



**Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER**

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THEME

**Influence du dosage du ciment dans le béton
d'usage courants sur ces propriétés à l'état
durcit**

**Dirigé par :
Mme. BOUALAG Saida**

**Présenté par :
DAHMANI Ayoub**

Promotion : 2015/2016.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Je dédie ce travail,

À ma famille : ma mère mon père et mes frères et La

seule ma grand-mère.

À mes amis et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier mon

Promoteur Mme : BOUALAG SABAH

Pour son aide appréciable, sa disponibilité, et ses conseils

Fructueux qui m'ont facilité la réalisation de ce travail.

Je remercie Je remercie pareillement l'ensemble des membres du

laboratoire sur tout YAM NA BAKHTI

Je remercie ma famille et tous mes amis

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

ملخص

Résumé

Abstract

Introduction générale

Chapitre 01 : Généralité sur le béton et ses composants.

I-1- Composition de béton	4
I-1-1- Pâte de ciment.....	4
I-1-1-1 Ciment:	4
I-1-1-2- Eau de gâchage :	7
I-1-1-3- Les adjuvants :	8
I-1-1-4- les granulats XP P 18-540:.....	13
I-2- Propriétés des bétons:	17
I-2-1- Le béton frais:	17
I-2-1-1- La valeur d'affaissement au Cône d'Abrams :.....	17
I-2-1-2- La masse volumique du béton frais :	17
I-2-2- Le béton durci	18
I-2-2- 1- Résistance à la compression :.....	18
I-2-2- 2- Porosité:	19
I-3- Classification du béton	19
I -4-CONCLUSION.....	21

Chapitre 02 : Influence du dosage de béton

II-1 Essai de résistance à la compression :	23
II -2 Paramètres qui influent sur les caractéristiques du béton :.....	24
II -2-1 Influence du rapport eau/ciment (E/C) :.....	24
II -2-2- Influence du dosage en ciment :	27
II -2-3- Influence du type de ciment :	28
II -2-4- Influence du squelette granulaire :	29
II -2-5- Influence du rapport granulats /ciment (G/C)	30

Sommaire

II -2-6- Dimension maximale des granulats D_{max} :.....	31
II -2-7-Influence de la porosité	32
II -2-8-Influence de l'Âge	37
II -2-9 Influence de l'affaissement sur la résistance à la compression des bétons et influence du pourcentage d'air occlus dans le béton sur l'affaissement.....	39
II -2-10 Influence de l'air occlus sur la résistance à la compression des bétons	41

Chapitre 03 : la cure

III -1 la cure:	45
III -1-1 Importance de la cure	45
III -1-1-1 Obtention de la résistance à la compression spécifiée	45
III -1-1-2 Amélioration de la durabilité	46
III -1-1-3 Entretien et apparence.....	46
III -1-2 Fondement de la cure	46
III -1-2-1 Evaluation du taux d'évaporation.....	46
III -1-2-2 Protection contre les pertes d'humidité	46
III -1-2-3 Durée de cure minimale	46
III -1-2-4 Température normalisée	46
III -1-3 Méthodes de cure (mûrissement)	47
III -1-3-1 La vaporisation de produits de cure formant membrane	47
III -1-3-2 L'arrosage et la vaporisation d'eau.....	47
III -1-3-3 L'application de toiles imbibées d'eau	48
III -1-3-4 L'utilisation de nappes d'eau et l'immersion	48
III -1-3-5 L'utilisation de pellicules de plastique ou de papiers imperméables	48
III -1-4 Influence de la cure sur la résistance	48
III -1-5 Recommandations de cure	48
III -2 Le rôle de la cure vis-à-vis du phénomène de dessiccation :	50
III -2-1-Les besoins de la cure :	50
III -2-2-Les différentes étapes du déroulement de la cure :	52
III -3- Les différents procédés de cure du béton :	53

Sommaire

Chapitre 04 : Caractéristique des matériaux et les essais

1 ^{ere} partie : caractéristique des matériaux	56
V -1- Ciment	56
V -2- Gravier :	57
V -3- Sable :	64
V -4- Les adjuvants :	70
V-5- Léau de gâchage :	71
2 ^{eme} partie : Technique expérimentale	72
V -1- La formulation des bétons :	72
V -2- Conservation des éprouvettes :	82
V -3- Essai sur béton :	83
IV -5-Conclusion :	87

Chapitre 05 : Les résultats

VI-1La masse volumique du béton témoin conservés à l'eau et à l'air(350, 400,450) Kg/m ³	89
VI-2- Les résistances à la compression des bétons témoin conservés à l'eau et à l'air (350, 400,450) Kg/m ³	91
VI-3- La porosité accsisibel à l'eau des bétons témoin et la cure (350, 400,450) Kg/m ³	93
VI-4- La perte de masse des bétons conservés à l'eau et à l'air:	96
VI-5 La porosité p(%)conservés à l'eau et à l'air	97
VI-6- Les résistances à la compression des bétons de régime de la cure (350, 400,450) Kg/m ³	100
VI-7- La porosité accsisibel à l'eau des bétons du régime de la cure (350, 400,450) Kg/m ³	102
VI-8 La porosité p(%) du béton de régime de la cure	105
Conclusion générale :	107

Liste des tableaux

Chapitre 01

Tableau I- 1 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques	6
Tableau I- 2: Les types d'adjuvant en fonction de sa propriété.	12
Tableau I- 3 : Refus cumulés sur tamis	15
Tableau I- 4 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams	17
Tableau I- 5 : Porosité du béton.	19
Tableau I- 6 : Classes de résistance du béton.	21

Chapitre 02

Tableau II. 1 : dosage en ciment	27
----------------------------------------	----

Chapitre 03

Tableau III. 1 : Durée minimale de cure en fonction des conditions ambiantes, de l classe de résistance du béton et de l température du béton.....	47
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Chapitre 04

Tableau IV -1:Caractéristiques chimiques du CRS.....	56
Tableau IV -2:Caractéristiques minéralogique du CRS.....	56
Tableau IV -3 : Caractéristiques du CRS.au laboratoire de cimenterie d'Ain El Kebira. Sétif..	57
Tableau IV -4 : Caractéristiques du CRS sont regroupées.....	57
TableauIV- 5 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	58
Tableau IV- 6:analyse granulométrique du gravier 8/16.....	59
Tableau IV- 7: Masse volumique apparente du gravier.	61
Tableau IV- 8: Masse volumique absolue du gravier.....	62
Tableau IV- 9: Degré d'absorption d'eau du gravier.....	62
Tableau IV- 10: Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.	63
Tableau IV- 11: Teneur en eau du gravier.....	63

Liste des tableaux et es figures

Tableau IV- 12: Coefficient des los Angeles des graviers	64
Tableau IV- 13: Analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre)	64
Tableau IV- 14: Equivalent du sable de Boussaâda.	68
Tableau IV- 15: Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.	68
Tableau IV- 16: Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.	69
Tableau IV- 17: Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact.	69
Tableau IV- 18: la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable de Boussaâda.	70
Tableau IV- 19: Caractéristiques du MEDAFLOW 30.....	71
Tableau IV- 20: Valeurs approximatives du coefficient granulaire	73
Tableau IV- 21: Correction du dosage en eau selon le diamètre, D du mélange granulaire.....	75
Tableau IV- 22: Valeur correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.	76
Tableau IV- 23 Coefficient de compacité	78
Tableau IV- 24: La composition d'un m ³ de béton ordinaire C=400 Kg.....	81
Tableau IV- 25: La composition d'un m ³ de béton ordinaire C=350 Kg.....	81
Tableau IV- 26: La composition d'un m ³ de béton ordinaire C=450 Kg.....	81
Tableau IV- 27: les quantités des constituants du béton témoin étudié	82
Tableau IV- 28: appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.	84

Liste des figures

Chapitre 01

Figure I. 1: pourcentage des constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire.....	4
Figure I. 2: pâte de ciment.....	4
Figure I. 3: Évolution du seuil de cisaillement selon le type d'adjuvant.....	10
Figure I. 4 : La création d'un réseau de microbilles d'air accroît considérablement la résistance au gel du béton.....	11

Chapitre 02

Figure II. 1: Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport eau/ciment..	24
Figure II. 2: Relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E	25
Figure II. 3: Relation entre la résistance calculée d'une pate pure de ciment et le rapport C/E	25
Figure II. 4: la relation entre C/E et la résistance à la compression (f_c) d'après la formule de Bolomey	26
Figure II. 5: Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression au jeune âge du béton	26
Figure II. 6 : influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme	28
Figure II. 7: Variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport G/S	29
Figure II. 8: influence du rapport G/C sur la résistance du béton	29
Figure II. 9: la relation entre la résistance à la compression de cylindres de béton (10x30 cm) et le volume de granulats pour un rapport E/C constant de 0,5	30
Figure II. 10: influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosage en ciment	31
Figure II. 11: Les différents pores d'un béton, positionnement selon le milieu extérieur.....	32

Liste des tableaux et es figures

Figure II. 12: Echelle des porosités des matériaux cimentaires	33
Figure II. 13: Représentation schématique de la pâte de ciment à l'état frais et à l'état durci, influence du rapport E/C.....	34
Figure II. 14: Composition volumique d'une pâte de ciment hydraté sans apport d'eau externe, selon le modèle de Powers,	35
Figure II. 15: Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire	36
Figure II. 16: Augmentation de la résistance de bétons (mesurée sur des cubes modifiés de 150 mm) sur une période de plus de 20 ans ; condition de conservation humide	37
Figure II.17 Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour différents dosages en ciment en fonction de l'affaissement.....	38
Figure II.18 Influence du pourcentage d'air occlus sur l'affaissement.....	39
Figures II. 19. Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour différents dosages en ciment et différents rapports eau/ciment en fonction du pourcentage d'air occlus.....	41
Figures II. 20. Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour un dosage en ciment de 300 kg/m ³ et différents rapports eau/ciment en fonction du pourcentage d'air occlus.....	41
Figures II. 21. Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour un dosage en ciment de 350 kg/m ³ et différents rapports eau/ciment en fonction du pourcentage d'air occlus.....	42
Figures II. 22 Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour un dosage en ciment de 400 kg/m ³ et différents rapports eau/ciment en fonction du pourcentage d'air occlus.....	42
Figures II, 23. Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau en fonction de l'affaissement et du pourcentage d'air occlus suivant deux vues différentes.....	44

Chapitre 03

Figure III-1: Abaque permettant d'estimer la perte en eau du béton jeune sans protection à partir des données climatiques ambiantes	49
Figure III-2: Evolution de l'évaporation suivant le mode cure.....	50
Figure III-3: Influence du vent sur le retrait plastique.....	51

Liste des tableaux et es figures

Figure III-4 : Différentes étapes de la cure des bétons pour des opérations de construction sous des conditions idéales.....	52
Figure III-5 : Arrosage continue de cure à la surface du béton.....	54
Figure III-6: Pulvérisation du produit.....	54
Figure III-7: Usage d'un polyane Recouvrant la surface du béton.....	54
Figure III-8: Maintien des coffrages en place.....	54

Chapitre 04

Figure IV- 1: La courbe granulométrique des graviers (3/8).	59
Figure IV- 2: La courbe granulométrique des graviers (8/16).	60
Figure IV- 3: La courbe granulométrique du sable (0/5).	65
Figure IV -4: Courbes granulométriques des granulats.....	65
Figure IV- 5: L'essai l'équivalent de sable	67
Figure IV- 6: Dosage approximatif en ciment en fonction.....	74
Figure IV- 7: presse hydraulique de compression.	85
Figure IV- 8: poids à l'air immersion et ébullition (g).....	87
Figure IV -9 : poids a l'eau immersion et ébullition (g).....	87

Chapitre 05

Figure V- 1 : la masse volumique de béton témoins $c=350 \text{ Kg/m}^3$	89
Figure V- 2 : la masse volumique de béton témoins $c=450 \text{ Kg/m}^3$	89
Figure V- 3 : la masse volumique de béton témoins (350.400.450) Kg/m^3	90
Figure V-4: la résistance à la compression du béton témoin $C=350 \text{ Kg/m}^3$	90
Figure V-5 : la résistance à la compression du béton témoin $C=400 \text{ Kg/m}^3$	91
Figure V-6 : la résistance à la compression du béton témoin $C=450 \text{ Kg/m}^3$	91
Figure V-7 : la résistance à la compression du béton témoin (350.400.450) Kg/m^3	92
Figure V-8 : La porosité P.A.E (%) des bétons témoin $C=350 \text{ Kg/m}^3$	92
Figure V-9 : La porosité P.A.E (%) des bétons témoin $C=400 \text{ Kg/m}^3$	93
Figure V-10 : La porosité P.A.E (%) des bétons témoin $C=450 \text{ Kg/m}^3$	94
Figure V-11 : la porosité P.A.E (%) du béton témoin (350.400.450) Kg/m^3	94
Figure V-12 : la Perte de masse des bétons témoin 60 Jours $C=350 \text{ Kg/m}^3$	95

Liste des tableaux et es figures

Figure V-13 : la Perte de masse des bétons témoin 60 Jours C=400 Kg/m ³	96
Figure V-14 : la Perte de masse des bétons témoin 60 Jours C=450 Kg/m ³	96
Figure V-15 : La porosité P(%) des bétons témoin C=350 Kg/m ³	97
Figure V-16 : La porosité P(%) des bétons témoin C=400 Kg/m ³	97
Figure V-17 : La porosité P(%) des bétons témoin C=450 Kg/m ³	98
Figure V-18 : La porosité P(%) des bétons témoin (350.400.450) Kg/m ³	98
Figure V-19 : la résistance à la compression du béton de régime de la cure 350 Kg/m ³	99
Figure V-20 : la résistance à la compression du béton de régime de la cure 400 Kg/m ³	100
Figure V-21 : la résistance à la compression du béton de régime de la cure 450 Kg/m ³	100
Figure V-23 la résistance mécanique par rapport de régime de la cure (350.400.450)kg/m ³	101
Figure V-24 : La porosité des bétons la Cure C=350 Kg/m ³	101
Figure V-25 : La porosité des bétons la Cure C=400 Kg/m ³	102
Figure V-26 : La porosité des bétons la Cure C=450 Kg/m ³	102
Figure V-27: La porosité des bétons de régime de cure (350.400.450)kg/m ³	103
Figure V-28 : La porosité P(%) des bétons la Cure C=350 kg/m ³	103
Figure V-29 : La porosité P(%) des bétons la Cure C=400 kg/m ³	104
Figure V-30 : La porosité P(%) des bétons la Cure C=450 kg/m ³	104
Figure V-31 : La porosité P(%) des bétons du cure (350.400.450) Kg/m ³	105

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة الحالة والاستعمال الدائم لتقييم الخرسانة الموجودة في وسط التأثير وطريقة الاحتفاظ بالطاقة لها علاقة بعدة عوامل التي لا تعتبر سهلة العزل:

اظهار بعض العناصر في الخرسانة (الجرعة ونوع الاسمنت والركام) ، التنفيذ التقني ، عمر الخرسانة ، حالة المناخ . وسيتم ذلك مع الأخذ بعين الاعتبار الخرسانة العادية . مطلوب أنه، في هذه الدراسة تأثير جرعة الاسمنت على الخصائص الميكانيكية المادية و الهدف من تطوير إمكانية ملموسة المقاومة

الكلمات المفتاح: جرعة الاسمنت, المقاومة, العلاج, الركام, عمر, نوع الاسمنت.

Résumé :

Ce travail vise à étudier le comportement et l'utilisation durable de l'évaluation du béton et du ciment existant du contenu d'influence. Méthode de conservation de résistance dépend de nombreux facteurs qui ne sont pas toujours faciles à isoler :

configurer divers éléments en béton (dose et le type de ciment et de granulats), mise en œuvre technique, l'âge du béton, les conditions climatiques. Cela se fera en tenant compte du béton normal. Requête que, dans cette étude, l'effet de la dose sur les propriétés mécaniques des matériaux de ciment et le but de développer une possibilité concrète de la résistance.

Mots clé: dosage de ciment, de la résistance, le traitement, les gravats, l'âge, Type de ciment

Abstract:

This work aims to study the behavior and the sustainability of current use concrete and evaluate the cement content of influence. Resistance conservation method depends on several factors that are not always easy to isolate:

Composition of the various constituents of the concrete (dosage and type of cement, aggregates) , technical implementation , concrete age , condition climate . This will be done taking into account ordinary concrete. He is wanted, in this study, the cement dosage influence on the physical mechanical characteristics and to the objective of developing a resistant concrete possibility.

Key words: cement dosage, resistance, the cure, rubble, age, Type of cement

Introduction générale :

Le béton, est irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques. Le compromis trouvé entre résistance mécanique, économie, esthétique et facilité de mise en œuvre, offre à ce matériau la première place dans la construction au niveau mondial. au niveau régional et national le béton est le matériau de construction utilisé par excellence au sein de tous les chantiers, aussi bien dans les secteurs du bâtiment que ceux des travaux publics ; il n'a pas de substitut économique et performant à condition qu'il présente les qualités requises.

L'humidité relative et les conditions climatiques défavorables lors de la mise en place d'un béton exposé peuvent contribuer à sa perte rapide d'eau. La cure est un procédé lui permettant de maintenir des taux d'humidité adéquats durant une période définie. Essentielle, elle permet au béton de développer les propriétés requises, telles que la résistance et la durabilité. La durée de cure humide a des effets immédiats sur l'acquisition des caractéristiques mécaniques des bétons elle a des effets à plus long terme sur la durabilité.

La mesure de la résistance en compression après 28 jours de cure est un essai de référence et l'un des moyens les plus utilisés pour le contrôle de la qualité du béton qui est alors essentiellement fonction du dosage en ciment. Lorsqu'il s'agit d'éprouvettes ayant un passé de conservation différent on peut avoir intérêt à utiliser la résistance en compression en fin de cure qui, elle, prend en compte les conditions réelles d'hydratation.

Pour une même ouvrabilité, une augmentation du dosage en ciment du béton aura pour conséquence de diminuer le rapport E/C de ce béton, ce qui se traduira nécessairement par une augmentation de la résistance à court terme.

Ce travail a pour objectif, d'établir les liens existant entre la résistance mécanique et ; la porosité, le dosage. Cette étude est étendue pour mettre en évidence les effets de la cure sur les caractéristiques capillaires d'un béton.

Afin d'étudier l'influence de dosage et le mode de cure sur les caractéristiques physiques et mécaniques, trois types de bétons d'ouvrabilités similaires ont été élaborés en faisant varier le dosage de ciment (350,400 et 450 kg/m³). Ces échantillons ont subis deux modes de cures : à l'air libre et à l'eau, et dans la Cure pendant **3, 7 et 28** jours.

Introduction générale

Afin d'atteindre les objectifs visés supra, nous avons subdivisé notre travail en trois chapitres étroitement liés :

- ✓ le 1^{ème} chapitre présent ce travail est destiné à l'étude bibliographique sur Généralité sur le béton et ses composants.
- ✓ le 2^{ème} chapitre est une généralité sur le Influence du dosage du ciment dans le béton
- ✓ Le 3^{ème} chapitre sur la cure et
- ✓ le 4^{ème} chapitre La caractérisation des différents matériaux utilisés les méthodes de formulation sont présentées dans.

Dans le dernier chapitre est consacré également à une analyse des résultats obtenus. Enfin, une conclusion générale sur nos travaux ainsi que d'éventuelles perspectives clôture ce mémoire de fin d'études.

Chapitre 01 : Généralité sur le béton et ses composants.

Introduction:

Le béton comme matériau de construction le plus utilisé dans la construction, il permet de réaliser des prouesses technologiques telles que les barrages, ponts, immeubles, tunnels, centrales nucléaires. Son intérêt vient de sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance à la compression, sa durabilité et son faible coût et d'autres qualités. Les origines du béton de terre remontent à la plus haute antiquité, mais c'est au XXe siècle que l'utilisation du béton se généralise aux dépens de l'acier et de la maçonnerie. Aujourd'hui, le béton doit répondre à un ensemble de spécifications très précises qui sont la rhéologie, la résistance au jeune âge, les aspects de parement, la résistance à 28 jours, la durabilité, etc.

Le durcissement du béton est le passage d'un état plastique à un état durci, et ce, grâce à un résultat d'un certain nombre de réactions chimiques entre l'eau de gâchage et les grains de ciment appelé réaction d'hydratation du ciment portland.

Un peu d'histoire...

Le béton est né du besoin d'avoir un matériau de construction bon marché, malléable au moment de le mettre en place et résistant ensuite.

La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans avant JC. Un matériau similaire était connu des égyptiens et des Romains, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspidine qui en 1824 fait breveter le ciment Portland

I-1- Composition de béton:

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et le plus souvent, adjuvants (figure I.1) qui constituent un ensemble plus ou moins homogène. Les composants sont très différents : les masses volumiques dans les bétons courants varient de 1 t/m³ (pour l'eau) à 3 t/m³ (pour ciment); les dimensions de leurs grains varient de 0.5 µm (grains du ciment) à 25 mm (gravillons).

Eau (Adjuvant)	constituants	Volume (%)	Poids (%)
Ciment	Granulats	60-78	65-85
Sable	Ciment	7-14	9-18
Graviers	Eau	14-22	5-9
	Air	1-6	-
	G/S	1,4	2,2
	Adjuvant	Selon la désirée	fluidité

Figure I. 1: pourcentage des constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire

I-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.

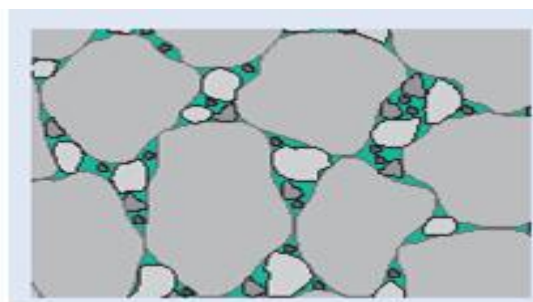


Figure I. 2: pâte de ciment

I-1-1-1 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.

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.

I-1-1-1-1- Classification des ciments :

I-1-1-1-1-1- Classification suivant la composition :

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

- CEM I Ciment Portland Artificiel;
- CEM II Ciment Portland composé;
- CEM III Ciment de haut fourneau;
- CEM IV Ciment pouzzolanique;
- CEM V Ciment aux laitiers et aux cendres.

Ces ciments différents par le type d'ajout et sa teneur, incorporés dans le but de modifier certaines de leurs propriétés en raison des conditions d'environnement ou de performances mécaniques auquel ces ciments sont destinés. Les différents types d'ajouts normalisés sont:[03]

I-1-1-1-1-2- 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. [01]

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	—		

Tableau I-1 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques [01]

I-1-1-1-3- Classification des ciments suivant le type d'environnement :

Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux de type:

- **Ciment PM : NF P 15-317** résistant à l'eau de mer est un ciment courant possédant des caractéristiques physiques et chimiques complémentaires (teneur limitée en aluminat tricalcique) qui lui donne une résistance accrue à l'agression des ions sulfate en présence d'ions chlorure, au cours de la prise et ultérieurement.
- **Ciment ES : XP P 15-319** résistant aux eaux sulfatées est un ciment courant présentant des teneurs limitées en aluminat tricalcique (C3A) afin d'avoir une résistance accrue à l'agression des ions sulfate au cours de la prise et ultérieurement.
- **Ciments CP : NF P 15-318** pour béton précontraint, on distingue deux types de ciments qui diffèrent par leur teneur en ions sulfure SO_4^{2-} :
 - ✓ Ciments de la classe CP2 contenant moins de 0,2 % d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par prétension.
 - ✓ Ciments de la classe CP1 contenant moins de 0,7 % d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par post tension. Il existe par ailleurs des ciments spéciaux répondant à des conditions spécifiques (durcissement très rapide, résistance aux fortes chaleurs ou aux agressions chimiques).C'est le cas du ciment alumineux fondu, très résistant aux milieux acides.

I-1-1-2- 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 cm^2/g .

- La masse volumique des ciments est en générale de 800 à 1200 kg/m^3 on compte en moyenne 1100 kg/m^3 pour un ciment en vrac non tassé.
- La masse volumique spécifique varie en général de 2900 à 3200 kg/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. [01]
- 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-1-1-2- 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-1-1-3- 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. [04]

I-1-1-3-1- Définition :

Un adjuvant peut être défini comme un produit chimique qui est ajouté au béton selon un dosage n'excédant pas 5% de la masse totale du ciment. Soit au cours d'un malaxage complémentaire avant la mise en œuvre du béton dans le but de le modifier ou d'améliorer certaines de ces propriétés...

Pour des raisons de commodité d'utilisation, la plupart des adjuvants existent en poudre afin de réduire leur coût de transport.

I-1-1-3-2- Les différents cas d'application possibles :

- ❖ Accroissements de la compacité du béton pour un dosage en ciment fixé ; et pour une granulométrie déjà déterminée.
- ❖ Accroissements des résistances mécaniques, sans la modification de la teneur imposée en ciment.
- ❖ Augmentation de la maniabilité, sans accroissement de la quantité d'eau de gâchage.
- ❖ Amélioration de l'imperméabilité d'un béton. Diminution du retrait.
- ❖ Accroissement de la résistance à la flexion.
- ❖ Résistance au gel du béton déjà durci.
- ❖ Durcissement par période de gel intense.
- ❖ Durcissement par temps froid ou petites gelées.
- ❖ Résistance au Blessing (ségrégation de l'eau).
- ❖ Résistance aux eaux agressives.
- ❖ Aptitude d'un mortier à être injecté (mortier thixotropique).
- ❖ Aptitude du béton à être coulé sous l'eau.
- ❖ Résistance à la dessiccation du béton durci.
- ❖ Confection du béton léger.
- ❖ Possibilités de démoulage rapide.
- ❖ Confection du béton clou balès, non fissura blés.

I-1-1-3-3- Rôle des adjuvants :

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.[04]

L'emploi d'un adjuvant ne peut entraîner une diminution de certaines caractéristiques du béton que dans les limites précisées par la norme. Il ne doit pas non plus altérer les caractéristiques des armatures du béton ou des aciers de précontrainte.

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci. L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des composants du béton. Un adjuvant présente généralement une ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale. L'emploi d'un adjuvant peut aussi entraîner des effets secondaires non directement recherchés. Ainsi, un adjuvant réducteur d'eau peut avoir une fonction secondaire de retardateur de prise.

L'utilisation des adjuvants pour la production de béton de structures doit respecter les exigences de la norme **NF EN 206-1**. [04]

I-1-1-3-4- 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-plastifiante (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.

❖ Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton :

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la viscosité. La frontière entre les différents types d'adjuvants de cette famille n'est pas toujours très nette, les effets recherchés sont très proches et les différences obtenues sont souvent une question de nuances liées aux dosages préconisés.

➤ Les plastifiants réducteurs d'eau (NF EN 934-2)

Ces adjuvants ont pour fonction principale de conduire, à même ouvrabilité, à une augmentation des résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau d'un béton,

d'un mortier ou d'un coulis. Ils sont à base de lignosulfonates, de sels d'acides organiques, de mélamine sulfonât, de naphthalène sulfonât et dérivés de mélamine ou naphthalène.

