



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Hydraulique
Hydraulique Urbaine

Réf. : S 25

Présenté et soutenu par :
SENOUCI Sabrina

Le : samedi 23 juin 2018

Influence des taux élevés des fines calcaires sur les comportements mécaniques et rhéologiques des bétons à base du sable de carrière

Jury :

Dr.	BOUAZIZ Ahmed	pr	Université de Biskra	Président
M.	ABDELAZIZ Salim	MAA	Université de Biskra	Examineur
Dr.	MEZGHICHE Bouzidi	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2017 - 2018

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire (Matériaux de Constructions et Structures) de l'institut de Génie Civil à l'Université **Mohamed Khider – Biskra**.

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr : MEZGHICHE**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa Disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Aux membres de jury pour avoir sacrifié de leur temps, accepter d'examiner cette mémoire et d'honorer par leur présence le jury de soutenance.

Sincère remerciements aussi tous les étudiants de université de Biskra surtout les étudiants master 2 de génie civil. Comme nous tenons à remercier les personnes qui ont bien voulu contribué de prés ou de loin.

RÉSUMÉ

En Algérie, l'exploitation intensive des sables d'Oued et de ballastières dans la fabrication du béton destiné à la construction des bâtiments et des travaux publics a conduit à un épuisement rapide de ces matériaux.

Le but de notre recherche est de connaître l'effet des fines calcaires et de l'adjuvant fluidifiant ensemble sur les propriétés mécaniques et rhéologiques du béton.

Les résultats montrent que les deux matériaux utilisés :

L'adjuvant et les fines calcaires ont ainsi un effet positif sur les propriétés du béton en terme de résistance, et de maniabilité.

La résistance à la compression du béton à base de sable de carrière augmente en fonction de l'augmentation ou dosages en ciment et pourcentage d'adjuvant quel que soit le pourcentage des fines.

La résistance mécanique à la compression, flexion et traction par fendage du béton il diminué avec l'augmentation de pourcentage de fine à partir de 25% de fine jusqu'à 35%.

La substitution de 25,30 et 35%, de fine calcaire dans le sable de carrière une diminution de résistance par rapport les autres pourcentages.

Mots-clés :

Fluidifiant, résistance, fine calcaire, les propriétés Rhéologiques.

ملخص

في الجزائر ، أدى الاستغلال المكثف لرمال واد في صناعة الخرسانة لبناء المباني والأشغال العامة إلى استنزاف سريع لهذه المواد.

الهدف من بحثنا هو معرفة تأثير كل من الملدن والمواد الناعمة معا على الخواص الميكانيكية والريولوجية للخرسانة

تبيين النتائج ان :

- عمل كل من الملدن والمواد الناعمة معا له تأثير ايجابي على خصائص الخرسانة من ناحية المقاومة والسيولة والتشغيل .
- تزداد قوة الضغط لخرسانة رمل المحجر مع زيادة محتوى الأسمنت أو النسب المئوية من المواد المساعدة بغض النظر عن النسبة المئوية للغرامات.
- انخفضت المقاومة الميكانيكية للضغط والانحناء وتكسير الشد للخرسانة بزيادة النسبة من 25٪ من الغرامة إلى 35٪.
- استبدال 25.30 و 35٪ ، من الحجر الجيري الناعم في الرمال المحجرة يؤدي إلى انخفاض في المقاومة مقارنة بالنسب الأخرى

كلمات البحث :

المقاومة ، الحجر الجيري الناعم ، الخصائص الريولوجية ، الملدن

TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	4
Chapitre I : Le béton	
Introduction.....	6
I.1. Définition.....	6
I.2. Composition du béton	6
I.2.1.Ciment	7
I.2.1.1.Pâte de ciment.....	7
I.2.1.2.fabrication du ciment portland	8
I.2.1.3. Etapes de fabrication du ciment (voie sèche).....	8
I.2.1.3.1. Extraction.....	9
I.2.1.3.2. Concassage	9
I.2.1.3.3. Pré homogénéisation	10
I.2.1.3.4. Séchage et broyage	10
I.2.1.4 .Classifications des ciments selon la norme européenne	10
I.2.1.5. Norme Algérienne relative aux ciments En Algérie	11
I.2.1.6. Classification des ciments suivant les résistances à la compression.....	13
I.2.1.7. Propriétés du ciment.....	15
I.2.1.8. Caractéristique du ciment.....	16

I.2.1.8.1. Prise et durcissement.....	16
I.2.1.8.2. Finesse du ciment (finesse de Blaine).....	17
I.2.1.8.3. Le retrait.....	18
I.2.1.8.4. L'hydratation.....	18
I.2.1.8.5. Eau dans la pâte de ciment durci	18
I.2.1.8.6.Les résistances mécaniques	19
I.2.1.8.6.1. La résistance à la compression.....	19
I.2.1.8.6.2. La résistance à la traction.....	19
I.2.2.L'eau	19
I.2.2. 1.Eau de gâchage.....	20
I.2.3.Les adjuvants.....	20
I.2.3.1.Classification des adjuvants	21
I.2.4. Les additions	21
I.2.5.les granulats	22
I.2.5.1.LES DIFFERENTS TYPES DE GRANULATS.....	22
I.2.5.1.1. LES GRANULATS NATURELS.....	22
I.2.5.1.2.LES GRANULATS ARTIFICIELS.....	23
I.2.5.1.3 LES GRANULATS RECYCLENT.....	24
I.2.5.2.Classification des granulats selon la grosseur.....	24
I.2.5.3.Quelques propriétés de la granulométrie tirées des courbes granulométrique.....	23
I.2.5.4. LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GRANULATS.....	25
I.2.5.4.1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.....	25
I.3.Propriétés essentielles d'un béton	29
I.3.1.Propriétés du béton frais	30

I.3.1.1 .Affaissement au cône d’Abrams.....	30
I.3.2. Propriétés du béton durci	31
I.3.2.1.Résistance à la traction.....	32
I.3.2.1.1.Traction directe.....	32
I.3.2.1.2. Traction par fendage.....	32
I.3.2.1.3.Traction par flexion.....	33
Conclusion.....	34

Chapitre II : Influence des paramètres sur les caractéristiques du béton

Introduction	35
II .1. Paramètres qui influent sur les caractéristiques du béton	35
II.1.1.L’eau	35
II.1.2. Influence du dosage en ciment	37
II.1.3. Influence du rapport eau/ciment	38
II.1.4.Influence de la taille maximale du granulat D max	40
II.1.5. Influence de la propreté des granulats	41
II.1.6.Influence du rapport granulat/ciment	41
II.1.7. Influence de l’Âge	42
II.1.8.Influence de la température.....	43
II.1.9. Influence des adjuvants.....	44
II.1.10. Influence de la teneur en fines calcaires sur l’affaissement des bétons	45
II.1.11. Influence de la teneur en fines calcaires sur la masse volumique des bétons	46
II.1.12. Influence de calcaire sur les propriétés des bétons durcis	47
II.1.12.1. Résistance à la compression.....	47

Conclusion.....50

Chapitre III : caractéristique des matériaux utilisés et méthodes des essais

Introduction.....52

III. 1. Le ciment52

III.1.1. Les caractéristiques chimique et minéralogique du ciment utilisé.....52

III.1.2. Les caractéristiques physiques.....53

III.2. Les granulats..... 54

III.2.1. Granulométrie et forme des grains54

III.2.2. Les caractéristiques physiques.....57

III.2.2.1 .La masse volumique apparente.....57

III.2.2.2. La masse volumique absolue.....57

III.2.3. Propreté des granulats.....58

III .2.4 . Compacité et porosité des granulats.....59

III.2 .4.1 . La porosité59

III. 2. 4. 2. Indice de vides60

III.2.4.3 .La teneur en eau W60

III.2.4.4.Absorption d'eau60

III .3 . Filler calcaire62

III.4 .L'eau.....62

III .5 . Les adjuvants.....62

III .5.1 . Essai sur les adjuvants63

III.5.1.1. Essai d'extraits secs d'adjuvants63

III .5.1.2 . Essai de densité d'adjuvant.....	63
III. 6. Composition du béton.....	64
III .7 . Procédure de gâchage	65
III.8 .Confection et cure des éprouvettes.....	66
III.9 . Programme des essai	66
III.9.1 . Propriété physique.....	66
III.9.1.1 . L'ouvrabilité	66
III .9.2 . Propriété mécanique	68
III.9.2.1 .Essai de la résistance à la compression	68
III.9.2.2. Essai traction par flexion.....	68
III.9.2.3. L'essai de résistance à la traction par écrasement latéral(Brésilien)	70
III.9.3.La durabilité	71
III.9.3.1.Le coefficient de (gel/dégel)	71
III.10 .Compacité.....	72
Conclusion	74

Chapitre IV : analyse et discussion

Introduction	76
IV.1.les propriétés mécaniques	76
IV.1.1 Les résistances à la compression	76
IV.1.2.la résistance mécanique à la compression, flexion et traction par fendage du béton	81
IV.2.les propriétés physique	82
IV.2.1'ouvrabilité	82

Sommaire

IV.3. la durabilité	85
IV.3.1.le coefficient de gel /dégel.....	85
IV.4. la compacité	86
Conclusion	87

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Le béton

Figure I.1. Représentation de la composition du béton.....	6
Figure I. 2. pâte de ciment.	7
Figure 1.3. Matières premières pour la fabrication du ciment.....	8
Figure I.4. Dumper	9
Figure I.5. Bandes transporteuses.....	9
Figure 1.6. Concassage primaire de la matière première.....	9
Figure 1.7. Pré-homogénéisation du mélange calcaire-argile.....	10
Figure. I.8. Codification du nom des ciments.....	14
Figure I.9. Temps de prise.....	15
Figure I.10. Influence de la température sur la prise des ciments.....	16
Figure I.11. Influence de l'E/C (eau/ciment) sur le temps de prise.....	16
Figure I.12. Des différents types de granulats.....	22
Figure I.13. Courbe granulométrique.....	23
Figure I.14. Les différentes dimensions des sables.....	27
Figure I.15. L'essai de l'équivalent de sable.....	28
Figure I.16. Schématisation de la mesure de l'affaissement au cône d'abrams.	30
Figure I.17. Traction directe	31
Figure I. 18. Traction par fendage	32

Chapitre II : Influence des paramètres sur les caractéristiques Du béton

Figure II.1. Influence du dosage en eau à un dosage de ciment fixé [Dreux et Festa, 1998].....	36
Figure II .2 . Influence du dosage d'eau sur la rhéologie [de Larrard, 2000].....	37
Figure II.3. Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression à court terme du béton	37
Figure II.4. Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme	38
Figure II.5. L'influence du rapport E/C sur la maniabilité	39
Figure II.6. Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport eau/ ciment	39
Figure II.7. Valeurs des résistances en fonction du rapport C/E	40
Figure II.8. Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction de la granulométrie des granulats et le temps de durcissement pour deux classe de ciments (E/C=0.5 et C=350kg).....	41
Figure II.9. Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction de la propriété de granulats pour deux classe de ciments (E/C=0.5 et C=350kg).....	41
Figure II.10. Influence du rapport G/C sur la résistance du béton.....	42
Figure II.11. Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire	42
Figure II.12. Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances	43
Figure II.13. Effet du dosage en super plastifiant sur l'affaissement	44
Figure II.14. Variation de la résistance à la compression d'un béton adjuvante par SP1 et SP2	44

Liste des figures

Figure II.15. Variation de l'affaissement en fonction du pourcentage de calcaire.....	45
Figure II.16. Variation de la masse volumique des bétons recyclés avec des fines	46
Figure II.17. Variation de la masse volumique des bétons ordinaires avec des fines calcaires en fonction de temps.....	47
Figure II.18. Variation de la résistance à la compression des bétons ordinaires en fonction du taux de calcaire.....	48
Figure II.19. Variation de la résistance à la compression des bétons recyclés en fonction du taux de calcaire.....	48

Chapitre III : caractéristique des matériaux utilisés et méthodes d'essai

Figure III.1. Courbes granulométriques des granulats concassés (SC) pour béton.....	57
Figure III.2. mesure d'affaissement à la table à secousses.....	67
Figure III.3 .schématisation du dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	69
Figure III.4. Schématisation du dispositif pour l'essai de rupture par fendage.....	70
Figure III.5. Représentation schématique de la variation de la compacité des bétons....	72

Chapitre IV : analyse et discussion

Fig.1 : Evolution de la résistance à la compression des bétons, à base du sable carrière, (durcissement humide) en fonction en% fine pour un rapport E/C=0.6et C=350kg (CEM II-42.5).....	76
Fig.2 : Evolution de la résistance à la compression des bétons, à base du sable carrière, (durcissement humide) en fonction en% fine pour un rapport E/C=0.6et C=400kg (CEM II-42.5).....	77
Fig.3 : Evolution de la résistance à la compression des bétons, à base du sable carrière, (durcissement humide) en fonction en% fine pour un rapport E/C=0.6pour C=350 et 400kg (CEM II-42.5).....	78

Liste des figures

- Fig.4 :** Evolution de la résistance à la compression des bétons, à base du sable carrière, (durcissement humide) en fonction en% fine et en % d'adjuvant pour un rapport $E/C=0.6$ et $C=350\text{kg}$ (CEMII42.5).....79
- Fig.5 :** Evolution de la résistance à la compression des bétons, à base du sable carrière, (durcissement humide) en fonction en% fine et en dosage en ciment $C=350\text{kg}$ et $C=400\text{kg}$ pour un rapport $E/C=0.6$ et 0.7 (CEM II-42.5).....80
- Fig.6 :** Evolution de la résistance à la compression des bétons, à base du sable carrière, (durcissement humide) en fonction en% fine pour un rapport $E/C=0.6$ et $C=350\text{kg}$ (CEM II-42.5).....80
- Fig.7 :** Evolution de la résistance à la compression, flexion et traction par fendage des bétons, à base du sable carrière, (durcissement humide) en fonction en% fine pour un rapport $E/C=0.6$ et $C=350\text{kg}$ (CEMII42.5).....81
- Fig.8 :** Evolution de la résistance à la compression, flexion et traction par fendage des bétons, à base du sable carrière, (durcissement humide) en fonction en% fine pour un rapport $E/C=0.6$ et $C=400\text{kg}$ (CEMII42.5).....82
- Fig.9 :** Evolution de l'ouvrabilité des bétons, à base du sable carrière, en fonction en% fine pour un dosage en ciment ($C=350$ et 400kg) et du rapport ($E/C=0.6$) (CEM II-42.5).....83
- Fig.10 :** Evolution de l'ouvrabilité des bétons, à base du sable carrière, en fonction des dosages en ciment ($C=350$ et 400kg) et des rapports ($E/C=0.6$ et 0.7) (CEM II-42.5) pour 30% de fine.....84
- Fig.11 :** Evolution de l'absorption d'eau des bétons, à base du sable carrière, en fonction en% fine pour un dosage en ciment ($C=350$ et 400kg) et du rapport ($E/C=0.6$) (CEM II-42.5).....84
- Fig.12 :** Evolution de coefficient de gel /dégel des bétons, à base du sable carrière, en fonction en% fine pour un dosage en ciment ($C=350\text{kg}$) et du rapport ($E/C=0.6$) (CEM II-42.5).....85

Liste des figures

Fig.13 : Evolution de la compacité des bétons, à base du sable carrière, en fonction des dosages en ciment($C=350$ et 400kg), et des rapports ($E/C=0.6$) (CEM II-42.5) pour 30% de fine.....86

Liste des figures

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES PHOTOS

Chapitre III : caractéristique des matériaux utilisés et méthodes d'essai

Photo III.1. Différents dispositifs employés pour le calcul de la consistance, du temps de prise et de la finesse (Vicat à gauche, Blaine à droite).....	54
Photo III .2 . Essai granulométrique en fonction des matériaux utilisé.....	56
Photo III .3 . Essai d'équivalent de sable.....	58
Photo III .4 . Filler calcaire utilisé.....	62
Photo III.5. Essai d'extraits secs d'adjuvants.....	63
Photo III.6. Essai de densité d'adjuvant.....	64
Photo III.7 . Malaxeur et moules utilisés pendant les essais.....	66
Photo.III.8. table à secousses utilisée lors des essais.....	67
Photo III.9. cube (10×10×10) cm ³	68
Photo III.10 . la machine de compression.....	68
Photo III.11. Machine d'essai de flexion utilisé.....	69
Photo III.12 . Eprouvettes prismatiques(10*10*40)cm ³ après écrasement	70
Photo III.13 . machine et dispositif d'essai de traction par fendage.....	71
Photo III.14. Eprouvettes cylindrique après écrasement.....	71
Photo III.15 . Dispositif de mesure de la compacité des bétons.....	73

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Le béton

Tableau I.1. Les différents types de ciments (Extrait de la norme NF EN 197)	12
Tableau I.2. Classification des principaux types de ciments selon ENV 197-1.....	13
Tableau I.3. Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristique.....	13
Tableau I.4. Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable.....	24
Tableau I.5. classification normalisée des sables.....	27
Tableau I.6. type de sable selon la valeur de l'équivalent de sable.....	28
Tableau I. 7. Classe de consistance	29

Chapitre III : caractéristique des matériaux utilisés et méthodes d'essai

Tableau III .1 . Analyse chimique du ciment (CEMII/A-L 42.5).....	52
Tableau III.2. Analyse minéralogique.....	52
Tableau III.3. résume les résultats des différents essais physiques sur le ciment	53
Tableau III .4 . Analyse granulométrique du sable de carrière	55
Tableau III.5. Module de finesse (Mf) de sable de carrière.....	55
Tableau III .6 . Analyse granulométrique des pierres concassées du 7/15.....	56
Tableau III .7 . Analyse granulométrique des pierres concassées du 15/25.....	56
Tableau III .8 . Masse volumiques des granulats utilisés.....	58
Tableau III .9 . Résultats d'équivalente de sable.....	59
Tableau III.10. Compacité et porosité des granulats.....	60
Tableau III .11 . Indice de vide de différent type des granulats.....	60

Liste de tableaux

Tableau III .12 . Les résultats des essais sur les granulats étudient.....	61
Tableau III .13 . Résultats des différents essais physico-chimiques sur sable carrière....	61
Tableau III.14. Résultats de la masse volumique absolue de sable carrière modifiée par pourcentage de fines calcaire.....	61
Tableau III.15. Les caractéristiques physiques de filler calcaire.....	62
Tableau III.16. Les caractéristiques de l'adjuvant utilisé.....	63
Tableau III.17. Les caractéristiques de l'adjuvant utilisé.....	64
Tableau III.18. Classification de béton selon étalement.....	67
Tableau III.19 . Correspondance entre différentes valeur de consistance et de maniabilité.....	69

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans le domaine du génie civil et du bâtiment, les années 1980 ont marqué une étape importante dans l'évolution du béton, matériau le plus universellement utilisé [1]. Résistant, s'adapte en souplesse aux conditions les plus variées, économique, facile à fabriquer et simple d'emploi, extrêmement polyvalent, il est, après l'eau, le produit le plus consommé sur la planète ! Pourtant, on l'associe souvent à un matériau bon marché et à un symbole de ce que les villes présentent de plus repoussant en matière d'architecture.

Ceci a fait l'objet d'intenses recherches sur ce matériau ainsi que sur ses composants dont les principaux sont le ciment, l'eau et les granulats. Ces derniers constituent environ 90% de tous les ouvrages de Génie civil et 75% en masse du béton [2]. Cette préoccupation nous donne une idée sur les besoins du chantier de construction Algérien en granulats, qui est sans doute énorme. A titre d'exemple pour construire un logement, il faut en moyenne 150 tonnes de granulats et la réalisation d'un kilomètre de route demande environ 12000 tonnes.

Au sujet des granulats, leur consommation est considérable car les besoins en sable sont estimés à 25,1 millions de tonnes, dont 16 millions de tonnes pour la construction et 9,1 Millions de tonnes pour la réalisation de routes [3].

Cette sensible et croissante demande a conduit à un épuisement rapide des sablières et des ballastières et une exploitation anarchique des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages.

A cet effet, en 1991 et 1999 deux décrets émanant du Ministère de l'Équipement et du Logement ont interdit l'exploitation abusive du sable du mer et du sable d'alluvions [4], [5]. Or l'Algérie est riche en calcaires, notamment dans les régions où les problèmes d'approvisionnement sont les plus cruciaux (Constantine, Mila, Oum EL Bouaghi,...) [6], pouvant répondre favorablement à la demande.

En langue de chiffres, environ 1010 carrières sont implantées à travers le territoire national avec une capacité de production annuelle totale de 68 Millions de tonnes et de 10 à 400 tonnes par heure [3]. Ces dernières génèrent 15 Millions de tonnes de sable comme un sous produit. Ce dernier n'est utilisé que partiellement dans la construction des routes et rarement dans le béton provoquant ainsi un problème de stockage au niveau des carrières et un problème d'environnement.

INTRODUCTION GENERALE

Ces sables sont peu et parfois rarement utilisés dans les bétons en raison de leurs taux élevés en fines (éléments inférieurs à 80 μm) qui varie de 8 à 30 %.

Ce problème n'est pas spécifique pour l'Algérie uniquement, car dans le monde plusieurs pays le rencontrent. Pour cela et depuis quelques temps des chercheurs se préoccupent activement des possibilités d'utilisation des granulats calcaires de concassage malgré la méfiance dans certaines entreprises qui entoure l'emploi de ces granulats dans les bétons.

Une grande partie de cette méfiance est liée à la présence de grandes quantités de fillers et à l'action de ces fillers sur les propriétés du béton frais et durci.

Il était admis que ces fillers avaient principalement un effet physique de comblement de la porosité (un rôle de remplissage et un rôle de colmatage). Ces études ont conduit à amender leurs normes et en particulier la majoration du taux de fines de 12 à 16 % [7], 18 % [8], des proportions allant jusqu'à 20 % n'ont pas d'influence néfaste sur les performances et la durabilité des bétons [9].

Les résultats obtenus au CNERIB ont montré que l'utilisation de ce type de sable, présentant une quantité de fines allant jusqu'à 25 % est possible sans conséquences préjudiciables sur les caractéristiques physico mécaniques finales des mortiers et bétons

Les Problématiques visés est :

Les agrégats sont une constituante fondamentale dans l'industrie de la construction résidentielle et des travaux publics.

Les agrégats font partie des richesses naturelles au même titre que la forêt, l'agriculture, l'eau ...etc.

Grâce à l'accessibilité de ses ressources en agrégats, L'Algérie a pu offrir des coûts d'infrastructure et de logement abordables. La gestion judicieuse des ressources en agrégats et le juste équilibre des intérêts pour ces ressources assureront un approvisionnement continu à proximité du marché

La prise en compte des sables de carrières sur les caractéristiques physico-mécaniques, des mortiers, devant avoir une valeur variable en fonction de l'âge et des paramètres de formulation (dosage en ciment, en additions, en eau, en adjuvants et nature du ciment et des granulats).

INTRODUCTION GENERALE

L'effet des fillers calcaires, issus de concassage des roches calcaires de la région de Biskra, sur les propriétés du matériau (béton frais et durci), ont une grande influence sur les propriétés du béton frais. Elles déterminent la maniabilité et indirectement la résistance. Il y a lieu de rechercher les quantités de fillers recommandées ou admissibles dans le béton en fonction des conditions locales (c'est-à-dire optimiser le dosage en filler).

L'Objectif par ce travail est d'évaluer expérimentalement l'influence des taux de fines et adjuvants fluidifiants sur les caractéristiques physico-mécaniques et rhéologiques, des bétons à base des sables de carrières.

Ce mémoire est structuré en deux parties, la première partie est consacrée à la recherche bibliographique qui est constituée de deux chapitres

Le premier chapitre : donne un aperçu général sur les principaux constituants des bétons.

Le deuxième chapitre : concerne les différents paramètres technologiques qui influent sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton.

La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale qui est constituée par le troisième chapitre et quatrième chapitre

Le troisième chapitre : présente les caractéristiques des matériaux utilisées et les méthodes d'essais.

Le quatrième chapitre : concerne la présentation des résultats et l'interprétation.

Nous finalisons notre travail par une conclusion et des recommandations.

CHAPITRE I

Introduction :

Le béton constitue le matériau de construction le plus utilisé au monde. Ce matériau permet de construire des ouvrages de toute nature et, notamment dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

Dans ce chapitre nous avons fait une recherche bibliographique sur chaque composant du béton, ces caractéristiques, les types et propriétés physiques et mécaniques.

I.1. Définition:

Les bétons ordinaires sont un mélange de quatre éléments. Le ciment qui sert de liant hydraulique, de l'eau, de sables et granulats. Les granulats sont classés en fonction de leurs tailles : fins (sables) de taille inférieure à 4 mm et grossiers (gravillons) de taille supérieure à 4 mm (figure I.1). Nous avons donc un mélange composé de particules poly dispersées et de formes différentes. Ils constituent le squelette granulaire et garantissent la résistance mécanique du béton. Ce type de béton, qui est très bien maîtrisé, nécessite d'être vibré pour une mise en place optimale dans les coffrages à géométrie complexe. Les bétons ordinaires sont assez visqueux. Ils ont donc l'inconvénient d'être difficilement pompables.

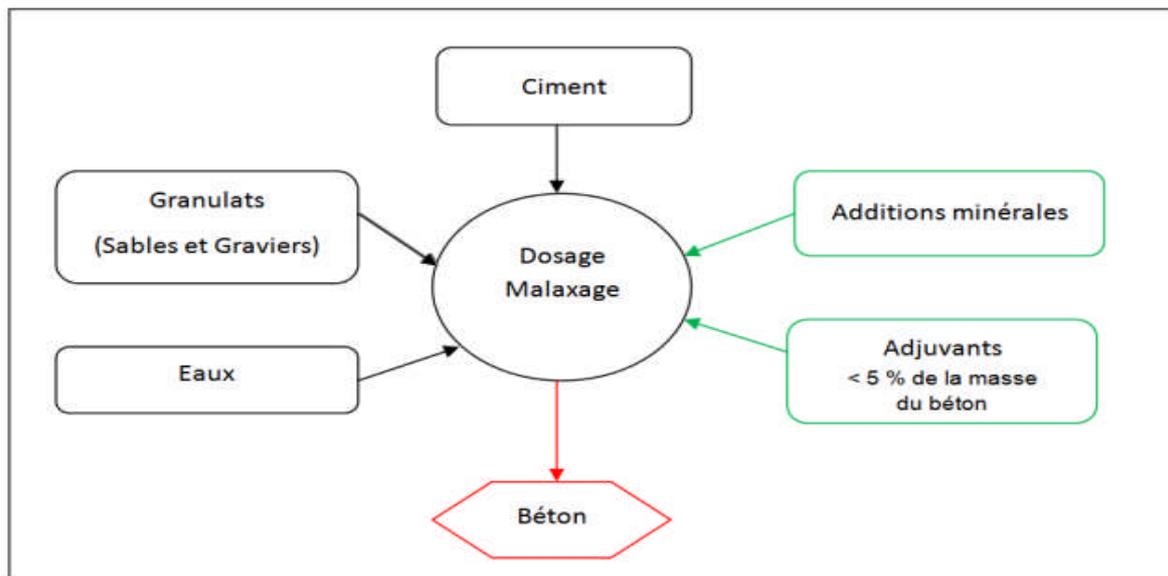
I.2. Composition du béton :

Figure I.1. Représentation de la composition du béton

I.2.1.Ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui mélangée avec l'eau forme une pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. [11]

Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse. [11]

Le clinker est principale constituant du ciment industriel il est obtenu par cuisson du cru (80% de calcaire et 20% d'argile) à environ 1450C°, c'est le phénomène de clinkérisation (combinaison de la chaux venant du calcaire et de différents oxydes venant de l'argile).il est essentiellement constitué de 4 minéraux :

- ✓ Silicate tricalcique 3CaO. SiO₂.....noté C₃S (alite) 50-70%
- ✓ Silicate bi calcique 2CaO. SiO₂.....noté C₂S (bélite) 15-30%
- ✓ Aluminate tricalcique 3CaO. Al₂O₃.....noté C₃A (célite) 5-10%
- ✓ Alumino-ferrite tétra calcique 4CaO. Al₂O₃.Fe₂O₃.....noté C₄AF 5-15 %
- ✓ Autre : sulfate, alcalis, filler calcaire, chaux libre, impuretés.

