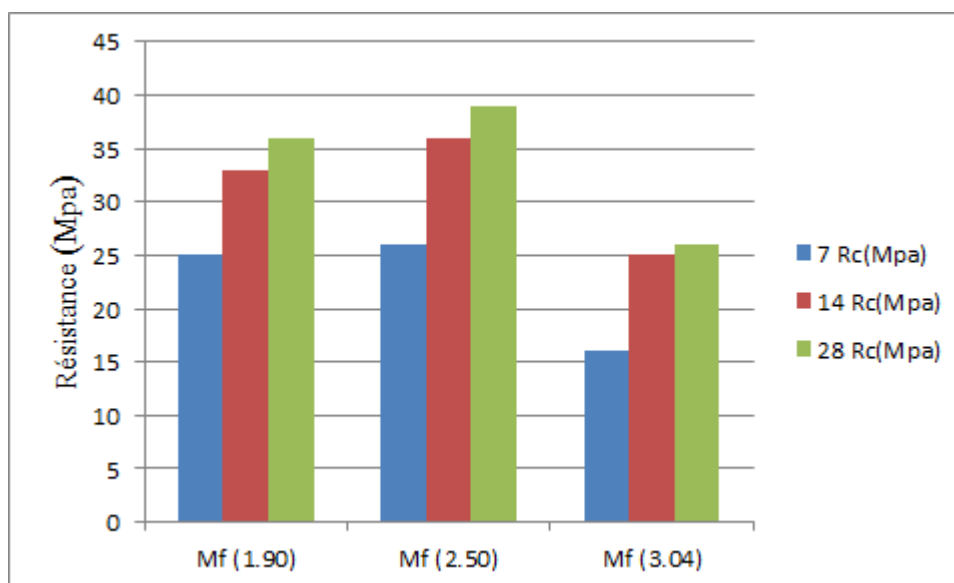
Pour enrichir notre mémoire nous avons procédé à la détermination de la résistance du béton au moyen de scléromètre et à l'ultra son ; les tests ont été effectués sur les éprouvettes avant de les soumettre à l'écrasement

#### V.2.6.1. Essai scléromètre :

Les résultats du test au scléromètre faite selon la norme NF EN12504-2, ont donné les résultats suivants :

**Tableaux.V.7.:** résultats de Résistance par scléromètre a 7 ; 14et 28 jour

Age	Résultats (Mpa)	Mf (1.90)	Mf (2.50)	Mf (3.04)
7	Rc(Mpa)	25	26	16
14	Rc(Mpa)	33	36	25
28	Rc(Mpa)	36	39	26



**Figure .V.7:** Résistances en compression par scléromètre à 7 ; 14et 28 jours des compositions étudiés

#### -Commentaire sur les résultats :

On remarque que la progression des valeurs de la résistance à la compression à l'aide d'un scléromètre est presque identique à celle des valeurs obtenues à partir de l'essai d'écrasement.

V.2.6.2. Essai ultrason :

Les résultats du test à l'ultrason fait selon la norme NF EN12504-4, ont donné les résultats suivants :

Tableau.V.8. : Résultats d'ultrason a 7 ; 14et 28 jour

Age	Résultats (Km/s)	Mf (1.90)	Mf (2.50)	Mf (3.04)
7	Ultrason (km/s)	3.96	4.30	3.8
14	ultrason (km/s)	4.50	4.86	4.28