➤ **Les super-plastifiants (NF EN 934-2)**

Introduits dans un béton, un mortier ou un coulis, en général peu avant sa mise en œuvre, ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange. Sur le béton frais, on constate une augmentation considérable de l'ouvrabilité pour une même teneur en eau. Ces effets ont une durée fonction de la température, de la teneur en eau et du dosage en ciment. Il n'y a ni ségrégation, ni ressuage si des précautions sont prises à la mise en œuvre; cohésion du béton reste très bonne.

Les super-plastifiants sont particulièrement utiles pour la réalisation des fondations, dallages, radiers, sols industriels, etc., et pratiquement indispensables pour la confection des bétons de hautes performances. Ils sont couramment utilisés dans béton prêt à l'emploi, surtout lorsqu'il est pompé. [04]

❖ **Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement :**

Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé (le graphique suivant illustre ce phénomène). [07]

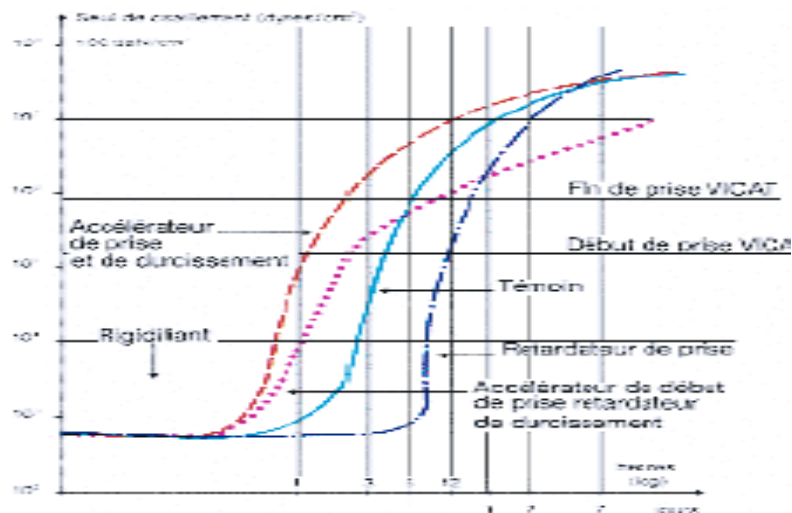


Figure I. 3: Évolution du seuil de cisaillement selon le type d'adjuvant. [04]

➤ **Les accélérateurs de prise et les accélérateurs de durcissement (NF EN 934-2)**

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de prise du ciment dans les bétons, les mortiers ou les coulis. L'accélérateur du durcissement a pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons, des

mortiers ou des coulis. Bien souvent ces deux fonctions sont liées et l'on retrouve l'une d'elles comme effet secondaire de l'autre.

➤ **Les retardateurs de prise (NF EN 934-2)**

Introduits dans l'eau de gâchage, ils ont pour fonction principale d'augmenter le temps de début de prise et le temps de fin de prise du ciment dans le béton, le mortier ou le coulis. Ils sont à base de lignosulfonates, d'hydrates de carbone ou d'oxydes de zinc ou de plomb.[04]

❖ **Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton :**

➤ **Les entraîneurs d'air (NF EN 934-2)**

Ils ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton, le mortier ou le coulis, de microbilles d'air uniformément réparties dans la masse. Les entraîneurs d'air sont des corps tensio-actifs : lignosulfonates, abiétates de résines, sels d'éthanol-amine, que l'on mélange en fonction des propriétés à obtenir. L'utilisation des entraîneurs d'air pour les bétons routiers est obligatoire. La valeur de l'air occlus doit être comprise entre 4 et 6 %. Il est recommandé de coupler l'utilisation d'un plastifiant à tout emploi d'entraîneur d'air.

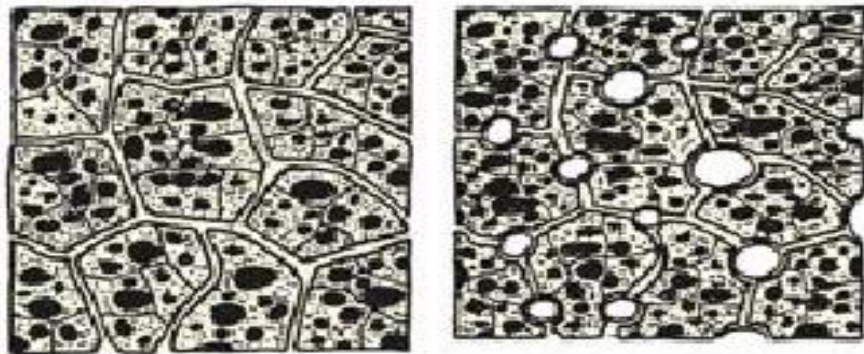


Figure I. 4 : La création d'un réseau de microbilles d'air accroît considérablement la résistance au gel du béton. [04]

➤ **Les hydrofuges de masse (NF EN 934-2)**

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons, des mortiers ou des coulis durcis. Cette diminution de l'absorption capillaire procure une bonne étanchéité au béton. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates). Ils peuvent également comporter des matières fines (type bentonite) ainsi que des agents fluidifiants. Ils sont utilisés pour les bétons d'ouvrages hydrauliques

(canaux, murs de fondation, retenues d'eau...) et les mortiers d'étanchéité (chapes, joints de maçonnerie, galeries de tunnels).

➤ **Les rétenteurs d'eau (NF EN 934-2)**

Ces produits ont pour fonction de réguler l'évaporation de l'eau et d'augmenter ainsi, l'homogénéité et la stabilité du mélange. Le ressuage par l'action de ces stabilisants est réduit de 50 %. La rhéologie du béton frais est améliorée même dans le cas d'une diminution du volume des fines. La diminution des résistances à 28 jours par rapport à un béton témoin est de l'ordre de 20 %.

❖ **Les produits de cure :** Les produits de cure (norme NF P 18-370) ont pour effet de protéger le béton frais après sa mise en œuvre, en évitant sa dessiccation par évaporation trop rapide de l'eau. Celle-ci entraînerait une baisse des résistances mécaniques, la formation de fissures de retrait avant prise, un poudroïement et un déchaussement des granulats. Ces produits sont à base de résines, cires ou paraffines en émulsion aqueuse, de résines naturelles ou synthétiques, de cires ou de paraffines dissoutes dans un solvant pétrolier,

<i>Choix du type d'adjuvant en fonction de sa propriété</i>								
PROPRIÉTÉ	ADJUVANTS							
		Réducteurs d'eau	Plastifiants	Supera-plastifiants	Accélérateurs de durcissement	Accélérateurs de prise	Retardateurs de prise	Entraîneurs d'air
<i>Ouvrabilité</i>		+	+				+	
<i>Temps de prise</i>					-	+		
<i>Résistances</i>	<i>court terme (3 jours)</i>	+	+	+	+	-	-	
	<i>long terme (> 28 jours)</i>	+		+	=	+	-	
<i>Air occlus</i>							+	
<i>Résistance au gel du béton durci</i>	+						+	
<i>Compacité</i>	+	+	+					
<i>État de surface</i>		+					+	
<i>Perméabilité sous pression hydraulique</i>				-				-

Tableau I-2 : Les types d'adjuvant en fonction de sa propriété. [04]

❖ **Adjuvants pour bétons durcis :**

➤ **Fluocsictes:** Par combinaison avec la chaux augmente la résistance à l'usure et aux agents agressifs (diminuent la perméabilité).

- **Silicatisations:** Traitement en surface par une solution chaude, augmente l'imperméabilité et la résistance aux agents agressifs.
- **Peinturage :** Protection par application de peinture spéciale...

I-1-1-4- les granulats XP P 18-540:

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, peuvent être d'origine naturelle (sables et graviers de mer et de rivières), artificielle (argile expansée) ou issue du recyclage de déchets de l'industrie (laitier de hauts fourneaux). Ils constituent l'ossature du béton et occupent 70 à 80 % environ du volume d'un béton, ils sont inertes en principe, mais peuvent favoriser certaines réactions d'hydratation de certains minéraux du clinker c'est l'exemple des silicates tricalciques C3S en présence de filler d'origine calcaire. Leur utilisation pour la confection d'un béton est motivée par le faible coût volumique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange-ciment-eau. En effet, la nature, la quantité, la forme, la granulométrie, la propreté, l'état de surface et le type de granulats sont des facteurs ayant une influence sur les caractéristiques du béton, aussi bien à l'état durcis que l'état frais. Les principales divisions granulométriques des granulats données par la norme XP P18-540 sont les suivantes :

- fillers 0/D ou $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;
- sablons 0/D ou $D \leq 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ;
- sables 0/D ou $1 < D \leq 6,3$ mm ;
- grave 0/D ou $D > 6,3$ mm ;
- gravillons d/D ou $d \geq 1$ et $D \leq 125$ mm ;
- ballasts d/D ou $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm.

I-1-1-4-1- Différents types de granulats :

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, soit artificielle [02]

I-1-1-4-1-1- Les granulats naturels :

❖ Origine minéralogique :

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que le quartz et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories:

- ✓ Les granulats **alluvionnaires**, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la

résistance du béton et criblé ton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silicocalcaires.

- ✓ Les granulats de carrière sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres: origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon. [03]

I-1-1-4-1-2- Les granulats artificiels :

❖ Sous-produits industriels, concassés ou non :

Les plus employés sont la pouzzolane cristallisée concassée et la pouzzolane granulée de haut fourneau obtenu par refroidissement à l'eau. La masse volumique apparente est supérieure à $1\,250\text{ kg/m}^3$ pour la pouzzolane cristallisée concassée, 800 kg/m^3 pour le granulé.

Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers. Les différentes caractéristiques des granulats de pouzzolane et leurs spécifications font l'objet des normes NF P 18-302 et 18-306.

❖ Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement :

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux, carborundum...) ou granulats réfractaires.

❖ Granulats allégés par expansion ou frittage :

Ces granulats, très utilisés dans de nombreux pays comme l'URSS ou les États-Unis, n'ont pas eu en France le même développement, bien qu'ils aient des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressants. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NF P 18-309) et la pouzzolane expansée (NF P 18-307). D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m^3 selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique.

Les grains de poids intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³.

❖ Les granulats très légers

Ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé). Très légers - 20 à 100 kg/m³ - ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m³. On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers: blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants.

I-1-1-4-2- Classification des granulats :

I-1-1-4-2-1- Gravier :

On appelle gravier l'accumulation des grains de 5 à 70 mm provenant

- ❖ Soit de la destruction naturelle des roches.
- ❖ Soit du broyage des roches massives.

➤ Granularité de gravier :

La granularité conditionne la porosité du mélange, si tous les grains ont une même grosseur, on aurait une porosité maximale, donc pour avoir un mélange dont le volume des vides est minimum il faut une composition granulométrique des grains de différentes dimensions qui doit se situer dans la limite appelée (fuseaux de spécification)

Tamis	Limite de tamis refus cumulé (%)
D min	90-100
D max	0-10
1/2(D min+D max)	40-70
5/4D max	0

Tableau I-3 Refus cumulé sur tamis [03]

➤ Absorption d'eau :

Les graviers sont plus au moins poreux, les graviers absorbent de l'eau de pluie est devient humide, il faut donc prendre en compte cette humidité lors de la détermination de la

composition de béton, sinon on aura une quantité d'eau de gâchage supplémentaire qui entraîne une diminution de la résistance du béton.

I-1-1-4-2-2- Sable :

Le sable est une masse meuble de matières minérales inorganisées, finement granuleuses (0.08 à 5.00 mm), habituellement composées de quartz (silice), et d'une petite proportion de mica, de feldspath, de magnétite et autres minéraux durs. C'est le résultat de l'érosion, dégradation et abrasion des roches par des processus chimiques et mécaniques quand les grains viennent de se former, ils sont habituellement anguleux et les points par la suite sous l'action du vent et de l'eau ils s'usent, s'arrondissent et deviennent de plus en plus petits.

Le sable est un élément très important dans la constitution des bétons et c'est généralement par la médiocre qualité du sable que périssent les bétons.

I -1-1-4-2-2-1- Classification de sable :

➤ **Suivant leurs grosseurs :**

- Sable fin.....0.08 à 0.315 mm
- Sable moyen... 0.0315 à 2.00 mm
- Sable gros... 2.00 à 5.00 mm

➤ **Suivant leur provenance :**

- Sable de rivière : absence de grains fins.
- Sable de dunes : uniformité et prédominance de grain fin.
- Sable de plaines ou d'alluvions : absence de gros grain.
- Sable résidus de concassage : prédominance de gros grain et présence de farines, ou fines ou fières
- Sable de mer.

I-1-1-4-2-2-2- Rôle du sable dans le béton :

Dans le béton le sable occupe presque 1/4 de son volume par conséquent la qualité du sable influe considérablement sur la qualité du béton. Il remplit avec le ciment et l'eau tous les vides entre les grains de gravier, décidant ainsi la structure compacte du béton, d'autre part, le coût de revient, puisqu'il est toujours moins cher que le ciment.

I-2- Propriétés des bétons:

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- **le béton frais**: mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.
- **le béton durci**: solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physicochimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

I-2-1- Le béton frais:

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité, qui le rend apte à remplir n'importe quel volume, à condition que sa composition ait été étudiée en conséquence et que les moyens de mise en œuvre soient appropriés.

L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton à remplir les coffrages et à enrober convenablement les armatures. De nombreux facteurs sur l'ouvrabilité : type et dosage en ciment, forme des granulats granulométrie, emploi d'adjuvants et, bien entendu, dosage en eau.

I-2-1-1- La valeur d'affaissement au Cône d'Abrams :

La norme NF EN 206-1 définit cinq classes de consistance.

Classe	Consistance du béton	Affaissement (en mm) au cône d'Abrams
S1	Ferme	10 - 40
S2	Plastique	50 - 90
S3	Très plastique	100 - 150
S4	Fluide	160 - 210
S5	Très fluide	≥ 220

Tableau I-4 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams

I-2-1-2- La masse volumique du béton frais :

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

$$D = (m2 - m1) / v$$

D : est la masse volumique du béton

M1 : est la masse du récipient (kg).

M2 : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m³)

I-2-2- Le béton durci:

- Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée émisses 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. [05]
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

I-2-2- 1- Résistance à la compression :

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 32cm de hauteur [05] 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 :

$$f_c = F / AC$$

f_c : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés)

F : charge maximale, exprimée en Newtons

AC; 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 MPa (N/mm²) près.

I-2-2- 3- Porosité:

La porosité du béton est le degré de remplissage de son volume par les pores, d'air ou d'eau, ils peuvent être fermés ou ouverts ayant des dimensions plus au moins grande. On peut retenir les valeurs suivantes pour les bétons traditionnels :

Qualité de béton	Porosité en % de volume
Excellent	10à11
Satisfaisant	12à15
Médiocre	16à18
Mauvais et très mauvais	>22

Tableau I-5 : Porosité du béton. [05]

I-3- Classification du béton :

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories. [02]

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique:

- Béton très lourd: > 2500 kg/m³.
- Béton lourd (béton courant): 1800 - 2500 kg/m³.
- Béton léger: 500 - 1800 kg/m³.
- Béton très léger: < 500 kg/m³.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment (le ciment),
- Béton silicate (**la chaux**),
- Béton de gypse (le gypse) et Béton asphalte.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des **adjuvants**, des colorants, des traitements de surface et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

- Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une **masse volumique** de 2003 kg/m³ environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.
- Les bétons lourds, dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg/m³ servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.
- Les bétons de granulats légers, dont la résistance peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes offshore ou les ponts.
- Les bétons cellulaires (bétons très légers) dont les masses volumiques sont inférieures de 500 kg/m³. Ils sont utilisés dans le bâtiment, pour répondre aux problèmes d'isolation.
- Les bétons de fibres, plus récents, correspondent à des usages très variés: dallages, éléments décoratifs, mobilier urbain.

La norme ENV 206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément au tableau 6.1. Dans ce tableau $f_{ck\ cyl}$ est la résistance caractéristique mesurée sur cylindres (c'est cette résistance qui correspond à la résistance caractéristique à laquelle il est fait référence dans l'Euro code 2) ; $f_{ck\ cube}$ est la résistance caractéristique mesurée sur cubes. Les valeurs soulignées sont les valeurs recommandées.

Tableau 2 : Classes de résistance des bétons T selon la norme NF P 98-170		
Classe de résistance	Résistance caractéristique à 28 jours en fendage (MPa)	Nature des travaux
6	3,3	Couche de roulement
5	2,7	
4	2,4	
3	2,0	
2	1,7 (ou Rc = 20 Mpa)	Couche de fondation
1	1,3 (ou Rc = 15 Mpa)	

Tableau I-6 : Classes de résistance du béton. [02]

I -4-CONCLUSION

Cette partie théorique nous permet de conclure que le béton est un matériau hétérogène dont le choix des composants est en fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques et la durabilité, elles dépendent de la porosité et de la qualité et des composants.

Chapitre 02 : Influence du dosage de béton**Introduction**

Connaissant l'importance que revêt le dosage en ciment et le rapport E/C sur les caractéristiques du béton à l'état frais et à l'état durci, on a choisi de faire varier ces deux paramètres selon , ce qui a conduit à la réalisation de formulations de béton. Aussi deux modes de maturation ont été utilisés; les éprouvettes cubique 10*10*10 cm³ ont été conservées après confection et démoulage soit à l'air libre soit en immersion totale dans l'eau (NA 426). La reproductibilité de l'essai de compression est très difficile à obtenir, étant donné que les risques d'erreurs concernant cet essai sont multiples : il suffit souvent que l'une des spécifications ne soit pas suivie au cours de l'essai, pour obtenir un résultat aberrant. On se concentre ici sur des essais réalisés avec rigueur et pour lesquels une étude statistique peut être conduite. C'est pourquoi on a étudié expérimentalement pour chaque paramètre vingt éprouvettes au lieu des trois conventionnelles. Chaque mesure de résistance est donc la valeur moyenne obtenue sur environ une vingtaine d'éprouvettes et ceci après avoir rejeté les quelques valeurs aberrantes en utilisant le test tabulé pour la loi normale . Les bétons réalisés ont été confectionnés conformément aux normes en vigueur.

Les matériaux préalablement séchés dans l'étuve à 110±5°C, sont introduits dans le malaxeur dans l'ordre suivant: graviers (8/16, 3/8), ciment, sable et eau. Après un malaxage à sec de l'ordre de 1 minute, on ajoute l'eau de gâchage et on poursuit le malaxage pendant 2 minutes. La mise en place dans les moules a eu lieu, soit par vibration soit par piquage, en fonction des résultats de l'essai d'affaissement et conformément aux normes NF P 18-421, 422, 423. Dans le cadre de cette étude on a choisi de considérer le rapport E/C constant et non pas l'ouvrabilité du béton. Toutefois, les sables concassés qui ont été utilisés contiennent 15 et 17% de particules inférieures à 80 µm, lesquelles augmentent de façon excessive le besoin en eau du béton. C'est la raison pour laquelle on a fait varier le rapport E/C de 0,5 à 0,75

La campagne d'essais comprend deux parties : la première concerne l'optimisation du squelette granulaire des bétons. Les bétons sont formulés dans un premier temps par la méthode Dreux-Gorisse , puis optimisés en utilisant la méthode Baron-Lesage , qui consiste à déterminer le rapport gravillon/sable (G/S) optimum. Le rapport G/S optimum est celui qui donne, à pâte constante, l'affaissement le plus élevé.

Dans la deuxième partie de la campagne d'essais, les bétons sont formulés sur la base des

squelettes granulaires optimisés précédemment, en faisant varier le rapport E/C ainsi que le dosage en ciment. Parmi les propriétés étudiées, on ne présente que les résultats concernant les résistances à la compression à 28 jours, mesurés au laboratoire sur éprouvettes cylindriques normalisées conservées dans l'eau.

II-1 Essai de résistance à la compression :

Le plus courant des essais sur béton est la résistance à la compression, en partie parce que cet essai est facile à exécuter et aussi parce que de nombreuses caractéristiques du béton, mais pas toutes, peuvent être qualitativement reliées à sa résistance.

Toutefois, la raison principale de cet essai est l'importance intrinsèque de la résistance à la compression lors de la conception structurale. Même s'il est universellement utilisé dans le domaine de la construction, l'essai de résistance à la compression présente quelques inconvénients, mais il constitue, à parler franc, un élément du bagage culturel de l'ingénieur

Les résultats de l'essai de résistance à la compression peuvent être affectés par différents paramètres : le type d'éprouvette et ses dimensions, le type de moule, de mûrissement, la préparation des faces d'essai sur lesquelles s'exerce la compression, la rigidité de la presse, la vitesse d'application de la charge. Pour toutes ces raisons, les essais doivent être effectués selon une procédure bien précise sans dévier des spécifications imposées.

Les essais de résistance à la compression effectués sur des éprouvettes préparées de façon normalisée, incluant un serrage ou un compactage à 100% et un mûrissement dans l'eau pendant une période donnée, donnent des résultats représentant la qualité du béton. Bien sûr, le béton dans la structure peut présenter une qualité inférieure, par exemple, par suite d'une mauvaise mise en oeuvre, d'un compactage ou vibration inadéquats, d'un phénomène de ségrégation ou d'un mauvais mûrissement. Ces effets sont importants si l'on désire savoir à quel moment on peut décoffrer, pour suivre la construction ou mettre la structure en service. Pour cette raison, les éprouvettes d'essai sont mûries dans des conditions se rapprochant le plus possible de celles existant dans la structure réelle.

Les éprouvettes doivent être des éprouvettes cylindriques. Les plateaux ou contre-plateaux de la presse doivent avoir des dimensions égales ou légèrement supérieures à celles des faces de l'éprouvette soumise à l'essai.

Une bonne résistance à la compression est la performance bien souvent recherchée pour le béton durci. Cette résistance dépend d'un certain nombre de paramètres, en particulier le type et le dosage du ciment, la porosité du béton et le facteur E/C, rapport du dosage en eau au dosage en ciment, etc[7]

II -2 Paramètres qui influent sur les caractéristiques du béton :

II -2-1 Influence du rapport eau/ciment (E/C) :

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides. Au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent .

Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation a l'état frais. Le dosage du ciment est très souvent relié aux propriétés mécaniques du béton et à sa durabilité. On considère aussi que l'écoulement et l'ouvrabilité du béton sont reliés au rapport E/C. La formulation des bétons ordinaires doit impérativement passer par l'optimisation de ces paramètres.

Neville, (2000) a montré que la courbe qui représente la résistance en fonction du rapport E/C avait l'allure d'une hyperbole. Le même auteur a montré que cette relation ne dépendait ni du type des granulats utilisés ni de l'âge du béton. Ce résultat a aussi été trouvé par qui a montré aussi que cette relation dépend très peu du dosage en ciment (figure II.1).

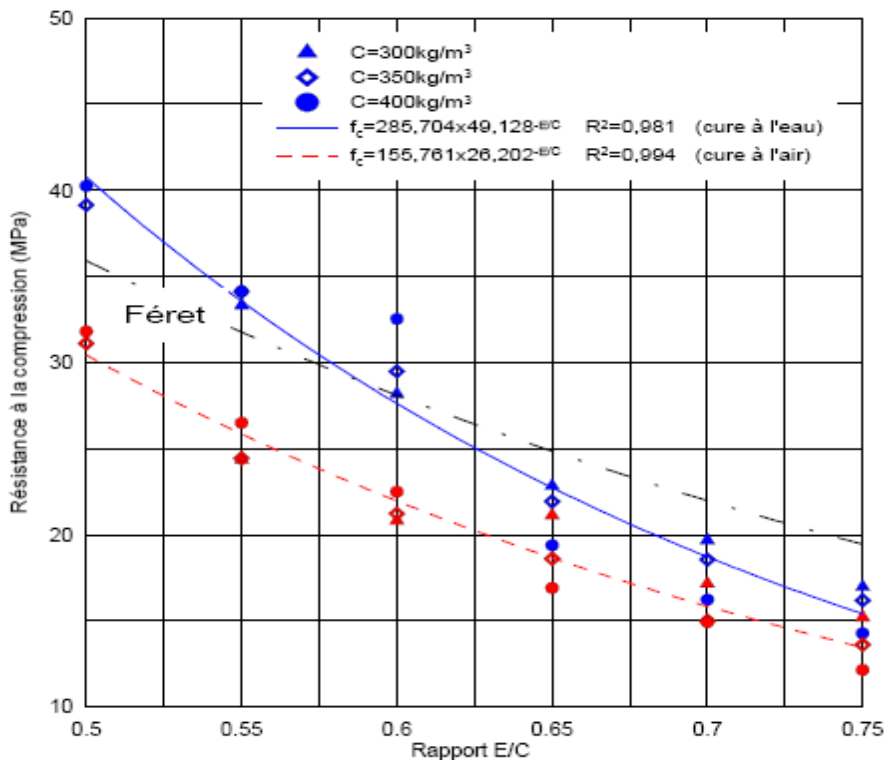


Figure II. 1: Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport eau/ciment

Cependant d'autres auteurs ont montré que la relation était plutôt linéaire pour des valeurs du rapport C/E compris entre 0.4 et 0.85 (figure II.2).

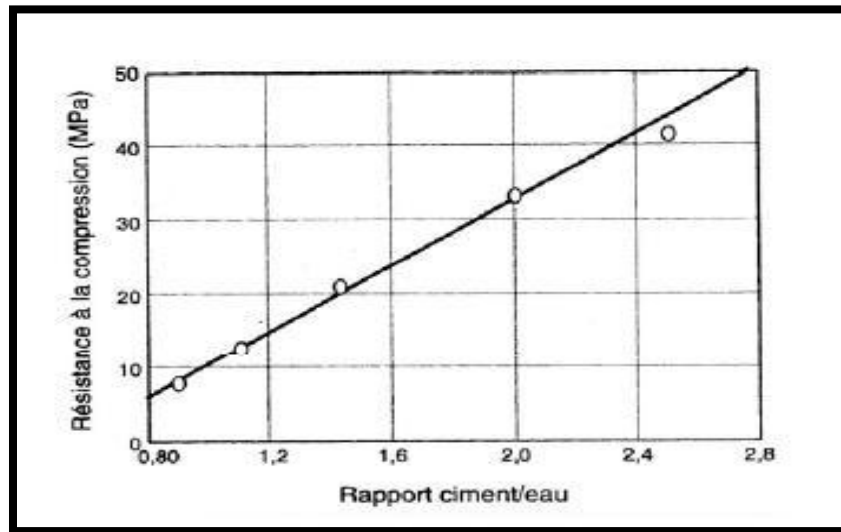


Figure II. 2:Relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E .

a montré que la linéarité de la relation entre la résistance et le rapport (C/E) n'est plus valable pour des rapports C/E supérieurs à 2,6, ce qui correspond à un rapport E/C égale à 0,38. Comme on le voit sur la (figure II.3), pour des rapports C/E supérieurs à 2,6, la relation avec la résistance est quelque peu différente même si elle demeure linéaire.