I.2.1.1.Pâte de ciment :

La pâte de ciment correspond à l'ensemble (ciment + eau + air + additions+ adjuvants). La pâte présente à l'intérieur du béton, joue à la fois le rôle de liant et de remplissage. Elle contribue à l'écoulement suivant un processus rhéologique lié essentiellement à sa viscosité [Nguyen T.L.H, 2007]. Celle-ci peut être présentée schématiquement comme une suspension des particules suspendues dans un liquide newtonien qui est l'eau. [10]

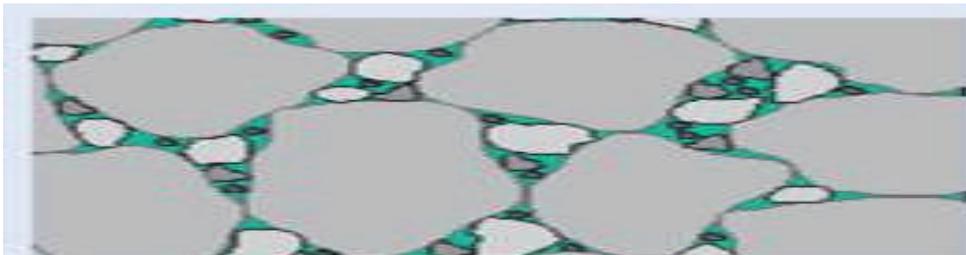


Figure I. 2. Pâte de ciment. [11]

I.2.1.2.fabrication du ciment portland :

De la roche naturelle (calcaire + argile) à la pierre de l'homme (ciment), la transformation est très complexe et nécessite un savoir faire, une maîtrise des outils et des techniques très performantes pour exécuter correctement la série d'opérations exigée par le processus de fabrication.

Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison selon des dosages préétablis de la chaux (65% CaO) avec la silice (20% SiO₂), l'alumine (10% Al₂O₃) et l'oxyde de fer (5% Fe₂O₃).

La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par les argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaire, argile ou marne (voir **Figure 1.3**) et contiennent en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et en particulier le Fe₂O₃ l'oxyde ferrique. [12]



Figure 1.3 Matières premières pour la fabrication du ciment.

I.2.1.3. Etapes de fabrication du ciment (voie sèche) : [13]

Dans les grandes lignes à voie sèche, l'activité d'une cimenterie peut s'analyser en quatre

Grandes phases principales :

- La préparation de la farine crue Le broyage
- La cuisson de la farine.
- La mouture du clinker.
- L'expédition du ciment.

La préparation de la farine crue comprend les opérations suivantes :

I.2.1.3.1. Extraction :

Les matières premières (80% de calcaire et 20% d'argile) sont extraites à partir des Carrières naturelles à ciel ouvert par tirs de mines ou raclage du terrain par des engins (scrapers).

Elles sont acheminées par des dumpers ou des bandes transporteuses vers l'atelier de concassage (voir figures I.4 et I.5) :



Figure I.4. Dumper



Figure I.5. Bandes transporteuses

I.2.1.3.2. Concassage :

Cette opération permet l'obtention de cailloux de plus petites tailles (50 mm maximum). Les blocs obtenus sont réduits dans des concasseurs situés généralement sur les lieux même de l'extraction. Après ce concassage primaire (voir Figure I.6), les matières premières sont transportées vers l'usine ou elles sont stockées et préparées

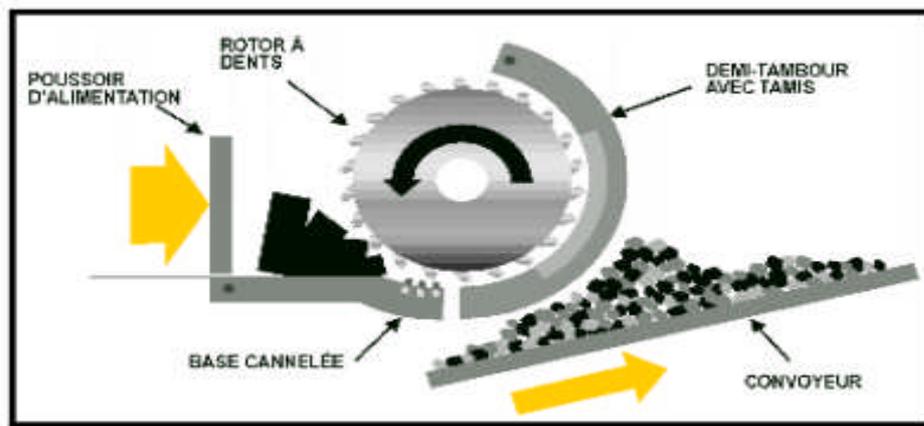


Figure 1.6. Concassage primaire de la matière première

Les matières premières doivent être échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition régulière dans le temps. La prise d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice).

I.2.1.3.3. Pré homogénéisation :

La phase de pré homogénéisation consiste à mélanger les matières premières pour obtenir une composition homogène et cela en disposant la matière en couches horizontales superposées puis en la reprenant verticalement à l'aide d'une roue pelle (voir figure I.7) ce qui permet de prélever en permanence une matière de composition identique. Cette opération

Qui se déroule dans un hall permet donc d'atteindre un dosage parfait des deux constituants

Essentiels du ciment :



Figure I.7. Pré-homogénéisation du mélange calcaire-argile

I.2.1.3.4. Séchage et broyage :

Le pesage et le dosage précis des matériaux introduits dans le broyeur sont importants car ils déterminent la consistance chimique du cru, essentielle pour l'obtention du ciment de qualité. C'est donc l'étape qui vise à favoriser les réactions chimiques ultérieures. A la sortie du hall de pré-homogénéisation, la matière première est broyée à une finesse bien définie (de l'ordre du micron) dans des broyeurs à boulets ou plus récemment dans des broyeurs verticaux à meules, plus économes en énergie. Ce sont des broyeurs sécheurs qui éliminent l'humidité résiduelle et bien sur permettent d'obtenir une poudre qui présente une finesse requise.

I.2.1.4 .Classifications des ciments selon la norme européenne : [13]

Parmi les principaux types de ciments classés selon la norme européenne, on peut citer :

1) Ciment Portland :

Dénoté CPA-CEM I, il contient 95% de clinker et 5% de Fillers. Ces ciments se caractérisent par leur classe de résistance à la compression exprimée en MP à 28 jours – 32,5 - 42,5 et 52,5.

2) Ciment Portland Composé :

Dénoté CPS CEM II/A contenant 06 à 20% de constituants autres que le clinker.

3) Ciment de Haut Fourneau :

- Dénoté CHF CEM III/A (contenant 36 à 65% de laitier de haut fourneau).
- Dénoté CHF CEM III/B (contenant 66 à 80% de laitier de haut fourneau).
- Dénoté CHF CEM III/C (contenant 81 à 95% de laitier de haut fourneau).

4) Ciment Pouzzolanique :

- Dénoté CPS CEM IV/A contenant 11 à 35% de constituants, fumée de silice, pouzzolane et cendres volantes.
- Dénoté CPS CEM IV/B, contenant 36 à 55% de constituants, fumée de silice, pouzzolane et cendres volantes.

5) Ciment composé :

- Dénoté CPS CEM V/A, contenant 18 à 30% de constituants, pouzzolane et cendres volantes.
- Dénoté CPS CEM V/B, contenant 31 à 50% de constituants, pouzzolane et cendres Volantes.

Tous les ciments produits en France sont normalisés. Les ciments courants bénéficient D'un double marquage CE et NF, qui atteste de leurs conformités à la norme européenne EN 197-1-2000. Les autres ciments font l'objet de normes spécifiques leur permettant de circuler librement dans l'Union Européenne.

I.2.1.5. Norme Algérienne relative aux ciments En Algérie : [13]

Les ciments courants sont produits conformément à la norme NA 4 42/ 2000 et ceci depuis avril 2001. L'objectif de cette norme est de spécifier la composition, les exigences et les critères de conformité des ciments courants. La norme NA 442/ 2000 prescrit les propriétés des constituants des ciments et les proportions dans lesquelles ils doivent être combinés pour produire une série de types et de classes de ciment. Elle prescrit, en outre, les spécifications

mécaniques, physiques et chimiques appliquées à ces types de classes et établit les règles pour évaluer la conformité à ces spécifications.

Composition :

Le ciment Portland composé CPJ CEM II/A 42,5 est constitué de :

- * clinker Portland : 80 à 94%
- * Ajouts : 06 à 20% (laitier, pouzzolane, calcaire).

Tableau I.1. Les différents types de ciments (Extrait de la norme NF EN 197)

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)		Composition (pourcentage en masse) ^{a)}										Constituants secondaires		
			Constituants principaux												
			Clinker K	Laitier de haut fourneau S	Fumée de silice D ^{b)}	Pouzzolanes		Cendres volantes		Schiste calciné T	Calcaire				
Naturelle P	Naturelle calcinée Q	Siliceuse V				Calciq.ue W	L	LL							
CEM I	Ciment Portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au laitier	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CEM II	Ciment Portland à la fumée de silice	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la pouzzolane	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CEM II/B-P		65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM II/A-Q		80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM II/B-Q		65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	Ciment Portland au schiste calciné	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
CEM II	Ciment Portland au calcaire	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5
CEM II	Ciment Portland composé ^{c)}	CEM II/A-M	80-94	←————— 6-20 —————→										0-5	
		CEM II/B-M	65-79	←————— 21-35 —————→										0-5	
CEM III	Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM IV	Ciment pouzzolanique ^{c)}	CEM IV/A	65-89	—	←————— 11-35 —————→										0-5
		CEM IV/B	45-64	—	←————— 36-55 —————→										0-5
CEM V	Ciment composé ^{c)}	CEM V/A	40-64	16-30	—	←————— 18-30 —————→		—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	—	←————— 31-50 —————→		—	—	—	—	—	—	—	0-5

a) Les valeurs indiquées se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.
 b) La proportion de fumées de silice est limitée à 10 %.
 c) Dans le cas des ciments Portland composés CEM II/A-M et CEM II/B-M, des ciments pouzzolaniques CEM IV/A et CEM IV/B et des ciments composés CEM V/A et CEM V/B, les constituants principaux, autres que le clinker, doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir un exemple à l'article 8).

Tableau I.2. Classification des principaux types de ciments selon ENV 197-1

Type	Désignation Ciment	Notation	Composition en % massique		
			Principaux		Secondaire
			Clinker	Ajout	
I	Portland	I	95-100	0	0-5
II	Portland au laitier	II / A-S II / B-S	80-94 65-79	6-20 21-35	0-5 0-5
	Portland à la F.S.	II / A-D	90-94	6-10	0-5
	Portland au calcaire	II / A-L II / B-L	80-94 65-79	6-20 21-35	0-5 0-5
	... etc				
	III	Ciment de haut fourneau	III / A III / B III / C	35-64 20-34 5-19	36-65 66-80 81-95
IV	Ciment pouzzolanique	IV / A	65-89	11-35	0-5
		IV / B	45-64	36-55	0-5
V	Ciment composé (*)	V / A	40-64	36-60	0-5
		V / B	20-39	61-80	0-5

I.2.1.6. Classification des ciments suivant les résistances à la compression:

La norme européenne NF EN 197-1 classe les ciments courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme EN 196-1, mesurée à 28 jours en six classes de résistance. [15]

Tableau I.3. Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristique. [16]

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

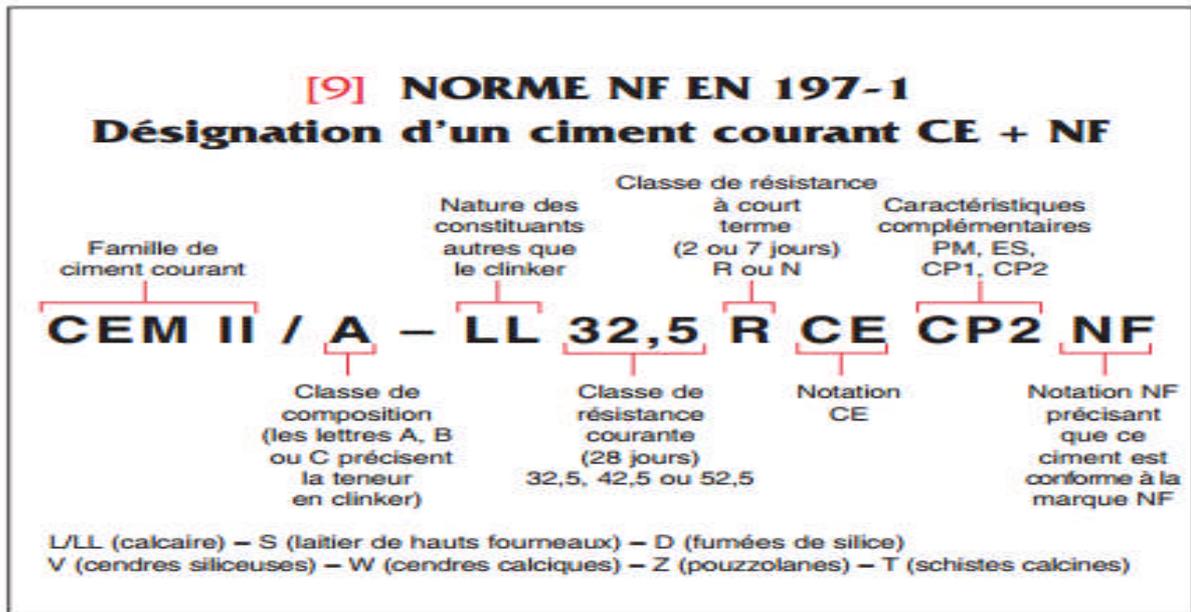


Figure. I.8. Codification du nom des ciments

I.2.1.7. Propriétés du ciment :

Mouture d'un ciment est caractérisée par sa surface spécifique ou surface développée totale des grains contenus dans une masse donnée. Cette finesse, mesurée conventionnellement selon la norme NF P 15-4420 est exprimée en cm^2/g , elle varie de 1700 à $3500\text{cm}^2/\text{g}$.

- ✓ La masse volumique des ciments est en générale de 800 à $1200\text{kg}/\text{m}^3$ on compte en moyenne $1100\text{kg}/\text{m}^3$ pour un ciment en vrac non tassé.
- ✓ La masse volumique spécifique varie en général de 2900 à $3200\text{kg}/\text{m}^3$.
- ✓ La fin de prise correspond au moment où la pâte est devenue un bloc rigide (il n'existe pas d'essai normalisé) ; elle ne peut se définir avec précision.
- ✓ Les temps de début de prise peuvent varier de quelques minutes pour les ciments prompts, à plusieurs heures pour les ciments à prise lente. Pour la plupart des ciments courants. Le début de prise à 20°C se situe entre 2 et 5 heures.
- ✓ après la prise, le phénomène d'hydratation se poursuit, on obtient après quelques jours presque la totalité de la résistance (80%), mais pour d'autres ciments le durcissement se poursuit pendant des mois

I.2.1.8. Caractéristique du ciment : [17]

I.2.1.8.1. Prise et durcissement :

Lorsqu'on réalise une Gâchée de pâte de ciment, de mortier ou de béton, on constate après un certain temps un raidissement du produit : c'est le début de prise. Ce raidissement s'accroît jusqu'à ce que le produit obtienne une résistance appréciable en fin de prise. Les réactions qui se passent dès le début du gâchage et qui se poursuivent dans le temps sont complexes. Il se produit une micro-cristallisation. La multiplication de ces cristaux dans le temps explique l'augmentation de résistance mécanique.

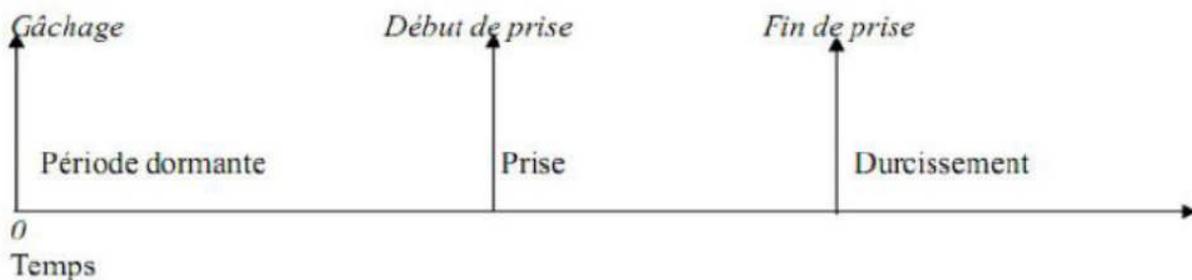


Figure I.9. Temps de prise.

Les temps de début de prise peuvent varier de quelque minute (ciment prompt) à quelque heure (CPA). La période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment, est le durcissement. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter. Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température.

Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres tels que :

- la nature du ciment.
- la finesse de mouture du ciment, plus son broyage a été poussé, plus le temps de prise n'est court.
- la température ; à zéro degré la prise est stoppée, plus la température est élevée plus la prise est rapide.
- la présence de matière organique dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise.
- l'excès d'eau de gâchage qui a, entre autres inconvénients, une action retardatrice sur la prise pratiquement tous les ciments ont des temps de prise de l'ordre de 2h30 à 3h.

[18]

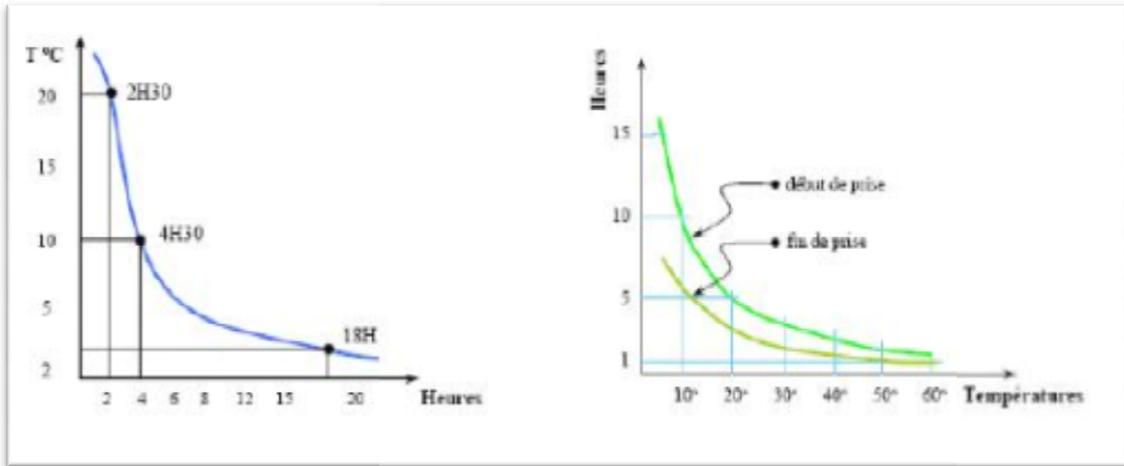


Figure I.10. Influence de la température sur la prise des ciments [18].

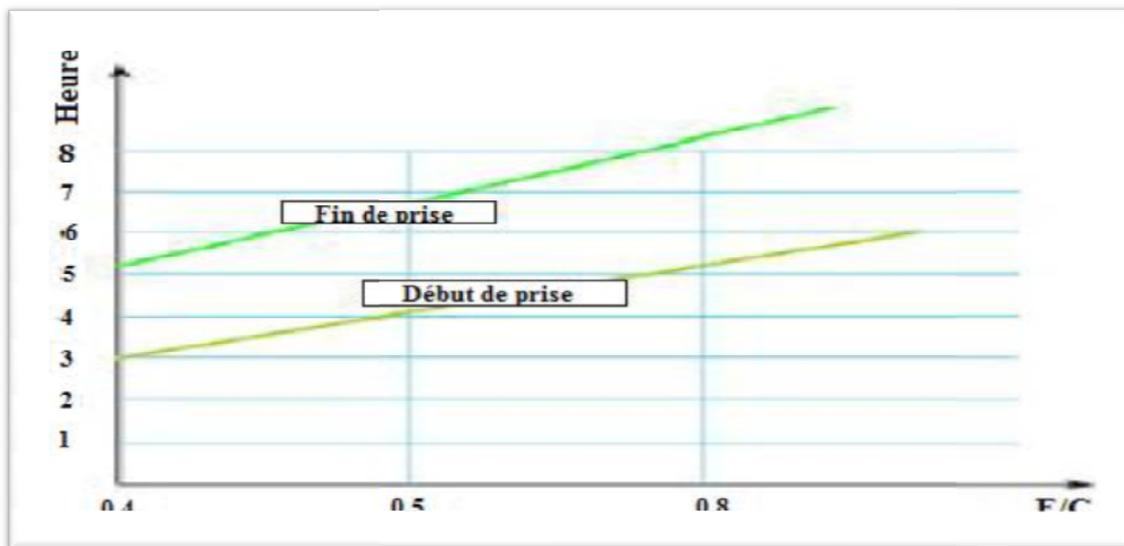


Figure I.11. Influence de l'E/C (eau/ciment) sur le temps de prise [18].

I.2.1.8.2. Finesse du ciment (finesse de Blaine) :

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimé en (cm²/g). Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500cm²/g. Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible à l'éventuellement et plus le retrait est important. En outre, la finesse de mouture influence la plasticité et la cohésion de la pâte de ciment à l'état frais, ainsi que son pouvoir de rétention d'eau et la ressuée. [15]

I.2.1.8.3. Le retrait :

La pâte de ciment se rétracte dans l'air sec (alors qu'au contraire elle gonfle dans l'eau), ce phénomène se poursuivant dans le temps et ceci pendant des durées d'autant plus longues quelles pièces sont massives. C'est le retrait qui est cause des fissures que l'on observe dans des pièces en béton et mortier.

➤ L'importance du retrait hydraulique, en dehors du facteur de temps, est en fonction de nombreux paramètres parmi lesquels :

- la nature du ciment
- le dosage en eau
- la propriété des sables
- la forme et la dimension du granulat. [15]

I.2.1.8.4. L'hydratation :

Les constituants du ciment Portland (C3S, C2S, ...) sont hydrauliques, c'est-à-dire qu'ils donnent en présence d'eau des hydrates qui précipitent et s'organisent en une structure mécaniquement résistante. On appelle hydratation du ciment l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent entre le ciment et l'eau. Ces réactions commencent dès la mise en contact de ces deux phases. Quelques heures après le gâchage, le matériau fait prise : il passe en quelques instants de l'état de suspension à celui de solide. L'hydratation se poursuit longtemps après la prise, ce qui constitue le durcissement: l'évolution des caractéristiques physiques et mécaniques, très rapide dans les heures qui suivent la prise, continue pendant plusieurs mois, mais de plus en plus lentement. [18]

I.2.1.8.5. Eau dans la pâte de ciment durci : [19]

L'eau se représente sous diverse formes dans la pâte de ciment durci. On distingue classiquement trois types d'eau :

- l'eau libre** : fortement ionisée dès les premières instants .elle se trouve dans les pores capillaires en particulier les macropores (supérieur à 500 angströms). Echappant aux forces superficielles des particules solides, elle migre la première lors du ressuage et de la dessiccation.
- **l'eau liée** : c'est l'eau qui se combine par réaction d'hydratation avec les grains de

ciment et qui entre dans la composition des hydrates.

- **l'eau adsorbée** : c'est l'eau fixée à la surface du solide, cette fixation peut être physique ou chimique selon l'énergie des forces de liaison. L'adsorption physique est due aux forces d'énergie faible. Elle est réversible et peut superposer une ou plusieurs couches de la surface solide. Dans le cas de l'adsorption chimique, il y a un transfert ou une mise en commun d'électrons. La molécule adsorbée en des sites privilégiés est dans un état différent de son état libre. Les énergies mises en jeu peuvent être importantes et plus durables dans ce cas. En fin, l'eau absorbée chimiquement est considérée comme une eau liée.

I.2.1.8.6. Les résistances mécaniques :

I.2.1.8.6.1. La résistance à la compression :

Les normes **AFNOR** actuellement en vigueur prévoient pour chaque produit une ou plusieurs classes de résistance à la compression définies, pour un liant donné, par la résistance minimale d'éprouvettes en mortier normal atteinte au bout de 2 ou 7 jours et 28 jours. La classe est désignée par la résistance moyenne à 28 jours exprimée en mégapascals. C'est en général ce critère, qui, avec la résistance chimique (à l'action d'eaux nocives, d'atmosphères corrosives, etc.), sera retenu pour choisir le ciment à utiliser dans un ouvrage ou élément d'ouvrage déterminé en ce qui concerne le comportement des ouvrages à long terme. [20]

I.2.1.8.6.2. La résistance à la traction :

La résistance à la traction est un critère intéressant de la qualité d'un ciment, et nous recommandons vivement de faire des essais de traction par flexion. La résistance à la traction est systématiquement constatée au cours des essais mécaniques, mais ne figure au procès-verbal que sur demande de l'utilisateur et ce critère a été totalement supprimé dans les nouvelles normes. [20]

I.2.2. L'eau :

L'eau est un des ingrédients essentiels du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un

objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue En réduisant la quantité d'eau et une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau.

I.2.2. 1.Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité d'eau ajoutée au mélange sec de béton, elle remplit deux fonctions : d'une part elle sert à l'hydratation du liant et d'autre part, elle permet la fluidification du mélange ayant pour but de faciliter la mise en place du béton

a. Caractéristiques physiques :

L'eau doit être propre, elle ne doit pas contenir des matières en suspension au-delà de :

-2g/l pour les bétons de types A et B

-5g/l pour les bétons de type C

Béton A: béton de haute qualité à forte résistance

Béton B: béton à grande imperméabilité

Béton C: béton courant peu ou non armé

b. Caractéristiques chimiques :

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

-1.5g/l pour les bétons de types A et B.