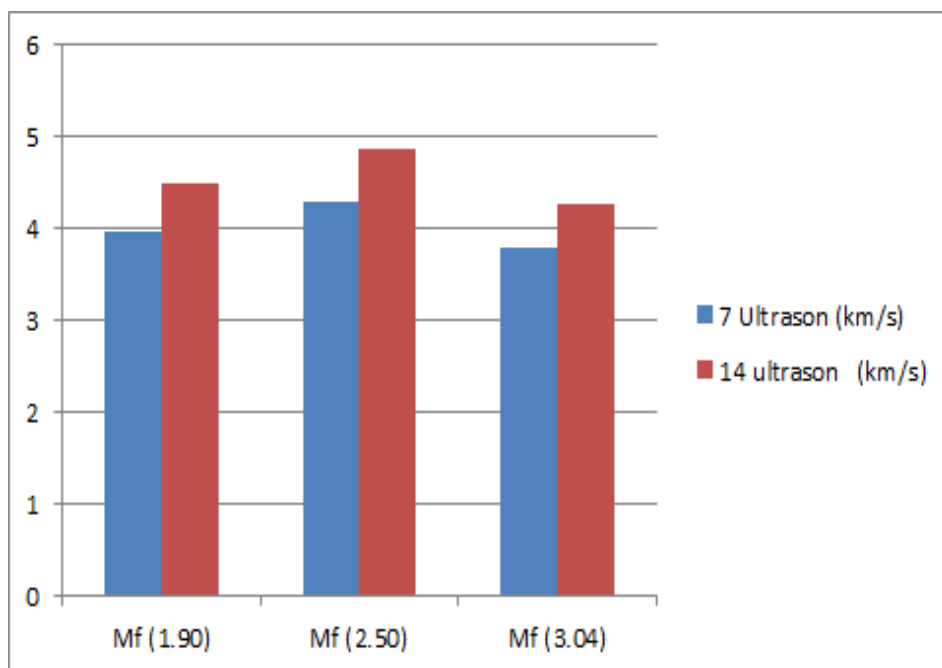


Figure.V.8. : Résultats d'ultrason a 7 ; 14 jours

-Commentaire sur les résultats :

On remarque que la progression des valeurs de la résistance à la compression à l'aide d'un ultrason sont presque identique à celle des valeurs obtenues à partir de l'essai d'écrasement.

### **V.3.Conclusion :**

A la fin de ce chapitre on a tiré les conclusions suivantes :

- Le sable à Mf moyen (préférentiel) permet d'obtenir la plus grande ouvrabilité ;
- La teneur en air dans le béton est proportionnelle avec la variation du Mf (elle augmente lorsque le Mf augmente) ;
- La résistance mécanique du béton que ce soit à la compression ou à la traction est bien reliée au module de finesse, les meilleures résistances sont obtenues en utilisant le sable du Mf=2.50 ;
- La meilleure densité du béton est obtenue pour le béton à base de sable Mf (moyen) ;
- Le béton le plus étanche a été obtenu avec le sable à Mf moyen (faible perméabilité).

*Conclusion générale*

## **Conclusion générale**

Dans notre mémoire nous avons essayé d'étudier l'influence de la finesse de sable sur certaines caractéristiques du béton ;

Nous avons adopté une méthodologie expérimentale qui est basée sur la préparation à partir d'un sable grossier de trois sables à différents module de finesse pour formuler un béton pour chaque sable et de déterminer ses caractéristique ;

Les résultats obtenus à la fin de ce mémoire nous permet de confirme l'influence du module de finesse sur la plus part des caractéristique étudiées ;

Donc on peut tirer les conclusions suivantes :

- Pour obtenir un béton de bonne qualité, il est préférable l'utiliser a un sable avec un  $M_f$  moyen ( $2.2 < M_f < 2.8$ ) ;
- Les sables à modules de finesses légèrement au-dessus de 2.8 (jusqu'à 3.2), peuvent formuler des bétons de qualités ;
- Les sables à modules de finesses légèrement au-dessous de 2.2 (jusqu'à 1.8) , peuvent formuler des bétons de qualités ;
- Pour les bétons classique et lorsque les sables a module de finesse moyen ne sont pas disponible il faut passer par des études de laboratoire approfondie et essayer de rattraper cette insuffisance par d'autre paramètres :
  - Il possible de corriger le sable a module de finesse élevée par un criblage pour obtenir un sable moins grossier ( $1.8 < M_f < 3.2$ ) ;
  - Pour les sable fin a module de finesse (faible) il possible de procéder à la correction par ajout d'un sable grossier.

## **Perspectives**

- Revoir le mode d'évaluation des sables destinés au béton par l'introduction de plusieurs paramètres en parallèle (Absorption, propreté,..... etc.) ;
- Obtenir un modèle mathématique qui prend en change plusieurs paramètres.
- Contribution à l'étude de l'influence de finesse de sable sur la résistance du mortier.

REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

## Références bibliographiques

---

- [1]: Aïtcin P.C, « Béton haute performance », Edition Eyrolles, 2000, P 800.
- [2]: Ashby M.F, Jones D.R.H, « Matériaux.2 », Dunod, édition 1991.
- [3] : Master en : génie civil Option : matériaux Micro-Béton à base de sable mixte (sable de dune et sable concassée) avec poudre de marbre et adjuvant présenter par BOUDJEMAA. Yamina et djilani souad Université de M'sila 2018/2019.
- [4] : Amine N, « Incidence de l'adjonction de la pouzzolane sur les propriétés des bétons de haute résistance », Mémoire d'ingénieur, Boumerdes 1998.
- [5] : Adam M. Neville, « Propriétés des bétons », Ed. Eyrolles, 1992, p.805.
- [6] : F. Gabrysiak – Matériaux – Les bétons – Chapitre 4.
- [7] : CIM Béton, « Les bétons de sable en structure de chaussées », centre d'information sur le
- [8] : By Robert, J. Flatt, Sika (Suisse/Switzerland), Nicos Martys, et and Lennart Bergstrom, 2004 « La Rhéologie Des Matériaux Cimentaires » National institute of standards and technology Gaithersburg, md 20899 USA.
- [9] : GCI 712, Chapitre 7, « Ajout dans le ciment », Université de Sherbrooke.
- [10] : R. Dupain et R. Lanchon et J. C. Saint Arroman, « Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire (granulats, sols, ciment et bétons), Castelle, 2000 ».
- [11] : <http://as.degussa-cc.ch/dictionary/French/lexicon/hochl.Htm>
- [12] : Moll H.L, « Über die Korrosion von Stahl in Beton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton », 1964, 169, 23-61.
- [13] : site infos ciments 23/04/2018 PATRICK GUIRAUD NOTION DE DURABILITE DES BETONS
- [14] : Gagné et Aïtcin, 1993, « Superplasticizers for durable concrete, Comptes rendus de la conférence internationale sur la durabilité du béton », Monterrey, Octobre, Mexique, P. 200-217.
- [15] : Boukli Hacene Sidi Mohamed El Amine, « Contribution A L'Etude de La Résistance Caractéristique des Bétons de La Région de Tlemcen », thèse de doctorat à l'université Aboubekr Belkaid, Tlemcen, (2009).
- [16] : Neville Propriétés du Béton, (2000).
- [17] : MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER Civil SPECIALITE : Matériaux. DAHMANI Ayoub
- [18] : G Dreux & J. Festa, « Nouveau guide du béton et ses constituants », Edition Eyrolles, 8ème édition, (2008) ; 110p.
- [19] : Bentata Aïssa, « étude expérimentale d'un béton avec la sable de dune » magister L'université Kasdi Merbah Ouargla, (2004).

## *Références bibliographiques*

---

- [20] : Remadnia A, « étude de l'influence de la qualité des granulats locaux sur les propriétés des mélanges de béton et du durci dans les conditions des entreprises de fabrication de la région d'Annaba» magister université Annaba,(1986).
- [21] : NA 256, «Granulats - Mesure du coefficient d'aplatissement», (1990).
- [22] : NA 463, « Granulats - Détermination de la propreté superficielle », (1990).
- [23] : 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).
- [24] : NA 458, «Granulats - Essai de Los Angeles», (1990).
- [25] : NA 457, «Granulats - essai d'usure micro-deval », (1990).
- [26] : NA 5043, « Granulats - Éléments de définition, conformité et codification », (2007).
- [27] : Norme Française XP P 18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540, 1997.
- [28] : NA 455, «, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Evaluation des fines – Equivalent de sable », (2006).
- [29] : NA442 CEM II/B-L42.5. (NA442-2013)  
Et Européen (EN 197-1) site la Farge.
- [30] : la norme AFNOR P18-303
- [31] : To cite this version: Laure Abdul Le Brun. Mise au point d'une méthodologie pour la formulation des bétons secs à démoulage immédiat. Génie civil. Université Montpellier, 2018. Français. ffNNT : 2018MONT035ff. fftel-02094277 .
- [32] : Georges DREUX. Jean Fasta Edition Eyrolles 1995-1998. « nouveau guide du béton et du ses constituants »
- [33] : livre nouveau guide du béton et de ses constituants (Georges Dreux ; Jean Festa) huitième édition 1998 Eyrolles 418 page.
- [34] : RICHART – MAILLOT les presses de l'école des mines paris 2001, avec le soutien du groupe R.M.C. France. «mémento technique des granulats »
- [35] : la norme Afnor NF.P 18-451
- [36] : la norme NF-EN-934-2
- [37] : Classe NF-EN-206/CN
- [38] : la norme NF EN 12350-7
- [39] : la norme NF P 18-404
- [39] : la norme NF P 18-422



## *Références bibliographiques*

---

- [40] : NORMES NF P 18-422
- [41]: la norme NF P 18-423
- [42]: [BEINISH, 2000]
- [43]: [BEINISH, 2000] [AFNOR, 2001g]
- [44]: [HONDROS, 1959]
- [45]: la norme NF EN12390-8
- [46] : [Dullien 92]
- [47] : les normes NFEN12504-2/NF12504-4
- [48] : R.F FELDMAN (1977)