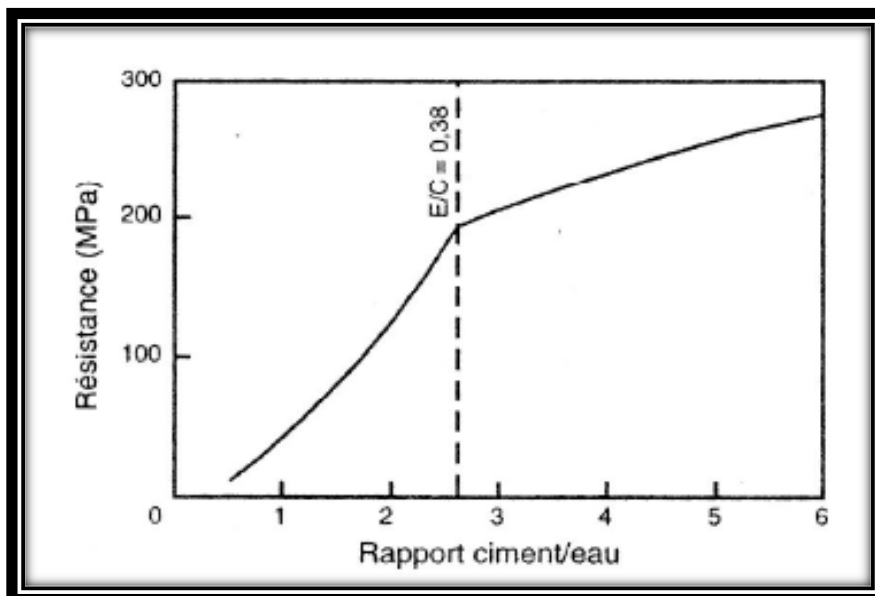


Figure II. 3:Relation entre la résistance calculée d'une pate pure de ciment et le rapport C/E.

La (figure II.4) montre que la relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E d'après la formule de Bolomey est linéaire et croissante surtout dans l'intervalle de

C/E entre 1,5 et 2,5 c'est-à-dire entre 0,4 et 0,66 pour E/C.

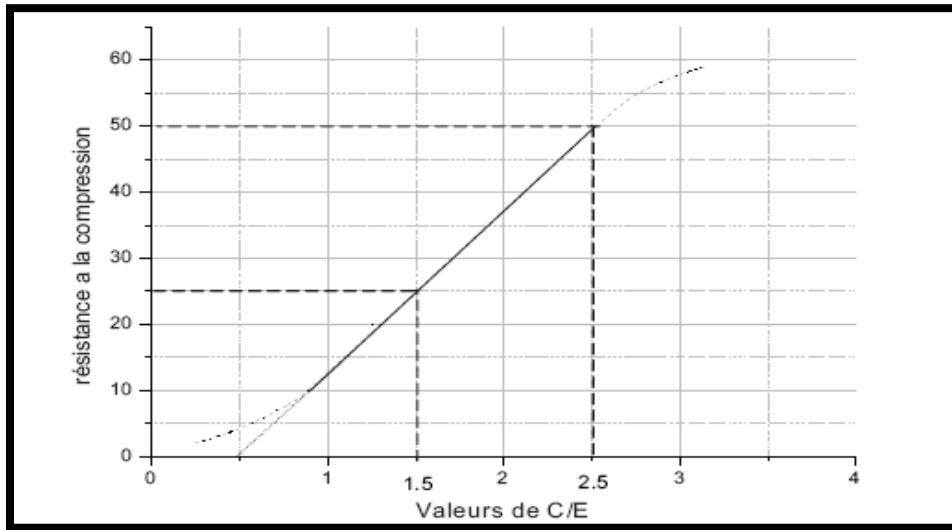


Figure II. 4: la relation entre C/E et la résistance à la compression (f_c) d'après la formule de Bolomey .

$$f_c = G \times CE(C / E - 0.5) \dots \dots \dots (I.4)$$

G : coefficient de granularité égale à 0.5.

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

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

II -2-2- Influence du dosage en ciment :

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

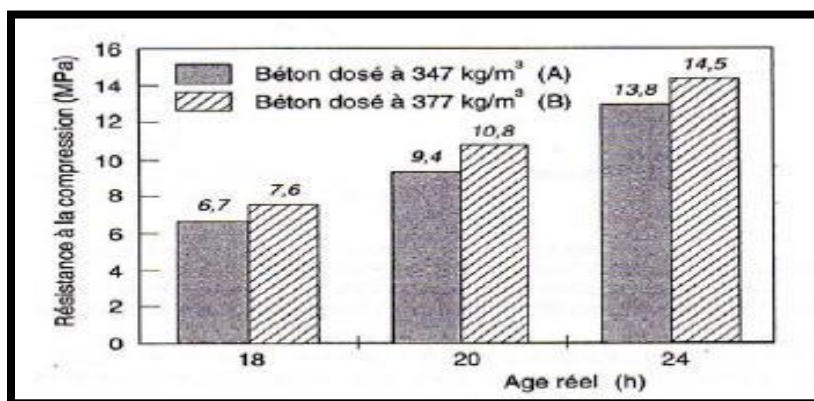


Figure II. 5: Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression au jeune âge du béton.

La (figure II. 5) montre l'influence du dosage en ciment sur les résistances à court terme et sur le rapport E/C du béton .

Nombreux sont les textes réglementaires qui spécifient des dosages minimaux en ciment tel que :

- la norme P 18 011 sur la classification des environnements agressifs qui spécifie les dosages suivants [P18 011]:

- $C \geq 550/\sqrt[5]{D}$ pour des environnements à moyenne agressivité.

- $C \geq 700/\sqrt[5]{D}$ pour des environnements à forte et très forte agressivité.

D : Dimension maximale des granulats.

- Le BAEL 91 prescrit des dosages minimaux permettant d'obtenir des résistances caractéristiques dans les cas courants (CC) et les cas d'autocontrôle Surveillé (AS):

Classe du ciment	32,5N et 32,5R		42,5N et 42,5R	
	CC	AS	CC	AS
$D_{\max}=16$	300 kg/m ³			
20	350 kg/m ³	325 kg/m ³	325 kg/m ³	300 kg/m ³
25	à justifier	400 kg/m ³	375 kg/m ³	350 kg/m ³
30	non admis	à justifier	à justifier	à justifier

Tableau II. 1: dosage en ciment

montré que l'augmentation du dosage en ciment amène à réduire le rapport E/C pour obtenir le même affaissement. En effet, un béton dosé à 377 kg/m³ de ciment a nécessité une teneur en eau de 192 l (soit E/C = 0,5) pour obtenir un affaissement de 7 cm. Le même affaissement a été obtenu pour un béton dosé à 347 kg/m³ et un volume d'eau de 186 l (E/C = 0,53). Cela s'explique par une plus grande quantité de liant qui disperse les granulats et améliore la fluidité. [07]

II -2-3- Influence du type de ciment :

La démarche de formulation d'un béton passe par le choix du type de ciment. Plus la classe de résistance est élevée et plus la résistance à la compression est élevée, à toutes les échéances. L'influence de ce paramètre sur la résistance à court terme est présentée sur la (figure II. 6). 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 52,5N tout en présentant à 28 jours des résistances équivalentes .

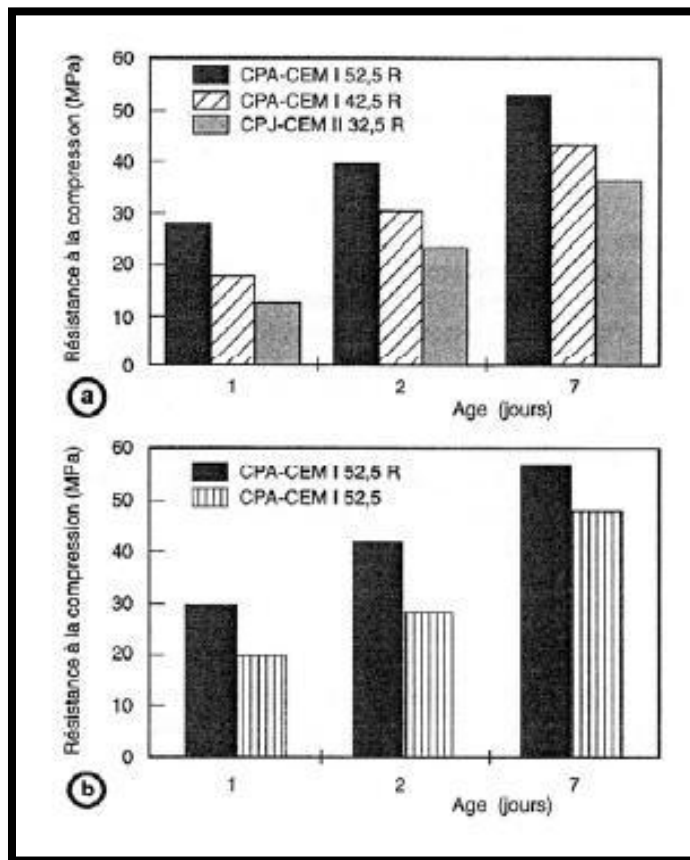


Figure II. 6 : influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme.[07]

II -2-4- Influence du squelette granulaire :

Moins influente que le dosage en ciment ou le dosage en eau, la composition granulométrique du mélange n'intervient que d'une manière relativement faible sur la plupart des propriétés du béton.

Sauf pour la résistance à la compression où nous pouvons voir (fig. II. 7) que pour des valeurs de (G/S) supérieures à « 2.2 » la résistance à la compression augmente considérablement, une augmentation certainement positive mais prise sur le compte de l'ouvrabilité, parce qu'en pratique on ne dépasse pas les valeurs de 1.5 à 1.6 pour avoir un béton ouvrable .

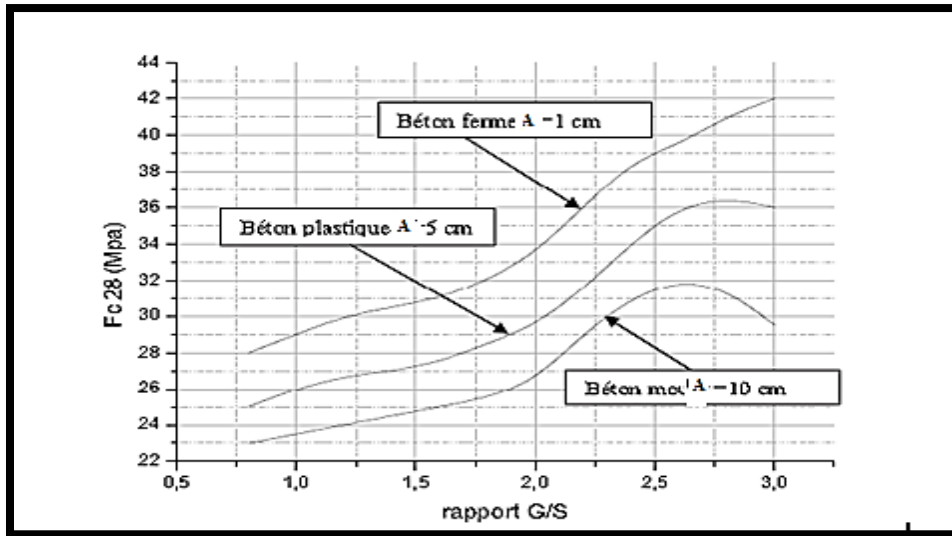


Figure II. 7: Variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport G/S .

II -2-5- Influence du rapport granulat /ciment (G/C)

Le rapport granulat /ciment (G/C) est un facteur de deuxième importance quand à la résistance, mais pour un rapport E/C constant. Cités par ont montré qu'un béton plus faiblement dosé en granulats était plus résistant (figure II. 8).

Cependant un optimum de G/C a pu être distingué qui est de l'ordre de 3.

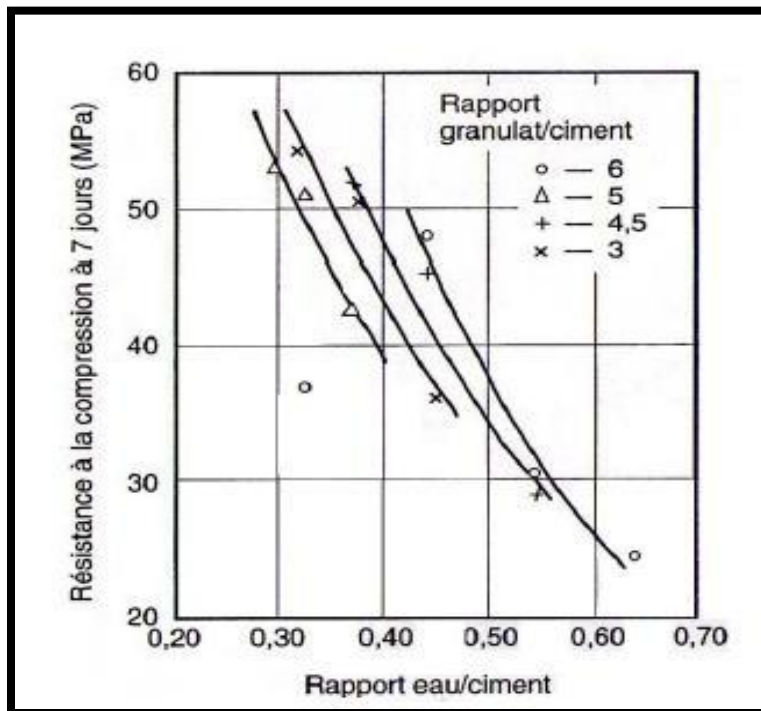


Figure II. 8: influence du rapport G/C sur la résistance du béton .

Autres études portant sur l'influence de la teneur en granulat sur la résistance des bétons, pour une qualité de pâte de ciment donnée, indiquent que lorsque le volume des granulats (exprimé en pourcentage du volume total) augmente de 0 à 20%, il y a une diminution de la résistance à la compression alors qu'entre 40 et 80% on remarque une augmentation de la résistance. L'allure générale de ce comportement est représentée sur la (figure II.9) Cette tendance se vérifie quel que soit le rapport eau/ciment.

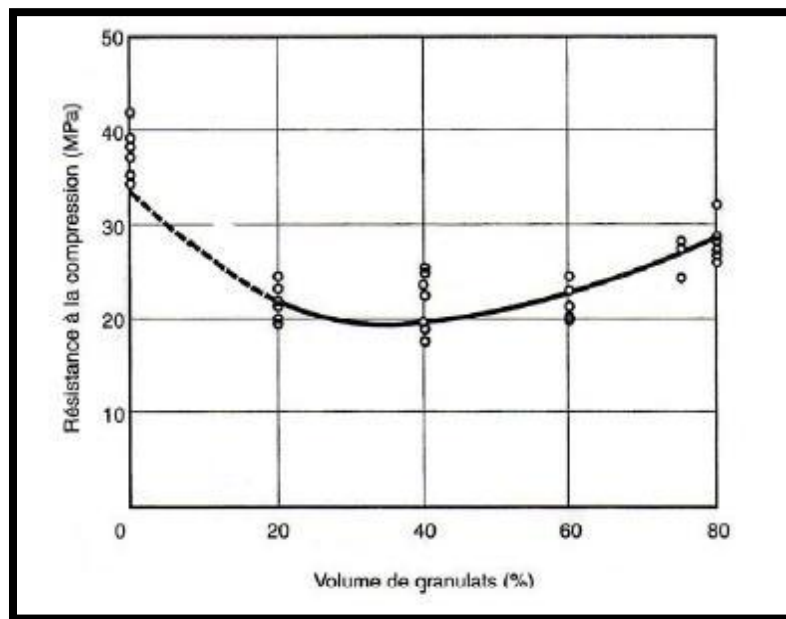


Figure II. 9: la relation entre la résistance à la compression de cylindres de béton (10x30 cm) et le volume de granulats pour un rapport E/C constant de 0,5 [Stock et Col, 1979].

Stock et Col. (1979) ont aussi publié quelques expériences originales dans lesquelles ils ont réalisé une série de bétons avec différents volumes de granulats de même granulométrie liés par la même matrice de ciment. Ils ont évité la ségrégation dans les mélanges fluides par une mise en rotation des moules après mise en place du matériau. Les essais de résistance à la compression sur les éprouvettes cubiques ont donné des résultats assez dispersés. Il est à noter que l'effet du granulat peut être modifié par une augmentation de l'air occlus quand l'ouvrabilité diminue.

II -2-6- Dimension maximale des granulats Dmax :

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

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

- L'espace des armatures
- L'enrobage des armatures

L'effet négatif de l'augmentation de la dimension maximale du granulat dans le béton s'applique à l'échelle de toutes les grosseurs, mais l'effet de la dimension des grains sur la diminution de la demande en eau est particulièrement important en dessous de 38,1 mm (figure II. 10). Pour des dimensions supérieures, le bilan des deux effets dépend du dosage du béton .

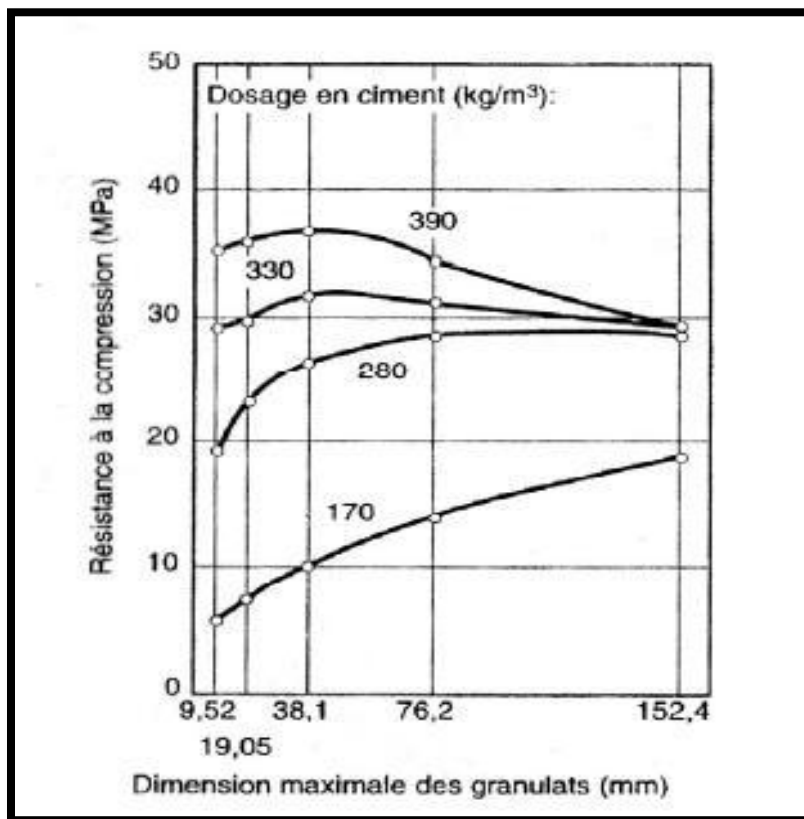


Figure II. 10: influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosage en ciment.

II -2-7-Influence de la porosité

Tout milieu poreux est constitué de deux domaines distincts : la charpente du milieu (bordure solide) et son complément que constitue le volume poreux. La porosité (N) d'un matériau poreux est la fraction de volume total occupée par les vides. Si est le volume total de l'échantillon, le volume poreux ou le volume des vides et le volume réel de la phase solide, on a alors :

$$N \% = \frac{V_p}{V_t} 100 = \frac{V_t - V_s}{V_t} 100 \dots\dots\dots$$

➤ Géométrie et positionnement des pores

Ces vides se distinguent par leur forme : lorsque les formes sont convexes, globuleuses, ce sont des pores ; lorsqu'elles sont grandes, plates et étendues, ce sont des fissures. Lorsque les vides communiquent entre eux, il s'agit d'une porosité ouverte (ou libre). Lorsque les vides sont isolés, c'est une porosité occluse ou fermée.

La figure II .11/ présente les pores suivant leur position par rapport au milieu extérieur :

- les pores interconnectés ou pores ouverts qui communiquent avec l'extérieur par deux extrémités (au moins).
- les pores isolés qui ne communiquent pas avec l'extérieur.
- les bras morts sont interconnectés avec le milieu extérieur par une seule de

Leurs extrémités.

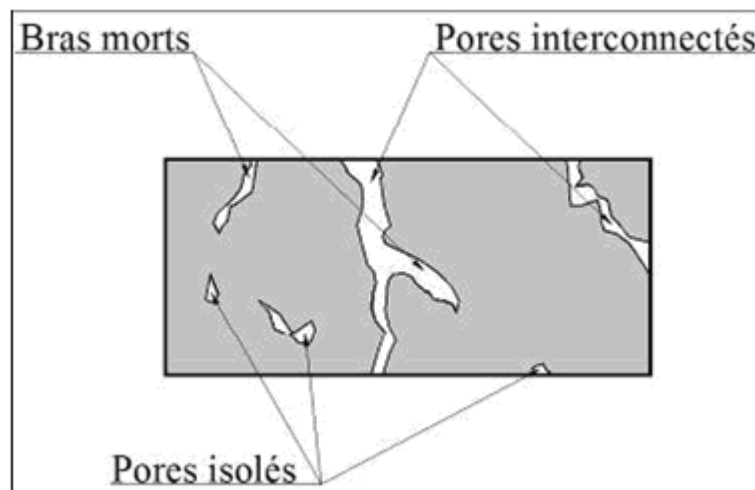


Figure II. 11: Les différents pores d'un béton, positionnement selon le milieu extérieur

La porosité d'un béton apparaît comme un paramètre extrêmement important puisqu'il conditionne la rugosité de surface ainsi que la quantité d'eau potentiellement présente dans le matériau. Un matériau présentant une porosité importante offre également une surface de réaction importante entre le matériau et les substances chimiques agressives avec lesquelles il est en contact. Ceci entraîne une vitesse de dégradation potentiellement plus élevée.

➤ Tailles des porosités

Le réseau poreux des matériaux cimentaires tels que les bétons, ou encore les pâtes de ciment recouvre une large gamme d'échelles (du picomètre au centimètre).

La figure II. 12 présente les différents types de porosités que l'on rencontre dans les matériaux cimentaires en fonction de leur taille et de leur géométrie.

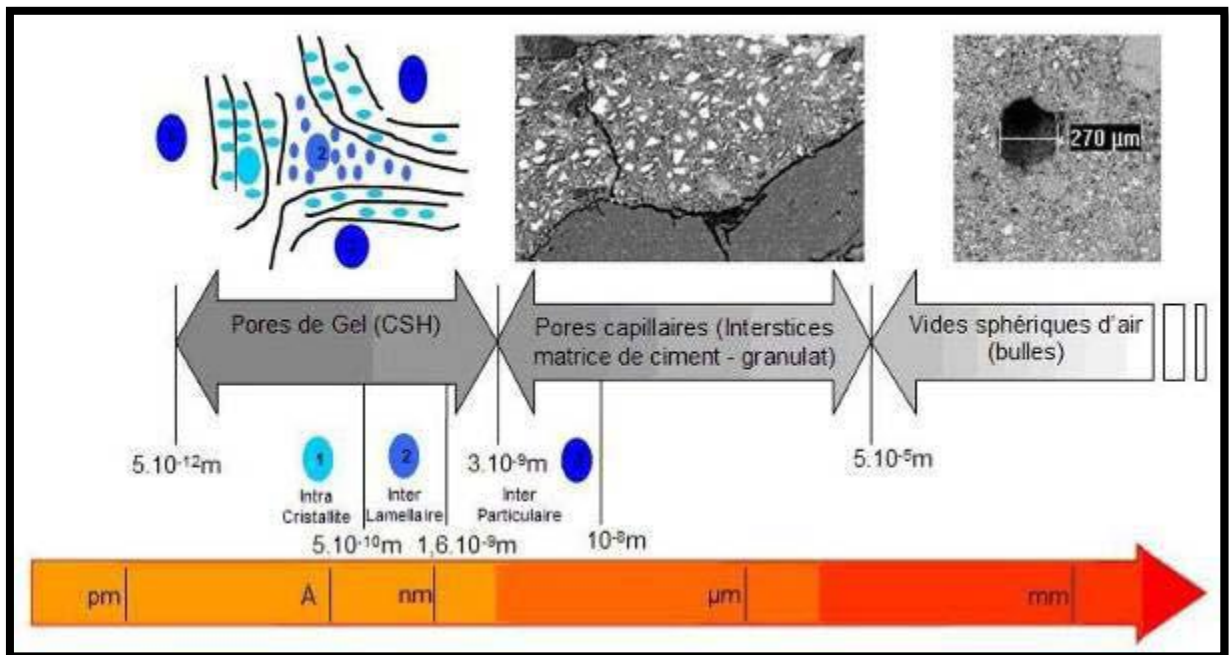


Figure II. 12: Echelle des porosités des matériaux cimentaires .

La porosité des matériaux cimentaires est constituée de :

- vides d'air occlus, généralement de forme sphérique et de dimension supérieure à 50 micromètres. Ces vides sont générés par le piégeage dans le matériau à l'état frais de bulles d'air qui ne parviennent pas à s'échapper malgré le serrage (vibrations, chocs) de la pâte.
- pores capillaires, ils peuvent être modélisés sous la forme de tubes tortueux dont le diamètre varie entre 1 micromètres et 50 micromètres. Ces porosités sont liées à l'hydratation des grains de ciment ainsi qu'à la présence de granulats.
- pores de gel, ces pores sont liés à la structure lamellaire même des CSH (silicates de calcium hydratés) et de dimension de l'ordre du nanomètre.

Ces porosités sont liées à la structure propre du matériau (structure et arrangement des cristaux) mais également à sa mise en œuvre. Le rapport E/C est un facteur de grande importance car, si l'augmentation de la quantité d'eau dans les matériaux cimentaires à l'état frais permet d'améliorer l'ouvrabilité du matériau, elle augmente sa porosité [Sahu et col., 2004]. En effet, l'eau présente en excès, qui ne sert donc pas aux différents processus d'hydratation du ciment, s'évapore lors du séchage du matériau laissant les emplacements qu'elle occupait vides .

Lors de fabrication de la pâte fraîche, les grains de ciment sont mis en suspension dans l'eau. Le rapport E/C influence ainsi l'espacement initial entre les grains de ciment.

Plus l'espacement initial entre les grains de ciment est important, plus l'espace à combler lors de l'hydratation est grand et plus la formation de vide est favorisée, les hydrates ne pouvant pas combler tout l'espace comme illustré par la figure II. 13.