-3g/l pour le béton de type C

I.2.3.Les adjuvants :

Ce sont des substances ajoutées au béton pour améliorer certaines de ses propriétés à de faibles doses. Les adjuvants peuvent changer considérablement les caractéristiques du béton frais et du béton durci.

Ainsi que le définit la norme **NF EN 934-2**, un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5 % de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de telle ou telle de leurs propriétés, à l'état frais ou durci. Sont donc exclus du domaine des adjuvants au sens

de la norme, les produits ajoutés au moment du broyage du clinker ou les produits dont le dosage dépasserait 5 % du ciment.

I.2.3.1. Classification des adjuvants :

La norme **NF EN 934-2** classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants:

- **ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton:** plastifiants-réducteurs d'eau, super plastifiants (anciennement fluidifiants);
- **ceux qui modifient la prise et le durcissement :** accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise;
- **ceux qui modifient certaines propriétés particulières:** entraîneurs d'air, générateurs de gaz, hydrofuges de masse.

I.2.4. Les additions :

Une addition minérale est définie comme un matériau finement divisé, ajouté au béton pour améliorer certaines de ses propriétés.

Selon **EL Barak (2005)**, l'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet de remplir les micro-vides entre les granulats, contribuant ainsi à avoir un squelette solide plus compact et réduisant l'espace libre pour l'eau.

On distingue : **Les fillers calcaires, les additions siliceuses, les cendres volantes, les fumées**

de silice, le laitier de haut fourneau et la pouzzolane. Ces particules fines peuvent être contenue dans le ciment ou rajoutées dans le béton lors du malaxage.

Ces fines présentent plusieurs avantages économiques et environnementaux telle que l'incorporation des additions minérales à la formulation de béton comme substituant du ciment (produit plus cher), contribue à réduire le coût du béton. Par ailleurs, l'utilisation généralisée des additions minérales dans le monde contribue aussi à réduire la production du ciment qui nécessite une chaleur importante, donc à réduire la quantité de combustible utilisée pour l'industrie du ciment, ainsi que l'émission du CO₂ de l'industrie cimentière dans La nature (Tablet, 2012).

I.2.5.les granulats :

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.

I.2.5.1.LES DIFFERENTS TYPES DE GRANULATS :

Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée :

- «**Naturels**», lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions)
- «**Artificiels**», lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais
- «**Recyclés**», lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés [21].

I.2.5.1.1. LES GRANULATS NATURELS :

Les granulats naturels, proviennent de deux sources : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires. Géologiquement, les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

- éruptives : granites, basaltes porphyres,
- Sédimentaires : calcaires, grès, quartzites,
- métamorphiques : gneiss, amphibolites.

Les compositions minéralogiques font apparaître trois familles : les roches calcaires, les roches siliceuses et les silice-calcaires [21].



Figure I.12. Des différents types de granulats

Les Granulats Alluvionnaires:

Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Se sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement) [22]. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats [23].

Les Granulats de Carrières:

Les granulats sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage... [24].

Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [25]

I.2.5.1.2.LES GRANULATS ARTIFICIELS :

Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous produits industriels transformés.

I.2.5.4. LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GRANULATS :

Les granulats peuvent avoir des formes sphériques, cubiques, nodulaires, plates ou allongées. Ces caractéristiques, ainsi que l'état de surface des grains influent sur l'aptitude à la mise en place du béton frais, la résistance mécanique et durabilité du béton durci.

-Module de finesse (MF):

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur une série de tamis. Le Tableau I.3 présente la série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse. [21, 26,27].

Tableau I.4. Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable.

01	Tamis : 0.16-0.315-1.25-2.5 et 5 mm.	" NF P 18-540 "
02	Tamis : 0.125-0.25-0.5-1-2 et 4 mm.	" EN 12620 "

Un bon sable pour béton doit avoir un module finesse d'environ 2,2 et 2,8. Au dessous, le sable est à majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau, au dessus, le sable manque de fins et le béton y perd en ouvrabilité [26, 27].

❖ Pour les sables on peut définir :

Sable très fine → $1 < MF < 1.5$

Sable fin → $1.5 < MF < 2$

Sable moyen → $2 < MF < 2.5$

Gros sable → $MF > 2.5$

I.2.5.4.1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES :

On peut les classer en deux groupes [28], celles qui concernent le granulat lui même, et celles qui concernent la teneur en substances étrangères et nocives.

❖ **LES MASSES VOLUMIQUES :** Les masses volumiques des granulats sont définies et déterminées suivant les normes : NF P 18-554, 18-555, 18-558, EN 1097-3, EN 1097-6 [29, 30, 31, 32, 33] :

-La Masse Volumique Apparente (en vrac) : C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci, y compris les pores intergranulaires.

-La Masse Volumique Absolue : C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores). Il existe 3 façons généralement employées pour déterminer ces masses volumiques en fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat:

Il existe 3 façons généralement employées pour déterminer ces masses volumiques en fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat :

- Méthode de l'éprouvette graduée,
- Méthode de la mesure au pycnomètre: La masse des particules solides est obtenue par pesage, le volume est mesuré au pycnomètre,
- Méthode de la pesée hydrostatique: Cette méthode est également utilisée pour déterminer des volumes apparents après paraffinage du matériau ou par graissage.

Les granulats sont dits:

Légers si : $M_{V\text{ abs}} < 2t / m^3$, **Courants si :** $2t/m^3 < M_{V\text{ abs}} < 3t/m^3$ et **Lourds si :**

$M_{V\text{ abs}} > 3t/m^3$

En général, la densité des granulats recyclés est inférieure à celle des granulats naturels, à cause de la faible densité de la pâte cimentaire rattaché aux granulats.

❖ LA POROSITE (P):

C'est le rapport du volume des vides pouvant être remplis d'eau au volume total d'un échantillon de granulats. La mesure de la porosité se fait selon les normes "NF P18 554, EN 1097-3". La présence de pores internes dans les granulats est en rapport direct avec la densité des granulats. Certains pores sont complètement à l'intérieur des granulats et d'autres débouchent à la surface [34].

❖ TENEUR EN EAU (W %) :

La teneur en eau est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon [21].

❖ **TAUX D'ABSORPTION D'EAU (AB %):**

L'absorption d'eau par définition est le quotient de la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et à la pression atmosphérique, par sa masse sèche. Elle est déterminée selon les normes standards "NF P 18-554, 18-555, EN 1097-3, EN 1097-6".

❖ **PROPRIETE DES GRANULATS :**

La qualité des granulats utilisés dans les bétons est un facteur très important. Trois grandes catégories d'impuretés peuvent être rencontrées dans les granulats: matières organiques, les argiles et les matériaux fins (issues du concassage ou du broyage des roches). Leurs présence à la surface des granulats interférant avec le processus d'hydratation du ciment et empêche la bonne adhérence granulats-liants, entraînant ainsi une chute des résistances mécaniques et des variations de propriétés rhéologiques des mélanges. De telles impuretés semblent être plus courantes dans les sables que dans les gros granulats, plus facilement lavés [25].

A/ LES SABLES :

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton et mortier. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton. Le sable naturel qui est le plus couramment employé comme granulats fin au béton ou au mortier, pour les besoins de la construction et des travaux publics. Sable en entend tous granulats **0/D** conformes aux définitions des normes **NF P 18-101** et **NF P 18-301**. On appelle 'sables' les granulats de petites dimension issues de désagrégation des roches, les sables sont chimiquement inertes. Le sable est l'élément qui assure au béton et au mortier, Selon ses qualité une influence prépondérante : il participe à la résistance, il donne la cohésion Au mélange.

On mesure l'importance des pollutions argileuses dans les sables par l'essai d'équivalent de sable et l'essai au bleu de méthylène [21].

A.1. Classification Des Sables :

- ✓ **Suivait les grosseurs des grains minimale et maximale :**

Tableau I.5 .classification normalisée des sables.

Granulat		Ecartement des mailles des tamis (mm)
Fines		< 0.08
Sable	Fine	0.08 - 0.315
	Moyen	0.315 – 2
	Gros	2.00- 5.00

**Figure I.14.** Les différentes dimensions des sables.

❖ **Equivalent de sable "ES":**

Il est défini par la norme **NFP 18-598** : cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. Une procédure normalisée permet de détermination un coefficient d'équivalent de sable [35, 27].

Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

- **Hauteur h1** : sable propre +éléments fins (floculat).
- **Hauteur h2** : sable propre seulement.

Existe deux types d'essai :

- L'équivalent de sable visuel (ESV) est défini par :

$$\text{ESV \%} = \frac{h2}{h1} \times 100$$

➤ L'équivalent de sable au Piston (ESP) est défini par :

$$\text{ESP \%} = \frac{h'2}{h1} \times 100$$

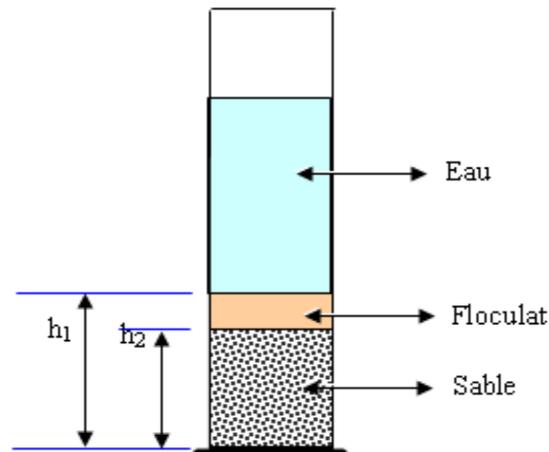


Figure I.15. L'essai de l'équivalent de sable

Tableau I.6. type de sable selon la valeur de l'équivalent de sable

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S≥85	E.S>80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

I.3. Propriétés essentielles d'un béton :

Le béton est un matériau composite qui fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par ces caractéristiques de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, sa durabilité, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les

formes, les teintes et les textures.

Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés à l'état frais et à l'état durci. [10]

I.3.1. Propriétés du béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage. L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau.

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. [36]

I.3.1.1 Affaissement au cône d'Abrams

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé

verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

Tableau I. 7. Classe de consistance [11]

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

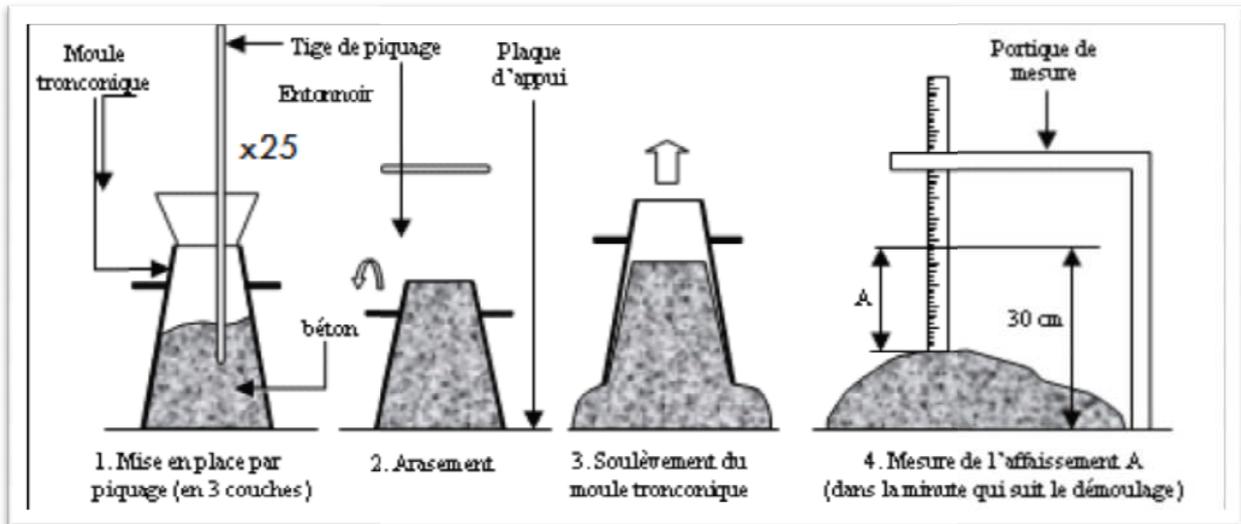


Figure I.16. Schématisation de la mesure de l'affaissement au cône d'abrams.

I-3-2 Propriétés du béton durci :

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années.

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées. [36]

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité. Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_{c28} . La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans

une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$F_C = F / A_C$$

Où :

- **F_C**: résistance en compression, exprimée en mégapascal (Newton par millimètres carrés).
- **F** : charge maximale, exprimée en Newtons.
- **A_C** : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MP (N/mm²) près.

I.3.2.1. Résistance à la traction

I.3.2.1.1 .Traction directe :

C'est un essai très délicat à réaliser car il consiste en la mise en traction du cylindre béton après collage des têtes de traction sur les deux faces. La difficulté rencontrée est le centrage de ces têtes.

L'opération doit être réalisée sans efforts de flexion [11]

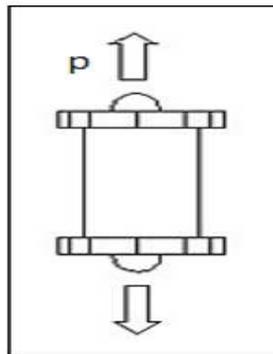


Figure I.17. Traction directe [11]

I.3.2.1.2. Traction par fendage : (essai brésilien)

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton placé suivant deux génératrices opposées entrées deux plateaux de la presse. Si « p » est la charge de compression maximale entraînant L'éclatement du cylindre, « D » le diamètre nominal de l'éprouvette et « L » la longueur du

cylindre,

la résistance en traction par fendage est donnée par l'équation suivante : [11]

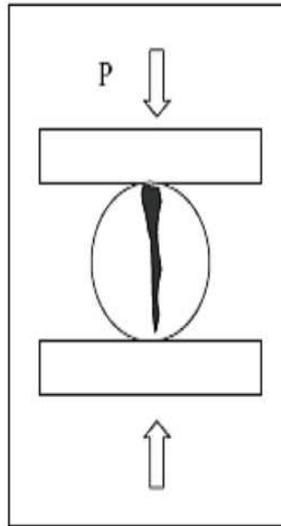


Figure I. 18. Traction par fendage [11]

I.3.2.1.3. Traction par flexion :

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée. Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-407 (NA 428), munie d'un banc de flexion à 4 points. Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est : $M = P \times a / 2$ et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est $f_{tj} = 6M / a^3$, la relation suivante permet de calculer la résistance : [36]

$$f_{tj} = 1.8P / a^2$$

Conclusion :

Grâce à ce chapitre, nous concluons que :

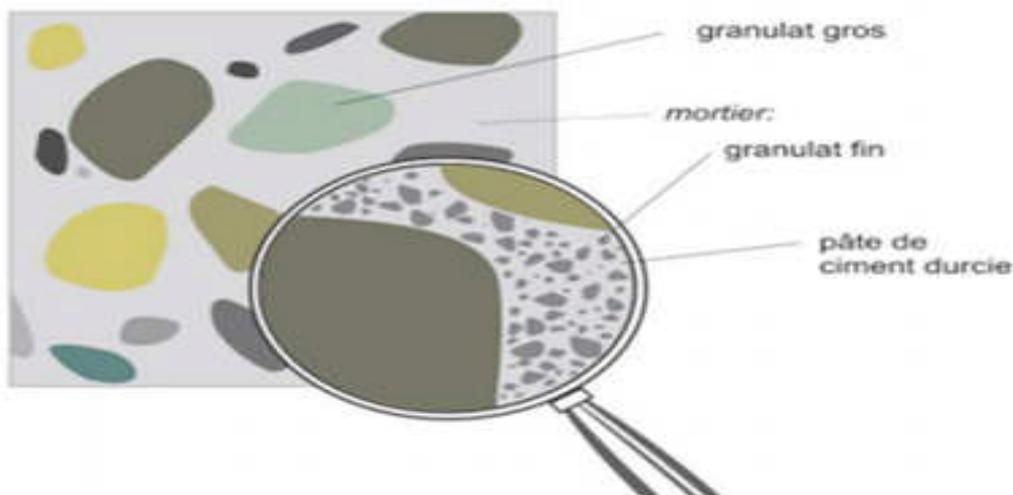
- Le béton un matériau composite constitué de granulats gros et fines (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment, d'eau, les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.
- Le ciment est un liant hydraulique. C'est –à-dire qu'il réagit avec l'eau pour former une pâte qui lie avec les granulats pour former un conglomerat solide.
- La qualité du béton est intimement liée à celle de ses constituants et particulièrement les granulats, les granulats peuvent limiter la résistance du béton, et aussi leurs propriétés, ils peuvent affecter la durabilité et les performances structurales du béton
- Les granulats représentent 75% du volume du béton.
- Les additions minérale est un matériau minéral finement divisé utilisé dans le béton afin d'améliorer certaines propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières.

CHAPITRE II

Introduction :

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

Plusieurs recherches se sont intéressées à l'influence de ces constituants sur le comportement du béton.

**II .1. Paramètres qui influent sur les caractéristiques du béton :****II.1.1.L'eau :**

L'eau est un des ingrédients essentiels du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue en réduisant la quantité d'eau et une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau. C'est lors de la recherche de cet optimum que les adjuvants peuvent jouer un rôle. Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ces performances : résistance à la compression, durabilité.

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher le béton. Certes, l'eau potable distribuée par le réseau du service public est toujours utilisable mais, de plus en plus souvent, nous sommes placés devant la nécessité d'utiliser une eau non potable. La norme XP P 18-303 [Afnor, 2002], a permis de préciser à quelles conditions une eau est utilisable. [10]

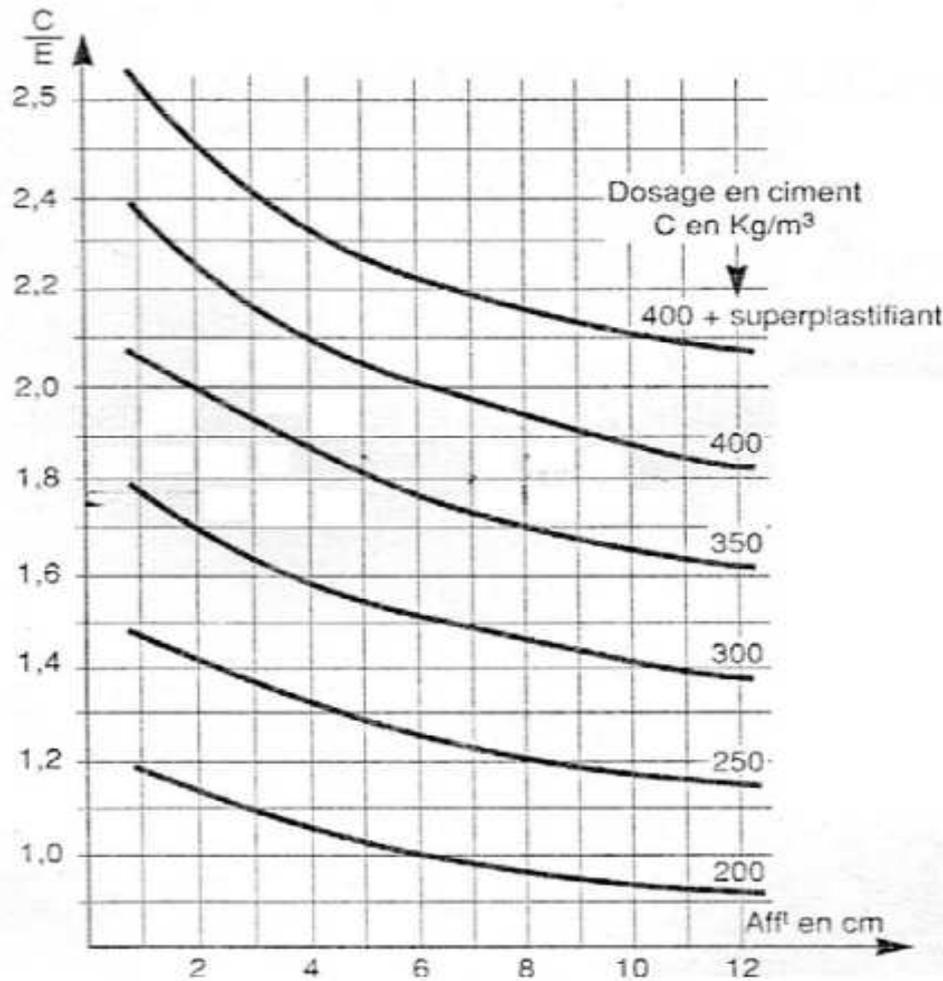


Figure II.1. Influence du dosage en eau à un dosage de ciment fixé [Dreux et Festa, 1998][10]

L'ajout d'eau a bien sûr pour conséquence d'augmenter l'ouvrabilité du béton. A titre d'exemple, la figure II.1 montre un abaque tiré de la méthode de formulation de Dreux et Gorisse, qui permet, pour différents dosages en ciment, d'évaluer la quantité d'eau nécessaire pour obtenir un affaissement visé.

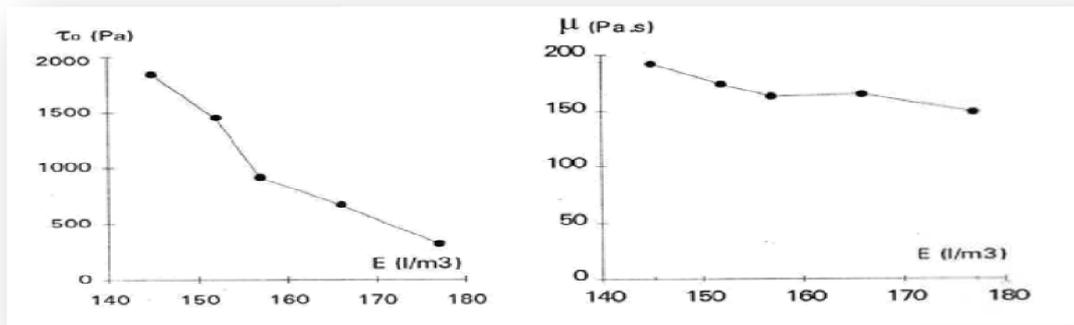


Figure II.2. Influence du dosage d'eau sur la rhéologie [de Larrard, 2000]

II.1.2. Influence du dosage en ciment :

Pour un même dosage en eau, 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.

La **figure II.3.** Montre l'influence du dosage en ciment sur les résistances à court terme et sur le rapport E/C du béton.

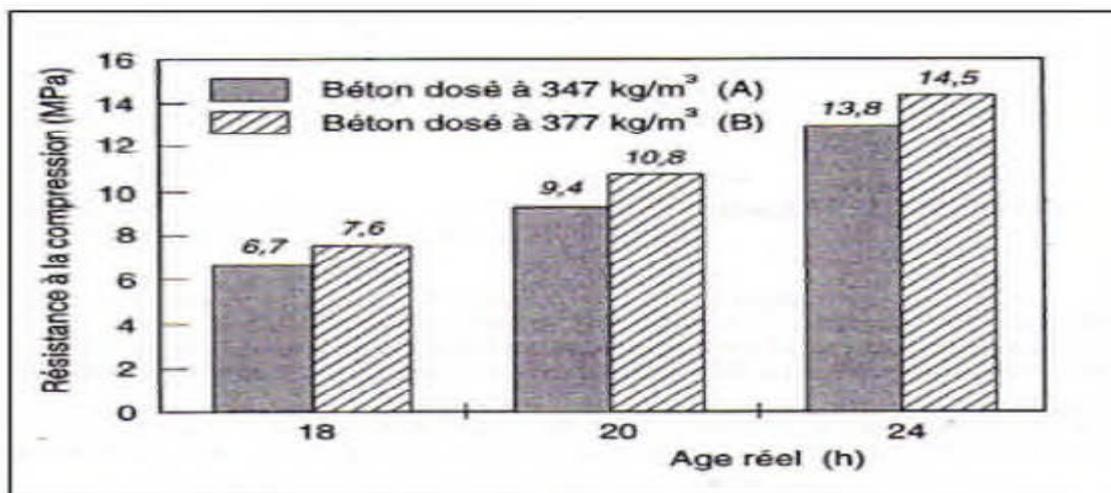


Figure II.3. Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression à court terme du béton [10].

Cette figure montre clairement l'accroissement des résistances d'un béton avec l'augmentation de son dosage en ciment.

La résistance d'un béton à court terme dépend aussi le type et la classe de résistance de ciment, plus cette classe est élevée, plus la résistance à la compression est élevée, à toutes les

échéances. L'influence de ce paramètre sur la résistance à court terme est présentée sur la (figure II.4) Cette figure montre que le choix d'un ciment CPA-CEM I 52,5 R développera, à dosage identique dans le béton, des résistances à court terme considérablement supérieures à celles d'un ciment CPJ-CEM II 32,5 R. 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.

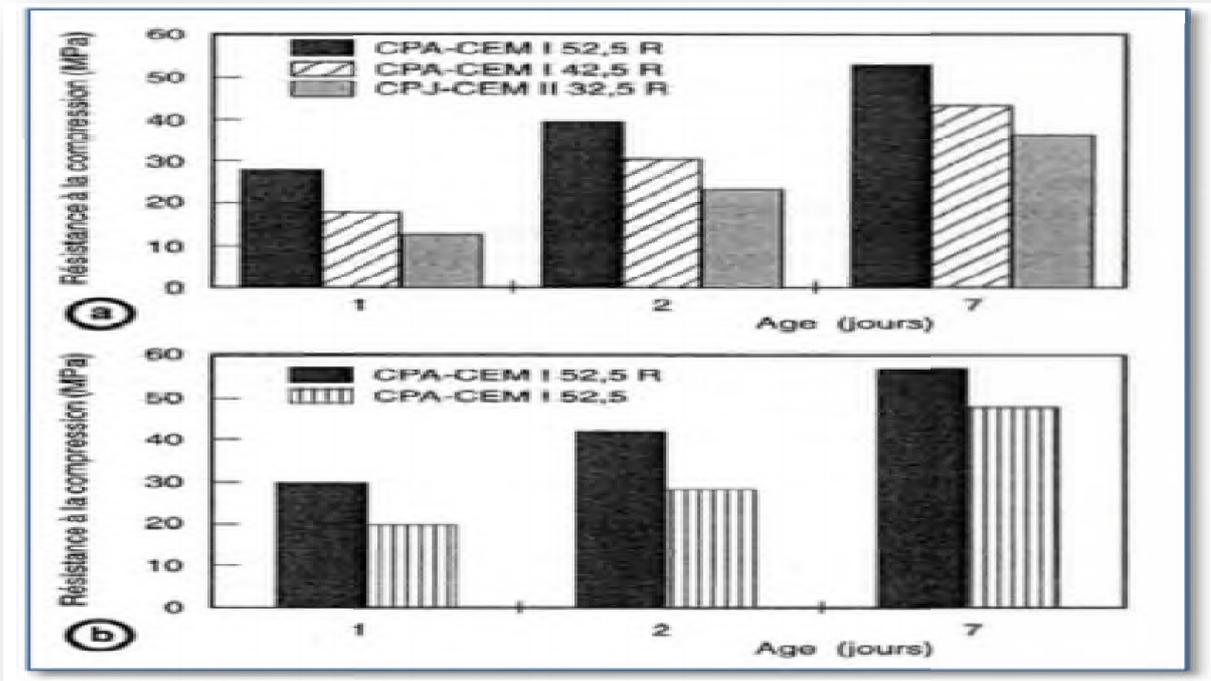


Figure II.4.Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme [10].