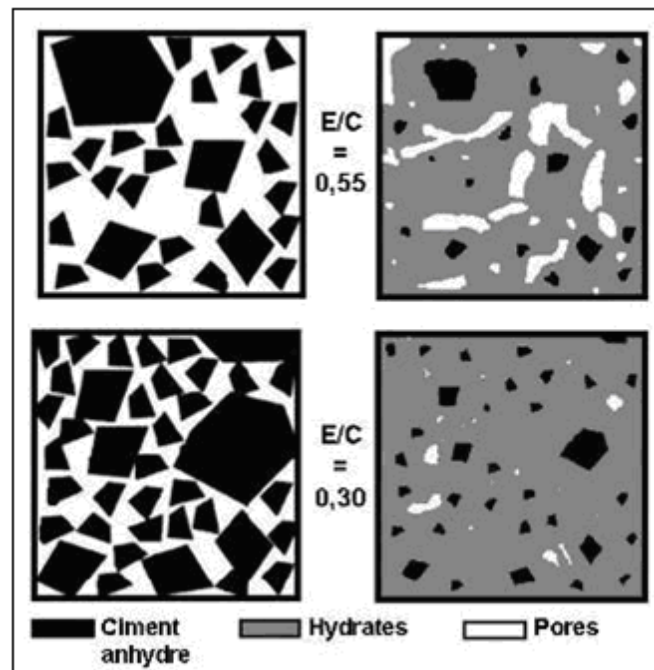


Figure II. 13: Représentation schématique de la pâte de ciment à l'état frais et à l'état durci, influence du rapport E/C,

En ne considérant que la stœchiométrie des réactions d'hydratation du clinker, le rapport E/C minimum pour obtenir des réactions chimiques complètes est de 0,22. Pour un ciment Portland le rapport est de 0,36. Cependant, Power a montré que l'hydratation complète du ciment ne peut pas être obtenue avec un rapport E/C inférieur à 0,42 car les gels de CSH absorbent de l'eau qui ne sera alors plus disponible pour l'hydratation des composants du clinker.

Avec un rapport E/C supérieur à 0,42, la quantité d'eau est supérieure à celle nécessaire à l'hydratation complète du ciment. Les grains de ciment sont éloignés, leur hydratation ne permet pas de combler tout l'espace. Lorsque l'hydratation arrive à son terme, il reste une quantité d'eau importante dans le matériau (sous forme d'eau libre), ce qui engendre la formation d'une porosité capillaire importante, favorisant la perméabilité du matériau et diminuant sa résistance mécanique. L'utilisation d'un E/C élevé favorise l'absorption de fluide et la perméabilité du matériau et ainsi la pénétration d'agents potentiellement

agressifs vers le coeur du matériau .

Avec un rapport E/C de 0,42, l'ensemble des grains de ciment peut s'hydrater. Cette hydratation entraîne la création de vides non remplis d'eau. En effet, la formation des hydrates conduit à la formation de composés dont le volume est inférieur aux volumes de l'eau et du ciment utilisés pour la confection de la gâchée (volume des hydrates = volume du ciment + 0,736 x volume de l'eau). Ce phénomène est appelé contraction de Le Châtelier .

Avec un rapport E/C inférieur à 0,36, les grains de ciment sont initialement proches les uns des autres. Toute l'eau sera consommée par les réactions d'hydratation des grains de ciment qui ne seront pas tous hydratés complètement et très peu d'espaces seront laissés vides entre les hydrates. Ceci permet d'obtenir des matériaux ayant une porosité capillaire limitée et de bonnes propriétés mécaniques, l'ensemble des grains de ciment ne sera pas complètement hydraté, ce qui ne nuit pas à la résistance du matériau.

L'influence du rapport E/C sur la porosité capillaire et sur le taux de ciment non hydraté est illustrée par la(figure II .14).

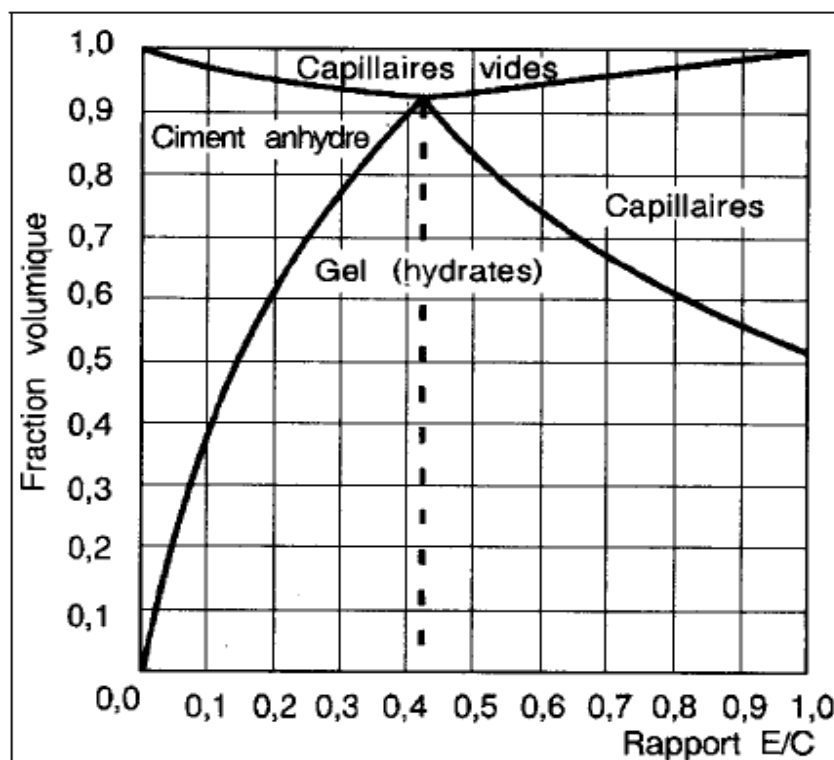


Figure II. 14: Composition volumique d'une pâte de ciment hydraté sans apport d'eau externe, selon le modèle de Powers.

II -2-8-Influence de l'Âge

Meyer (1963) a montré que l'augmentation de la résistance (exprimée en pourcentage de la résistance à long terme) des bétons à faible rapport E/C est plus rapide que celle des bétons ayant un rapport E/C plus élevé (figure II.15). 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.

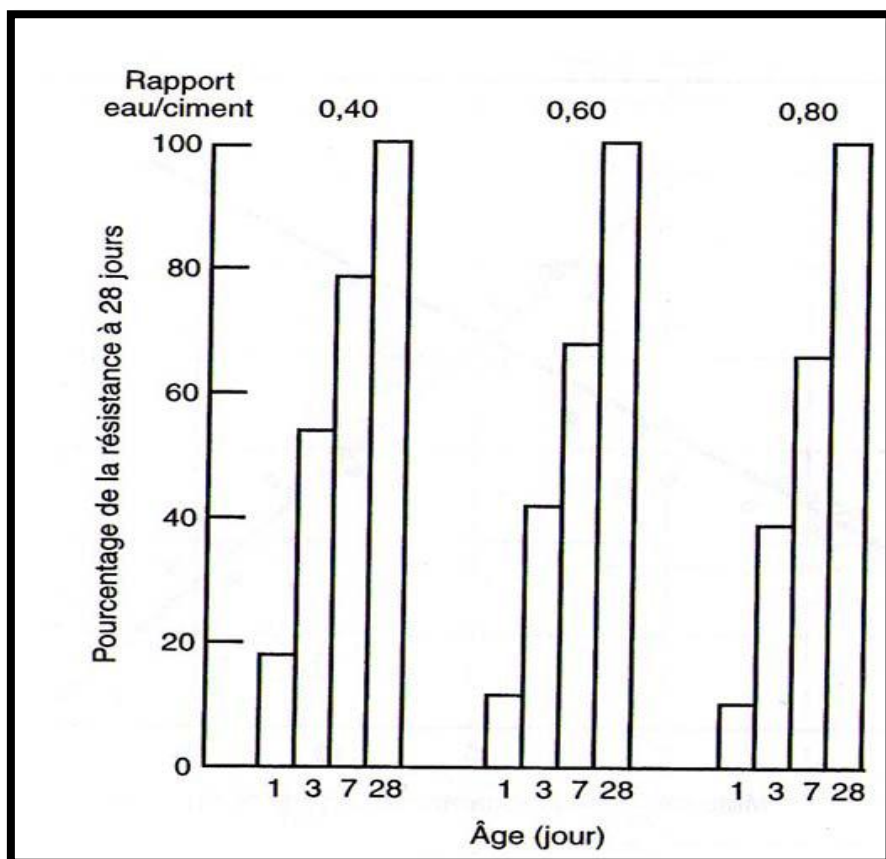


Figure II. 15: Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire .

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

La figure II. 16 présente l'évolution de la résistance en fonction du temps pour des bétons de rapports E/C de 0,40, 0,53 et 0,71 confectionnés avec un ciment de type I en 1948 et conservés constamment dans l'eau .

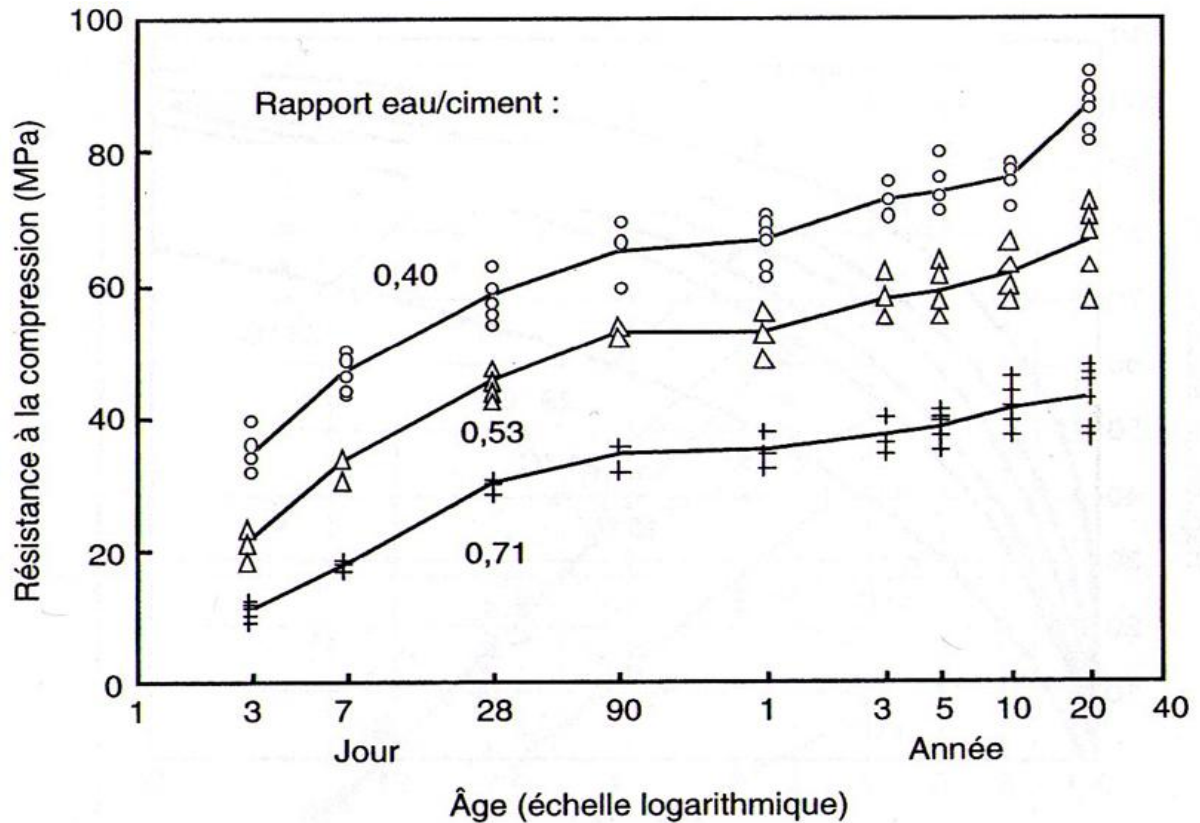


Figure II. 16: Augmentation de la résistance de bétons (mesurée sur des cubes modifiés de 150 mm) sur une période de plus de 20 ans ; condition de conservation humide

En ce qui concerne la résistance à long terme, les ciments portland américains fabriqués au début du 20^{ème} siècle (ayant une forte teneur en C₂S et une faible surface spécifique) présentaient une augmentation de la résistance pour des bétons sur chantier proportionnelle au logarithme de l'âge jusqu'à 50 ans. La résistance à 50 ans était typiquement 2,4 fois celle mesurée à 28 jours. Toutefois, depuis les années trente, les ciments ayant une plus faible teneur en C₂S et une plus grande surface spécifique atteignent leur résistance maximale entre 10 et 25 ans et, par la suite, perdent un peu de cette résistance. Les ciments portland allemands fabriqués en 1941 et utilisées pour des applications extérieures ont présenté après 30 ans une résistance égale à 2,3 fois celle mesurée à 28 jours. L'augmentation relative de la résistance était plus importante pour les rapports eau/ciment élevés. En comparaison, les ciments à base de laitiers de haut fourneau permettaient une augmentation de l'ordre de 3,1 fois .

II -2-9 Influence de l'affaissement sur la résistance à la compression des bétons et influence du pourcentage d'air occlus dans le béton sur l'affaissement

L'essai d'affaissement est le plus couramment employé pour caractériser le béton sur chantier. Il permet de mesurer la consistance d'un béton qui est une grandeur qui sert à caractériser l'aptitude à sa mise en œuvre. L'essai a été effectué conformément aux prescriptions de la norme NF P 18-451 à l'aide du cône d'Abrams. Les essais de résistance à la compression effectués sur des éprouvettes préparées de façon normalisée, incluant un serrage conforme et une cure dans l'eau pendant une période de 28 jours, donnent des résultats représentant la qualité mécanique du béton. L'essai pour la détermination de la résistance à la compression des éprouvettes, est exécuté conformément aux prescriptions de la norme NF P 18-406.

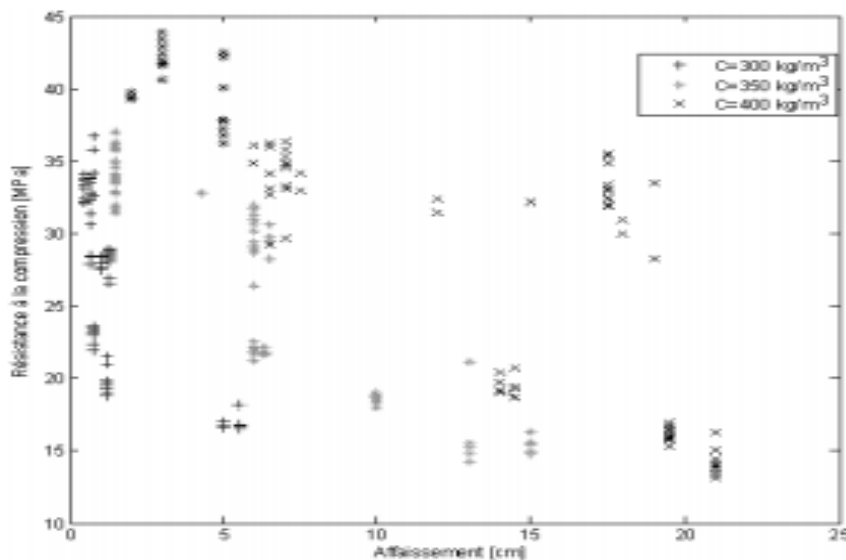


Figure II.17 Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour différents dosages en ciment en fonction de l'affaissement.

La figure II.17 montre l'évolution de la résistance à la compression à 28 jours en fonction de l'affaissement. On remarque une diminution de la résistance à la compression avec l'augmentation de l'affaissement qui est due à l'influence du rapport E/C. Elle montre aussi que, pour un dosage en ciment de 300 kg/m³, une bonne partie des bétons réalisés ont une consistance ferme. Par contre pour un dosage de 350 kg/m³, la tendance est beaucoup plus plastique à très plastique. Enfin pour un dosage de 400 kg/m³, les bétons sont en général de consistance plastique à fluide. La mise en place du béton conduit ce dernier à toujours renfermer une certaine quantité d'air, appelé air occlus. Ce volume dépend de l'énergie de serrage : plus l'énergie de serrage est importante, plus il

sera possible de réduire la quantité d'air occlus.

L'essai a été effectué conformément aux prescriptions de la norme NF P 18-353 à l'aide de l'aéromètre à béton, il consiste à comprimer le mélange étudié et à mesurer la variation de volume résultant de l'application d'une pression déterminée. [08]

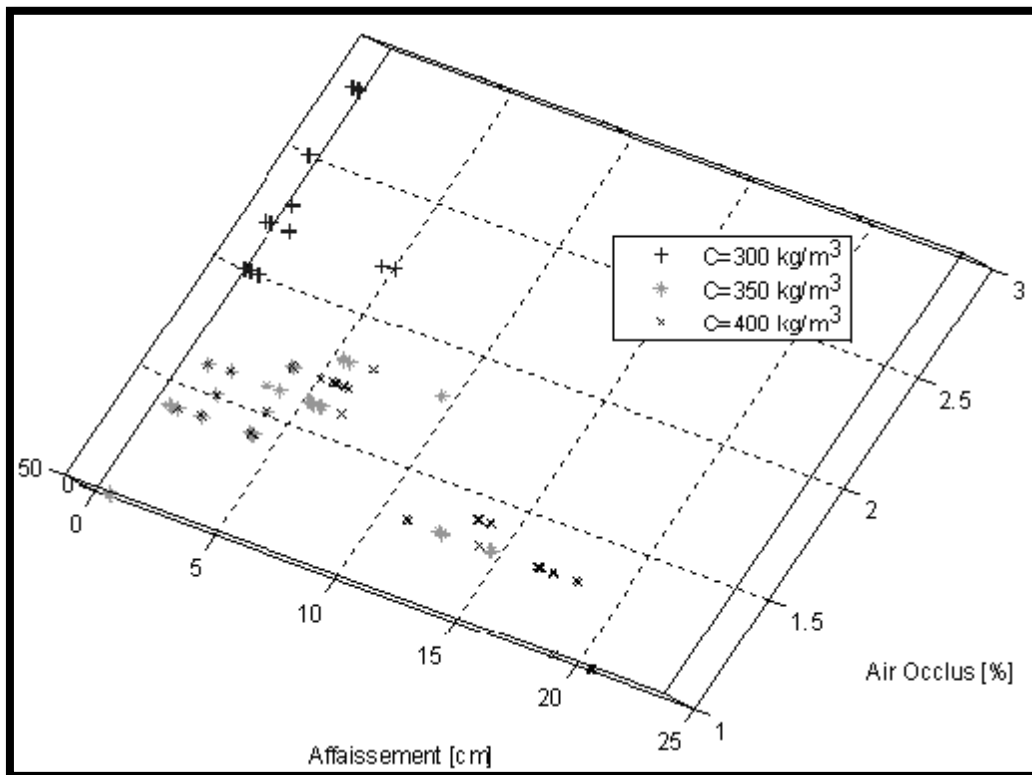


Figure II.18 Influence du pourcentage d'air occlus sur l'affaissement

La figure II.18 montre que le pourcentage d'air occlus décroît dans le mélange avec l'augmentation de l'affaissement qui est due à l'influence du rapport E/C, et plus particulièrement, lorsque la consistance passe de ferme à plastique, très plastique puis fluide. Le pourcentage d'air occlus est important dans les bétons fermes et tend vers la valeur 1 % pour les bétons très plastiques à fluides. Pour l'affaissement maximum de 21 cm il correspond à un pourcentage d'air occlus mesuré de 1 %.

Pour les mélanges fermes, d'affaissement inférieur à 2 cm, les résultats de mesure de l'air occlus sont dispersés et par conséquent pas trop fiables : ceci est en concordance avec les travaux .

II -2-10 Influence de l'air occlus sur la résistance à la compression des bétons

La quantité d'air occlus mesurée dans le cas de ces bétons varie entre 1 et 2.8 %. Si l'on réalise que 1 % d'air, occupant le même volume que dix litres d'eau, réduit pareillement la résistance à la compression, on conclut à l'évidence que l'air occlus dans un béton doit

toujours être mesuré et pris en compte .

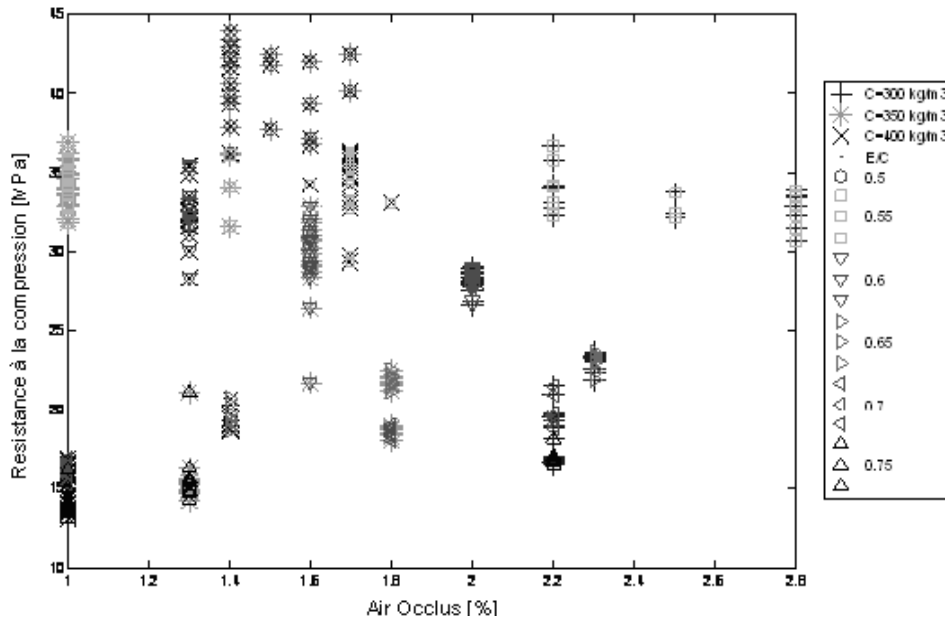
L'un des effets les plus importants est certainement l'influence des vides provoqués par l'air occlus sur la résistance à la compression du béton. On sait que la résistance du béton est une fonction directe de sa compacité et les vides provoqués par l'air occlus affectent la résistance à la compression de la même manière que les vides de toute autre origine.

Les figures II, 19.20.21 et 22 présentent la relation entre la résistance à la compression et la teneur en air pour le cas où les vides sont dus aux conditions de malaxage et de mise en place. La figure II -20 montre que, lorsque la teneur en air augmente, toutes choses égales par ailleurs, la résistance à la compression des bétons diminue pour les essais effectués sur les bétons de rapports E/C de 0.5, 0.55 et 0.6. Par contre, pour les rapports E/C de 0.65, 0.70 et 0.75, la résistance à la compression des mélanges augmente mais très peu, certainement en raison de la consistance très plastique à fluide de certains bétons dosés à 350 kg/m³ et 400 kg/m³ (figure II -17).

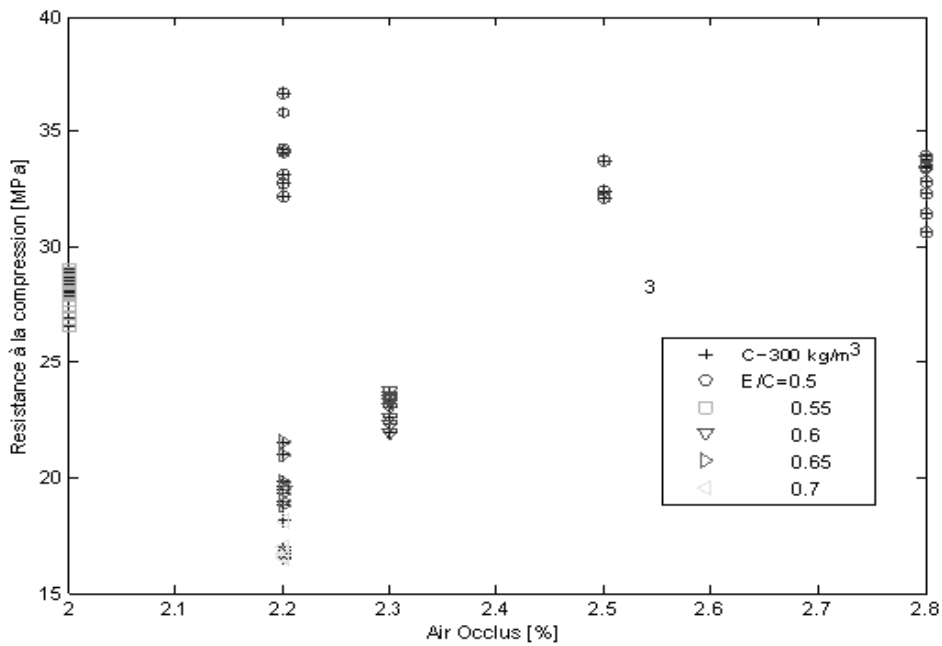
Pour un rapport E/C donné, les résistances à la compression ne semblent pas être affectées par le dosage en ciment (300 kg/m³, 350 kg/m³ et 400 kg/m³), ceci reste valable pour tous les rapports E/C examinés. Dans ces conditions un dosage de 300 kg/m³ reste suffisant et par conséquent économique.

Selon les normes en vigueur sur l'application des cures au béton et en considérant la classe faible du ciment utilisé, ce sont les rapports E/C de 0.5, 0.55 et 0.6 (figure II -20) qui offrent aux bétons les valeurs de résistances supérieures à 25 MPa (valeur exigée par l'Organisme National Algérien de Contrôle Technique de la Construction (CTC)) pour une cure à l'eau.

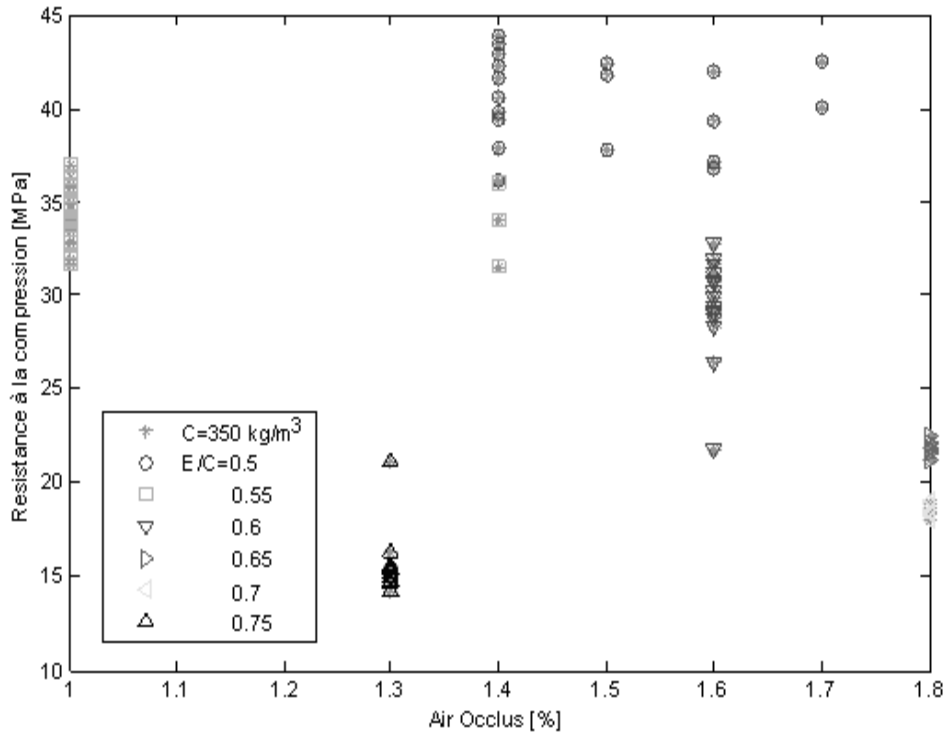
Il est donc très important d'utiliser une cure soit par protection du béton contre le séchage par exemple par une bâche, soit par vaporisation de l'eau au jeune âge lorsqu'on utilise des rapports E/C très faibles.



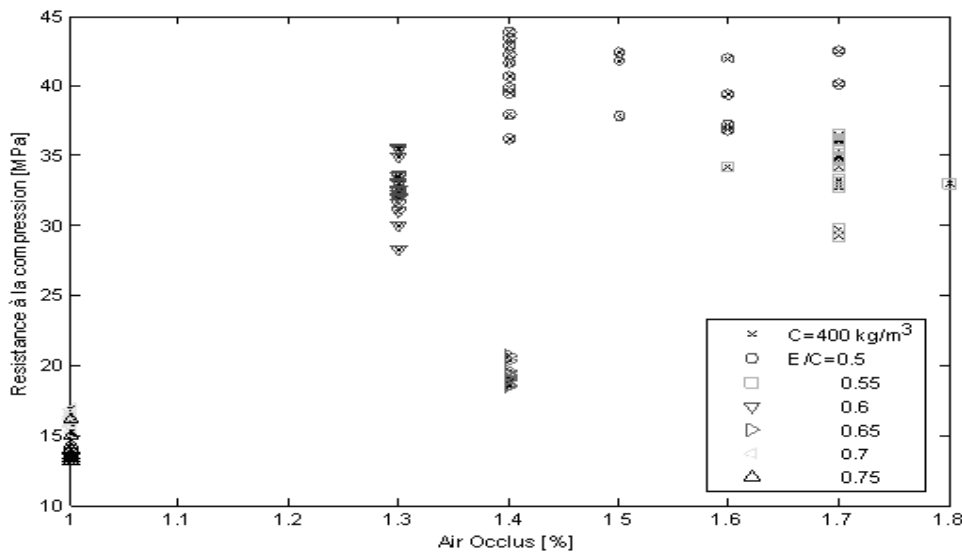
Figures II. 19. Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour différents dosages en ciment et différents rapports eau/ciment en fonction du pourcentage d'air occlus.



Figures II. 20. Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour un dosage en ciment de 300 kg/m³ et différents rapports eau/ciment en fonction du pourcentage d'air occlus.

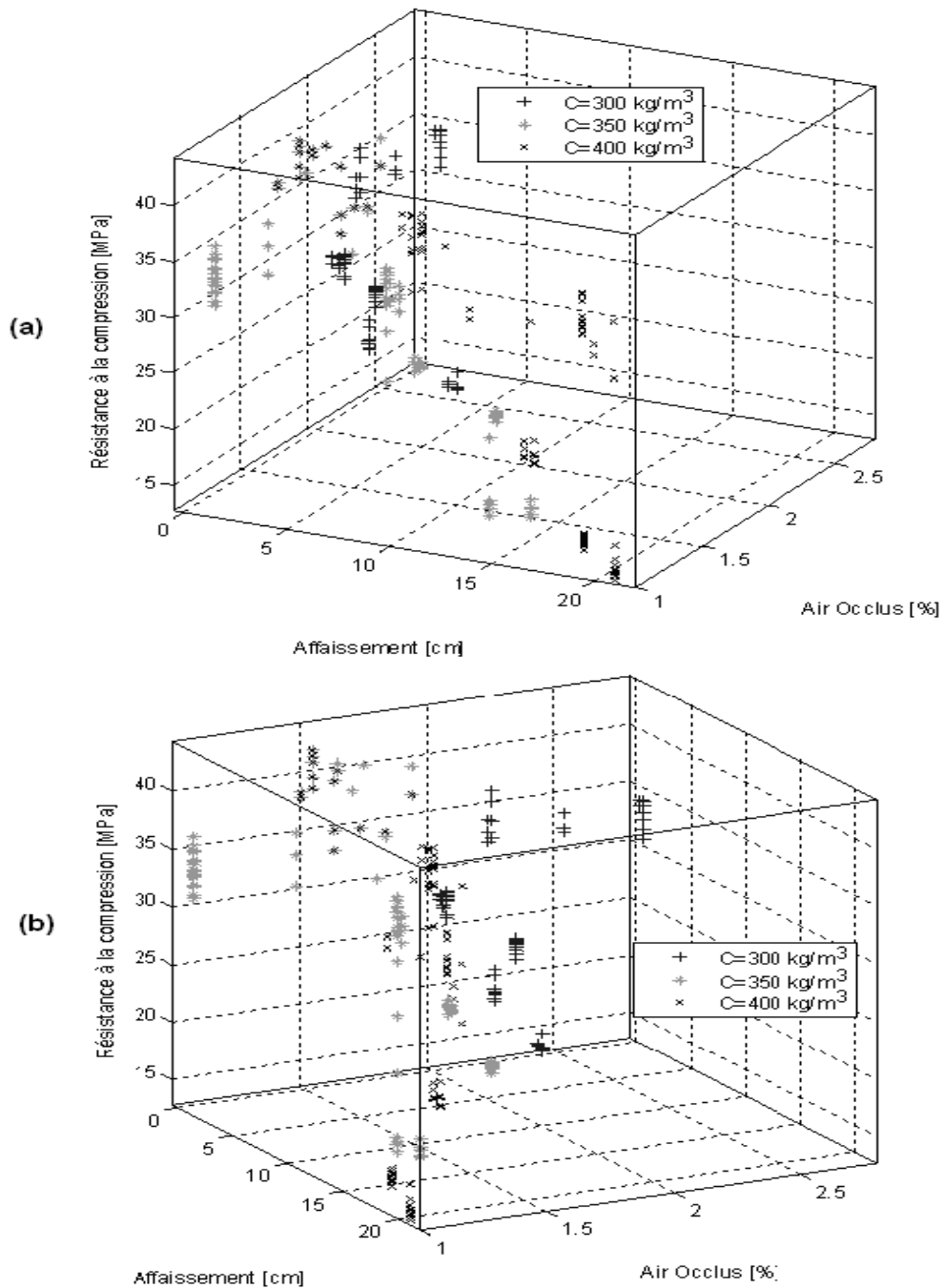


Figures II. 21. Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour un dosage en ciment de 350 kg/m³ et différents rapports eau/ciment en fonction du pourcentage d'air occlus.



Figures II. 22 Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau pour un dosage en ciment de 400 kg/m³ et différents rapports eau/ciment en fonction du pourcentage d'air occlus.

Les figures II, 21 et 22 et montrent que les bétons réalisés avec des dosages en ciment de 350 kg/m³ et 400 kg/m³ pour différents rapports E/C ont un pourcentage d'air occlus compris entre 1 % et 1.8 %, plus petit que ceux réalisés avec un dosage de 300 kg/m³ (figures II, 20) dont le pourcentage d'air occlus varie entre 2 et 2.8. Ceci est dû particulièrement à l'effet de la consistance qui passe de fluide à très plastique à plastique, puis ferme. [08]



Figures II, 23. Evolution de la résistance à la compression à 28j de bétons conservés à l'eau en fonction de l'affaissement et du pourcentage d'air occlus suivant deux vues différentes.[08]

L'analyse réalisée sur l'ensemble des mesures effectuées est représentée en tridimensionnel sur la figure II. 23 et montre l'évolution de la résistance à la compression à 28 jours de bétons conservés à l'eau en fonction de l'affaissement et du pourcentage d'air occlus. Il est clair, que la teneur en air croît avec la diminution de l'affaissement, c'est-à-dire, lorsqu'on passe des bétons fluides aux bétons fermes. En retour, cet air affectera la résistance à la compression.[08]

Chapitre 04 : Caractéristique des matériaux et les essais

1^{ère} partie : caractéristique des matériaux

Introduction:

Nous traiterons dans ce chapitre de la caractérisation des matériaux utilisés dans la fabrication des différents mélanges de béton. Nous allons aussi décider de la méthode de composition qui nous permettra d'établir les différentes formulations des mélanges des bétons. Il est fait une description la plus précise des essais réalisés pour caractériser les granulats utilisés. Cela pour nous permettre d'étudier différentes formulations des mélanges dont nous déterminerons les résistances en compression

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures. En effet, les Propriétés essentielles du béton sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

De ce fait, la normalisation des modes d'essais et d'identification des composants d'un béton, selon les normes en vigueur, devient une condition nécessaire pour l'obtention d'un béton avec des résultats expérimentaux comparables avec ceux donnés dans la littérature.

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes européennes, normes françaises et les modes opératoires en vigueur.

- Les éprouvettes cubique est de dimensions $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$.
- Les éprouvettes sont préparées avec :

Eau de gâchage + Granulats + Ciment (CEM I/A)+ adjuvants

- Les éprouvettes sont préparées avec quatre types de dosage :
 1. Dosage en ciment 350 kg/m^3
 2. Dosage en ciment 400 kg/m^3
 3. Dosage en ciment 450 kg/m^3

Les éprouvettes sont préparer a base de différents régime de cure :

1. Témoin (eau et air)
2. Cure (3jours)
3. Cure (7jours)
4. Cure (28jours)

- **Matériaux utilisés :**

Les Principaux composants des bétons élaborés sont :

IV -1-Le ciment :

Le ciment utilisé est de types : **CPA CEM I/A42.5**

Description :

Le **CRS** est un ciment Portland résistant aux sulfates de classe 42,5 «CPA-CEM I CRS 42,5», c'est un ciment de référence, il contient au moins 95 % de clinker et Le reste est composé de constituants secondaires tel que le gypse comme Régulateur de prise, ses caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques sont données par les Tableaux suivants : (Ain touta)

IV -1-2- Analyse chimique et minéralogique du ciment :

L'analyse chimique et minéralogique du CRS est établie au Laboratoire de S.C.A.E.K Les résultats sont regroupés dans les tableaux Suivants :

<i>ELEMENT</i>	<i>S_iO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>C_aO</i>	<i>F_e2O₃</i>	<i>M_gO</i>	<i>SO₃</i>	<i>K₂O</i>	<i>PaF</i>
<i>Teneur (%)</i>	21.9	4.68	64.91	5.32	1.50	2.07	0.31	1.14

Tableau IV -1:Caractéristiques chimiques du CRS.

Éléments	C3S	C2S	C3A	C4AF
	3CaOSiO2	2CaOSiO2	3CaAl2O3	4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
Teneur %	52.13	23.55	6.76	12.13

Tableau IV -2:Caractéristiques minéralogique du CRS

IV -1-3- Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :

Les caractéristiques du CRS sont regroupées dans le tableau suivant:

		<i>Unités</i>	<i>Valeur</i>
<i>Masse volumique absolue</i>		g/cm ³	3.17
<i>Consistance normale</i>		%	27.8
<i>La finesse (Blaine)</i>		Cm ² /g	3673
<i>Le Chatelier</i>	A froid	Mm	00
	A chaud		1
<i>Temps de prise</i>	Début	Heur : min	2 : 20
	Fin		4 : 37
<i>Résistance à la compression</i>	2 jours	MPa	18
	7 jours		37
	28 jours		Plus de 42.5

Tableau IV -3 : Caractéristiques du CRS.au laboratoire de cimenterie d'Ain El Kebira. Sétif

IV -2- Gravier:

IV -2-1- Origine:

Les granulats utilisés proviennent de carrières de la région de M'sila (carrière COSIDER). Ces granulats sont des matériaux concassés et sont commercialisés en tant que classes granulaires : des gravillons de classes 3/8, 8/16.

IV -2-2- Analyse granulométrique :

➤ Principe de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. La granulométrie ou analyse granulométrique consiste donc à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 16 mm et 0,063 mm[03]

➤ Mode opératoire:

- monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond
- verser le matériau sec dans la colonne de tamis
- agiter mécaniquement cette colonne

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

- reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle
- agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage • verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur
- déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis
- poursuivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis
- vérifier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933-1 (différence entre la somme des masses de refus et de tamisas et de la masse initiale...)

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés :

Fraction 3/8 (1.5Kg)

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulés</i>		<i>Tamisât (%)</i>
		(g)	(%)	(%)
8	32	32	2,13	97,87
6,3	411	443	29,53	70,47
5	420	863	57,53	42,47
4	465	1328	88,53	11,47
3,15	141	1469	97,93	2,07
2,5	25	11494	99,6	0,4
Fond	6	1500	100	0

Tableau IV -5 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.

Fraction 8/16 (1.5Kg)

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulés</i>		<i>Tamisât (%)</i>
		(g)	(%)	
16	43	43	2,86	97,14
12.5	359	402	26,8	73,2
10	715	1117	74,46	25,54
8	326	1443	96,2	3,8
6,3	54	11497	96.2	0.14
5	1	1498	99.86	0.14
Fond	2	1500	100	0

Tableau IV -6:analyse granulométrique du gravier 8/16.

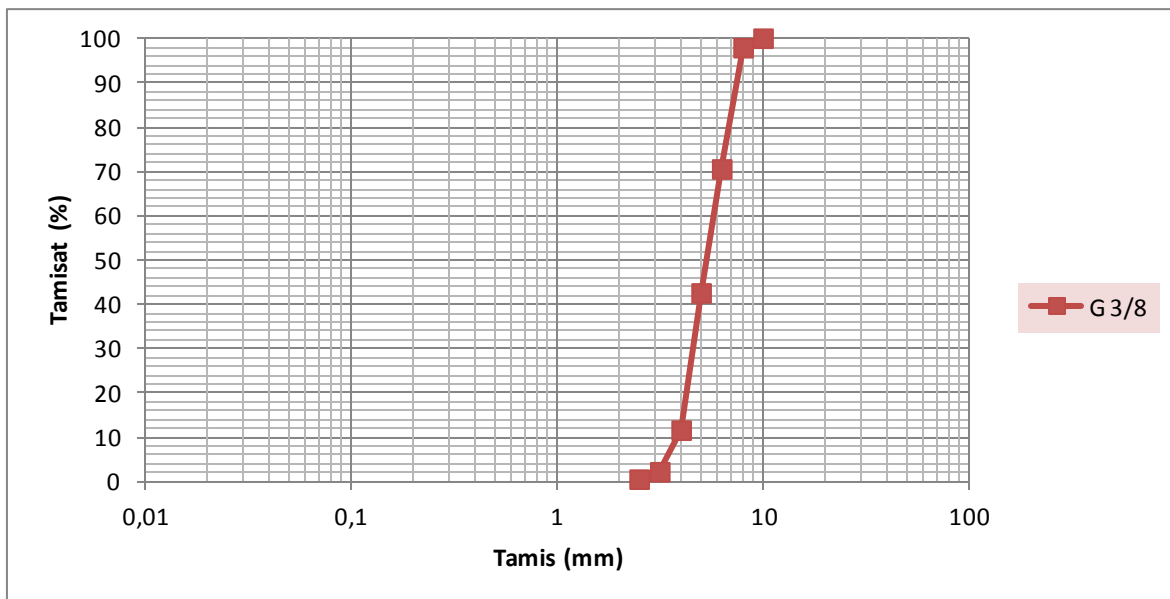


Figure IV -1 : La courbe granulométrique des graviers (3/8).

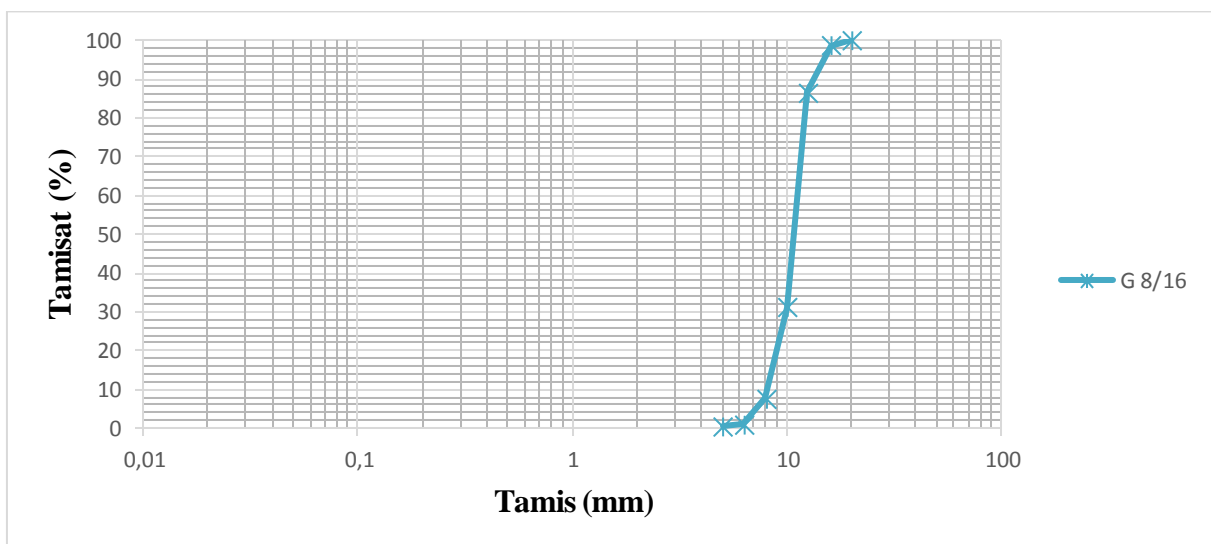


Figure IV -2 : La courbe granulométrique des graviers (8/16).

IV -2-3- Masses volumiques apparentes:

➤ But de l'essai:

Cet essai pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des gravier pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.[03]

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

➤ Principe de l'essai:

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué ((7l) pour le G 3/8 -(10l) pour le G 8/16-(20l) pour le G16/25) et déterminer la masse du contenu.

- Récipient gradué.
- balance.
- l'échantillon

➤ Mode opératoire:

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

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

Où :

- V: Volume du récipient.
- M₁: Le poids du récipient à l'état vide.
- M₂: Le poids du récipient plein de gravier.

Graviers	N° d'essai	M ₁ (kg)	M ₂ (kg)	ρ _{app} (kg/l)	ρ _{moy} (kg/l)
3/8 V = 7 L	01	2,925	12,898	1,424	1.414
	02	2,925	12,812	1,412	
	03	2,925	12,785	1,408	
8/16 V = 10L	01	3,484	17.729	1,424	1.411
	02	3,484	17.554	1,407	
	03	3,484	17.507	1,402	

Tableau IV -7: Masse volumique apparente du gravier.

IV -2-4- Masses volumiques absolues:

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

➤ But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées. Dans ce travail nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est simple, rapide et utilise un matériel courant du laboratoire. [06]

➤ Mode opératoire:

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
- Peser un échantillon sec M de Gravier (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume V_2 .

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

Graviers	N° d'essai	M_1 (g)	V_e (cm ³)	V (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{moy} (g/cm ³)
3/8	01	300	200	315	2,57	2,58
	02	300	200	416	2,59	
	03	300	200	415	2,58	
8/16	01	300	200	316	2,66	2,66
	02	300	200	315	2,67	
	03	300	200	314	2,65	

Tableau IV -8: Masse volumique absolue du gravier.

IV -2-5- Absorption d'eau:

La connaissance du coefficient d'absorption d'eau d'un granulat permet d'ajuster la teneur en eau de gâchage entrant dans la composition du béton.

Des mesures de l'absorption d'eau par les granulats ont donc été menées suivant le mode opératoire de la norme [NF EN 1097-6, 2001]. Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon après imbibition par l'eau à la masse sèche de l'échantillon. Le coefficient d'absorption Abs est ainsi défini par [06]:

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sech}}{M_{sech}} * 100 \quad (2.1)$$

$M_{humide} - M_{sech}$ désigne la masse de l'eau absorbée après 48 heures d'immersion
 M_{sech} la masse sèche de l'échantillon après passage à l'étuve à 105°C.

Graviers	N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	A (%)	A_{moy} (%)
3/8	01	700	705,06	0.72	0.82
	02	700	705,77	0.82	
	03	700	706,53	0.93	
8/16	01	700	707.22	1.03	1.10
	02	700	707.91	1.13	
	03	700	708.12	1.16	

Tableau IV -9: Degré d'absorption d'eau du gravier.

IV -2-6- Porosités:

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

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

IV -2-7- La compacité : donnée par la formule

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$$

IV -2-8- L'indice des vides : est donné par la formule suivante :

$$e = \frac{P}{(100 - P)}$$

<i>fraction de gravie</i>	Porosité (%)	Compacité (%)	l'indice de vide
3/8	45.63	54.36	0,839
8/16	45.89	54.10	0.848

Tableau IV -10: Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.

IV -2-9- Teneur en eau :

M_1 : masse humide.

M_2 : masse sèche.

$$W = (M_1 - M_2) / M_1 \cdot 100$$

<i>Graviers</i>	<i>N° d'essai</i>	M ₁ (g)	M ₂ (g)	W (%)	W _{moy} (%)
3/8	01	500	499	0,40	0,40
	02	500	498	0,40	
	03	500	498	0,40	
8/16	01	500	498	0,40	0,49
	02	500	497	0,60	
	03	500	498	0,40	

Tableau IV -11: Teneur en eau du gravier.

IV -2-10- Résistance à la fragmentation:

Introduire l'échantillon (M=5000 g) avec la charge de boulets (Diamètre important) 500 rotations (30 à 33 tours/min). Mesurer la masse « m » d'élément < 1,6 mm Coefficient de Los Angeles « LA » :

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

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

fraction	M1(g)	M2(g)	Nombre des boules	LA
3/8	5000	1431.92	7	28.63
8/16	5000	1118	11	22.36

Tableau V-12 : Coefficient des los Angeles des graviers.

IV -3- Sable :

IV -3-1- Origine du sable :

Le sable de base de notre recherche provient: des abords d'Oued MAITAR (BOUSAADA)

IV -3-2- Composition granulométrique :

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

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	3.5	3.5	0.23	99.77
2.5	65.3	68.8	4.59	95.41
1.25	104.2	173	11.55	88.45
0.63	149.2	331.2	22.18	77.82
0.315	388.5	710.7	47.45	52.55
0.125	705.44	1416.14	94.54	5.46
0.08	61.59	1477.7	98.65	1.35
Fond	20.2	1497.9	100	0

Tableau IV -13 : Analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre).

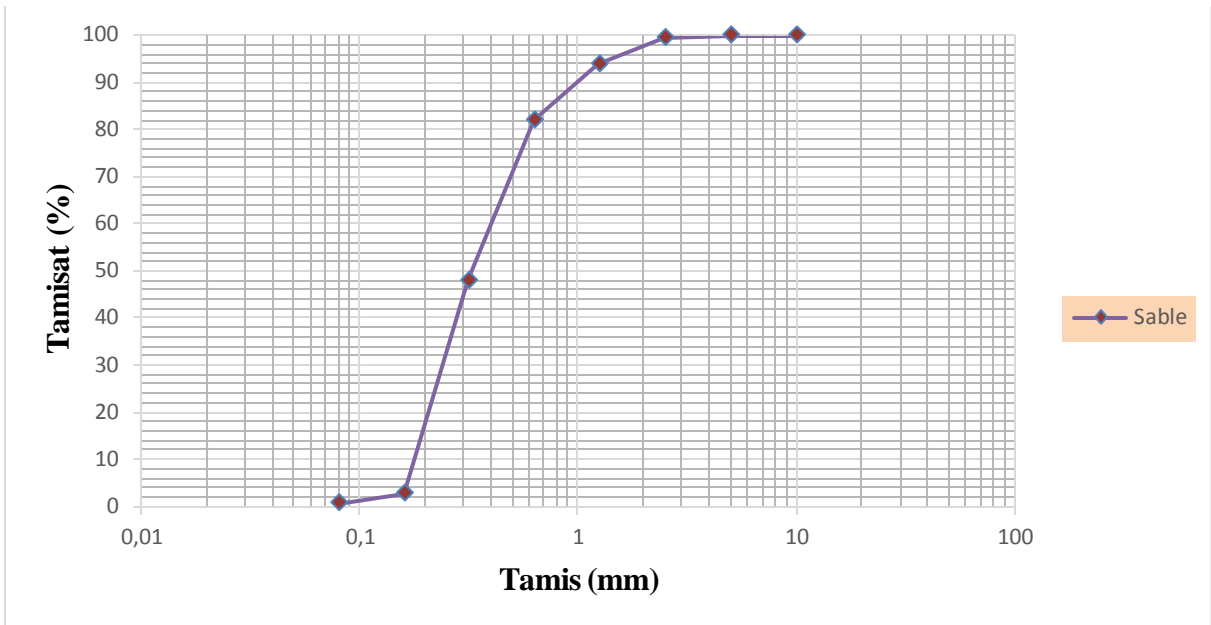


Figure IV -3: La courbe granulométrique du sable (0/5).

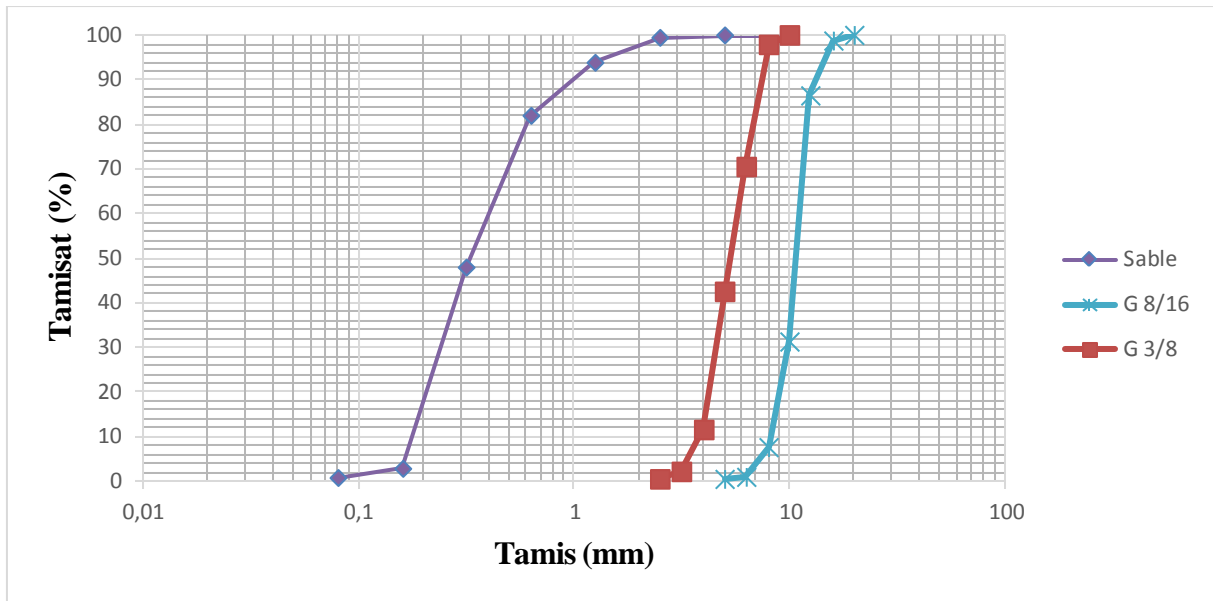


Figure IV -4: Courbes granulométriques des granulats

IV -3-3- Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Où : R_c : Refus cumulé.