II.1.3. Influence du rapport eau/ciment :

La figure II.5. Montre l'évolution de la maniabilité en fonction du rapport E/C. Le constat général qui se dégage est que l'affaissement au cône augmente lorsque le rapport E/C croît. Le rapport E/C de 0,54 semble le plus approprié pour un béton courant et donne un affaissement de consistance plastique, valeur ciblée dans la formulation. Le rapport E/C de 0,58 donne une ouvrabilité trop plastique voire mou.

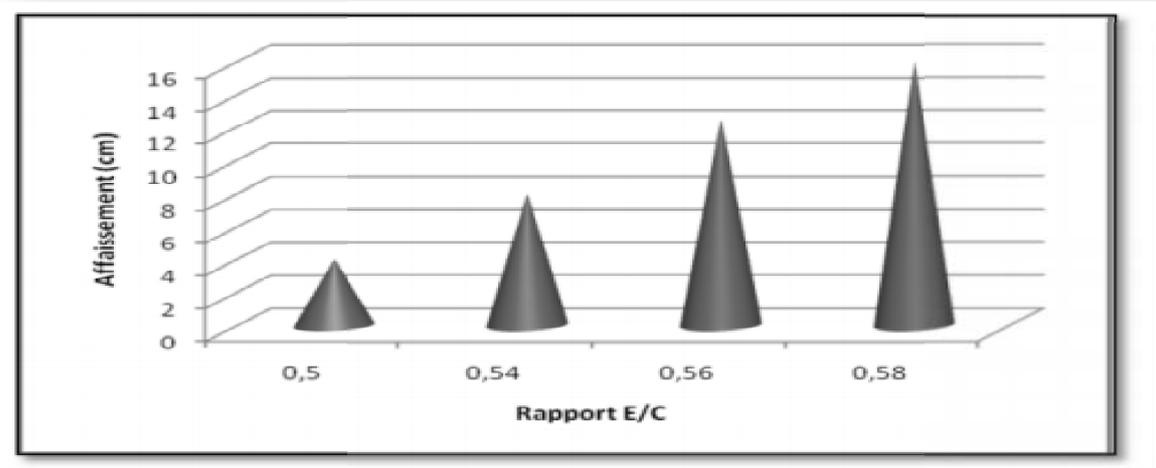


Figure II.5. L'influence du rapport E/C sur la maniabilité [37].

Le rapport E/C est le facteur le plus important qui conditionne la résistance à la compression d'un béton. [10] a montré que la courbe représentant la résistance en fonction du rapport E/C a approximativement la forme d'une hyperbole et cette relation dépend très peu du dosage en ciment (**Figure II.6**).

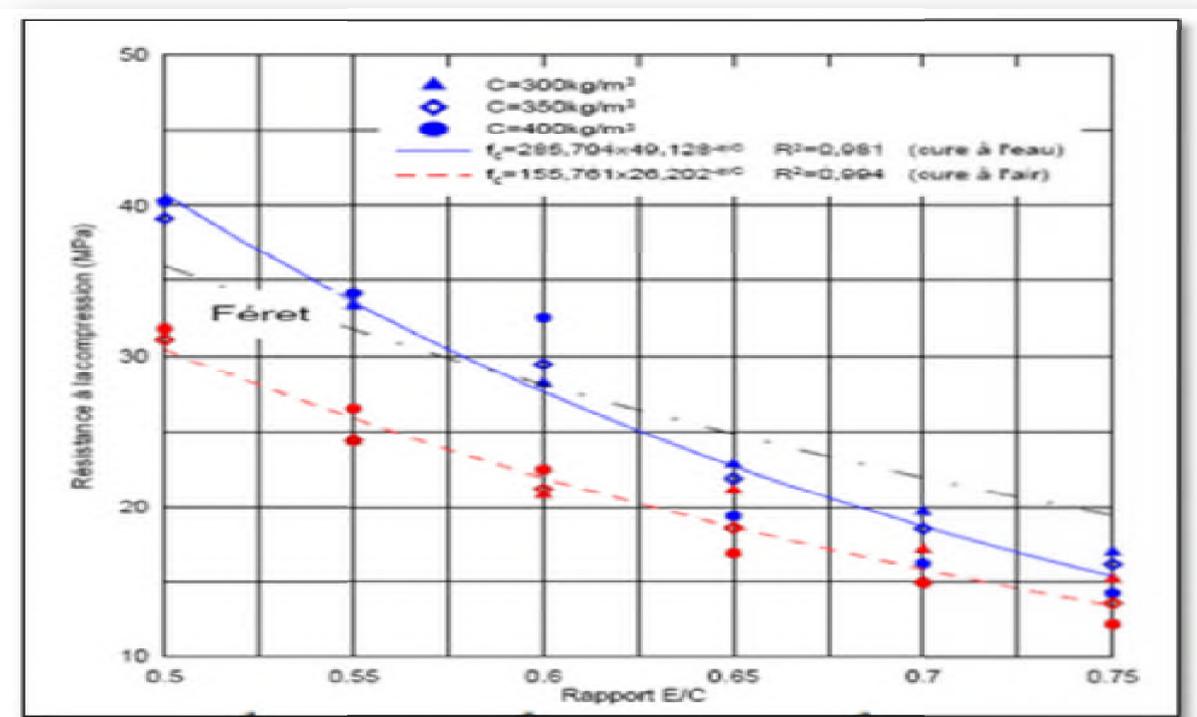


Figure II.6. Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport eau/ciment [10].

Pour un même dosage en ciment, l'augmentation du dosage en eau du béton aura pour conséquence de augmenter le rapport E/C du béton, ce qui se traduira nécessairement par une diminution de la résistance. Cependant d'autres auteurs [38] ont montré que la relation était plutôt linéaire pour des valeurs du rapport C/E compris entre 1.2 et 2.5 (**figure II.7**).

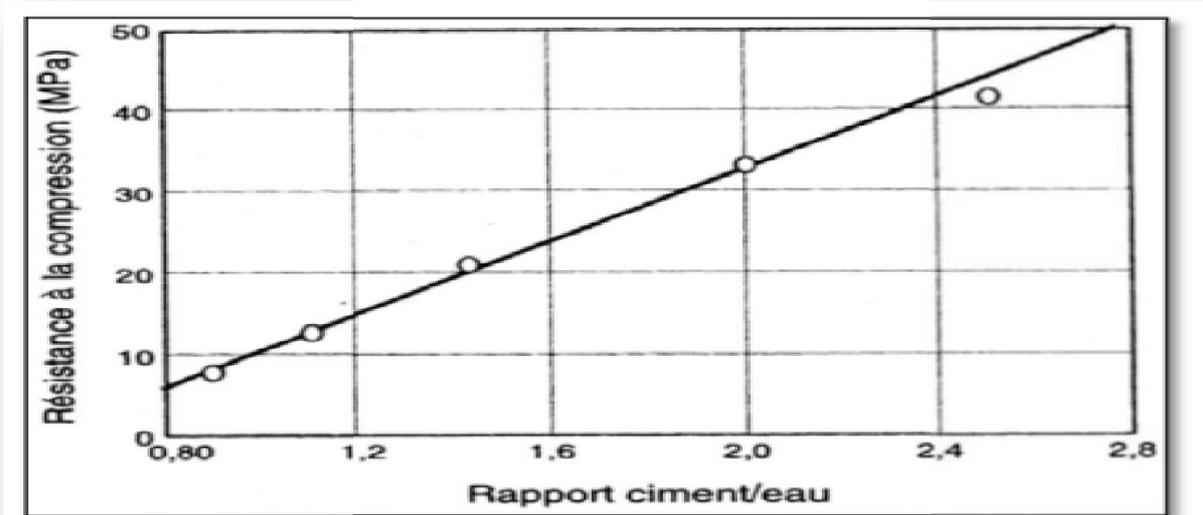


Figure II.7. Valeurs des résistances en fonction du rapport C/E [25].

II.1.4. Influence de la taille maximale du granulat D_{max} :

La figure II.18 montre que la taille maximale des granulats a une influence sur le comportement mécanique du béton. La figure II.18 montre le béton avec deux fractions de

$D_{max}=16\text{mm}$ (3/8 ,8/16) offre une bonne résistance à la compression que le béton avec deux fractions de $D_{max}=25\text{mm}$ (8/16 ,16/25) et trois fractions de $D_{max}=25\text{mm}$ (3/8,8/16,16/25). Ceci est dû à l'augmentation de la somme des surfaces spécifiques des grains de granulats utilisés. Donc la taille maximale des granulats a un impact négatif sur la résistance à la compression [40].

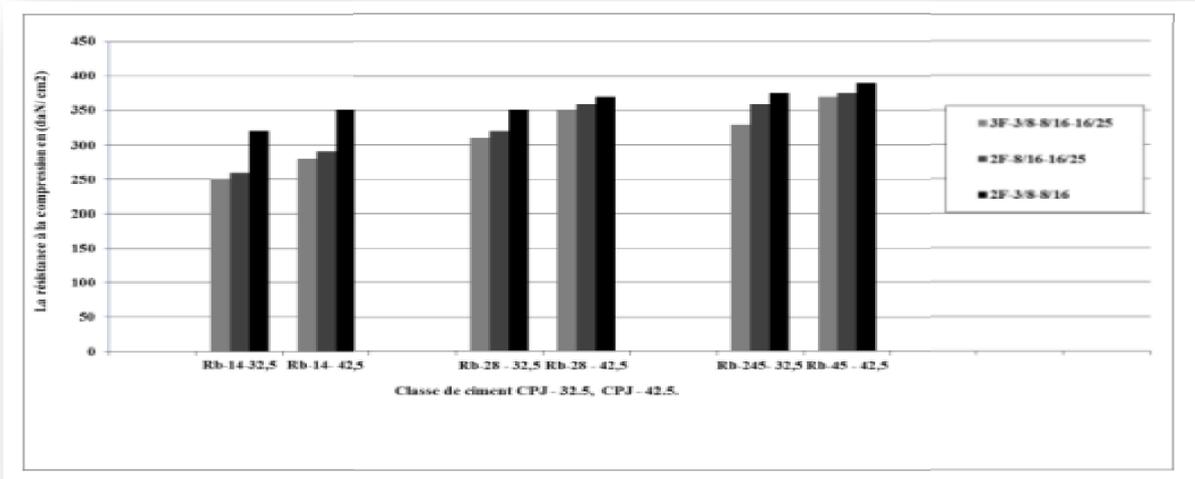


Figure II.8. Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction de la granulométrie des granulates et le temps de durcissement pour deux classe de ciments (E/C=0.5 et C=350kg)

II.1.5. Influence de la propreté des granulates :

Les résultats représentés sur la figure II.9 montrent que la résistance à la compression des bétons avec des granulates propre (lavé) est élevée par rapport aux bétons avec des granulates non lavé. Ceci s'explique par le fait de la présence des éléments fins et leur collage sur la surface des gravillons qui peut empêcher une bonne adhérence [41].

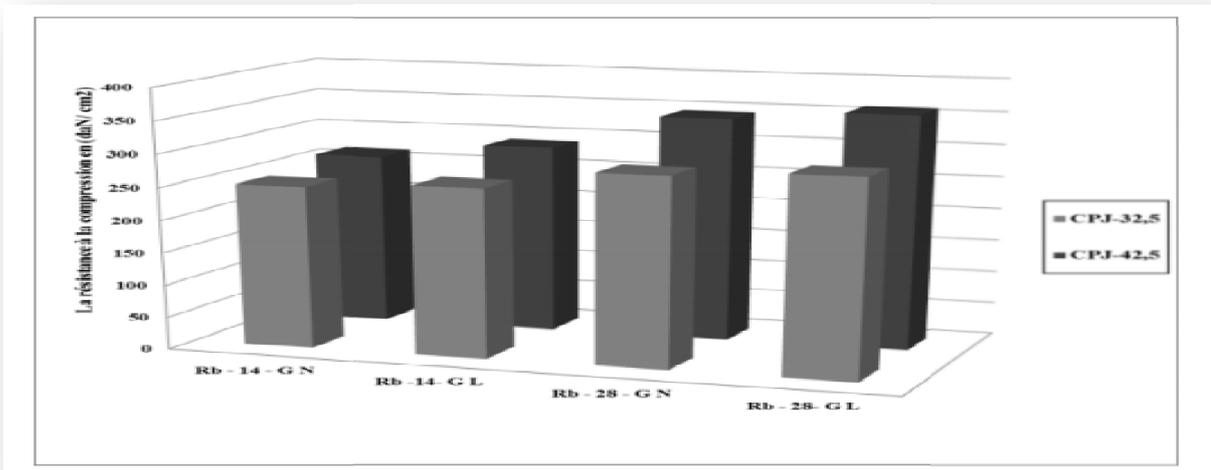


Figure II.9. Evolution de la résistance à la compression des bétons en fonction de la propreté de granulates pour deux classe de ciments (E/C=0.5 et C=350kg)

II.1.6. Influence du rapport granulat/ciment :

Le rapport granulat/ciment (G/C) est un facteur de deuxième importance quand à la

résistance, mais, pour un rapport E/C constant, [42] cités par [39], ont montré qu'un béton plus faiblement dosé était plus résistant (figure II.10).

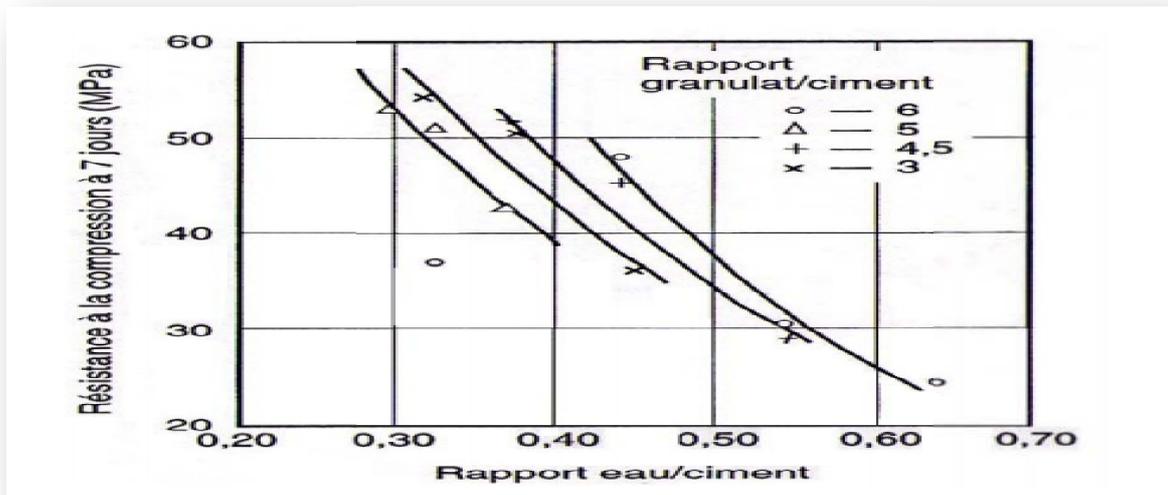


Figure II.10. Influence du rapport G/C sur la résistance du béton [25]

II.1.7. Influence de l'Âge :

[8] 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.11). 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.

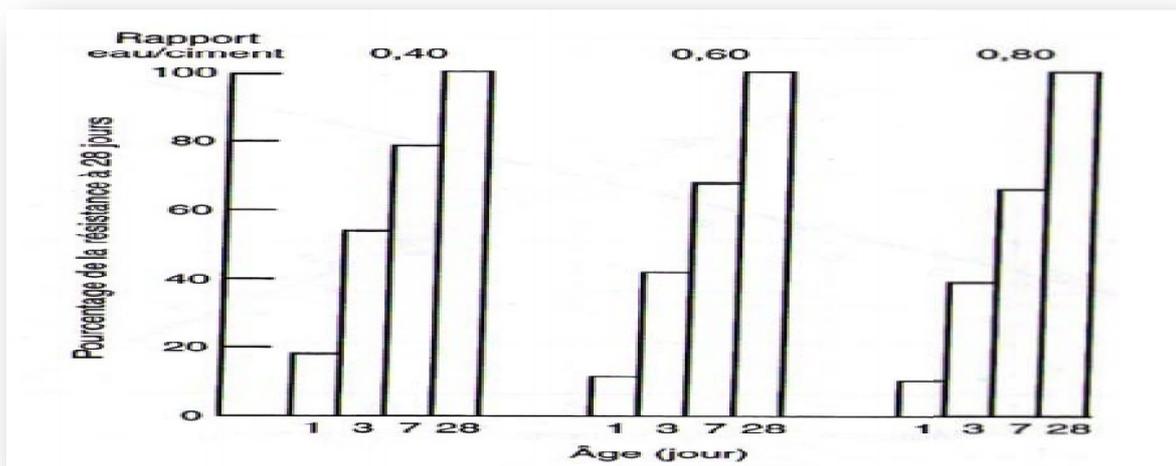


Figure II.11. Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire [43]

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.

II.1.8. 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 ; Alexander son J., 1972 ; Byfors J., 1980 ; Regourd M. et Gautier E., 1980, etc.) ont montré que : plus la température de fabrication et/ou de mûrissement est élevée, plus la résistance à court terme est élevée. Alors qu'à long terme, l'influence de la température est inversée, c'est-à-dire que plus la température initiale est élevée, moins bonnes sont les résistances.

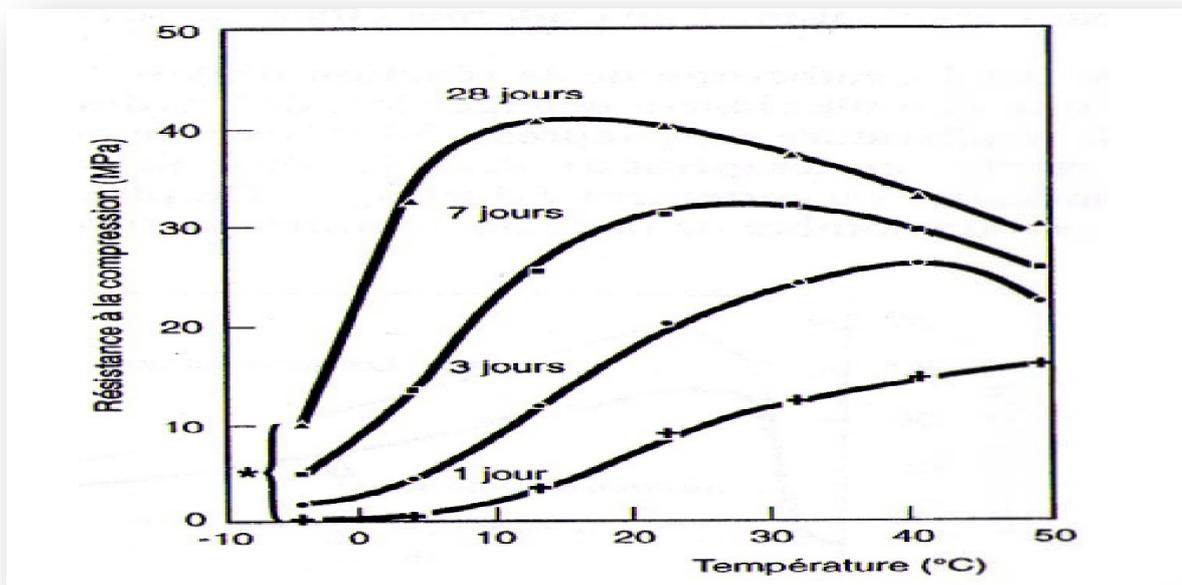


Figure II.12. Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances [44]

La **figure II.12** 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 [45].

II.1.9. Influence des adjuvants :

L'incorporation d'un super plastifiant au béton a entraîné une modification de l'ouvrabilité, chacun selon son dosage et sa nature chimique. Les **figures II.13 (a et b)** présentent l'évolution de l'affaissement pour différents dosages en super plastifiants (SP1), (SP2) et différents rapports (E/C). Comme on pouvait s'y attendre, l'ouvrabilité augmente avec le dosage en eau et en super plastifiant.

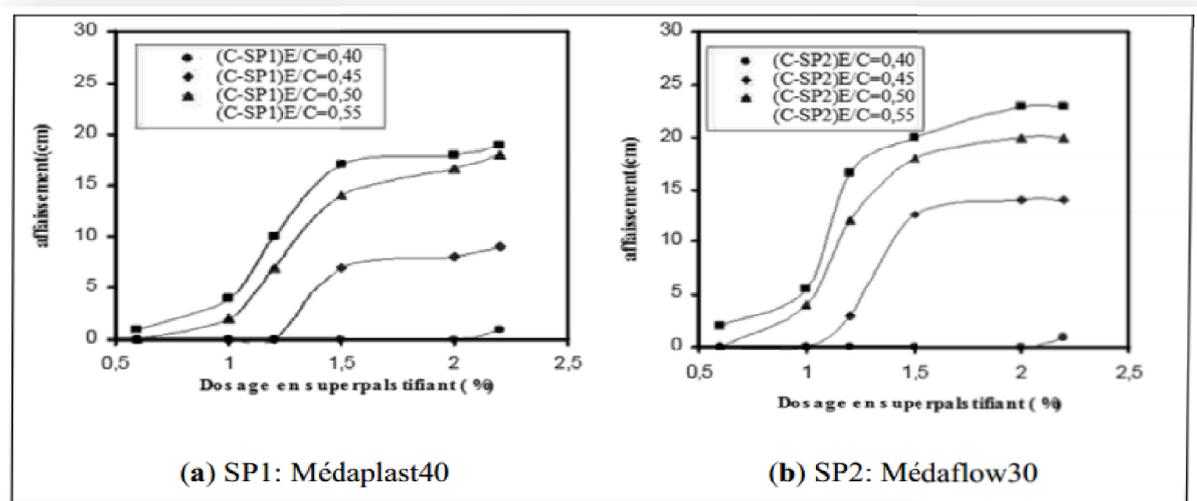


Figure II.13. Effet du dosage en super plastifiant sur l'affaissement [46].

La **figure II.14 (a) et (b)** montrent la variation de la résistance à la compression en fonction du dosage en super plastifiant (SP1 et SP2) avec un rapport E/C égal 0.55.

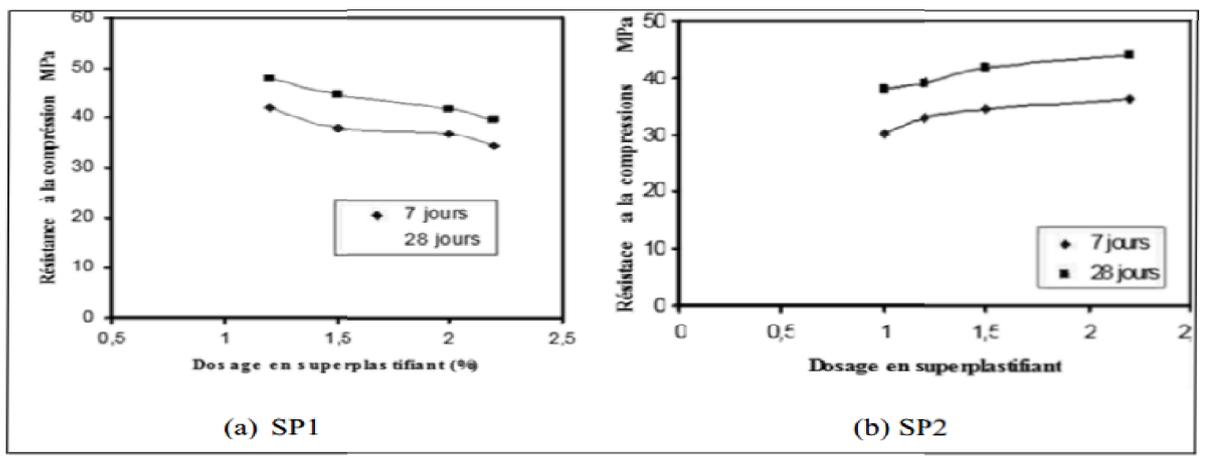


Figure II.14. Variation de la résistance à la compression d'un béton adjuvanté par SP1 et SP2 [46].

II.1.10. Influence de la teneur en fines calcaires sur l'affaissement des bétons :

Les valeurs de l'affaissement mesurées par le cône d'Abrams des différents bétons recyclés et ordinaires sont représentées graphiquement dans la figure II.15 :

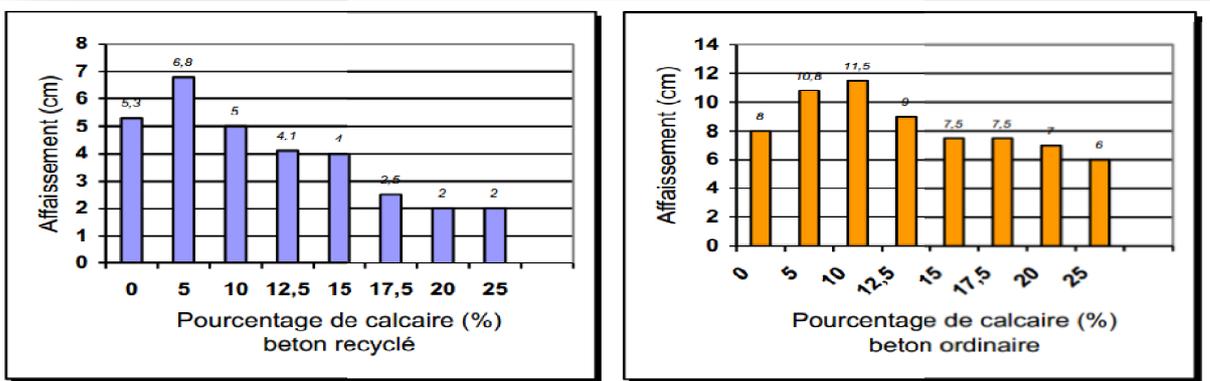


Figure II.15. Variation de l'affaissement en fonction du pourcentage de calcaire.

La figure II.15 montre que les bétons ordinaires ont des valeurs satisfaisantes pour l'ouvrabilité. On obtient une ouvrabilité plastique et très plastique pour les bétons ordinaires testés.