Pour le sable Boussaâda : $Mf = 1.8$

Les normes soviétiques spécifient le Mf des sables comme suit :

- Sable gros $Mf > 2.5$
- Sable moyen $2 < Mf < 2.5$
- Sable fin $1.5 < Mf < 2$
- Sable très fin $1 < Mf < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

- Pour le sable de Boussaâda Sable fin $1.5 < Mf < 2$ C'est un **sable fin**.

IV -3-4- L'équivalent de sable(NA454):

➤ **Dentition et But de l'essai:**

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les loculés fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantile la propreté de celui-ci

➤ Principe de l'essai:

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on le laisse reposer le tout. A about de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h_1 : sable propre + éléments fins.
- hauteur h_2 : sable propre seulement (à vue).
- hauteur $h'2$: sable propre seulement (au piston). On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention est L'essai dit d'équivalent de sable
- permet de déterminer le degré de propreté du sable : Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, [06].

On détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston)

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

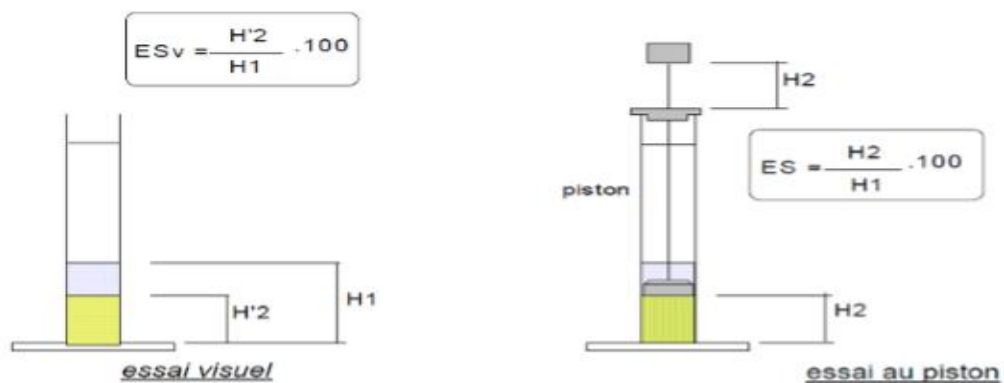


Figure IV -5 : L'essai l'équivalent de sable[06]

➤ Matériel utilisé:

Éprouvettes, en matière plastique, avec 2 traits repères (Φ int = 32 mm; h = 430 mm), Entonnoir, tamis, spatule, balance, thermomètre, récipients, Machine agitatrice électrique ou manuelle, Réglet de mesure et piston taré comporte 3 vis formant des butées (masse 1 kg).

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

➤ Mode opératoire:

- remplir les 2 éprouvettes de solution lavante jusqu'au repère, en suite verser la quantité de sable tarée,
- éliminer les bulles d'air en frappant chaque éprouvette contre la paume de la main et laisser reposer 10 minutes,
- boucher les éprouvettes et les agiter d'un mouvement rectiligne, horizontal, sinusoïdale 20cm d'amplitude de à l'aide d'une machine à secouer (90 aller et retour en 30 secondes).
- Levrette remplir les éprouvettes lavé le tube la eurenrinçant le bouchon, lave les parois intérieures de toutes les éprouvettes et laver la masse du sable en y faisant remonter et descendre lentement le tube ainsi les fines remontent en surface,
- on ferme le robinet lorsque la solution atteint le 2eme trait (supérieur) et on sort le tube laveur,
- on laisse reposer 20 minutes en évitant toute vibration,
- on mesure à vue les hauteurs h_1 et h_2 (h_2 est entachée d'incertitude)
- pour effectuer la mesure de façon plus précise, on introduit le piston taré à travers le culât, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette et on l'immobilise au contact du sable,
- mesure h'_2 ,

N° $d'essai$	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV (%)	h'_2 (cm)	ESP (%)
01	10.7	8,7	81.31	8,4	78.50
02	10.75	8,8	81.86	8,1	75.35
03	10.7	8,7	81.31	8,4	78.50

Tableau IV -14: Équivalent du sable de Boussaâda.

Pour le sable de Boussaâda : $75\% < E.S.V < 85\%$

$$75\% < E.S.P < 80\%.$$

Ces résultats montrent que le sable utilisé est un sable très propre.

IV -3-5- Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

$$\rho = \frac{M}{V_1} \quad \text{Avec : } M = 300 \text{ g.}$$

Résultats obtenus :

N° d'essai	M (g)	V_e (cm ³)	V_1 (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ_{moy} (g/cm ³)
1	300	300	421	2,66	2,66
2	300	300	422	2,67	
3	300	300	420	2,65	

Tableau IV -15: Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.

- ❖ M : masse de sable.
- ❖ V_1 : volume d'eau + volume de sable.
- ❖ V_e : volume d'eau.
- ❖ ρ : la masse volumique absolue de sable.

IV -3-6- Masse volumique apparente : NF P 18-554

➤ **Masse volumique apparente à l'état lâche:**

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

✓ Volume de récipient $V_r = 1000 \text{cm}^3$.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	$\rho_{app\ moye}$ (g/cm ³)
01	114.4	1400.8	1,406	1.414
02	114.4	1378.1	1,413	
03	114.4	1370	1.400	

Tableau IV -16 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.

➤ **Masse volumique apparente à l'état compact :**

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage y compris les vides restant entre les grains. Généralement elle est Supérieure à la masse volumique à l'état lâche. La masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\rho_c = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Où :

- M_1 : Masse du récipient à vide.
- M_2 : Masse du récipient plus le sable.
- V_r : Volume du récipient.

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	$\rho_{app,moy}$ (g/cm ³)
01	114.4	1642.3	1,558	1,563
02	114.4	1643.5	1,559	
03	114.4	1644.2	1,566	

Tableau IV -17: Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact.

IV -3-7- Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

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

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- État lâche : $\rho_L = 49.24\%$.
- État compacte : $\rho_c = 38.84\%$.

IV -3-8- Compacité :

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

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- État lâche : $C_L = 50.76\%$.
- État compacte : $C_c = 61.16\%$.

IV -3-9- L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P).$$

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable de Boussaâda :

- État lâche : $e = 0,972\%$
- État compacte : $e = 0,635\%$

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les tableaux suivants :

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides e%	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
48.24	37.84	50.76	61.16	0.98	0.64

Tableau IV -18 : la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable de Boussaâda.

IV -4- Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits incorporés au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égale à 5 % en masse du poids de ciment pour modifier ou améliorer les propriétés du mélange à l'état frais et ou du béton durci, (norme NF EN 934 – 2).

Dans notre étude on a utilisé les super-plastifiants à savoir :

MEDAFLOW 30 de GRANITEX (super-plastifiant)

IV -4-1- MEDAFLOW 30 (super –plastifian):

IV -4-1-1- Description: [14]

Le MEDAFLOW 30 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau, il est conçu à base de Polycarboxylates combinés. Il peut être utilisé dans plusieurs domaines à savoir :

- bétons auto-plaçant.
- Réduction du temps de décoffrage.
- Bétons précontraints.
- Bétons architecturaux.

Son utilisation permet :

A- sur le béton frais :

- l'amélioration de fluidité
- le décoffrage rapide
- de faciliter la mise en œuvre

B- sur le béton durci :

- d'augmenter la résistance mécanique à jeune âge
- de diminuer la porosité
- de diminuer le retrait
- d'augmenter la durabilité

IV -4-1-2- Caractéristiques:

Nature	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Liquide	Jaunâtre	6.2	1.07	< 1g/L	20%

Tableau IV -19 : Caractéristiques du MEDAFLOW 30.

IV -4-1-3- Dosage :

La page de dosage recommandée est : 1,0 à 2,5% du poids de ciment, soit 1L à 2,5L par 100 Kg de ciment..

IV -4- Léau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau de robinet du laboratoire de département de génie civil.

2^{eme} partie : Technique expérimentale

Introduction :

Dans ce chapitre, on présente la méthode que détermine la composition des différents types de béton utilisés dans cette étude, ainsi que les calculs de formulation de notre type de béton et ensuite on expose les différents essais destructifs avec leurs procédures.

IV -1- La formulation des bétons :

Le calcul de la composition du béton a pour but de déterminer le dosage en ciment, granulats (fins et gros) et en eau pour un dosage de **1m³** de béton frais, afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique acceptée.

Il existe plusieurs méthodes de détermination la composition du béton proposé et appliqué dans les différentes payes du monde, permis ces méthodes on peut citer : [15]

- Méthode de BOLOMEY (méthode à granularité continue).
- Méthode de FAURY
- Méthode de JOISEL
- Méthode de VALETTE
- Méthode de DREUX GORISSE
- Méthode des volumes absolus
- Méthode générale du CES (centre d'essai des structures)

L'objectif de toutes les méthodes de formulation des bétons est de déterminer la combinaison de matériaux à utiliser pour produire le béton qui aura les propriétés désirées et qui sera le plus économique possible. [16]

Dans notre travail nous utiliserons la méthode pratique de **DREUX –GORISSE**

IV -1-1-Méthode de formulation de Dreux- Gorisse :

C'est une méthode pratique simplifiée appliquée pour l'étude d'un béton. Nous rappelons que cette méthode n'a pour but que de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié, mais que seules quelques gâchés d'essai et la confection d'éprouvettes permettent d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés. [06]

Données de base :

1- Dosage en ciment et en eau :

❖ Résistance visée :

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée.

Ainsi la résistance visée, $F'_c = F_{c28} + 15\% F_{c28}$

$$F'_c = 1.15 \times F_{c28}$$

❖ Dosage en ciment et en eau :

Le dosage en eau et ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats.

Ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres.

$$F'_c = \sigma_c \cdot G \cdot (C/E - 0,5)$$

Avec:

- F'_c : résistance visée à 28 jours
- C : dosage du ciment en kg/m^3 de béton
- E : dosage de l'eau en l/m^3 de béton
- σ_c : Classe vraie du ciment en MPa
- G : coefficient granulaire. Ce coefficient représente la qualité des granulats.

Expérimentalement, il est établi que cette qualité dépend du granulat, mais également de son diamètre selon les valeurs suivantes :

Qualité des Granulats	Dimension D des granulats		
	D ≤ 12,5	20 ≤ D ≤ 31,5	D ≥ 50
	Fins	Moyens	Gros
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Tableau IV -20: Valeurs approximatives du coefficient granulair

Cette relation permet de déterminer le rapport C/E :

$$C/E = \frac{F'_c}{(\sigma_c \cdot G)} + 0,5$$

Il est à observer au travers cette relation que le dosage en ciment est d'autant plus important que la résistance visée du béton soit forte. Inversement, le dosage en ciment diminue lorsque la résistance du ciment augmente. Pour une résistance visée, Il y a également moins besoin de ciment lorsque la qualité ou la dimension des granulats augmentent.

Le problème consiste à délier le dosage en ciment du dosage en eau.

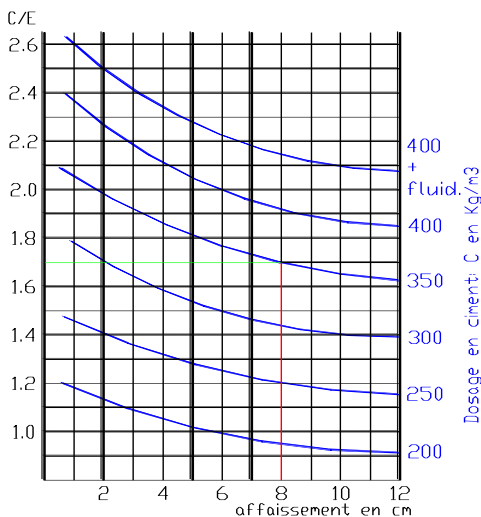


Figure IV -6 : Dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée.

Le dosage en eau dépend également de l'ouvrabilité désirée. Ainsi en intégrant l'ouvrabilité désirée, expérimentalement, et à partir du rapport C/E, il est possible de déterminer le dosage en ciment par l'abaque suivant La détermination du dosage en ciment s'obtient par cet abaque à double entrée. En abscisse, la valeur de l'affaissement désirée est entrée et en ordonnée le rapport, C/E. L'intersection des deux entrées, indique la sortie, la courbe donnant le dosage en ciment en kg. Par exemple, pour un béton classique, c'est-à-dire un B25P, le rapport C/E=1.7 A=8cm.

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

L'intersection de ces deux entrées se fait sur la courbe du dosage à 350kg de ciment.

Le dosage en ciment pour obtenir 1 m³ de béton en place est de 350kg.

Le dosage en eau s'en déduit : $C/E=1.7$ avec $C=350\text{kg}$, $E=C/1.7 \Rightarrow E=350/1.7=206$ kg d'eau, soit 206.l d'eau.

Il est à observer que plus l'ouvrabilité désirée est importante plus il faut d'eau et plus il faut de ciment.

De même le dosage en ciment est limité à 400 kg/m³ de béton en place. Au-delà le ciment et l'eau seraient en trop forte concentration dans le béton. Cela aurait pour effet de produire des fissures de retrait.

Ainsi, pour des rapports C/E et une ouvrabilité à atteindre qui nécessiteraient plus de 400 kg de ciment, le dosage en ciment est limité à 400 kg et l'ouvrabilité désirée est atteinte en ajoutant un fluidifiant au béton.

❖ Ajustement du dosage en eau :

Le dosage en eau est à ajuster. En effet L'eau doit pouvoir humidifier tous les grains du mélange. Or pour humidifier un grain, il faut d'autant plus d'eau que son diamètre est petit. La quantité d'eau dépend donc également du diamètre des grains à humidifier. Le dosage en eau déterminé est indiqué pour mouiller tous les grains du mélange granulaire d'un diamètre représentatif maximal, $D=25\text{mm}$. Pour les autres diamètres, il faut majorer ou minorer ce dosage selon ce diamètre, D.

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

Tableau IV -21: Correction du dosage en eau selon le diamètre, D du mélange granulaire.

Ainsi pour un mélange granulaire de diamètre, $D=20\text{mm}$, il faut majorer le dosage en eau de 2%. Pour un dosage initial de 206 litre d'eau le dosage doit être augmenté à $E=206 \times 1.02=210$ litre.

2- Dosage en pourcentage des granulats :

On trace la courbe granulaire de référence sur un graphique d'analyse granulométrique type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), la courbe peut être entièrement déterminée à partir de seulement trois points appelés respectivement, O, origine, A, point de brisure, et B, extrémité.

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

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

Le point d'origine, O est fixé à 0% de tamisâtes sur le plus petit tamis, 0.080mm. Ce point est repéré par ses coordonnées : O [0.080 ; 0].

De même, le d'extrémité, B se situe sur le tamis, D du gravier, avec 100% de tamisâtes. Ce point est repéré par ses coordonnées : B [D ; 100].

Pour le point de brisure A, il apparaît que le tamis sur lequel il se situe est invariable quelques soit les proportions du mélange.

En observant de plus près, il apparaît que ce tamis se situe à $D/2$, si $D \leq 20$ mm, et au milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D > 20$

Il reste à déterminer le pourcentage de tamisâtes du point de brisure. Cette position dépend des proportions du mélange. Or, les proportions du mélange influent sur la compacité du béton et par conséquent sur sa résistance.

Le problème consiste donc à déterminer l'ordonnée du point de brisure qui permettra de donner la meilleure compacité au béton. Cette position est optimisée par la méthode DREUX-GORISSE. L'ordonnée optimisée du point de brisure, YA est déterminée par la relation suivante :

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

Cette relation prend en compte l'influence de la forme des granulats, du dosage en ciment, de la vibration, de la finesse du sable et de la mise en œuvre du béton par une pompe à béton sur la compacité du béton et sa facilité de mise en œuvre.

K, optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment, voir tableau (IV.22).

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

Tableau IV -22: Valeur correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.

K_s , ajustement de la granularité du sable, pour $1.5 \leq M_f \leq 2$ (M_f : module de finesse du sable) $K_s = 6M_f - 15f$

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

- $K_p = 0$ si béton non pompable
- $5 \leq K_p \leq 10$ si béton pompable.

Les proportions de sable et de gravier nécessaire obtenu à partir d'une méthode graphique appelée la ligne de partage.

❖ **La ligne de partage :**

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

Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier

3- Dosage en masse des granulats :

Quelles masses de gravier et de sable correspondent aux proportions du mélange granulaire ?

La réponse s'obtient par la connaissance de la compacité du béton et des masses volumiques absolues des matériaux.

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

Consistance	Serrage	Coefficient γ en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=12,5	D=20	D=31,5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Tableau IV -23: Coefficient de compacité (γ).

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est: $V_{abs}=1000\gamma - V_c$

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

Avec :

V_c : volume du ciment et $V_c = C / \rho_c$. (ρ_c : masse spécifique du ciment).

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite :

Sable : V_s (en litre) = $P_s \% \times (\gamma)$ ou P_s : le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

Gravier : V_g (en litre) = $P_g \% \times (\gamma)$ ou P_g : le % du gravier obtenu à partir de la courbe granulométrique.

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont ρ_s et ρ_g , les masses de chacun d'eux seront :

Sable : M_s (Kg) = $V_s \rho_s$

Gravier : M_g (Kg) = $V_g \rho_g$

La masse totale des granulats : $M_t = M_s + M_g$. [06].

IV -2- Détermination des compositions de béton utilisé (béton ordinaire) :

La formulation de la composition des bétons a été faite d'après la méthode « DREUX GORISSE » basée sur l'analyse granulométrique (sable et différentes fractions de gravier).

Données de bases :

A. Dosage de ciment : $C = 400$ Kg/m³

- et le rapport $C/E = 1.92$
- le dosage en eau : $E = 400 / 1.92 = 208.33$ l/m³

B. Caractéristiques techniques du sable :

Masse volumique, Masse spécifique et module de finesse qui est égale à 1.8

C. Caractéristiques techniques des granulats :

- Dimension maximale des granulats ($D_{max} = 16$ mm).
- Les granulats concassés et roulés.
- Masse volumique apparente et masse spécifique.

Sur le graphe d'analyse granulométrique on trace la courbe granulaire de référence OAB.

- Point B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D des plus gros granulats.

Sur le graphe d'analyse granulométrique on trace la courbe granulaire de référence OAB.

- Point B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D des plus gros granulats.

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

$$\text{Point B : } \begin{cases} X=16 \text{ mm} \\ Y=100 \% \end{cases}$$

➤ Point de brisure A à pour coordonnées :

➤ En l'abscisse :

$$D \leq 25, X=D/2,$$

➤ En ordonnée :

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

Les valeurs de K et K_s et K_p sont données par des tableaux.

$$\text{Point A: } \begin{cases} X= D/2=16/2=8\text{mm} \\ Y=50-\sqrt{D+K} + K_s+ K_p \end{cases}$$

$$Y=50-\sqrt{16} -2 =44 \%$$

➤ coefficient de compacité γ :

$$\left\{ \begin{array}{l} D = 16 \\ \text{Béton plastique} \quad \gamma = 0,825 \\ \text{Vibration normale} \end{array} \right.$$

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- sable roulé et gravier concassé = - 0.01 ;

$$\text{Donc } \gamma = 0.825 - 0.01$$

$$\gamma = 0.815$$

Volume absolu total 1000. $\gamma = 820$ litres.

➤ détermination de volume des granulats:

$$V_C = C/3,10=400/3,10 = 129.32 \text{ l/m}^3$$

$$V_g = V_T - V_C$$

$$V_g = 1000\gamma - V_C$$

$$V_g = 820 - 129.032 = 690.968 \text{ litres}$$

$$V_g = 690.968 \text{ l/m}^3$$

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

➤ détermination du volume absolu de chaque granulat:

* Volume absolu du sable = $690.968 \times 0.35 = 241.339$ litres

* Volume absolu de gravier (3/8) = $690.968 \times 0.09 = 62.187$ litres

* Volume absolu de gravier (8/15) = $690.968 \times 0.56 = 386.942$ litres

Les masses spécifiques sont :

* Sable = 2.57 g/cm^3

* Gravier (3/8) = 2.66 g/cm^3

* Gravier (8/16) = 2.66 g/cm^3

➤ Les dosages en matériaux secs seront donc en kg/m^3 :

*Ciment = 400 kg/m^3 .

* Sable = $2.57 \times 241.339 = 621.525$ kg/m^3

* Gravier (3/8) = $2.66 \times 62.187 = 165.418$ kg/m^3

* Gravier (8/16) = $2.66 \times 386.942 = 1029.266$ kg/m^3

* Eau total = 208.33 l/m^3

Notre béton a été formulé d'après la méthode de **DREUX-GORISSE**.

Les constituants et leurs quantités sont présentés au tableau suivant :

Constituants	Quantité Kg/m^3
Ciment	400
Gravier (3/8)	155.33
Gravier (8/16)	1029.266
Sable (0/5)	590.61
Eau	208.33
Super plastifiant (1.5%)	225

Tableau IV -24: La composition d'un 1m^3 de béton ordinaire C=400kg .Af=8

Constituants	Quantité Kg/m ³
Ciment	350
Gravier (3/8)	150.470
Gravier (8/16)	1072.10
Sable (0/5)	636.033
Eau	205.88
Super plastifiant (1.5%)	197

Tableau IV -25: La composition d'un 1m³ de béton ordinaire C=350kg.Af=8

Constituants	Quantité Kg/m ³
Ciment	450
Gravier (3/8)	161.556
Gravier (8/16)	1041.141
Sable (0/5)	572.331
Eau	209.30
Super plastifiant (1.5%)	253

Tableau IV -26: La composition d'un 1m³ de béton ordinaire C=450kg.Af=8

IV -2-1-Les quantités du Constituants de nos bétons :

- **béton témoin** : chaque variation de E/C en formuler 30épreuve cubique V=0.0375. Exemple d'un collage de conservation 15 éprouvette à l'eau 15 éprouvette à l'air (résistance mécanique)

Béton témoin					
C=350 Kg		C=400 Kg		C=450 Kg	
Constituants	Quantité	Constituants	Quantité	Constituants	Quantité
Ciment	13.125 kg	Ciment	15 kg	Ciment	16.875 kg
Gravier (3/8)	5.64 kg	Gravier (3/8)	5.82 kg	Gravier (3/8)	6.06 kg
Gravier (8/16)	40.20 kg	Gravier (8/16)	38.59 kg	Gravier (8/16)	39.04 kg
Sable (0/5)	23.85 kg	Sable (0/5)	22.15 kg	Sable (0/5)	21.46 kg
Eau	4.70 L	Eau	4.90 L	Eau	5.1 L
Adjuvant	197	adjuvant	225	Adjuvant	253 g
E/C=0.36+ adj.		E/C=0.32+ adj.		E/C=0.3+adj.	

Tableau IV -27 : les quantités des constituants du béton témoin étudié.

V -2-2-Préparation de mélange :

On peut résumer les étapes d'obtention notre béton comme suit

- verser le gravier, le sable et le ciment dans le malaxeur (un malaxeur à un axe vertical tournant).
- Le malaxeur mélange à sec les composants pendant une minute.
- Introduire **50%** de la quantité d'eau avec l'adjuvant avec le malaxage 2 min.
- Ajouté le reste d'eau et malaxer pendant 3 minutes.

➤ **Mode opératoire de traitement par étuvage :**

- Après démoulage des éprouvettes du deux type de bétons.
- Conserver a l'air jusqu' à l'âge de d écrasement ou mesure du pourcentage de porosité

IV -3- Conservation des éprouvettes :

Après **24** h de la confection des éprouvettes et après le décoffrage on les conserve dans :

- dans l'eau de robinet.
- à l'air libre.
- à l'air libre après LA CURE

IV -4- Essai sur béton :

On appelle béton la pierre artificielle obtenue grâce au durcissement d'un béton mélange de liant, d'eau et d'agrégats (sable et pierre concassée ou gravier) choisi de façon rationnelle.

L'ensemble de ces matériaux avant durcissement s'appelle mélange du béton [04]

Pour contrôler la qualité du béton il faut le contrôler à ses deux états, frais et durci. [03]

IV -4-1- Contrôle du béton à l'état frais :

Définition :

Le Béton est matériau de construction formé par un mélange de ciment, de granulats et d'eau, éventuellement complété par des adjuvants et des additions. Ce mélange, qui est mis en place sur le chantier ou en usine à l'état plastique, peut adopter des formes très diverses parce qu'il est modulable, il durcit progressivement pour former finalement un monolithe. Selon sa formulation, sa mise en œuvre et ses traitements de surface, ses performances et son aspect peuvent considérablement varier. [03]

IV -4-1-1-Essai d'affaissement au cône d'abrams "slump-test" :(NF P 18-451)

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre, il est tant que la dimension des granulats ne dépasse pas 40 mm

➤ Principe de l'essai :

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand, plus le béton sera réputé fluide.

➤ Équipement nécessaire :

L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-541, il se compose de 4 éléments :

- Un moule tronconique sans fond de 30cm de haut, de 20cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure.
- Une plaque d'appui.
- Une tige de piquage.
- Un portique de mesure.

➤ Conduite d'essai :

La plaque d'appui est légèrement humidifiée et le moule légèrement huilé est fixé. Le béton est introduit dans le moule en trois couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par couche (la tige doit pénétrer la couche immédiatement inférieure). Après avoir arasé en roule la tige de piquage sur le bord supérieur de moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus ou moins suivant sa consistance. Celle-ci est caractérisée par cet affaissement, noté A ; mesuré grâce au portique et arrondi au centimètre le plus proche, la mesure doit être effectuée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage.

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme (F)	1 à 4	±1
Plastique (P)	5 à 9	±2
Très plastique (T.P)	10 à 15	±3
Fluide (FL)	≥16	±3

Tableau IV -28 : appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.

IV -4-1-2- La masse volumique du béton à l'état frais :

La détermination de la masse volumique, selon AFNOR A23, 2-6C, permet d'effectuer une correction éventuelle du mélange réalisé à partir des pesées respectives des matériaux utilisés lors du malaxage.

Peser 3 moules avant et après leur remplissage pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.

IV -4-2- Contrôle du Béton à l'état durci :

IV -4-2-1-La masse volumique a L'état durci :

On à déterminer la masse volumique après avoir retiré les éprouvettes des bacs et les avoir laissé à l'air libre pendant 20 minutes pour séchage. Juste avant l'écrasement aux différents âges, on a déterminé la masse volumique en pesant les éprouvettes.

La masse volumique est donne par la relation suivant : $\rho = M / V$

Avec :

M : la masse de l'éprouvette.

V : volume de l'éprouvette

IV -4-2-2- Essai de compression (NF P 18-406)

➤ But de l'essai :

Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton.

L'essai se fait sur une éprouvette cylindrique de dimensions normalisées et élancement de 2 ($H=2\varnothing$) ou éprouvette cubique $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$.

Les dimensions les plus utilisées sont $H=32 \text{ cm}$, $\varnothing=16 \text{ cm}$. [06]

$$\sigma_c = \frac{P}{S} \quad \text{Avec:}$$

σ_c : contrainte de compression (en MPa).