Par contre, pour les bétons recyclés on remarque que l'affaissement mesuré présente une ouvrabilité ferme, excepté la composition BR 5%. Ceci peut être expliqué par les granulats recyclés de béton qui sont caractérisés par une forte capacité à absorber l'eau. De plus, il semble que la partie plus fine des granulats recyclés absorbe une quantité d'eau plus élevée

que les éléments plus grossiers [46]. La nécessité des bétons recyclés d'une quantité d'eau supplémentaire (approximativement 15%) est importante pour l'obtention d'une ouvrabilité plastique similaire à celle d'une composition de béton de granulats naturels. Ce résultat concorde parfaitement avec la littérature [47].

La présence du calcaire améliore la maniabilité des bétons recyclés notamment pour le dosage à 5% de calcaire. Pour les bétons ordinaires, l'affaissement augmente sensiblement par rapport au béton de référence (BO 0%) pour les taux de calcaire allant de 5% à 10%. Cela est peut être dû, d'une part, à la substitution de la partie fine de sable par les fines calcaires. Donc moins de partie argileuse, qui absorbe beaucoup d'eau, et d'autre part à la finesse du calcaire remplissant les pores et libérant l'eau emprisonnée.

En plus, à un taux au-delà de 10% pour le béton ordinaire et à un taux au-delà de 5% pour le béton recyclé, le calcaire a une influence négative sur l'affaissement. Cela prouve que la quantité importante du taux de calcaire accroît sensiblement la demande en eau. Pour la composition BO 12,5%, on obtient un affaissement supérieur à celui du béton témoin BO 0%.

II.1.11. Influence de la teneur en fines calcaires sur la masse volumique des bétons :

Les résultats de l'évolution de masse volumique en fonction de taux de calcaire sont illustrés par la figure II.16 et la figure II.17 :

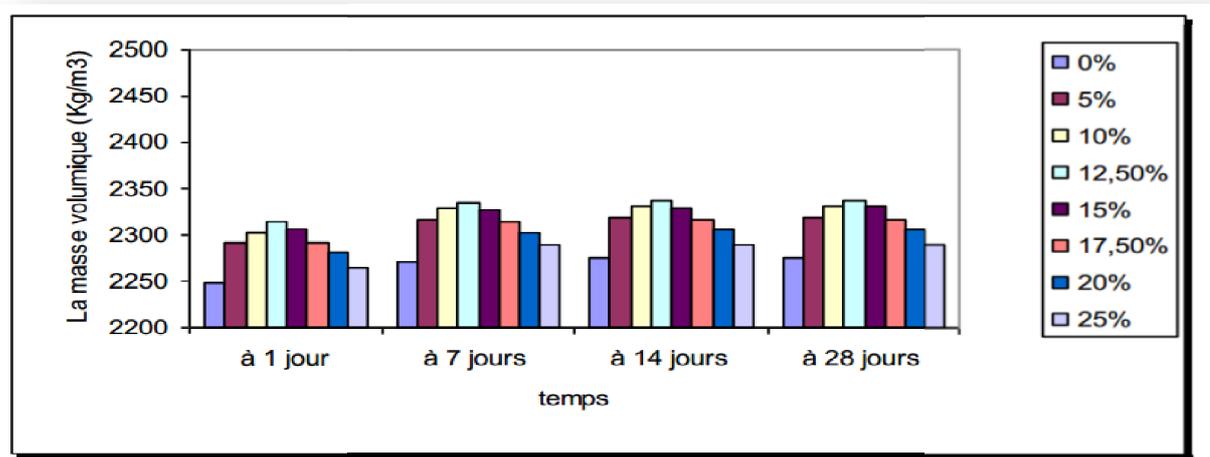


Figure II.16. Variation de la masse volumique des bétons recyclés avec des fines

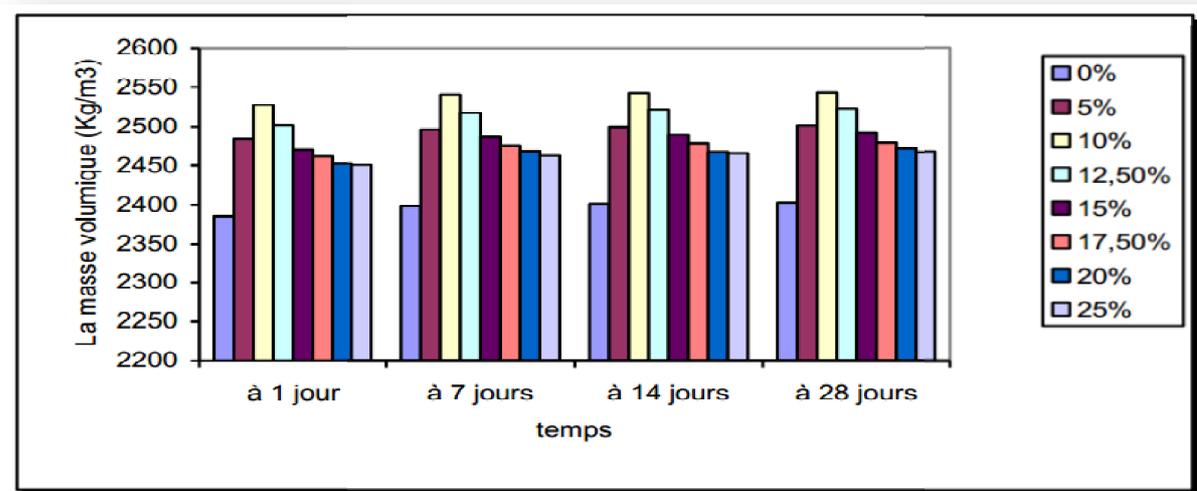


Figure II.17. Variation de la masse volumique des bétons ordinaires avec des fines calcaires en fonction de temps.

D'après les figures 16 et 17, la compacité optimale observée des mélanges est obtenue à 10% de calcaire pour le béton ordinaire et à 12,5% de calcaire pour le béton recyclé où on note la valeur maximale de la masse volumique des bétons étudiés. Ces optimums observés traduisent forcément une meilleure compacité des mélanges.

A partir de ces figures, il a été noté que la masse volumique augmente rapidement pour des taux de calcaire allant de 0 à 10% pour le béton ordinaire et de 0% à 12,5% pour le béton recyclé quel que soit l'âge des éprouvettes des bétons testés (ordinaire, recyclé) (après 24 heures, 7, 14 et 28 jours). Ceci s'explique par le rôle de remplissage des fines calcaires qui s'insèrent dans les vides et les pores capillaires, ce en diminuant la porosité du squelette du béton. Par contre, l'incorporation de calcaire au delà de 12,5% conduit à un effet inverse.

II.1.12. Influence de calcaire sur les propriétés des bétons durcis :

II.1.12.1. Résistance à la compression :

Les résultats des essais de la résistance à la compression effectués sur les bétons recyclés et ordinaires contenant différents pourcentages de calcaire en fonction de l'âge sont représentés graphiquement dans les figures II.18 et II.19.

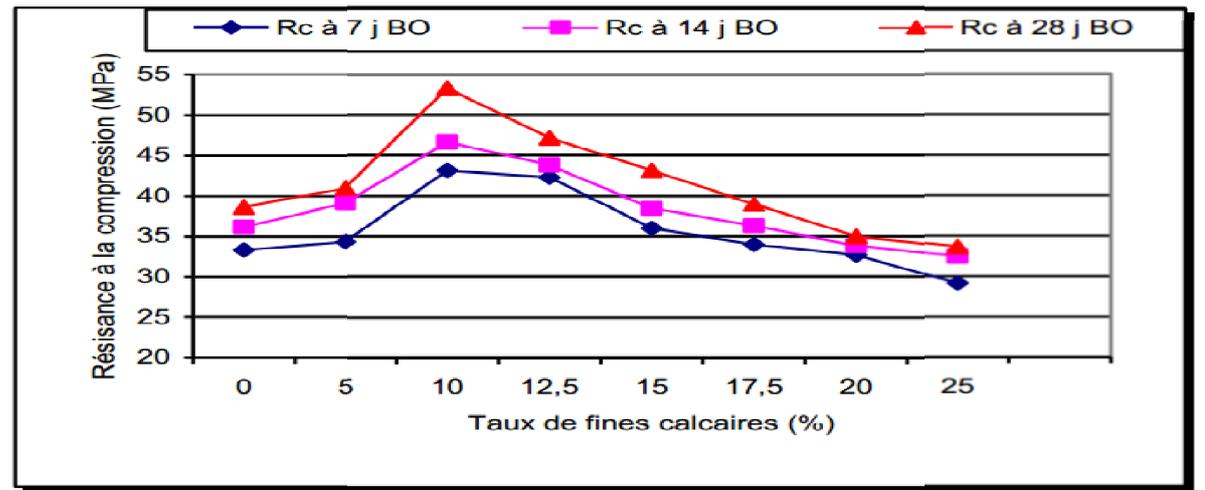


Figure II.18. Variation de la résistance à la compression des bétons ordinaires en fonction du taux de calcaire.

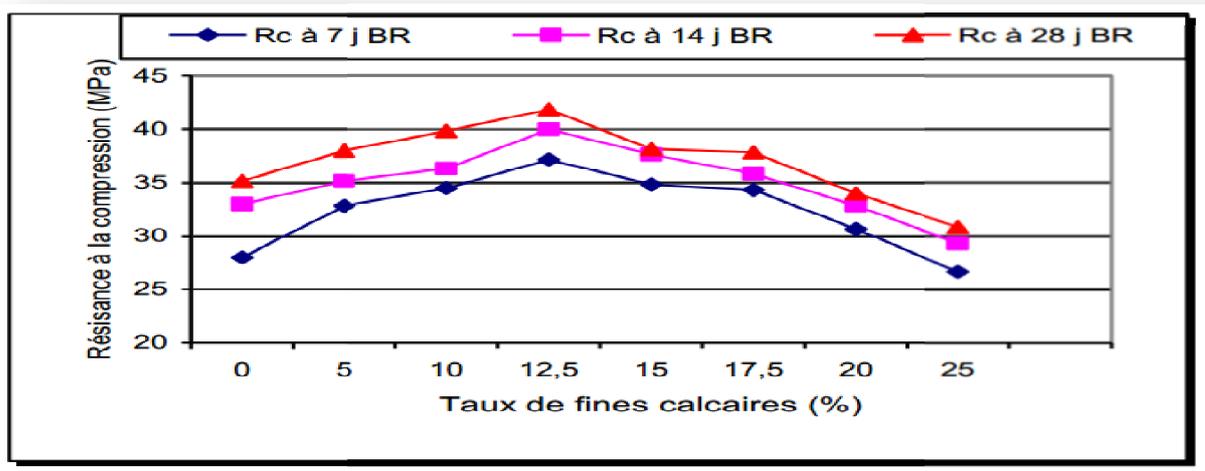


Figure II.19. Variation de la résistance à la compression des bétons recyclés en fonction du taux de calcaire.

A partir des résultats obtenus, nous remarquons, pour tous les bétons, une augmentation évolutive de la résistance à la compression avec l'âge du béton et ne présentant aucune chute. Ainsi, on observe que les bétons étudiés présentent des résistances en compression acceptables aux jeunes âges et ils présentent des performances mécaniques satisfaisantes en compression.

D'après la figure 19. On constate que l'évolution de la résistance en compression en incorporant divers taux de calcaire présente la même allure, quel que soit l'âge des éprouvettes, à 7, 14 et 28 jours des différents types de bétons testés (recyclés ou ordinaires). On remarque aussi que l'ajout de calcaire de 5% et 10% pour le béton ordinaire et 5%, 10% et 12,5% pour le béton recyclé améliore la résistance à la compression des bétons étudiés à moyen et à long terme par rapport à un béton témoin (BR 0%, BO 0%). Le facteur le plus responsable de cette légère amélioration de la résistance mécanique serait bien sûr : la grande finesse de calcaire utilisé qui remplit un maximum de vides entre les grains de ciment et les granulats. En suite, on note après 10% et particulièrement à 12.5 et 15% de fines calcaires, une chute de résistance à la compression de béton ordinaire qui toutefois, reste supérieure à celle de béton ordinaire témoin (BO 0%). Par contre, la résistance à la compression de béton recyclé BR 15%, rejoint de près celle du béton témoin BR 0%. Au-delà de ce pourcentage d'ajout de calcaire, il y a une diminution de la résistance de béton recyclé par rapport à celle de béton recyclé sans calcaire. Ainsi, on remarque que l'ajout de calcaire au delà de 15% pour le béton ordinaire, la résistance obtenue est toujours plus faible à celle du béton ordinaire sans calcaire.

De plus, la résistance des bétons ordinaires est toujours supérieure aux celles des bétons recyclés quelque soit la quantité de calcaire ajouté. Cela est du aux propriétés mécaniques des granulats recyclés qui s'avèrent être moins bonnes que celles des granulats naturels [48].

Conclusion :

Les résultats obtenus par cette recherche peuvent mener aux conclusions suivantes :

- ❖ La quantité de calcaire ayant une influence significative sur le comportement du béton recyclé et du béton ordinaire, à l'état frais et l'état durci.
- ❖ Le diamètre maximal des granulats influé négativement sur la qualité du béton. Le béton avec $D_{max}=16\text{mm}$ offre une bonne résistance à la compression que le béton avec $D_{max}=25\text{mm}$.
- ❖ La propreté des granulats influe sur la résistance des bétons, une meilleure résistance à la compression est obtenue avec granulats propres.
- ❖ La résistance des bétons ordinaires est toujours supérieure à celles des bétons recyclés, quelque soit la quantité de calcaire ajouté.
- ❖ Le rapport E/C, la nature du ciment et du super-plastifiant et fine calcaire affectent le comportement rhéologique du béton.
- ❖ Ouvrabilité qui contrôle la mise en place du béton et résistance mécanique qui conditionne la capacité portante de l'ouvrage.
- ❖ Nécessaire d'attacher une importance particulière à l'influence de chaque paramètre afin d'aboutir à une formulation optimale et d'atteindre au mieux les caractéristique recherchées.

CHAPITRE III

Introd**uction :**

Nous présentons dans ce chapitre les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton et les méthodes des essais qui seront mises en œuvre dans la suite de ce travail ; Nous avons procédé à des essais de caractérisation en laboratoire du département de génie civil de L'université de Biskra.

Nous avons utilisé pour la confection du béton les matériaux locaux (composants usuels dans la région) suivants :

- ✓ **Ciment** : le ciment portland composé (CEMII/A-L 42.5) provient de la cimenterie d'Ain Touta :
- ✓ **Granulats** :
 - deux fractions de gravier (7/15,15/25) L'Hadjeb (Biskra)
 - le sable de carrières de L'Hadjeb
- ✓ **L'eau potable.**
- ✓ **Adjuvant (retardateur de prise et fluidifiant)**

III.1. Le ciment :**III.1.1. Les caractéristiques chimique et minéralogique de ciment utilisé :**

La composition chimique a été établie dans la cimenterie Ain Touta. Elle est présentée au **tableau III.1.** selon la fiche technique de cimenterie d'Ain Touta.

Tableau III.1. Analyse chimique du ciment (CEMII/A-L 42.5)

Composition Chimique	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mg	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	Pert au feu	Chau libre
Teneur (%)	59.4	20.65	4.92	2.97	1.01	0.80	0.19	2.75	0.021	6.02	0.78

Le **Tableau III.2.** montre la composition minéralogique déterminée d'après la formule de Bogue.

Tableau III.2. Analyse minéralogique

Composition minéralogique	CEMII/A-L 42.5 (%)
C ₃ S	47.15
C ₂ S	23.35
C ₃ A	8.7

C ₄ AF	11.26
-------------------	-------

III.1.2. Les caractéristiques physiques :

➤ La finesse :

L'étude de la finesse de mouture, pour les liant est indispensable puisqu'il influe considérablement sur la résistance mécanique, la maniabilité...etc. la finesse d'un ciment peut être caractérisée par sa surface massique : c'est la surface totale des grains contenus dans une unité de masse exprimée en (m²/Kg) de poudre ou (cm²/g).

Elle est calculée en fonction du temps au moyen de l'appareil appelé « perméabilimètre de Blaine » (NF EN196-6)

La surface massique : $S = C_{app} \times C_d \times C_t \times \sqrt{T}$

Avec :

C_{app} : la constante de l'appareil (0.255)

C_d : la constante de la masse volumique absolue de ciment

C_t : la constante de la température de l'aire ambient.

➤ La masse volumique absolue :

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue du ciment qui varie en fonction de la composition du ciment, tout en restant comprise entre 3.0 et 3.2 g/cm³ (NF EN196-7)

➤ Le temps de prise :

Le début ou la fin de prise dépend de plusieurs paramètres, il varie notamment suivant la composition chimique et la finesse de mouture de ciment étudié, il dépend aussi de la température ambiante et, le cas échéant, des dosages en adjuvant, utilisés à une même température et sans adjuvant, deux ciments différents pourront se distinguer, par une plus ou moins grande rapidité de prise.

L'objectif de l'essai est de définir, pour un ciment donné, un temps qui soit signification de cette rapidité de prise. (NF EN196-3)

Tableau III.3. Résume les résultats des différents essais physiques sur le ciment

Caractéristiques	Masse Volumique Apparente ; (g/cm ³)	Masse volumique Absolue ; (g/cm ³)	Surface spécifique (BLAINE) ; (cm ² /g)	Temps de début de prise ; (heures)	Temps de fin de prise (heures)

CEMII/A-L 42.5	1.05	3.11	3541	2 : 30	3 :45
----------------	------	------	------	--------	-------

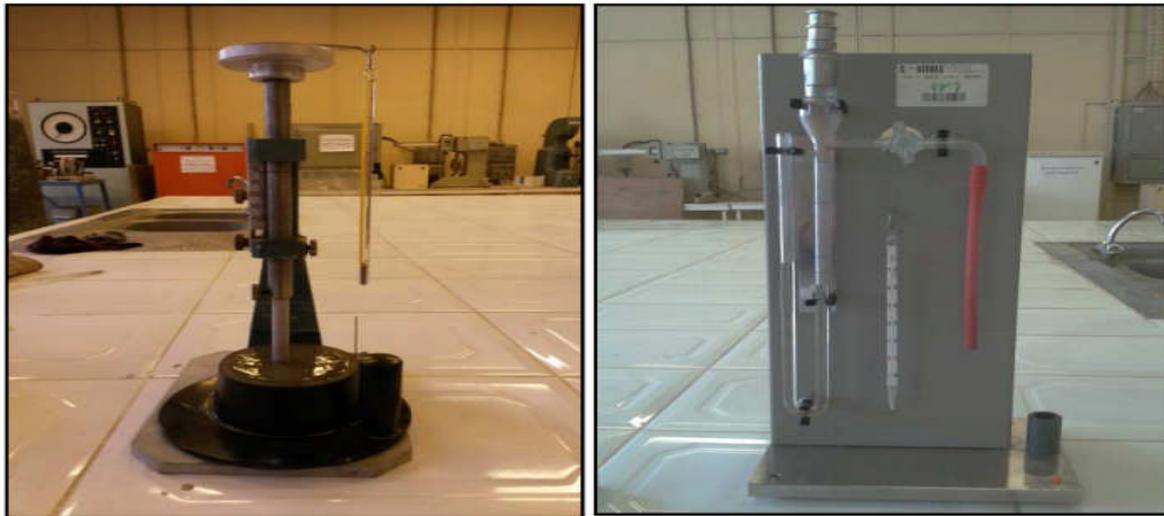


Photo III.1. Différents dispositifs employés pour le calcul de la consistance, du temps de prise et de la finesse (Vicat à gauche, Blaine à droite)

III.2. Les granulats :

III.2.1. Granulométrie et forme des grains :

L'analyse s'effectue par tamisage avec un jeu normalisé de tamis et de passoires. On superpose les tamis par dimensions croissantes, et l'on place un récipient sans ouverture sous la pile. Après tamisage, on mesure les refus de chaque tamis ainsi que le tamisât ayant passé à travers le tamis le plus fin. La courbe granulométrique est la carte d'identité d'un granulat. Elle indique les proportions des grains de chaque dimension. Elle doit se faire conformément à la norme **NF EN 933-1**,

➤ Analyse granulométrique du Sable de carrière :

La granularité du sable est déterminée selon la norme **NF EN 993-1**, les résultats d'essais sont présentés dans le **tableau III.4**

Le poids de L'échantillon $M = 2 \text{ Kg}$

Tableau III.4. Analyse granulométrique du sable de carrière.

Tamis, (mm)	Refus partiel, (%)	Refus Cumulés, (%)	Tamisât, (%)
5	0.37	0.37	99.63
2.5	8.60	8.97	91.03
1.25	39.81	48.78	51.22
0.63	21.72	70.50	29.50
0.315	15.05	85.55	14.45
1.16	8.98	94.53	5.47
0.08	5.14	99.67	0.33
Fond	0.33	100	0

- **Module de finesse :**

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse **MF**. celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés pour les tamis d'ouverture : **0.16-0.315-0.63-1.25-2.5** et **5 (mm)** sur **100**, déterminée selon la norme **NFP 18-540**. Le module de finesse se détermine par la relation suivante :

$$Mf = \sum Rc / 100$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau III.5**.

Tableau III.5. Module de finesse (**Mf**) de sable de carrière

Type de sable	Module de finesse
Sable de carrière sans modification	2.14
Sable de carrière tamisée et lavé	3.08

➤ Pour notre sable on a :

- Sable de carrière tamisée et lavé : sable grossier
- Sable de carrière sans modification : sable fin

- ❖ **Analyse granulométrique des pierres concassées du 7/15**

Le poids de l'échantillon $M = 3 \text{ Kg}$

Tableau III.6. Analyse granulométrique des pierres concassées du 7/15

Tamis, (mm)	Refus partiel, (%)	Refus Cumulés, (%)	Tamisât, (%)
20	0	0	100
16	2.26	2.26	97.74
12.5	23.8	26.06	73.94
10.0	50.63	76.69	23.31
8.0	18.07	94.76	5.24
6.30	4.44	99.20	0.8
Fond	0	100	0

➤ **Analyse granulométrique des pierres concassées du 15/25**

Le poids de L'échantillon M = 5 Kg

Tableau III.7. Analyse granulométrique des pierres concassées du 15/25

Tamis, (mm)	Refus partiel, (%)	Refus Cumulés, (%)	Tamisât, (%)
31.5	0	0	100
25	0.41	0.41	99.59
20	56.10	56.51	43.49
16	37.01	93.52	6.48
12.5	5.81	99.33	0.67
10.0	0.67	100	0



Photo III.2. Essai granulométrique en fonction des matériaux utilisés

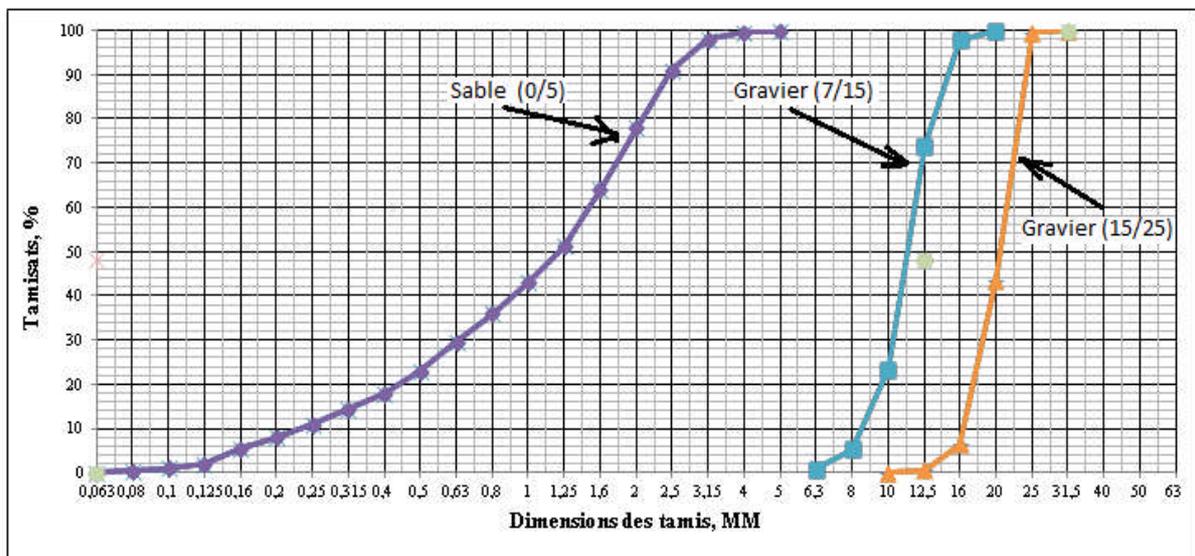


Figure III.1. Courbes granulométriques des granulats concassés (SC) pour béton.

III.2.2. Les caractéristiques physiques :

III.2.2.1. La masse volumique apparente :

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

$$A = M_t / V_t$$

Avec :

M_t : masse totale d'échantillons.

V_t : volume total d'échantillon.

III.2.2.2. La masse volumique absolue :

C'est la masse par unité de volume de la matière solide qui constitue le sable sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains, elle est donnée par la formule suivante

$$Ab = Mt/Va$$

Avec :

Mt : masse totale d'échantillon.

Va : volume absolu d'échantillon.

- les résultats sont résumés dans le **tableau III.8**

Tableau III.8. Masse volumiques des granulats utilisés.

Les granulats	Gravier 7/15	Gravier 15/25	Sable de carrière avec fine	Sable de carrière sans fine
Masse volumique apparents, g/m ³	1.36	1.36	1.61	1.40
Masse volumique absolue, g/m ³	2.63	2.60	2.6	2.7

III.2.3. Propreté des granulats :

➤ Équivalent de sable :

Cet essai est défini par la norme NF P18-598, il est utilisé pour évaluer la propreté du sable entrant dans la composition du mortier, par conséquent la proportion des impuretés argileuses contenants dans le sable par rapport à la quantité des grains solide sableux. Il est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Il consiste de laver un poids défini de sable dans une solution la vente. Après agitation, on laisse le mélange se décanter pendant 20 min, on en déduit l'équivalente se sable qui est par convection :

$$ES = (h_1/h_2) * 100$$



Photo III.3. Essai d'équivalent de sable.

h_1 : hauteur des grains solides sableux

h_2 : hauteur des grains solides sableux+des impuretés argileuses.

ES=l'équivalent de sable. Selon la hauteur h_2 mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine :

ESV (équivalent de sable visuel) ;

ESP (équivalent de sable au piston).

Les résultats de l'essai sur le sable utilisé figurent au **tableau III.9** :

Tableau III.9. Résultats d'équivalente de sable.

Type de sable	ESV%	ESP %	Nature et qualité du sable
Sable de carrière avec fine	60.5	51.8	Sable fines calcaires : Risque de retrait ou de gonflement, rejeté pour des bétons de qualité.
Sable de carrière sans fine	91.5%	84.8%	Sable très propre : L'absence totale de fines calcaire, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton.

III.2.4. Compacité et porosité des granulats :

La compacité d'un matériau est proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue .c'est le rapport entre la masse volumique apparente (γ_{app}) et la masse volumique absolue du matériau (ρ_{abs}).

La compacité est donnée par le rapport :

$$C = \gamma_{app}/\rho_{abs}$$

III.2.4.1. La porosité :

C'est le volume des vides entre les grains du sable, la porosité par définition est le complément à l'unité de compacité.

$$P, \% = 100 - C\%$$

Comme elle peut être exprimée par la relation suivante :

$$P, \% = [1 - \gamma_{app}/\rho_{abs}] * 100$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau III.10**.

Tableau III.10. Compacité et porosité des granulats.

Les granulats	Gravier		Sable	
	G (7/15)	G (15/25)	Sable de carrière avec fine	Sable de carrière sans fine
$C = [\gamma_{app}/\rho_{abs}]$	51.71	52.31	61.54	51.85
$P = 1 - C$	50.71	51.31	38.46	48.15

III.2.4.2 .Indice de vides :

C'est le rapport entre la porosité et la compacité

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

On obtient les résultats dans le **tableau : III.11**

Tableau III.11. Indice de vide de différent type des granulats.

Les granulats	Gravier		Sable	
	G ₁ (7/15)	G ₂ (15/25)	Sable de carrière avec fine	Sable de carrière sans fine
Indice de vide : $I = P/C$	0.98	0.98	0.62	0.92

III.2.4.3 .La teneur en eau W :

La teneur en eau (**W**) d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec.

$$W, \% = \frac{E}{P_s} \times 100 = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

E : poids d'eau dans le matériau.

P_s : poids du matériau sec.

P_h : poids du matériau humide.

III.2.4.4. Absorption d'eau :

On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon.

Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20°C.

A la masse sèche de l'échantillon conformément à la norme (NF P 18-555).

Le coefficient d'absorption (**Ab**) est défini par la relation :

$$Ab, \% = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$$

M_s : Masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C.

M_h : Masse de l'échantillon imbibé, surface sèche déterminée comme suit.

Tableau III.12. Les résultats des essais sur les granulats étudiés

Granulats	Gravier 7/15	Gravier 15/25
Abs%	1.40	0.68

Les principales propriétés physico-chimiques de sable carrière sont présentées dans le **tableau II.13**

Tableau III. 13. Résultats des différents essais physico-chimiques sur sable carrière

Propriétés	Sable de carrière sans fine	Sable de carrière avec fine
équivalent de sable carrière au piston.	91.5	51.8
équivalent de sable carrière visuel.	84.8	60.5

Tableau III.14. Résultats de la masse volumique absolue de sable carrière modifiée par pourcentage de fines calcaire.

Propriétés	(SC-25% fine calcaire)	(SC-30% fine calcaire)	(SC-35% fine calcaire)
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.7	2.7	2.7

III.3 : Filler calcaire :

Les fines calcaires utilisés sont de couleur blanche et de nature essentiellement calcaire (**Tableau III.15**). Elles proviennent de la région d'El- Hadjeb (Wilaya de Biskra) tamisage au tamis de 80 μm des déchets de concassage d'agrégats calcaires (**photo III.4**).



Photo III.4. Filler calcaire utilisé

Les caractéristiques physiques suivants tableaux **III.15**

Tableau III.15. Les caractéristiques physiques de filler calcaire

Les caractéristiques physiques	La masse volumique absolue, (g/cm^3)	La masse volumique apparente, (g/cm^3)	La compacité %	La Porosité %
Filler calcaire	2.4	1.31	54.59	45.41

III.4 .L'eau :

En référence à la norme **NF EN 1008**, l'eau potable toujours utilisable, mais dans certains cas l'eau contient des impuretés, ce qui nécessite une analyse chimique pour déterminer les impuretés qui se trouvent donc l'eau de gâchage doit être vérifiée trois critères (chimique, physique et mécanique), si elle présente un doute pour éviter tout risque nous avons opté pour une eau de gâchage qui est l'eau potable qui ne présente aucun risque d'après la norme sus

citée . L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable (eau de robinet) fournie au laboratoire de génie-civil à l'université de Biskra.

III.5 .Les adjuvants :

Ce produit est un super plastifiant haut réducteur d'eau pour béton à faible E/C, hautes performances et long maintien d'ouvrabilité. Cet adjuvant a été développé pour l'utilisation dans l'industrie du béton et mortier où haute qualité, durabilité, performance et ouvrabilité sont requises. Ses caractéristiques sont les suivantes:

Tableau III.16. Les caractéristiques de l'adjuvant utilisé.

Aspect	Liquide
Couleur	brun clair
Densité	1 ,06 ± 0,01
pH	6 ± 1
Teneur en Na ₂ O Eq	≤1 %
Extrait sec	30,2 ± 1 ,3 %
Teneur en ions Cl	≤0,1 %
Conservation	1 an en emballage intact

III.5.1. Essai sur les adjuvants :

III.5.1.1. Essai d'extraits secs d'adjuvants :

On a pesé $M_1 = 10$ g d'adjuvant liquide et mettez dans l'étuve pendant 6h à 105°C en obtient

M_2 masse de l'extrait sec de l'adjuvant donc : **Extrait sec (%) = $\frac{M_2}{M_1} \times 100$**



Photo III.5. Essai d'extraits secs d'adjuvants

III.5.1.2. Essai de densité d'adjuvant :

Pour étudier l'effet d'un adjuvant, il est important de savoir sa densité pour le calcul de son dosage entrant de la formulation du béton.

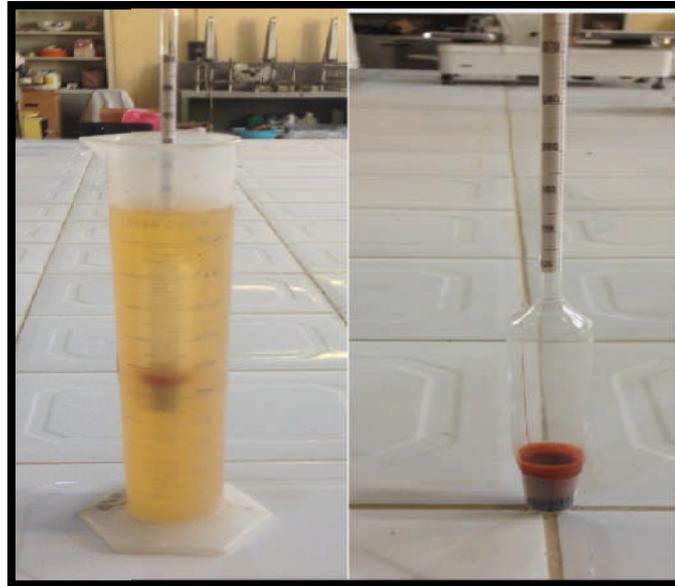


Photo III.6. Essai de densité d'adjuvant.

Les caractéristique de l'adjuvant utilisé voir **tableau III.17**:

Tableau III.17. Caractéristique de l'adjuvant utilisé.

L'adjuvant	La densité (g/cm ³)	Extrait sec, (%)
SIKA VISCOCRETE TEMPO 12	1.060	30

III.6. Composition du béton :

Dans le cadre de cette étude ,on utilise deux méthode de formulation de béton (la méthode de B. Skramtaive et Dreux Gorisse) avec trois dosage de ciment (350 et 400) Kg/m³ Et deux de rapport E/C (**0.6 et 0.7**) avec deux fraction de gravier (G₁7/15 et G₂15/25) , un sable de carrière et trois dosages en fine calcaire (25% ;30% et 35%) aussi l'utilisation d'un adjuvant fluidifiant - SIKA VISCOCRETE TEMPO 12- (**1%,0.5%**).

Notre étude divisée en trois phases :

❖ **la première phase :**

Cette phase avait objectif de l'étude de la résistance à la compression à 7, 14, 28 et 45 jour.

- pour le rapport $E/C = 0.6$ et deux dosage de ciment (350 ; 400) Kg/m^3 avec des dosages en fine calcaire (25% ; 30% ; 35%), confectionné avec le sable de carrière.
- pour le rapport $E/C=0.7$ et deux dosage de ciment (350 ; 400) Kg/m^3 avec un dosage en fine calcaire de (30 %), confectionné avec le sable de carrière.

❖ **La deuxième phase :**

Cette phase avait objectif de l'étude de résistance à la traction par fendage et la résistance à la flexion à 28 jours.

- pour le rapport $E/C = 0.6$ et deux dosage de ciment (350 ; 400) Kg/m^3 avec des dosages en fine calcaire (25% ; 30% ; 35%), confectionné avec le sable de carrière.
- pour le rapport $E/C = 0.7$ et deux dosage de ciment (350 ; 400) Kg/m^3 avec un dosage en fine calcaire (30 %), confectionné avec le sable de carrière.

❖ **la troisième phase :**

Avait pour objectif l'étude des propriétés rhéologique des bétons frais et ces caractéristiques mécaniques à 7,14 ,28 et 45 jours des bétons durcis en utilisant un adjuvant fluidifiant.

- pour le rapport $E/C=0.6 ; 0.7$ et deux dosage de ciment (350 ; 400) Kg/m^3 avec dosage en fine calcaire (25% ; 30% ; 35%), confectionné avec le sable de carrière, et un dosage d'adjuvant de 1%,0.5%.

III.7. Procédure de gâchage :

Les coulis ont été préparés dans un malaxeur d'une capacité maximale de 50L

La préparation de l'échantillon comprend les étapes suivantes :

- 1) Introduction du sable et des gravillons ; malaxage pendant 1 minute (les granulats sont utilisé à l'état sec) ;
- 2) Introduction du ciment et poursuite du malaxage ;

- 3) Trente secondes après l'introduction du ciment, ajout de l'eau de gâchage ;
- 4) Dans le cas de l'utilisation de l'adjuvant, nous ajoutons après l'ajoute de l'eau de gâchage ;
- 5) Continuer le malaxage jusqu'à 2 minutes ;
- 6) Mesure l'ouvrabilité du béton frais immédiatement à la fin du malaxage.

III.8 .Confection et cure des éprouvettes :

Des moules cubiques ($10 \times 10 \times 10$) cm^3 ont été réalisés pour les essais de compression, de l'absorption d'eau par immersion, le ramollissement et la durabilité . Des prismes ($10 \times 10 \times 40$) cm^3 pour l'essai de flexion simple et des cylindres (16×32) cm^2 pour l'essai de traction par fondage. La confection des éprouvettes est faite conformément aux **norme NF P18-404** (déc.1981). La conservation des éprouvettes couvertes par du plastique a été faite à l'air pendant 24h ensuite, après démoulage elles sont conservées dans l'eau à **20°C**.



Photo III.7 .Malaxeur et moules utilisés pendant les essais

III.9 .Programme des essais :

III.9.1 . Propriétés physiques :

III.9.1.1 . L'ouvrabilité :

- ✓ **essai d'étalement sur Table de secousses (Flow Test) :**

L'ouvrabilité pour les bétons ferme a été mesurée par la table à secousses **figure III.2** conformément aux **normes (NF EN 1235065)**. Le moule tronconique est rempli de béton et

démoulé puis il reçoit 15 chocs en 15 secondes . on mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue (**figure III.2**); Etalement est donnée par la formule :

$$E, \% = \frac{D-25}{25} \times 100 \quad \text{D'où } D = \frac{D_1+D_2}{2}$$

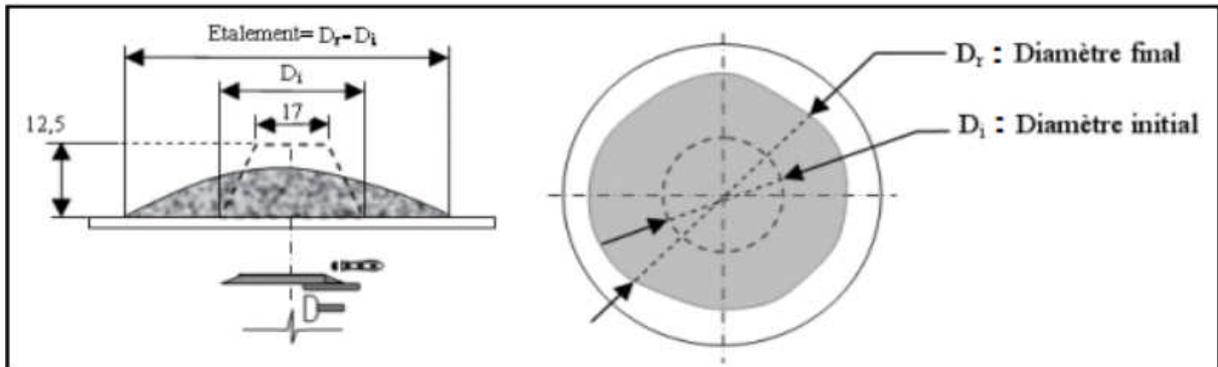


Figure. III.2 . mesure de l’affaissement à la table à secousses



Photo III.8 . table à secousses utilisée lors des essais

En fonction des essais d'étalement des bétons frais les résultats des tests seront déterminés selon les tableaux suivants **Tableau III.18** et **Le Tableau III.19**.

Tableau III.18 . classification du béton selon l'étalement

Plasticité de béton	Etalement %
Très frais	10 à 30
Ferme	30 à 50
Plastique	50 à 70
Très Plastique (moule)	70 à 100

Le Tableau III.19 donne une relation entre divers essais de consistance et de maniabilité :

Tableau III.19 . Correspondance entre différentes valeur de consistance et de maniabilité

Consistance	Affaissement(cm)	Etallement à la base à secousses (%)	Nombre de secousses au test C.E.S	Temps d'écoulement au maniabilimètre sec
Ferme	1 à 4	20 à 50	70 à 30	≥ 25
Plastique	5 à 9	50 à 70	30 à 15	5 à 25
Molle	10 à 15	70 à 100	15 à 5	-
Liquide	16	100 à 160	5	≤ 5

III .9.2. Propriétés mécaniques :

III.9.2.1.Essai de la résistance à la compression :

Cet essai a été effectué sur une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester et cela conformément à la norme (NF P 18-406).

Pour les différents mélanges de béton trois cubes ($10 \times 10 \times 10$) cm^3 par échéance ont été utilisés pour effectuer l'essai , soit après (7 ;14 ;28 ;45) jours.



Photo III.9 . cube ($10 \times 10 \times 10$) cm^3



photo III.10 . la machine de compression

III.9.2.2. Essai de traction par flexion :

l'essai a été réalisé selon la norme (NF P 18-407). Les éprouvettes testées sont des prismes ($10 \times 10 \times 40$) cm^3 après une cure de 28 jours dans l'eau à $20 \pm 2^\circ\text{C}$. On a pris la moyenne de trois éprouvettes pour chaque type de béton.

cet essai consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de coté (a) et de longueur (L=4a) à l'aide d'une machine de flexion. La résistance de traction par flexion se détermine par la relation suivante :

$$R_{tf} = 1.8 \frac{F}{a^2}$$



Photo III.11 . Machine d'essai de flexion utilisé

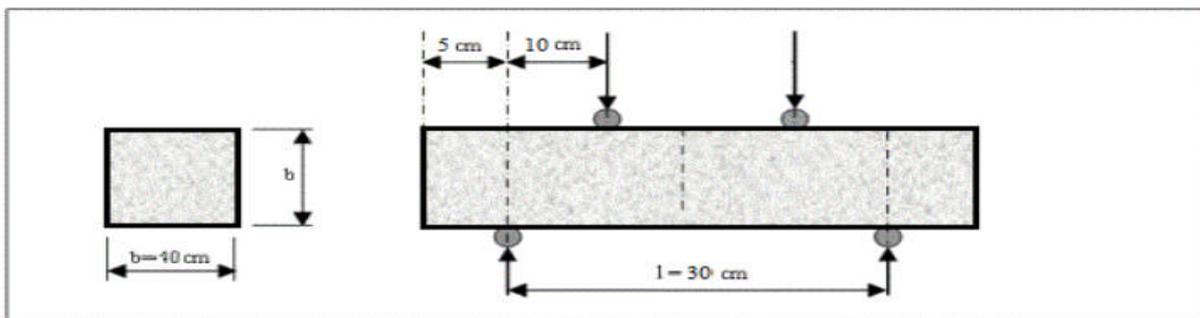


Figure III.3 . schématisation du dispositif pour l'essai de résistance à la flexion



Photo III.12. Éprouvettes prismatiques (10*10*40) cm³ après écrasement

III.9.2.3 .L'essai de résistance à la traction par écrasement latéral essai (Brésilien):

L'essai Brésilien détermine la résistance à la traction par écrasement latéral des échantillons de béton. cet essai a été effectué presque entièrement sur les bétons conventionnels.

Les cylindres sont de dimension (16×32) cm³, cet essai est régi par la norme **Nf P18-408**

La résistance de traction par fendage sera :

$$\sigma = \frac{2 F}{\pi D L}$$

F : charge à la rupture

D : diamètre de l'éprouvette

L : longueur de l'éprouvette

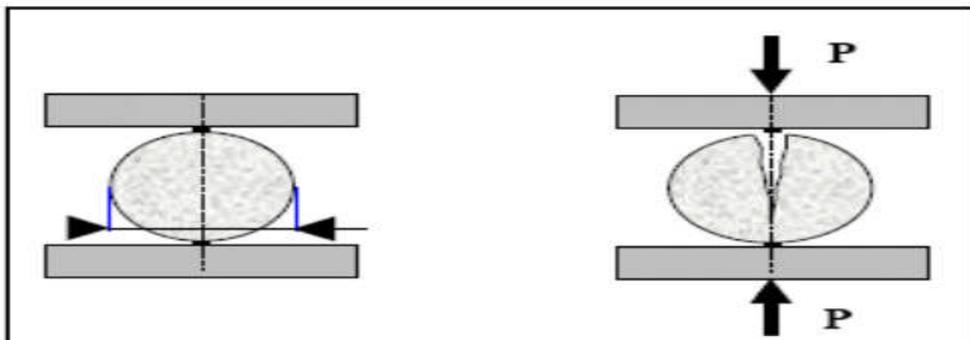


Figure III.4 . Schématisation du dispositif pour l'essai de rupture par fendage.



Photo III.13. machine et dispositif d'essai de traction par fendage



Photo III.14. éprouvettes cylindriques après écrasements

III.9.3.La durabilité :

III.9.3.1.Le coefficient de (gel/dégel) :

La durabilité du béton à base de sable concassé est fortement affectée par le milieu et le climat sévère de chaque région

La durabilité dans notre étude s'insère dans ce contexte , par l'étude de l'endurance (résistance à la compression des éprouvettes de béton $(10 \times 10 \times 10) \text{cm}^3$. Ces dernières ont été exposées à des ambiances cycliques de température (gel /dégel).

A l'âge de 28 jours, les éprouvettes étaient soumises à une variation de température de -15°C. Au bout de 50 cycles, ces les éprouvettes ont été écrasées. Les résistances à la compression issues de ces essais nous ont donné une idée sur la durabilité du béton

$$K_{rg} = R_{rg} / R_{saturé}$$

III.10 .Compacité :

L'essai consiste à remplir le récipient de béton , en laissant tomber le béton alternativement. Après avoir été arasé, le béton est compacté , à l'aide de table vibrante. On procède en suite, à la pesée totale puis on remplit le récipient de béton et on active les vibrations jusqu'à ce qu'on ne puisse plus déceler de diminution de volume.

Le degré de compactibilité est exprimé par le rapport entre la masse de béton avant compactage et après compactage par la relation:

$$C = \frac{M_i}{M_f}$$

M_i : masse de béton avant compactage , M_f : masse de béton après compactage

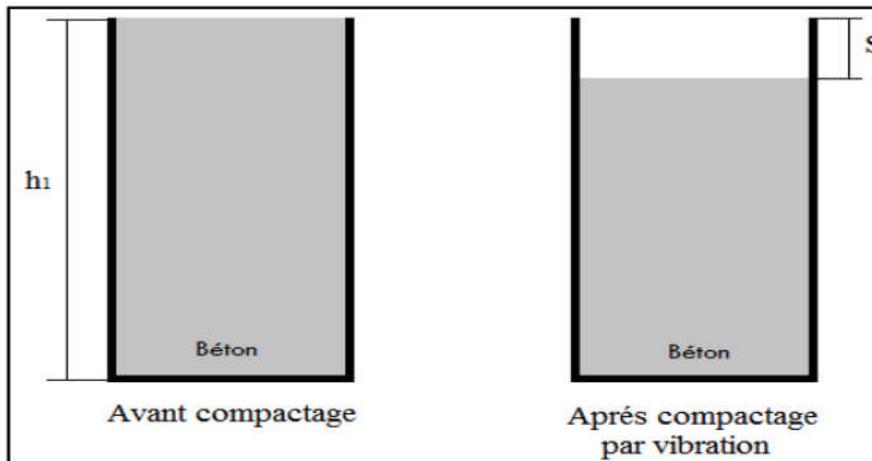


Figure III.5. Représentation schématique de la variation de la compacité des bétons



Photo III.15 .Dispositif de mesure de la compacité des bétons

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les essais effectués et les différentes caractéristiques des matériaux utilisés dans notre travail et la composition des mélanges et les procédures expérimentales qui nous permettent de mieux analyser les résultats et une meilleure compréhension de l'influence des paramètres étudiés sur les propriétés physico-mécaniques et rhéologiques des bétons.

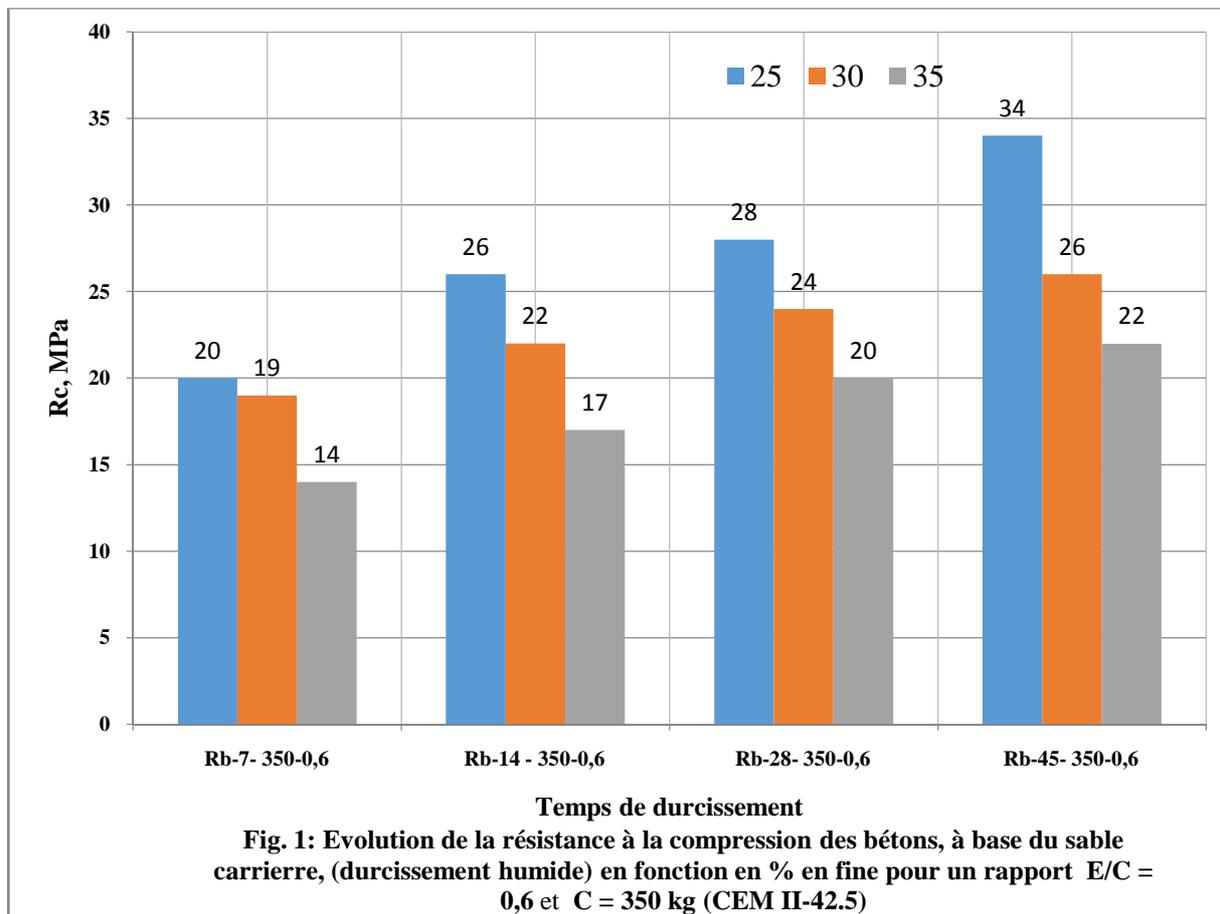
CHAPITRE IV

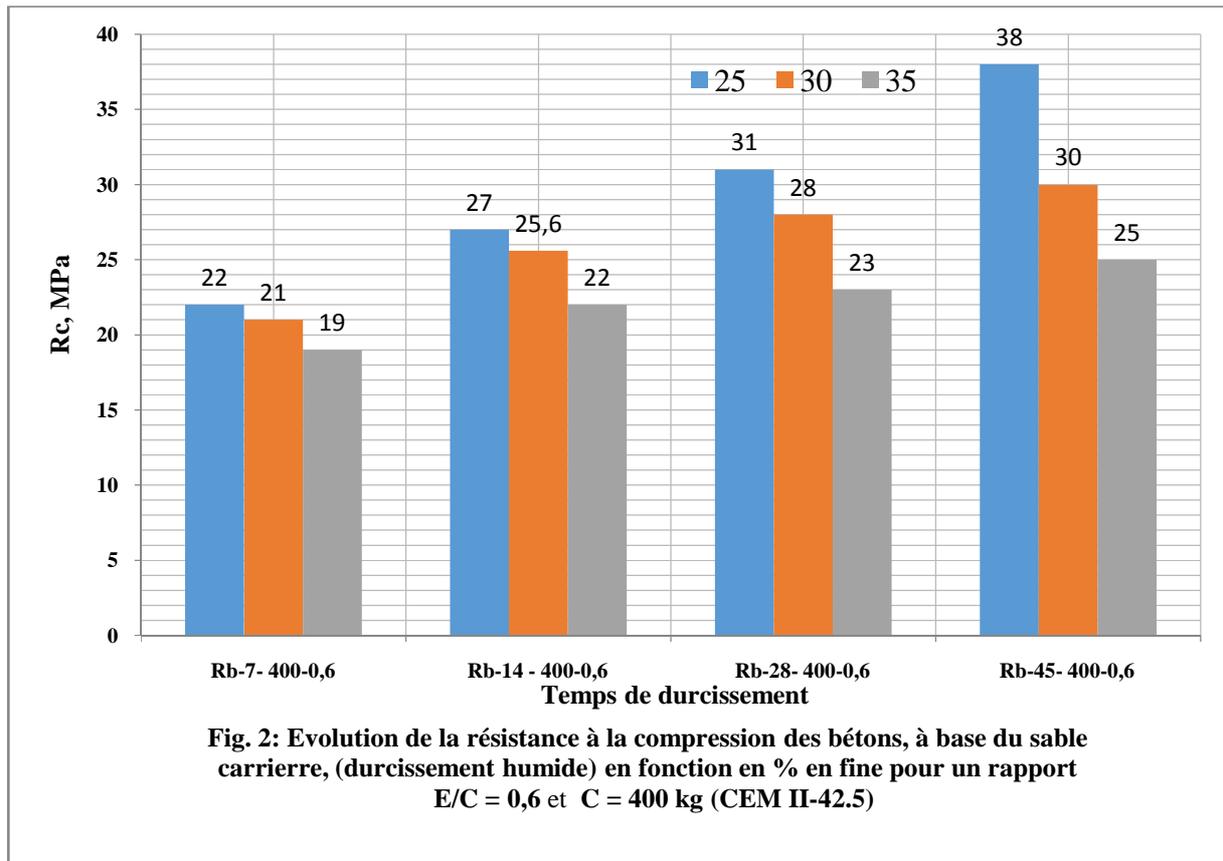
Introduction :

Ce mémoire avait pour but d'étudier l'influence des fines calcaire sur le comportement mécanique rhéologique des bétons à base du sable de carrière.