P : charge de rupture (en N).

S : surface de l'éprouvette ($s = a^2(\text{cm}^2)$).

Les dimensions les plus utilisées sont $H=32 \text{ cm}$, $\varnothing=16 \text{ cm}$. [03]

➤ Principe de l'essai :

Après malaxage, on remplit en béton un moule cubique normalisé, le remplissage du moule se fera en 3 couches bien vibrées chacune.

L'éprouvette sera immergée dans un bac d'eau pour durcir à température moyenne de 20°C .

Le démoulage se fera après un 24 heures. La résistance à 28 jours

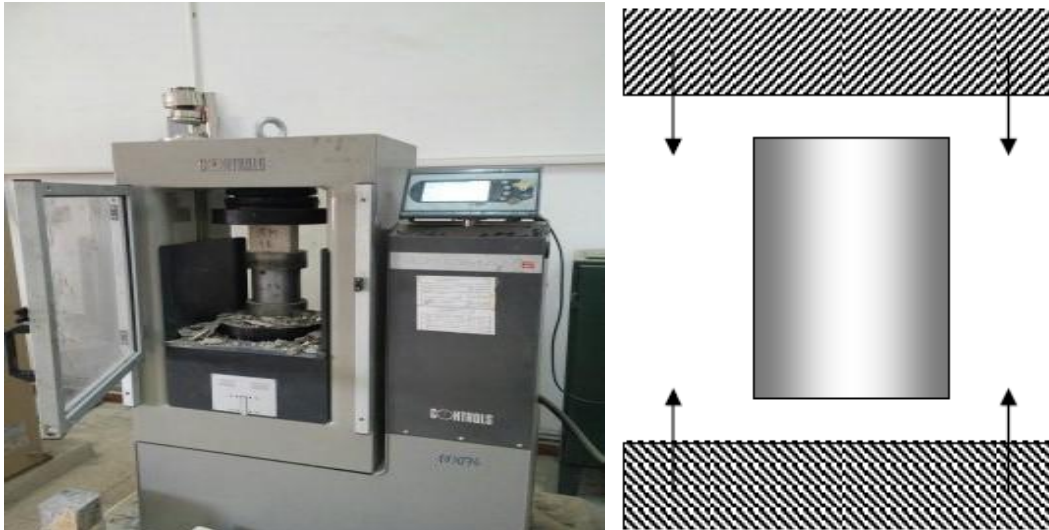


Figure IV -7 : presse hydraulique de compression.

➤ **Conduite de l'essai :**

Ce temps écoulé, on retire le moule et on fait passer l'éprouvette à la presse permet la lecture de la force qui s'exerce sur les facettes latérales du cylindre de béton.

Éprouvette sera placée entre les deux mâchoires de la machine et on élèvera une seule lecture. Celle de la force correspondant à la rupture de l'échantillon. Soit F cette lecture.

Calculs :

La résistance sera :

$$\delta = \frac{F}{S} \text{ : section de l'éprouvette : } 100 \text{ cm}^2.$$

F : force au moment de la rupture.

Et essai se fait également sur les roches que l'on doit tailler au préalable sous forme de cubes d'arête égale à 7 cm.

IV -4-3-Porosité accessible à l'eau : ASTM - C642

➤ **Introduction :**

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la porosité du béton .parmi cette méthode, la norme ASTM désignation C642.

Le but de cette méthode est de déterminer pourcentage de volume des pores contenus dans l'éprouvette, afin de connaître l'influence de la structure interne du béton sur l'interconnexion des pores.

➤ **Mode d'essai :**

- Séchage la étuve a 105 C de l'échantillon, pendant au moins 24 heures, jusqu' a obtention d'une masse constante, afin de faire évaporé toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est note A.

Chapitre 04 Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

- Émersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24
- Chauffage jusqu'à l'ébullition pendant 5 heures, puis pesage de l'échantillon dans l'air (soit C ce point) puis pesage à l'eau (pesée hydrostatique, soit D ce point).

➤ Calcul de la porosité :

Calculer par la formule :

$$V_p = \frac{W_s - W_b}{W_s - W_d} \cdot 100$$

V_p : volume des vides.

W_b : poids de l'échantillon après étuvage (g).

W_s : poids à l'air immersion et ébullition (g).

W_d : poids à l'eau immersion et ébullition (g).



Figure IV -8 poids à l'air immersion et ébullition (g).



Figure IV -8 : poids à l'eau immersion et ébullition (g).

IV -4-4- Perte de masse

La perte de masse des bétons testés a été mesurée selon la formule suivante :

$$PM = \frac{M_i - M_0}{M_0} \times 100$$

Avec :

PM : est la perte de masse (%).

M_i : est la masse de l'éprouvette à initial

M_0 : est la masse de l'éprouvette l'âge j

IV -5-Conclusion :

Dans ce chapitre nous allons résumer les caractéristique des matériaux utilisé (sable, gravier, ciment, l'eau, l'adjuvant) et les essais réalisé dans laboratoire a l'état frais et durci (la résistance mécanique, porosité P.A.E (%), porosité (%), la masse volumique et le perte de masse).

Chapitre 05 : Les résultats

Ce chapitre regroupe les résultats sous forme de graphiques, ces derniers sont accompagnés par des interprétations des résultats pour les différents essais réalisés conformément aux méthodes décrites au chapitre 4.

Dans notre travail les essais sont effectués sur des éprouvettes de béton dont les principales caractéristiques suivantes :

- Les éprouvettes cubique est de dimensions $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$.
- Les éprouvettes sont préparées avec des mélanges :

Eau de gâchage + Granulats + Ciment (CEM I/A 42.5) + adjuvants

- Les éprouvettes sont préparées avec 3 types de dosage :
 1. Dosage en ciment 350 kg/m^3
 2. Dosage en ciment 400 kg/m^3
 3. Dosage en ciment 450 kg/m^3

Les éprouvettes sont de cure :

1. Témoin (à l'eau à l'air) BT.
2. Cure (3jours) c3j.
3. Cure (7jours) c7j.
4. Cure (28jours) c28j.

❖ Mesures expérimentales:

Les éprouvettes des différentes classes de bétons élaborées ont été soumises à des essais,

- Essais de masse volumique
- Essais de résistances mécaniques.
- Essai de porosité accessible à l'eau P.A.E (%)
- Essai de Perte de masse

✚ Influence du dosage de ciment

V-1 La masse volumique :

- La masse volumique du béton témoins conservation à l'air à l'eau C=350 Kg

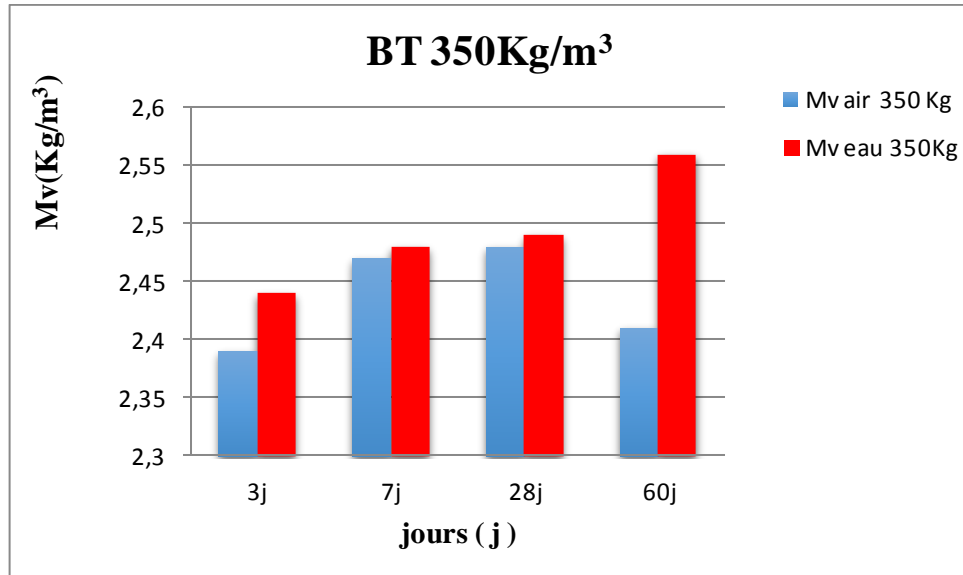


Figure V-1 : la masse volumique de béton témoins C=350 Kg/m³

- La masse volumique du Béton témoin conservation à l'air à l'eau C=400 Kg

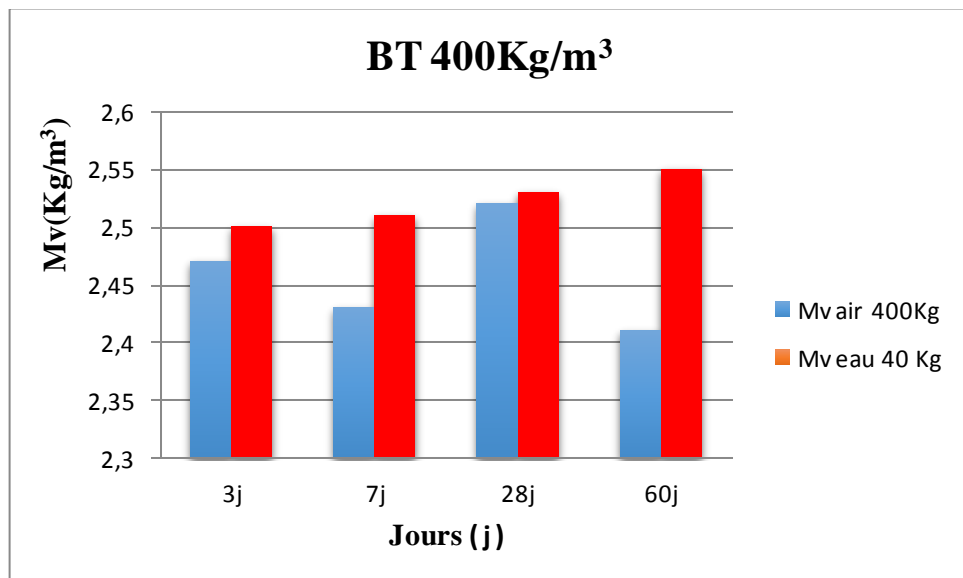


Figure V-2 : la masse volumique de béton témoins C=400 Kg/m³

➤ La masse volumique du Béton témoin conservation à l'air à l'eau C=450 Kg/m³

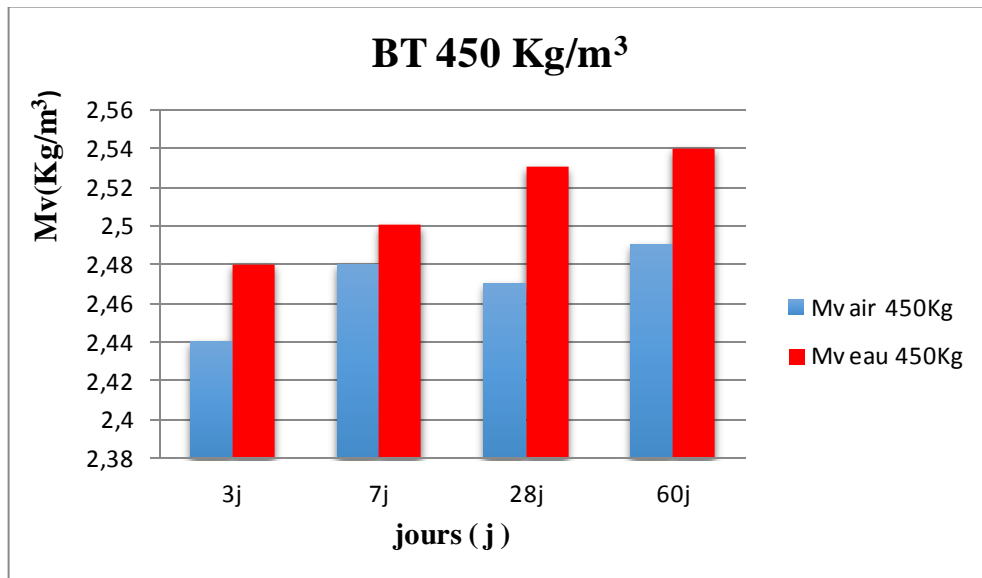


Figure V-3 : la masse volumique de béton témoins C=450 Kg/m³

➤ Comparaison La masse volumique du béton témoins (350.400.450) Kg/m³

□ Béton témoin conservation à l'air à l'eau

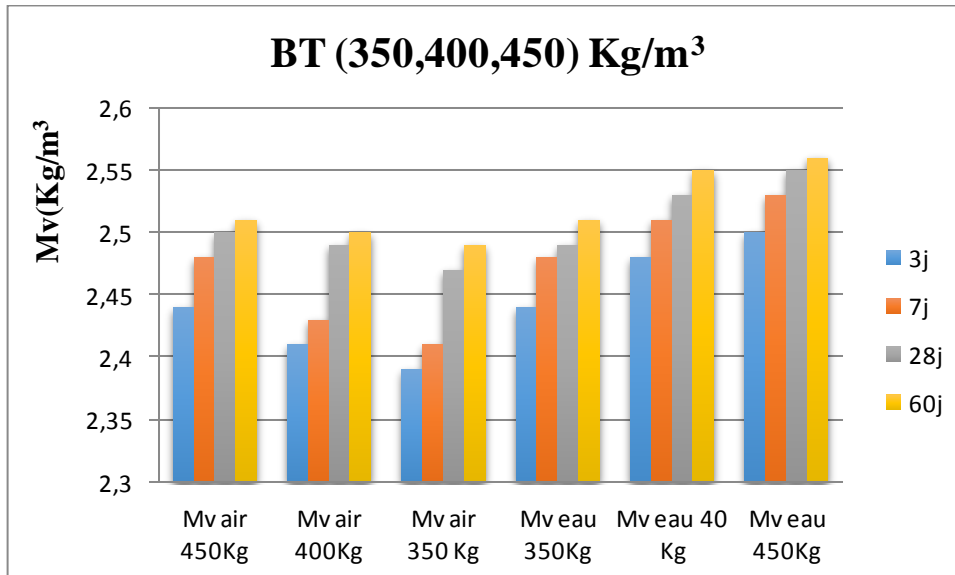


Figure V-4 : la masse volumique de béton témoins (350.400.450) Kg/m³.

❖ **Commentaire**

La figure (1 à 4) présente l'évolution de la masse volumique des bétons témoin (350.400.450) Kg/m³ successivement.

D'après les résultats obtenus on constate que les masses volumiques des bétons conservées à l'eau présentent une masse volumique supérieure à celle des bétons exposé à l'air. Cette

supériorité due aux réactions minéralogiques de ciment qui s'accroît dans l'eau mieux que l'air afin de minimiser les pores entre les grain solides du béton .

La masse volumique aussi dépend de dosage de ciment, et le dosage $C=450 \text{ kg/m}^3$ présente la masse volumique la plus grande dans tous les types de béton préparés.

➤ **V-2- la résistance à la compression des bétons témoin étudiés (350, 400.450) kg/m^3 .**

□ **Béton témoin conservation à l'air à l'eau $C=350 \text{ Kg/m}^3$:**

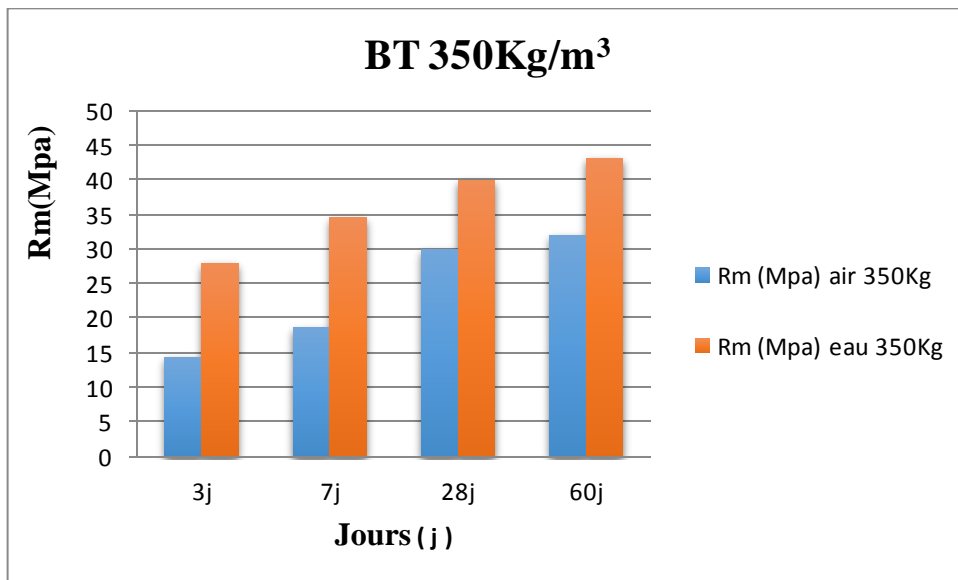


Figure V-5 : la résistance à la compression du béton témoin $C=350 \text{ Kg/m}^3$.

□ **Béton témoin conservation à l'air à l'eau $C=400 \text{ Kg/ m}^3$.**

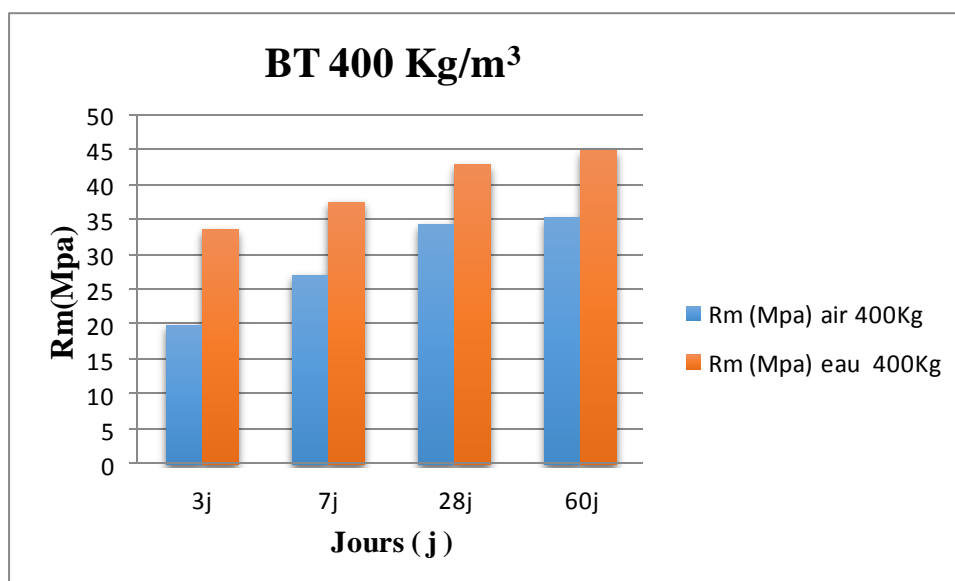


Figure V-6 : la résistance à la compression du béton témoin $C=400 \text{ Kg/m}^3$.

- **Béton témoin conservation à l'air à l'eau C=450 Kg/m³**

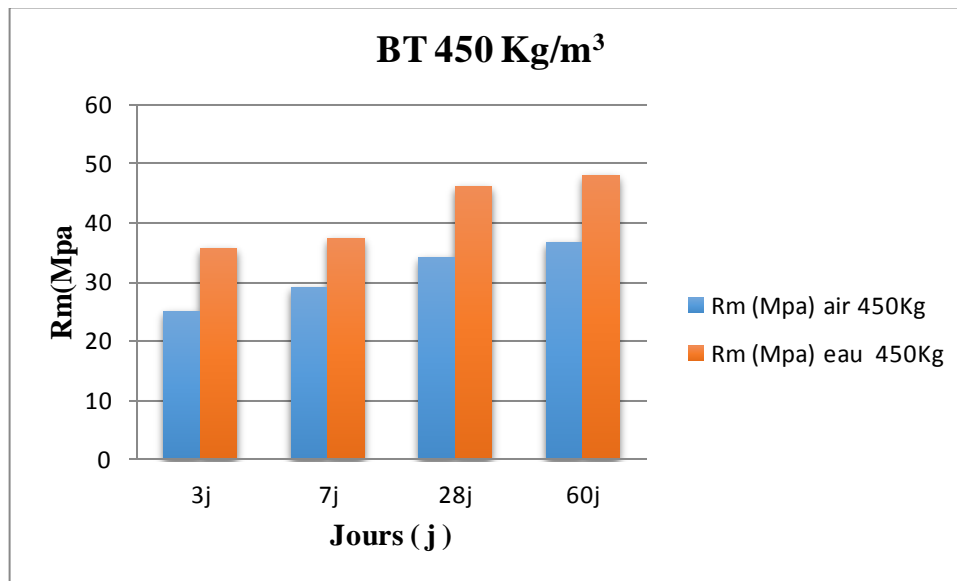


Figure V-7 : la résistance à la compression du béton témoin C=450 Kg/m³

- **Comparaison la résistance mécanique conservation à l'air à l'eau (350.400.450)Kg/m³**

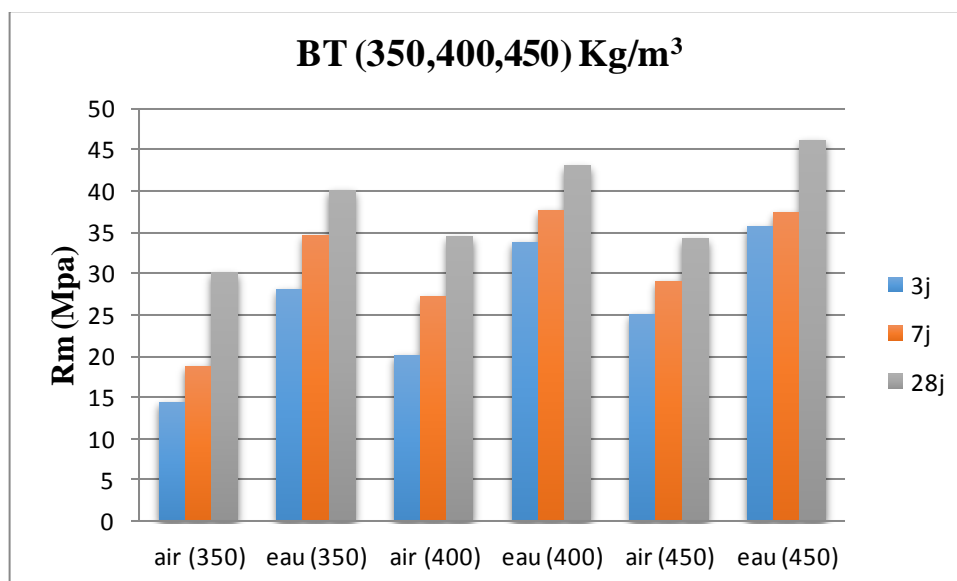


Figure V-8 : la résistance à la compression du béton témoin(350.400.450)Kg/m³

❖ **Commentaire**

La figure (5 à 8) présente l'évolution de la résistance mécanique conservation à l'air à l'eau des bétons témoin (350.400.450) Kg/m³ successivement.

La résistance des 3 types augmente avec le temps, mais les bétons conservés à l'eau présentent une résistance plus élevée que l'autre béton conservé à l'air.

On remarque que l'accroissement des résistances en fonction de l'âge le dosage de ciment. Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de le dosage de ciment, le dosage de ciment favorise l'hydratation qui a pour effet de colmater les pores capillaires existants et renforcer les liaisons inter granulaires.

On peut interpréter ces résultats par les conditions de conservation (température et humidité) qui sont plus convenables dans l'eau et dans l'eau sulfatée qu'à l'air libre où la température et l'humidité sont variables d'un jour à l'autre. Les deux figures et représentent l'évolution de la résistance à la compression dans le béton 350 Kg et 400 Kg et 450 dans les différents milieux de conservation. Concernant le pourcentage de perte de résistance à l'air .

Le dosage de ciment $C=450 \text{ Kg/m}^3$ dans l'air et l'eau le meilleur résultat.

V-3- La porosité P.A.E(%) des bétons étudiés (350, 400.450) kg béton témoin :

- La porosité pour à l'eau et à l'air béton témoin $C=350 \text{ Kg/ m}^3$.

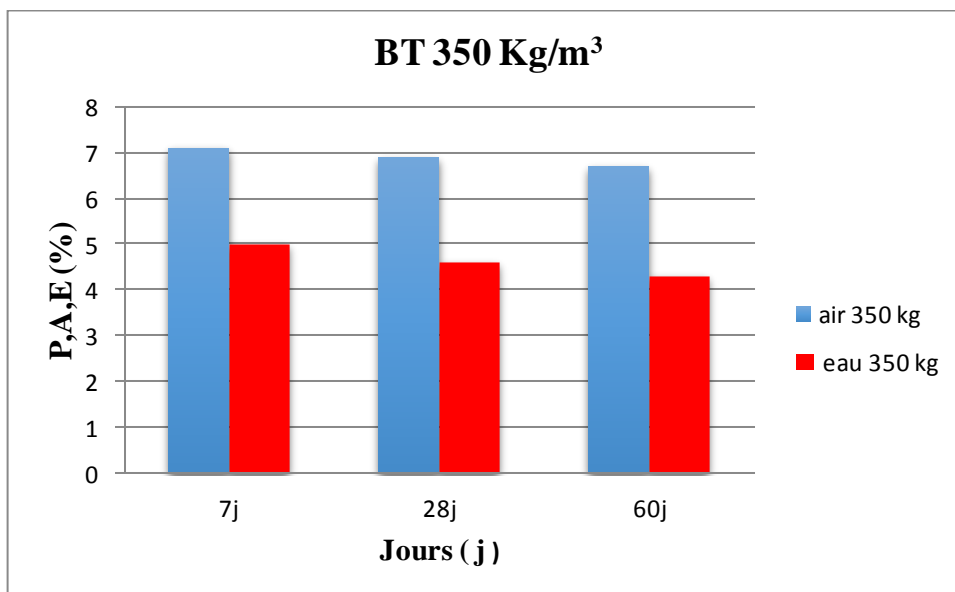


Figure V-9 : La porosité P.A.E (%) des bétons témoin $C=350 \text{ Kg/ m}^3$.

- La porosité pour à l'eau et à l'air béton témoin $C=400 \text{ Kg/m}^3$.