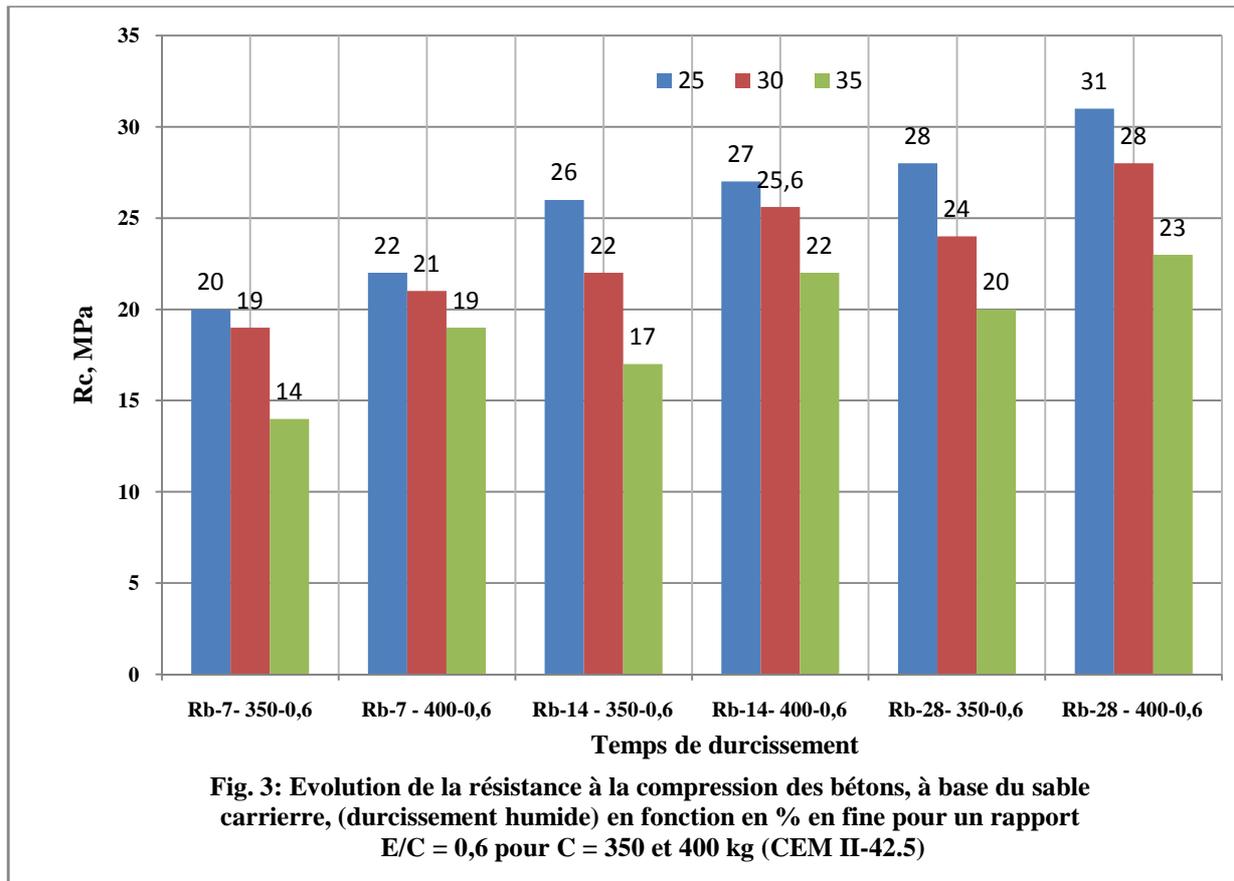
Nous présenterons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur le béton confectionnés selon les différentes compositions mentionnées en détail dans le chapitre précédent.

Ces résultats concernant en première partie les propriétés mécaniques, en deuxième partie les propriétés physiques et en troisième partie la durabilité du béton.

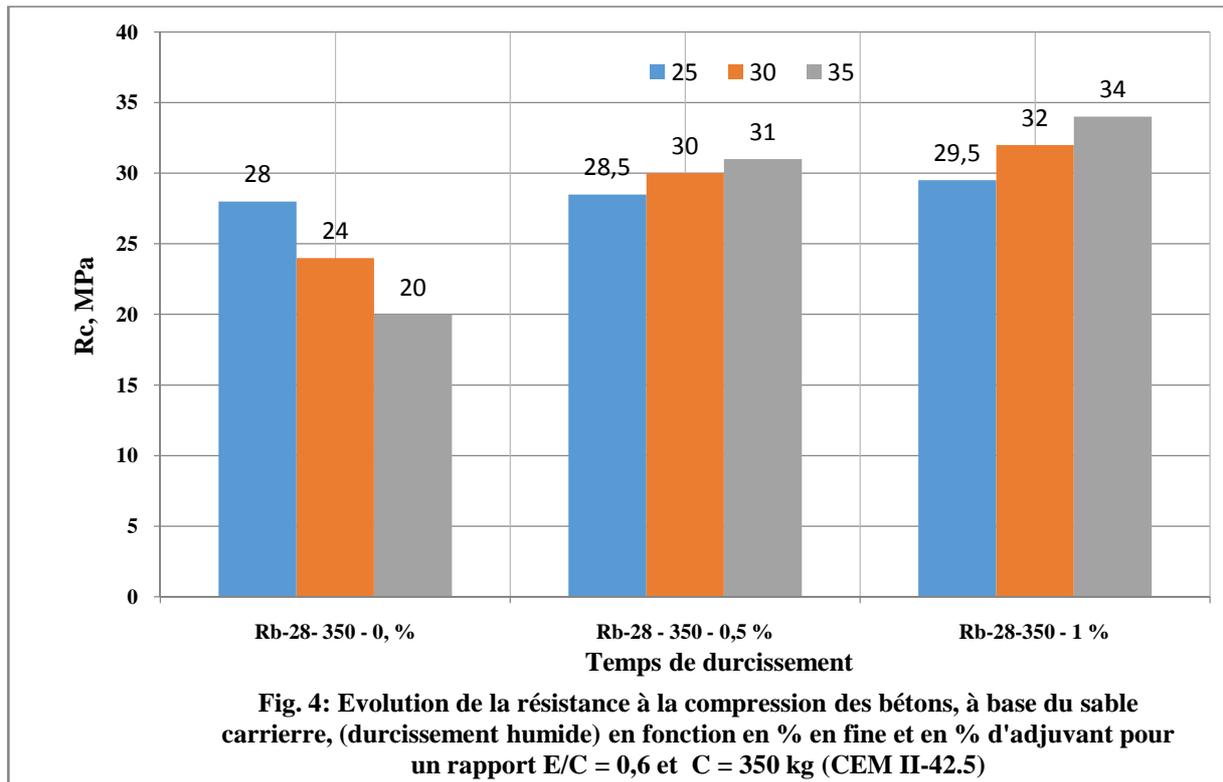
IV.1.les propriétés mécaniques :**IV.1.1 Les résistances à la compression :**



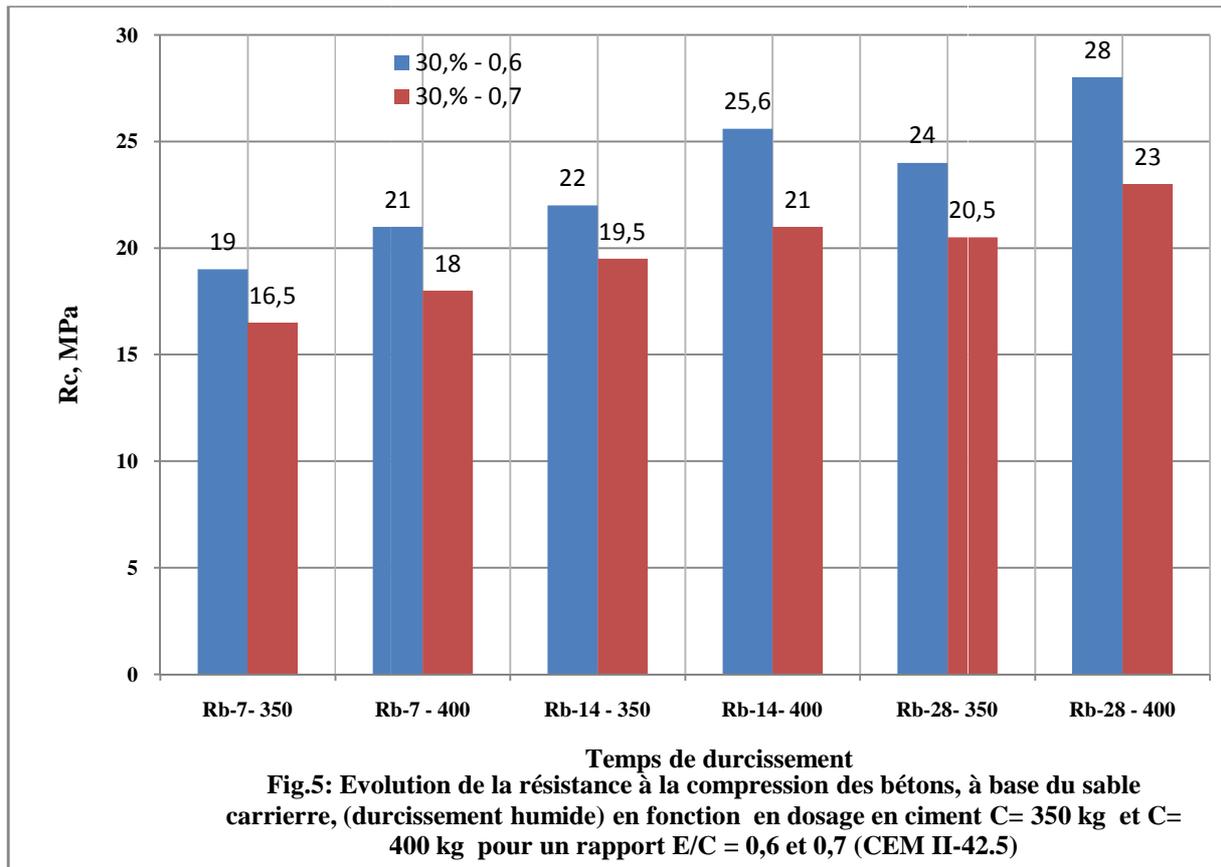
Les résultats présentés dans la **fig. 1,2** montrent qu' à l'âge de durcissement (7,14 et 28) jours la résistance à la compression des bétons augmente aux différents dosages du ciment (350 et 400) kg, en fonction du % des fines pour un rapport E/C=0.6. Aussi il y a une augmentation de la résistance à la compression pour le dosage de 400 kg par rapport au dosage 350 kg pour l'ensemble des pourcentages en fine (25%, 30% et 35%)



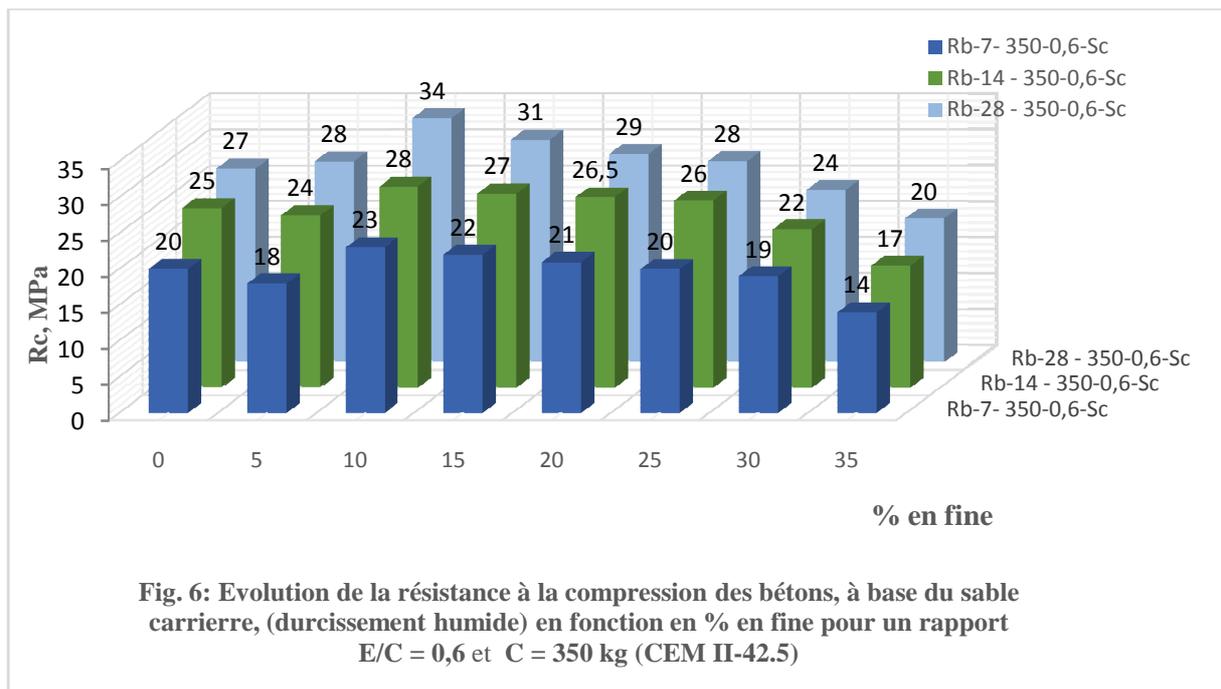
D'après la **fig. 3** on constate qu'à l'âge de durcissement (7,14 et 28) jours la résistance à la compression des bétons augmente aux différents dosages du ciment (350 et 400) kg, en fonction du % des fines pour un rapport de $E/C=0.6$. Mais en remarque que l'évolution de la résistance à la compression est plus importante à 25% de fine calcaire.



D'après la **fig. 4**, on constate que l'utilisation d'un adjuvant fluidifiant fait augmenter la résistance des bétons d'une façon croissante du plus faible taux (25%) au plus fort (35%) ce résultats est très important car il ouvre de nouvelles perspectives d'utilisation pour les sables de carrières qui contiennent de fort taux de fines.

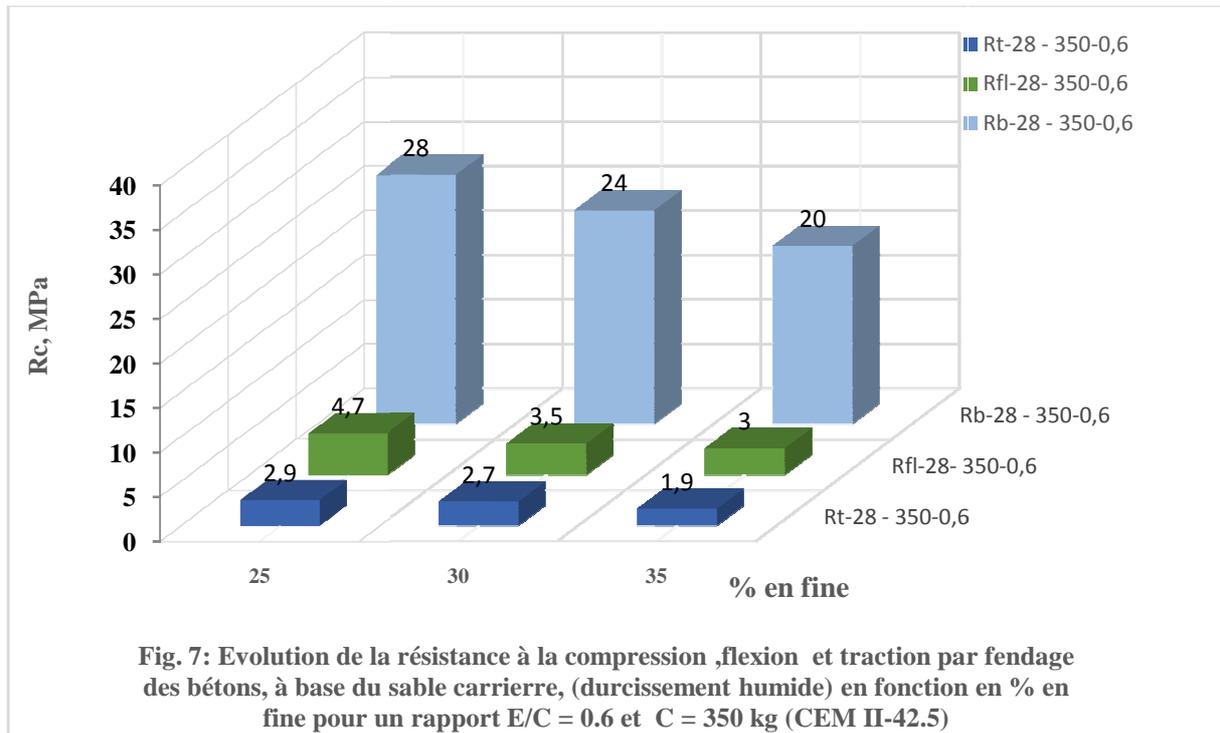


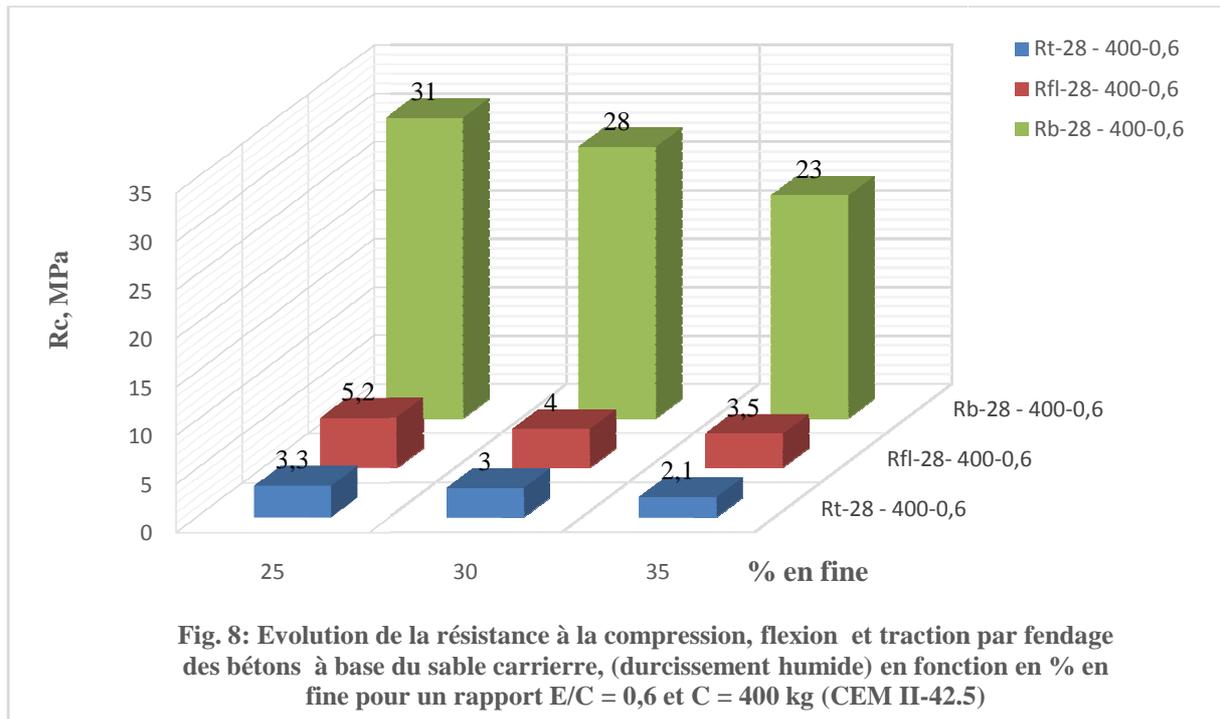
D'après la **fig.5** on observe qu'il y a une diminution de la résistance à la compression pour le pourcentage en fine de 30 % et le rapport E/C=0.7; pour les deux dosages en ciment (350 et 400) kg par rapport au rapport E/C = 0.6. Est cela pour l'ensemble des âges de durcissements.



D'après la **fig. 6** on constate une augmentation de la résistance à la compression par rapport la résistance de béton témoin pour les pourcentages de fine de 5 % à 15%. En suite il y a une diminution de la résistance à partir de 20% jusqu'à 35% en fonction du dosage en ciment de 350 kg et un rapport E/C=0.6.

IV.1.2.la résistance mécanique à la compression, flexion et traction par fendage du béton :

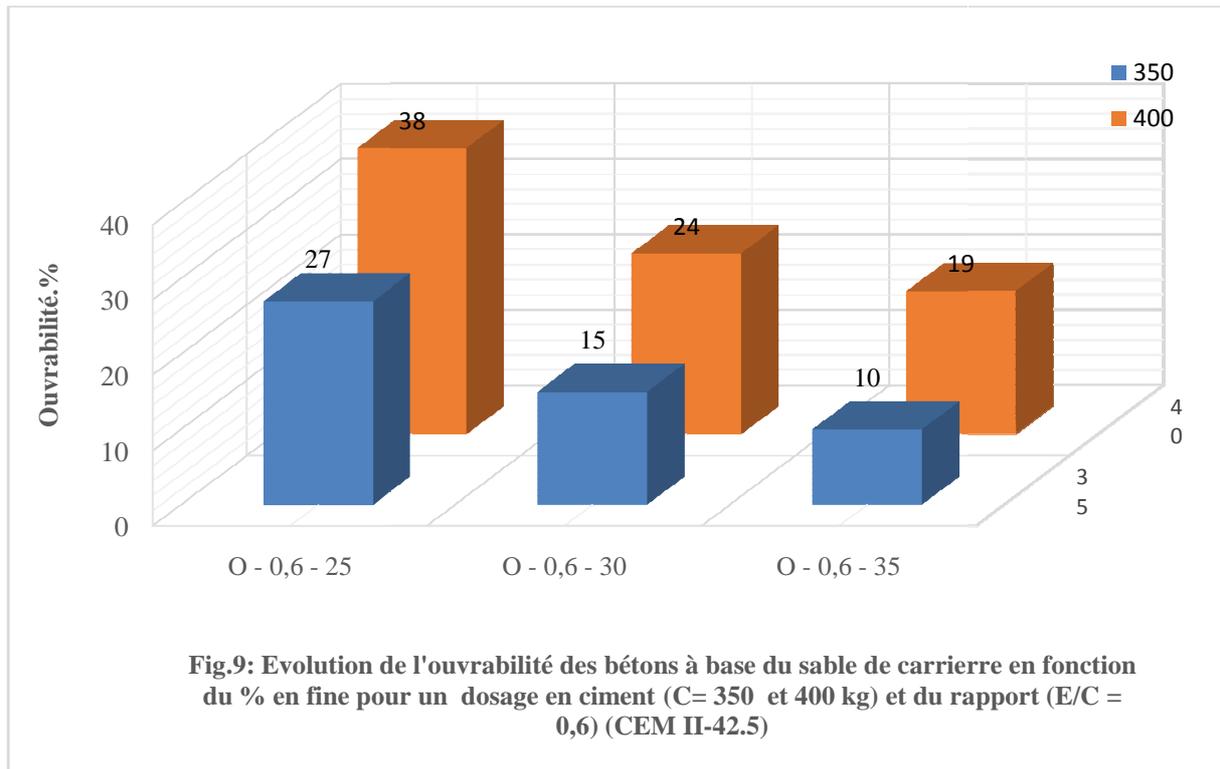




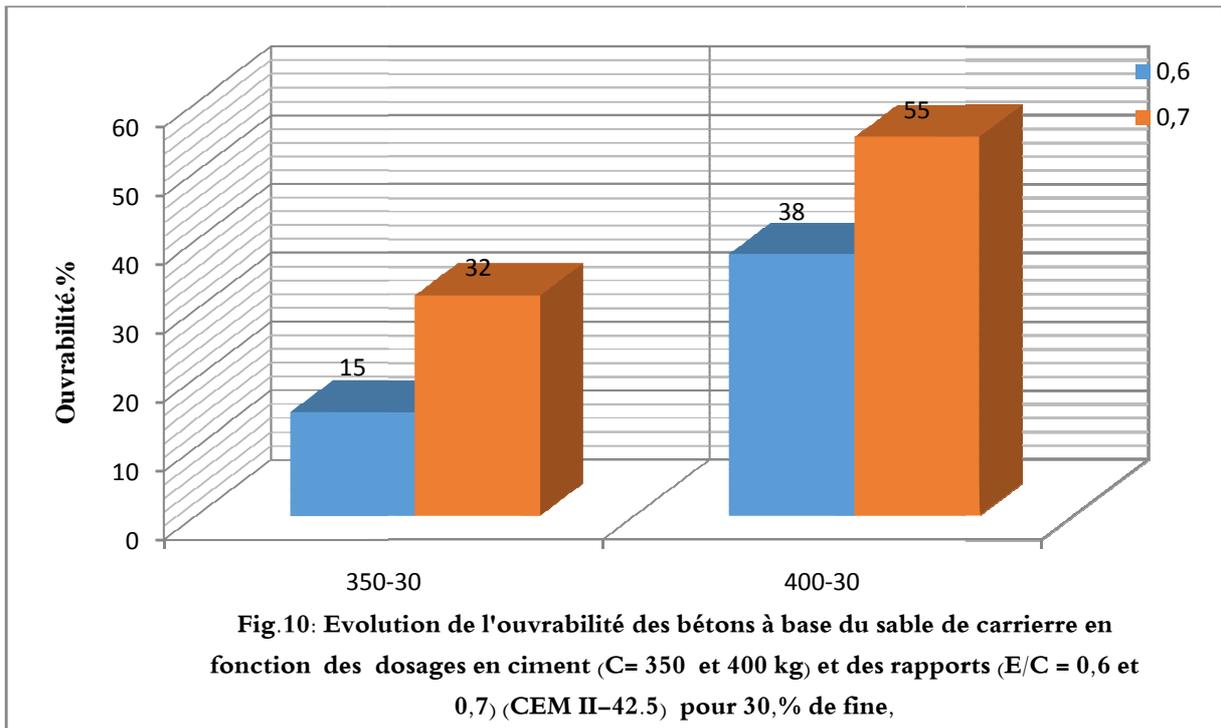
D'après la **fig. 7 et 8** On remarque qu'il y a diminution de la résistance à la compression, à la flexion et à la traction par fendage à partir de 25% de fine jusqu'à 35%, pour un rapport E/C=0.6 et les deux dosages en ciment C=350 kg et C=400kg.

IV.2.les propriétés physique :

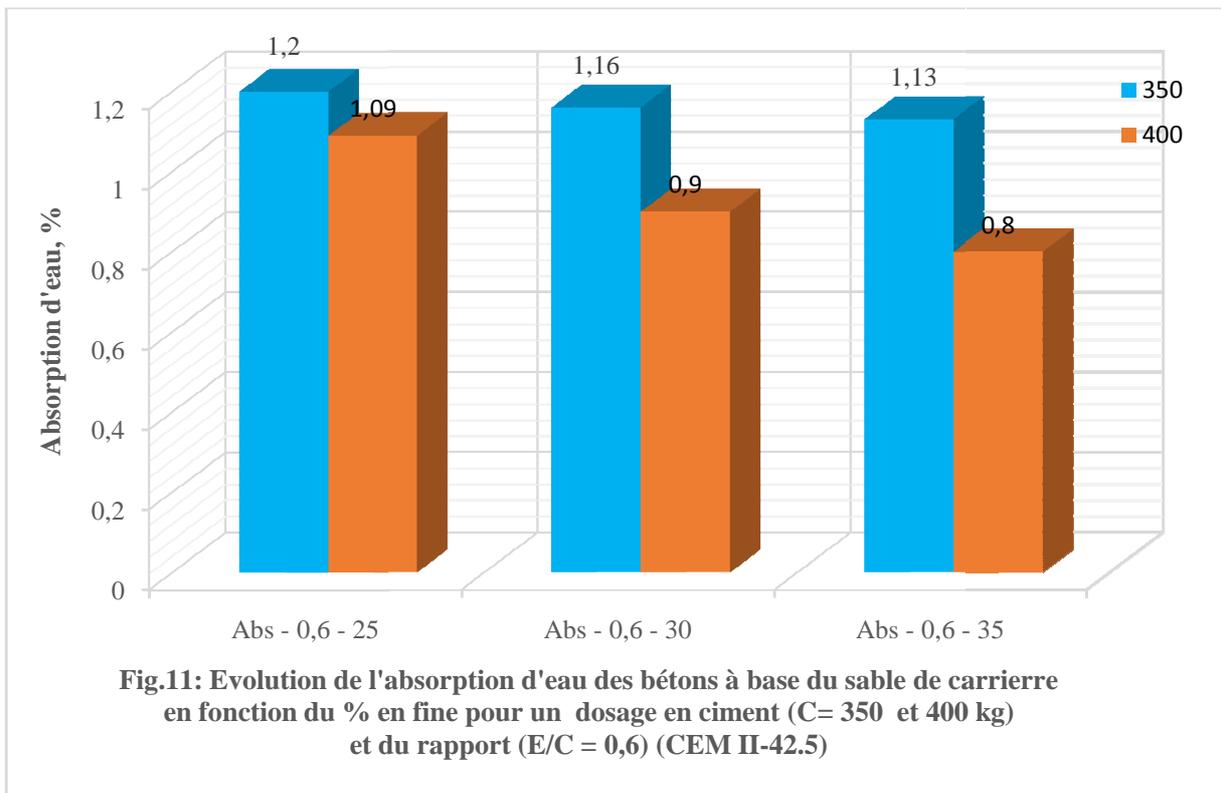
IV.2.1'ouvrabilité :



D'après la **fig.9** on trouve que l'ouvrabilité de béton diminue lorsque le pourcentage en fine augmente, en suite on constat une augmentation de l'ouvrabilité aux différents dosages en ciment (350 et 400) kg.



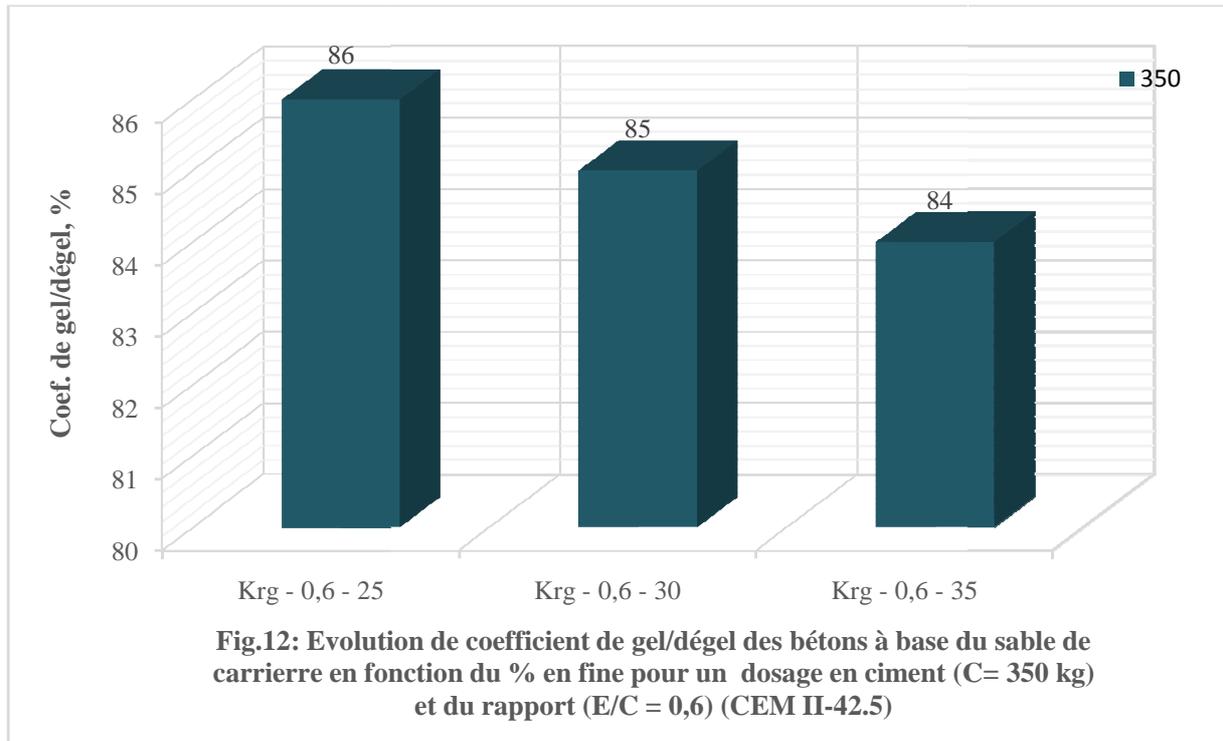
D'après la **fig.10**. nous avons remarqué que l'ouvrabilité de béton augmente lorsque le rapport E/C, et le dosage de ciment augmente.



D'après la **fig.11** nous avons remarqué que l'absorption d'eau du béton diminue lorsque le pourcentage en fine et dosage de ciment augmente.

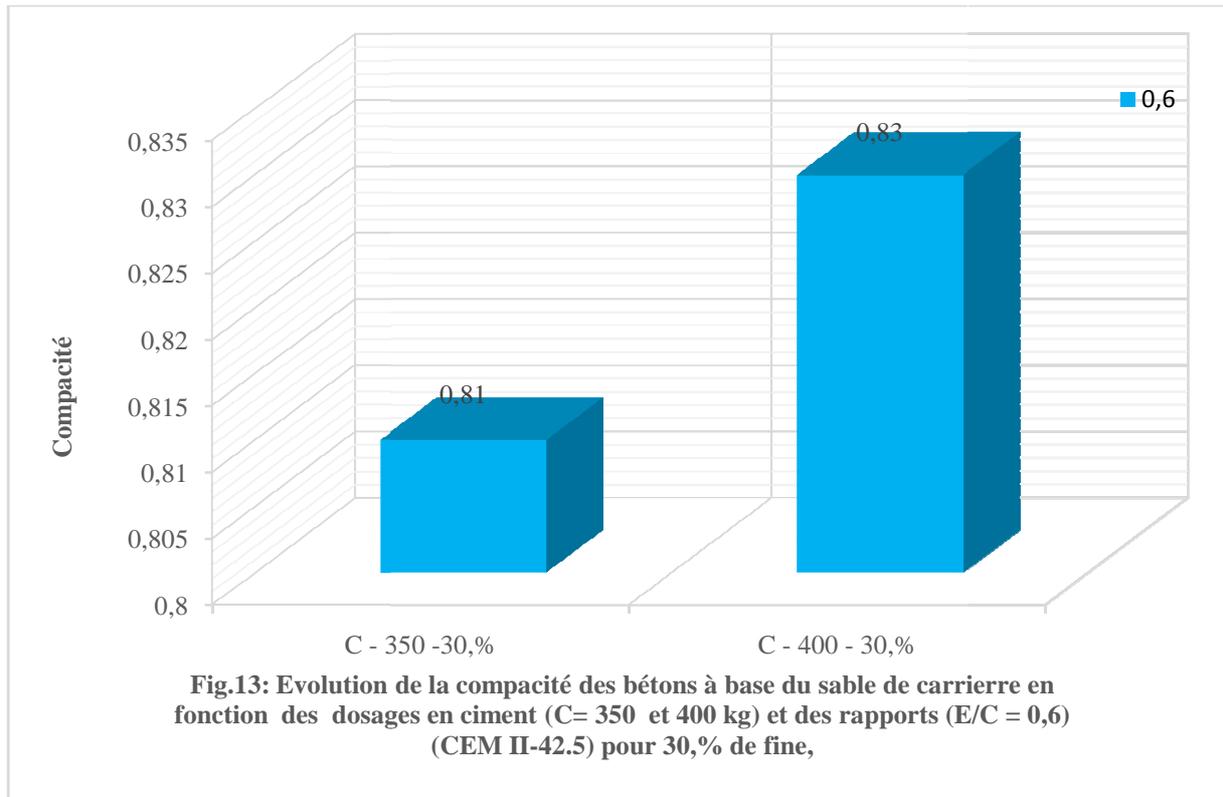
IV.3. la durabilité :

IV.3.1.le coefficient de gel /dégel



D'après la **fig.12** on trouve que le coefficient de gel /dégel des bétons diminue lorsque le pourcentage en fine augmente.

IV.4. la compacité :



D'après la **fig.13** nous remarquons l'augmentation de la compacité des bétons lorsque le dosage de ciment augmente.

Conclusion :

Grâce à ce chapitre, nous concluons que :

- ❖ La résistance mécanique augmente en fonction de l'augmentation des dosages en ciment.
- ❖ La résistance mécanique augmente avec l'utilisation d'adjuvant.
- ❖ La résistance mécanique augmente en fonction de la diminution de rapport E/C.
- ❖ La substitution de 25,30 et 35%, de fine calcaire dans le sable de carrière une diminution de résistance par rapport les autres pourcentages.
- ❖ L'ouvrabilité augment en fonction de l'augmentation du dosage du ciment, de l'adjuvant, du rapport E/C.
- ❖ Le coefficient de gel /dégel de béton diminué en fonction de l'augmentation de pourcentage de fine.
- ❖ La compacité des bétons à base de sable de carrière augmenté lorsque le dosage de ciment augment.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de notre travail concerne :

- La composition du mélange, le rapport E/C, les dosages du ciment et l'adjuvant, les fines affectent le comportement rhéologique du béton.
- La résistance à la compression du béton à base de sable de carrière augmente en fonction de l'augmentation ou dosages en ciment et pourcentage d'adjuvant quel que soit le pourcentage des fines.
- La résistance à la compression du béton à base de sable de carrière augmente en fonction de la diminution de rapport E/C.
- la résistance mécanique à la compression, flexion et traction par fendage du béton il diminué avec l'augmentation de pourcentage de fine à partir de 25% de fine jusqu'à 35%.
- La substitution de 25,30 et 35%, de fine calcaire dans le sable de carrière une diminution de résistance par rapport les autres pourcentages.
- On constate une augmentation considérable de l'ouvrabilité a cause de 'augmentation de dosage de ciment (350,400) kg et rapport E/C, et l'adjuvant avec l'ensemble de pourcentage des fine 25, 30 et 35%.
- L'absorption d'eau de béton diminué en fonction de l'augmentation de pourcentage fine.
- Le coefficient de gel /dégel de béton diminué en fonction de l'augmentation de pourcentage de fine.
- La compacité des bétons à base de sable de carrière augmenté lorsque le dosage de ciment augment.

RÉFÉRENCE

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[01]: **VERONIQUE BAROGHEL-BOUNY, PATRICK ROUGEAU, SABINE CARE et JOSETTE AUSEWITCH.** «Etude comparative de la durabilité des bétons B30 et B80 des ouvrages jumeaux de bourges. I- Microfissuration, propriétés de durabilité et retrait». LCPC N°217, Septembre - Octobre 1998, pp. 61-73.

[02]: **BETOCIB.** «Les granulats pour bétons». Annale de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics (ITBTP), série Matériaux, Décembre 1997, pp. 31-60.

[03]: «Sable la nouvelle donne». Document E.N.G.Alger. Mars 1999, pp. 01-05.

[04]: «Ministère de l'Equipement et du Logement, Instruction Ministérielle N° 017/SPM/D.RTC/ 92 relative à la gestion et à la protection du domaine public maritime et hydraulique (concession d'extraction des matériaux)». Alger, Décembre 1991.

[05]: «Chef de gouvernement, Instruction N°003/ S.P/ CG». «Exploitation de sable de plage et de sable d'alluvions». Alger. Mars 1999.

[6]: **GLANGEAUD.L** «Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger». Bulletin de la carte géologique de l'Algérie, 1934.

[07]: **C.N.E.R.I.B.** «Valorisation des sables de concassage». Rapport de groupe spécialisé, Ministère de l'habita, Alger .Janvier 1999.

[08]: **Z'HOR GUEMMADI et HACENE HOUARI.** «Influence de l'ajout des fines calcaires sur les performances des bétons dans l'Est Algérien» Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics (ITBTP), N°06, Décembre 2002, pp. 23-32.

[09]: **Y.BENNA.** «Valorisation des sables de concassage». 1 er colloque Magrébin de Génie Civil, Biskra les 16 et 17 Novembre 1998.

[10]: **BOUKLI HACENE-** Thèse de Doctorat contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen. UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN.2009

[11]: **AYAD MOHAMED BARKA YASSINE-** Mémoire de Magister Modélisation des bétons ordinaires par des plans d'expériences. UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN.2013

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [12] : **PHOUMMAVONG VIMANE**, Cours en ligne : matériaux de construction Chap.2 : Les ciments, université nationale de Laos, Editeur AUF, Agence Universitaire de la Francophonie Montréal Canada 2006, 10 p.
- [13] : **Zouai Khadidja**-Mémoire de Magister à Etude du mode de fabrication du ciment et effet des matières premières- Impact de l'utilisation du ciment sur l'environnement. Université Hassiba Benbouali – Chlef .2011
- [14] : **VIMANE PHOUMMAVONGE, M.** Cours en béton armé-Essai de laboratoire, page.1à146.
- [15] : **Touzouti kamilia** .Introduction aux nano ciments et nano béton, mémoire de magistère, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou .2012.
- [16] : **Boutiba Aldjia** .accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci, thèse de magistère.
- [17] : **Barakat A.** cours matériaux de carrière et de construction disponible sur : www.fstbm.ac.ma/newfstv08/support/cours_matx.pdf
- [18] : **Véronique Baroghel - Bouny**. Caractérisation microstructurale et hydrique des pâtes de ciment et des bétons ordinaires et à très hautes Performances.2010.
- [19] : **Ismail Yurtdas**. Couplage comportement mécanique et dessiccation des matériaux a matrice cimentaire : étude expérimentale sur mortiers, thèse de doctorat de l'université des sciences et technologies de Lille et de l'école centrale de Lille. 2003.
- [20] : **Miche Adam**. Guide pratique pour l'emploi des ciments. Édition Eyrolles. Paris .1985.
- [21]: **R. MAILLOT**, "Mémento technique des Granulats", les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., (2001).
- [22]: **DEGUSSA CONSTRUCTION CHEMICALS FRANCE**, "La Technologie du Béton", Guf \Formation\ Béton\ Techno béton V05_01U, 140 p.
- [23]: **J. BARON, et R. SAUTREY**, "Le béton hydraulique", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p., (1982).
- [24]: **V. PHOUMMAVONG**, "Cours en ligne matériaux de construction", Université Nationale du Laos, <http://www.la.refer.org/materiaux/>

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [25]: **A. M. NEVILLE**, "Propriétés des bétons", traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, 806p, (2000).
- [26]: **G. DREUX & J. FESTA**, "Nouveau guide du béton et ses constituants", Edition Eyrolles, 8eme édition, 409 p., (1998).
- [27]: **F. GABRYSIK**, "Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2", Académie de Nancy-Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/
- [28]: **CH. GHERDAOUI**, "Influence des fines minérales sur les propriétés mécaniques et la durabilité du béton à base de sable de carrières de la région de Guelma", Mémoire de Magister, Université Badji M. - Annaba, 94 p., (2007).
- [29]: **Norme Française P 18 554**, "Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux", (1990).
- [30]: **Norme Française P 18-555**, "Granulats - Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables", AFNOR, (1990).
- [31]: **Norme Française P 18-558**, "Granulats: Détermination de la masse volumique absolue des fines", AFNOR, (1990).
- [32]: **Norme Française EN 1097-3**, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie3: Détermination de la Masse volumique apparente", AFNOR, (1996).
- [33]: **Norme Française EN 1097-6**, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient de l'absorption d'eau", AFNOR, (1996).
- [34]: **S. HACHAICHI**, "Substitution de Sable roulé par les déchets de carrières et de hauts fourneaux dans le béton", Thèse de Magister, 92 p., (2008).
- [35]: **R. DUPAIN, R. LANCHAN & J.-C. SAINT-ARROMAN**, "Granulats, Sols, Ciments et Bétons", Editions Casteilla, 2ème édition conforme aux normes européennes, 236 p., (2000).

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[36] : **BOUFEDAH BADISSI AHMED**-Mémoire de Magister Influence de la granularité (classe granulaire 4/22.4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaires. Université Mentouri Constantine .2011

[37] :**Meftah H., Arabi N., 2012** : L'effet du rapport E/C sur le comportement des bétons à hautes températures, laboratoire Génie Civil, université Badji Mokhtar Annaba, Algérie

[38]: **ALEXANDER K.M., IVANUSEC I**, 1982: Long term effects of cement SO₃ content on the properties of normal and high-strength concrete, Part I. The effect on strength, Cement and Concrete Research, 12, N° 1.

[39]: **Yurugi,M., N.Sakata,M.Iwai and G.Sakai (1993)** Mix Proportion for Highly Workable Concrete, Proceedings of the international Conference Concrete,Dundee,7-9September, pp.579-589.

[40] : **Baron J et Ollivier J.P (1997)** Les Bétons : bases et données pour leur formulation. Deuxième Tirage. Edition Eyrolles . Paris.1997.

[41]: **H. C. ERNTROY & B. W. SHACKLOCK**, "Design of high strength concrete mixes, proc. Of a symposium on mix design and quality control of concrete", Cement and Concrete Assoc., London, pp: 55-73, (1954).

[42] :**MEYER A.** (1963); Über den Einfluss des Wasserzementwertes auf die Frühfestigkeit von Beton, Betonstein Zeitung, N° 8, pp. 391-4.

[43]: **KLIEGER P.** (1958); Effect of mixing and curing temperature on concrete strength, J. Amer. Concr. Inst., 29, 12, 1063-1081.

[44] : **BARON J., OLLIVIER J.P.** (1996); Les bétons bases et données pour leur formulation, Edition Eyrolles, Paris, 522 p.

[45] :**Adjoudj M., Ezziane K., Kadri EL., 2009** : Formulation et propriété d'un béton adjuvante par polycarboxylate, Laboratoire Géo matériaux, Université Hassiba Benbouali Chlef, Algérie.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[46] **PADMINI A K., RAMAMURTHY K., MATHEWS M S.**, « Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete », *Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 829-836, 2009.

[47] **WIRQUIN E.**, « Utilisation de l'absorption d'eau des bétons comme critères de leur durabilité- Application aux bétons de granulats recyclés », *Matériels and Structures*, 33 pp. 403-408, 2000.

[48] **DE JUAN M S., GUTIERREZ P A.**, « Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate », *Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 872-877, 2009.

Annexe 1 :

Méthode de formulation Skramtaiv :

1. Le rapport C/E :

- Pour les bétons plastiques et très plastiques on a $\frac{C}{E} \leq 2.5$ ($\frac{E}{C} \geq 0.4$) Donc :

$$R_b = A R_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \quad \Leftrightarrow \quad \frac{C}{E} = \frac{R_b}{A R_c} + 0.5$$

- Pour les bétons ferme et très ferme on a $\frac{C}{E} > 2.5$ ($\frac{E}{C} < 0.4$) Donc :

$$R_b = A_1 R_c \left(\frac{C}{E} + 0.5 \right) \quad \Leftrightarrow \quad \frac{C}{E} = \frac{R_b}{A_1 R_c} - 0.5$$

Les valeurs A et A_1 sont des coefficients dépendants de la qualité des matériaux utilisés, du liant et agrégat et tire du **tableau A₁** :

Type du liant et agrégat	A	A_1
Bon	0.65	0.43
Moyen	0.60	0.40
Mauve	0.55	0.37

2. La dépense en eau :

La quantité d'eau l/m³ tiré de tableau A.2 en fonction de la qualité de béton désiré (Liquide, plastique, ferme), diamètre du plus gros grain d'agrégat utilisé, qualité de ciment et de gravier.

Tableau A.2 :

La quantité d'eau ℓ / m^3 en fonction du diamètre du plus gros grain d'agrégat				Propriétés des bétons	
70	40	20	10	Maniabilité, sec.	Affaissement, cm
115	120	130	145	200-150	0
120	125	135	150	120-90	0
125	130	145	160	80-60	0
130	135	150	165	50-30	0
140	145	160	175	30-15	0
145	155	170	185	-	2-1
160	165	180	195	-	4-3
165	170	185	200	-	6-5
170	175	190	205	-	8-7
175	185	200	215	-	10-9

3. La dépense en ciment :

$$C = \frac{C}{E} \cdot E \quad , (\text{Kg} / \text{m}^3)$$

4. La dépense en pierre concassée :

$$PC = \frac{1000}{V_{\text{vol,pc}} \left(\frac{\alpha}{\gamma_{\text{vol,pc}}} + \frac{1}{\rho_{\text{pc}}} \right)} \quad , (\text{Kg} / \text{m}^3)$$

5. La dépense en sable:

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{E}{\rho_e} + \frac{PC}{\rho_{\text{pc}}} \right) \right] \cdot \rho_s \quad , (\text{Kg} / \text{m}^3)$$

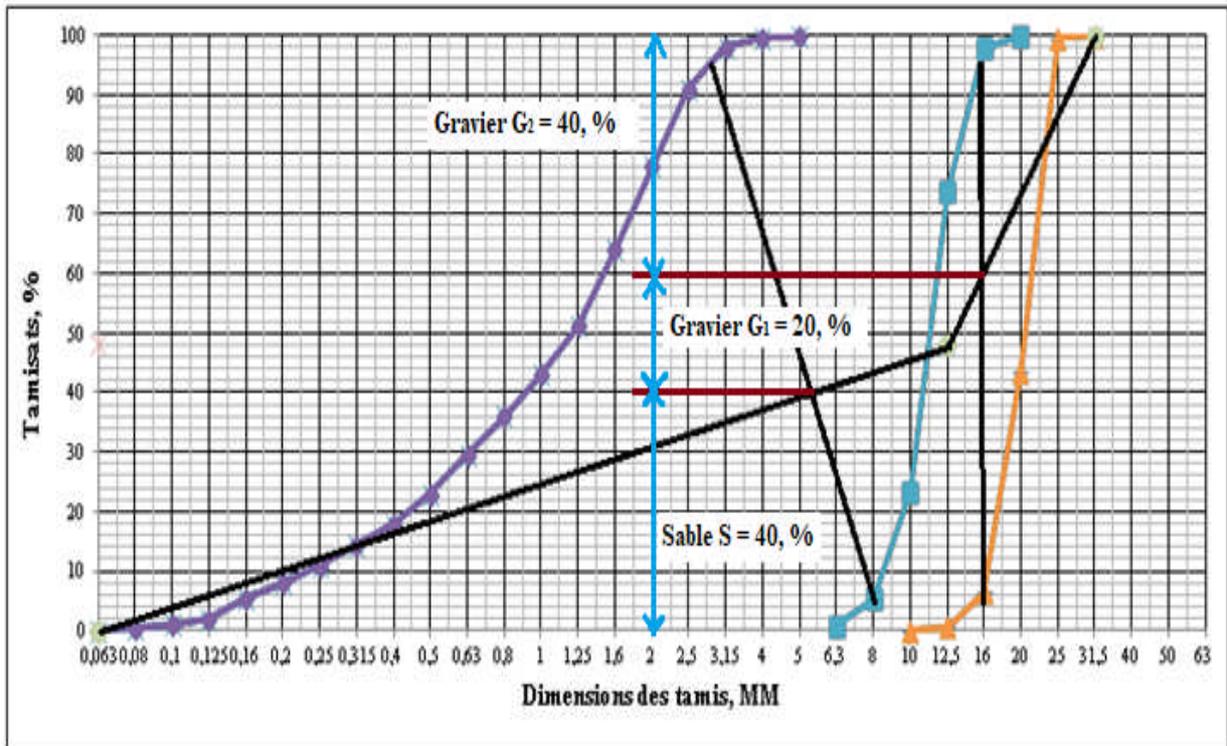


Fig.1 : Courbes granulométriques des granulats concassés avec courbe optimal (Sc) pour béton.

Notice technique
Edition juin 2017
Numéro 1.20
Version n°106. 2017
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.

Présentation SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

Domaines d'application

- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

Caractères généraux SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.



Agréments, essais de laboratoire ■ PV CNERIB : DTEM : 108/2017.

Caractéristiques

Aspect Liquide brun clair

Conditionnement

- Fûts de 230 kg
- CP de 1000 L
- Vrac

Stockage Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Conservation 1 an en emballage intact

Données techniques

densité 1,06 ± 0,01

pH 6 ± 1

Teneur en Na₂O Eq. ≤ 1 %

Extrait sec 30,2 ± 1,3 %

Teneur en ions Cl⁻	≤ 0,1 %
Conditions d'application	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.
Mise en œuvre	SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité.
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08