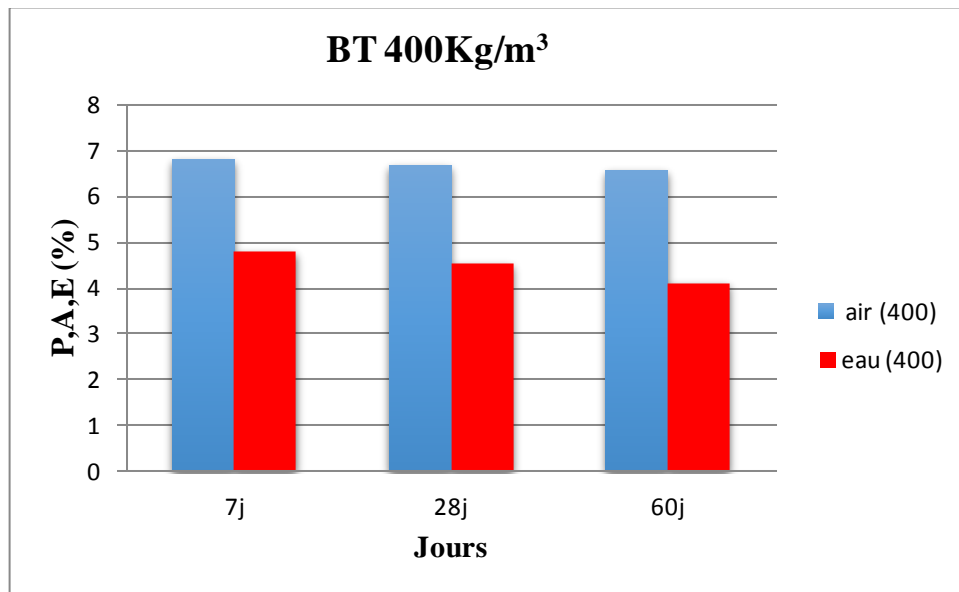


Figure V-10 : La porosité P.A.E (%) des bétons témoin $C=400 \text{ Kg/ m}^3$.

- Comparaison La porosité pour à l'eau et à l'air béton té moin $C=450 \text{ Kg/m}^3$.

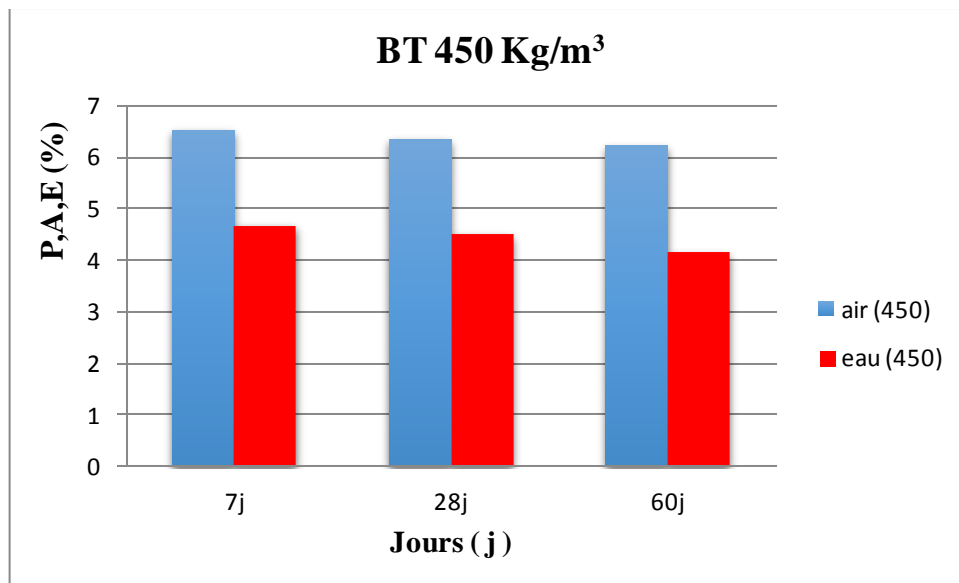


Figure V-11 : La porosité P.A.E (%) des bétons témoin $C=450 \text{ Kg/ m}^3$

- Comparaison La porosité pour à l'eau et à l'air béton témoin(350.400.450) Kg/m³.

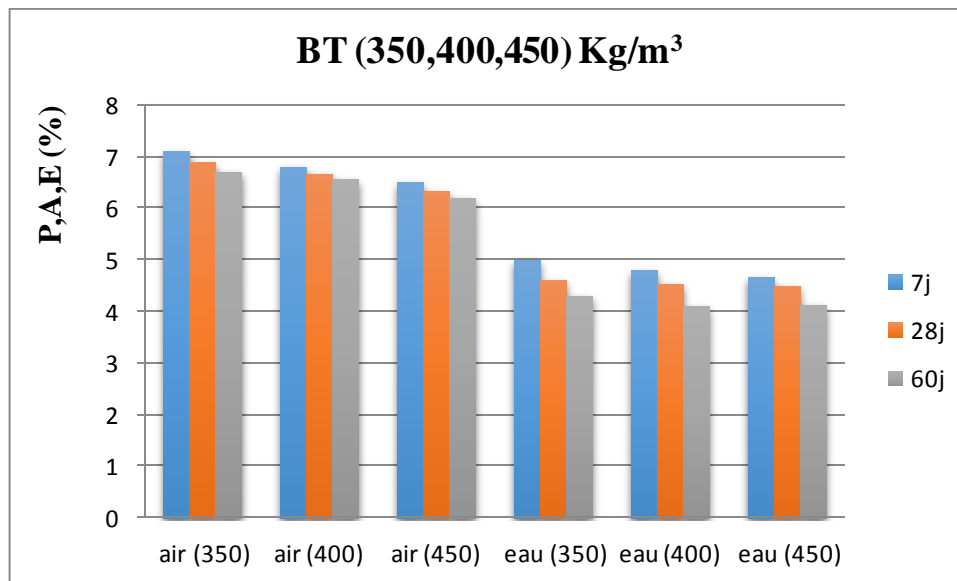


Figure V-12: La porosité P.A.E (%) du béton témoin(350.400.450)Kg/m³

❖ Commentaire

D'après cette figure (9 à 12) ; on remarque que cette porosité dans l'eau avec des taux inférieure à celle du l'air aux âges 7.28 .60 jours tous les types de béton.

On remarque les figures (9 et 11) qui dessus on remarque la porosité les deux types de bétons qui sont déjà conservés à l'eau nous donnent des résultats mieux qu'à l'air

La porosité de béton dans l'air est supérieure à celle du béton à l'eau.

Les bétons améliorent leur porosité à long terme, ce qui confirme la continuation des réactions d'hydratation, conduisant ainsi au développement de la structure interne par la production de nouveaux produits d'hydratation qui précipitent pour fermer les pores déjà existant dans la structure, en faisant diminuer le nombre de gros pores.

La porosité du béton BT 450 Kg/m³ est inférieure à celle des autres bétons, ce qui est expliqué du fait d'une meilleure hydratation entre les composants du ciment et du sable.

V – 4 - Perte de masse

La perte de masse des bétons testés a été mesurée selon Les résultats obtenus sont regroupés dans le figure suivant :

- **Comparaison la Perte de masse des bétons témoin C=350 Kg/m³.**

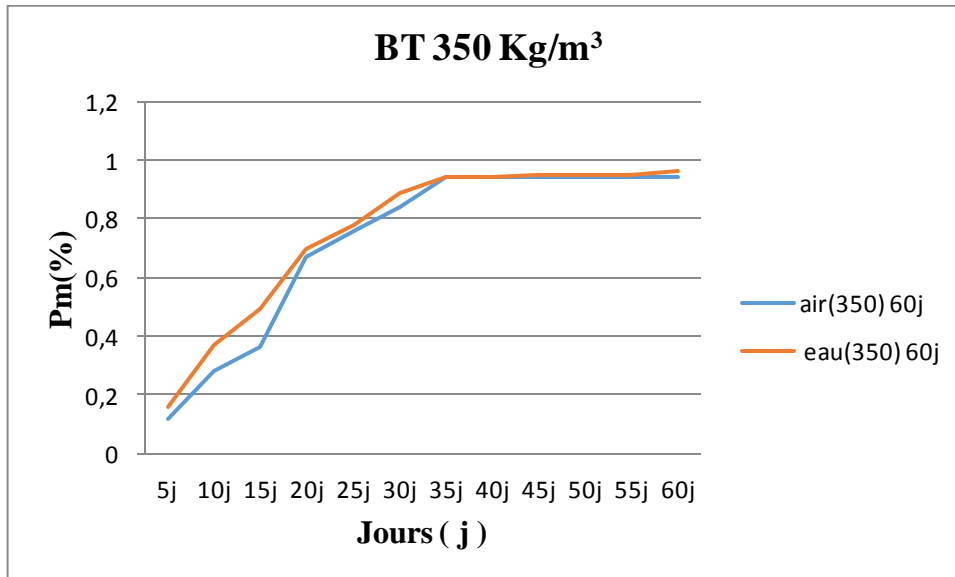


Figure V-13 : la Perte de masse des bétons témoin 60 Jours (j) C=350 Kg/m³.

- **Comparaison la Perte de masse des bétons témoin C=400 Kg/m³.**

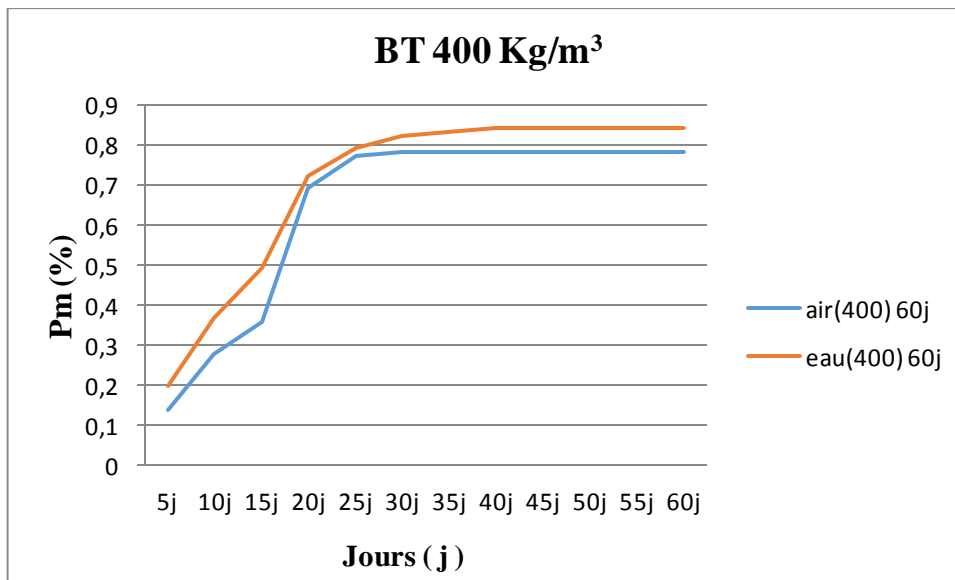


Figure V-14 : la Perte de masse des bétons témoin 60 Jours (j) C=400 Kg/m³.

➤ **Comparaison la Perte de masse des bétons témoin C=450 Kg/m³.**

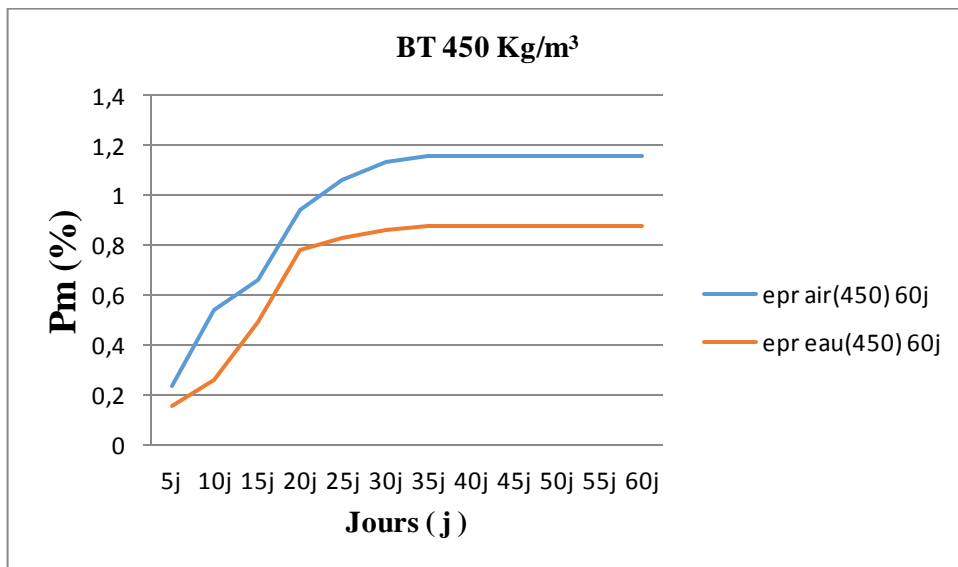


Figure V-15 : la Perte de masse des bétons témoin 60 Jours (j) C=450 Kg/m³.

❖ **Commentaire**

D’après cette figure (13 à15) les résultats obtenus, on constate que la perte de masse de tout types de béton s’augmente avec le temps, jusqu’au atteindre 30 jours, où elle présente une perte de masse stable. Les bétons conservés à l’eau ont une augmentation de la masse, au contraire des bétons exposés à l’air ou leur masse se diminuent.

V-5- La porosité P(%) des bétons témoin étudiés (350, 400.450) Kg/m³:

➤ **Comparaison La porosité P(%) pour béton témoin C=350 Kg/m³.**

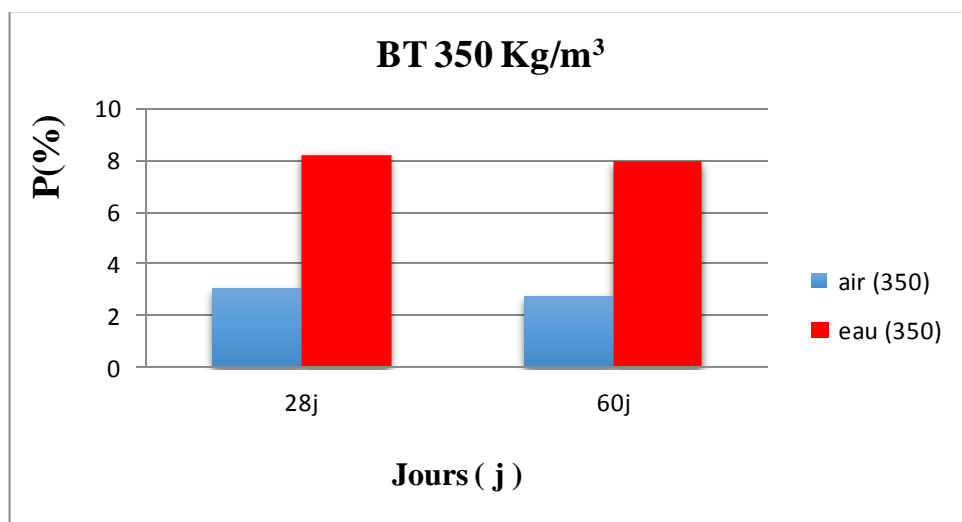


Figure V-16 : La porosité P(%) des bétons témoin C=350 Kg/m³.

- Comparaison La porosité P(%) pour béton témoin C=400 Kg/m³.

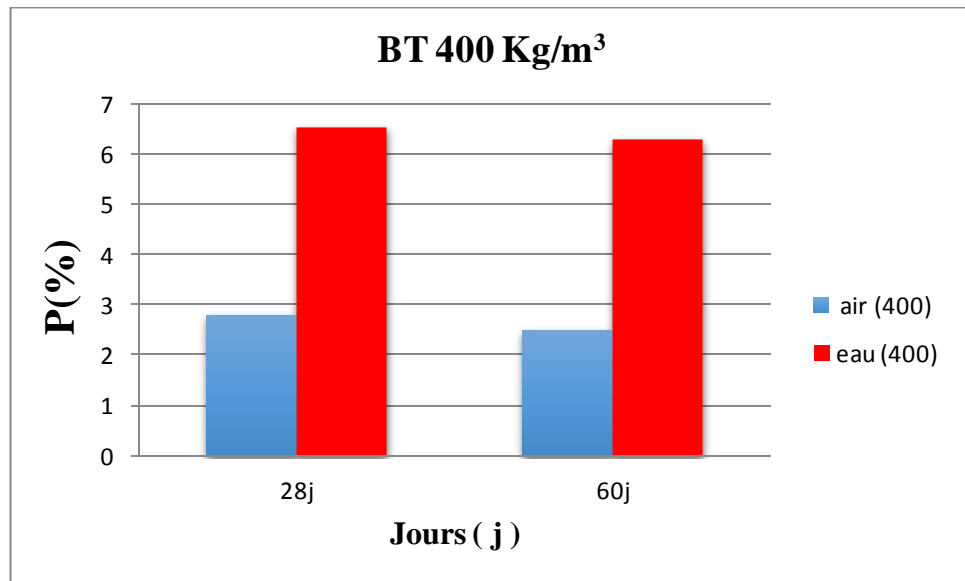


Figure V-17 : La porosité P(%) des bétons témoin C=400 Kg/m³.

- Comparaison La porosité P(%) pour béton témoin C=450 Kg/m³.

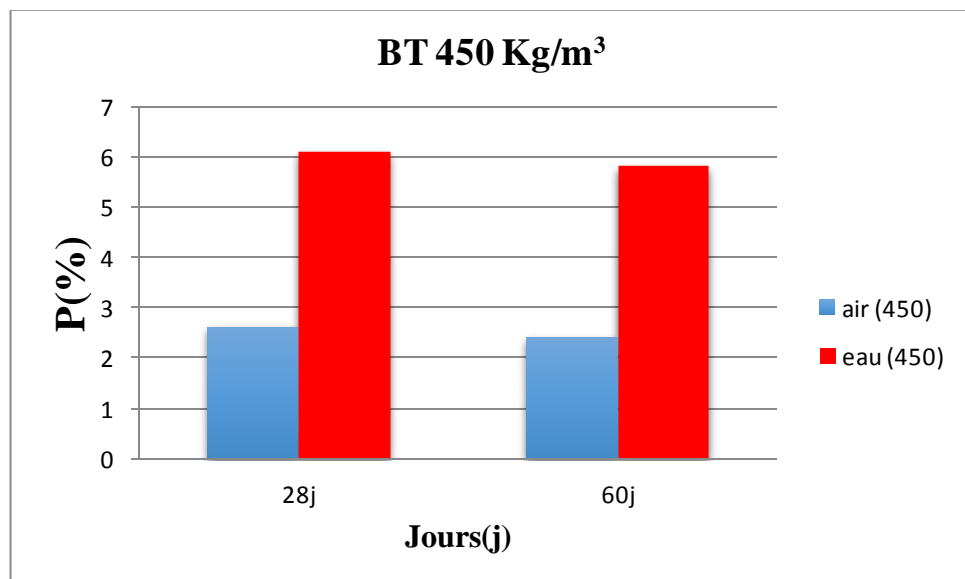


Figure V-18 : La porosité P(%) des bétons témoin C=450 Kg/m³.

➤ **Comparaison La porosité P(%) pour béton témoin (350.400.450)Kg/m³.**

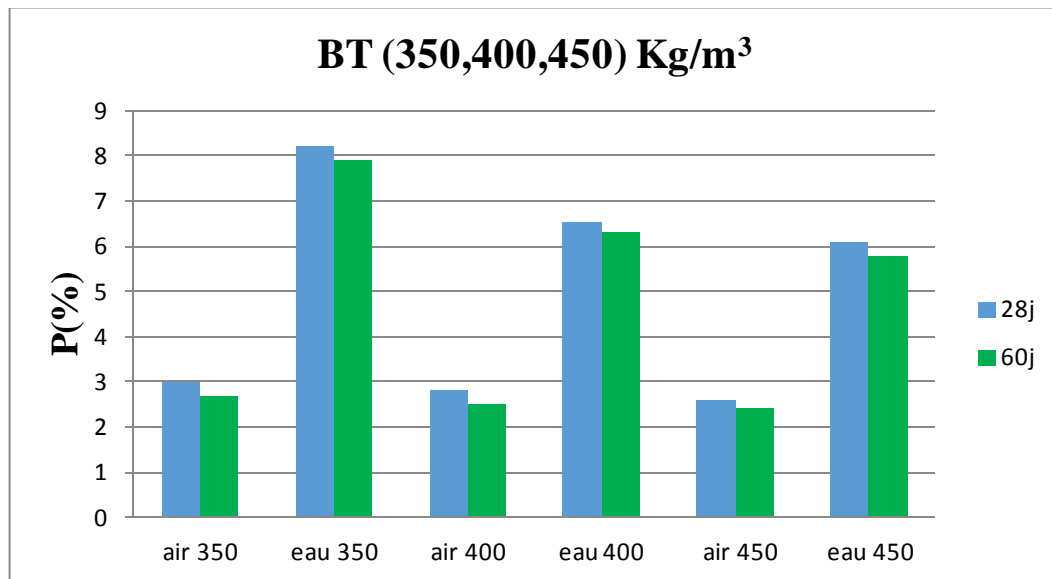


Figure V-19 : La porosité P(%) des bétons témoin (350.400.450) Kg/m³.

❖ **Commentaire**

D'après cette figure (16 à 19) ; on remarque que cette porosité dans l'air avec des taux inférieure à celle du l'eau aux âges 28 .60 jours tous les types de béton.

On remarque les qui dessus on remarque la porosité les deux types de bétons qui sont déjà conservés à l'air nous donnent des résultats mieux qu'à l'eau.

La porosité du béton BT 450 Kg/m³ est inférieure à celle des autres bétons, ce qui est expliqué du fait d'une meilleure hydratation entre les composants du ciment

+ Influence du le régime du la cure :

- V-6- la résistance à la compression des bétons de régime du cure étudiés (350, 400.450) kg/m³.
- ❖ Comparaison la résistance mécanique par rapport de régime de la cure C=350 kg/m³.

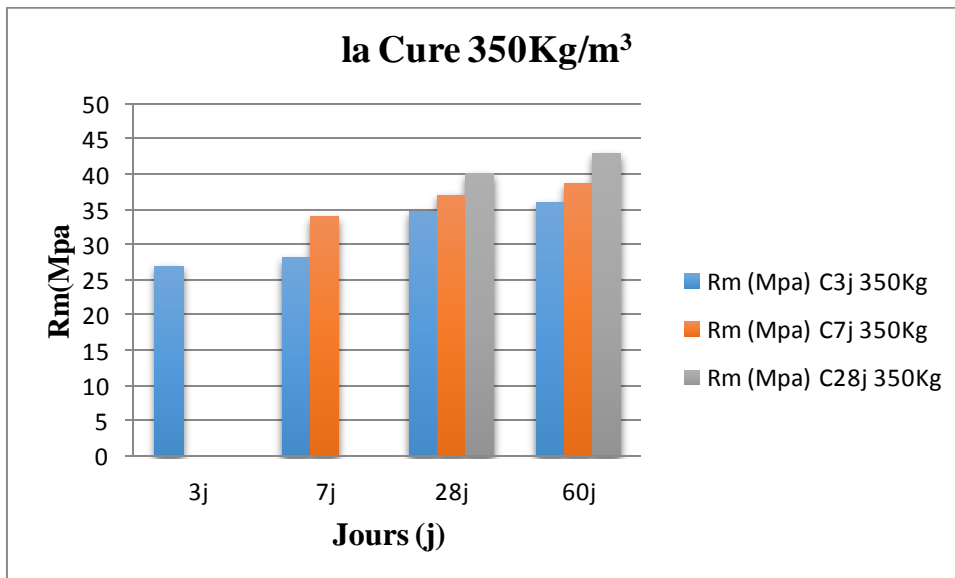


Figure V-20 : la résistance à la compression du béton de régime de la cure 350 Kg/m³

- ❖ Comparaison la résistance mécanique par rapport de régime de la cure C=400 kg/m³.

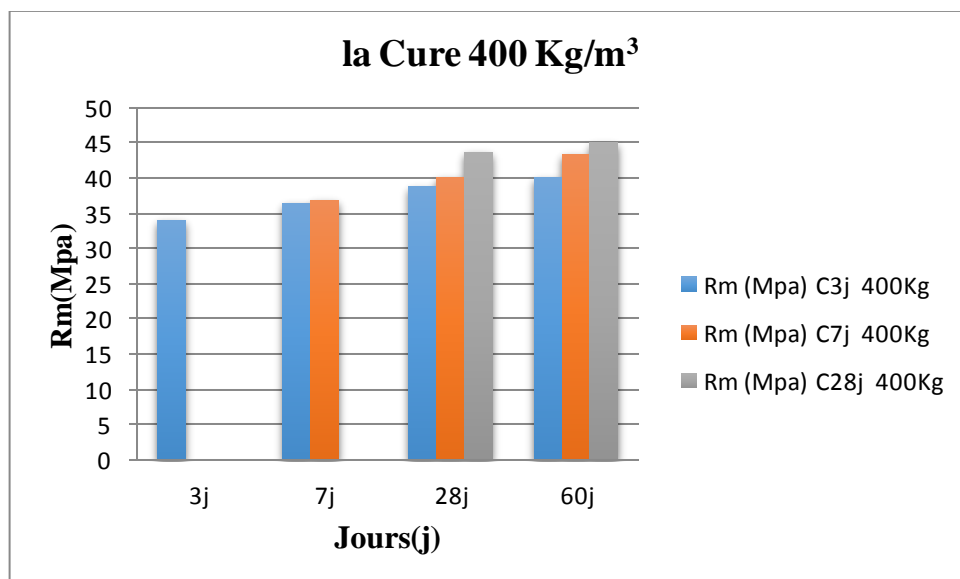


Figure V-21 : la résistance à la compression du béton de régime de la cure 400 Kg/m³.

- ❖ Comparaison la résistance mécanique par rapport de régime de la cure C=450 kg/m³.

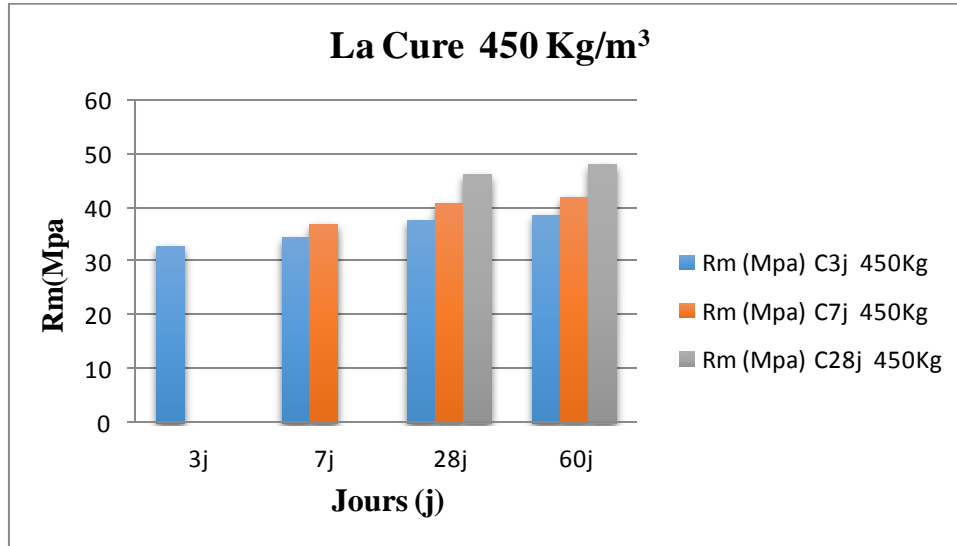


Figure V-22 : la résistance à la compression du béton de régime de la cure 450 Kg/m³.

- ❖ Comparaison la résistance mécanique par rapport de régime de la cure (350.400.450)kg/m³.

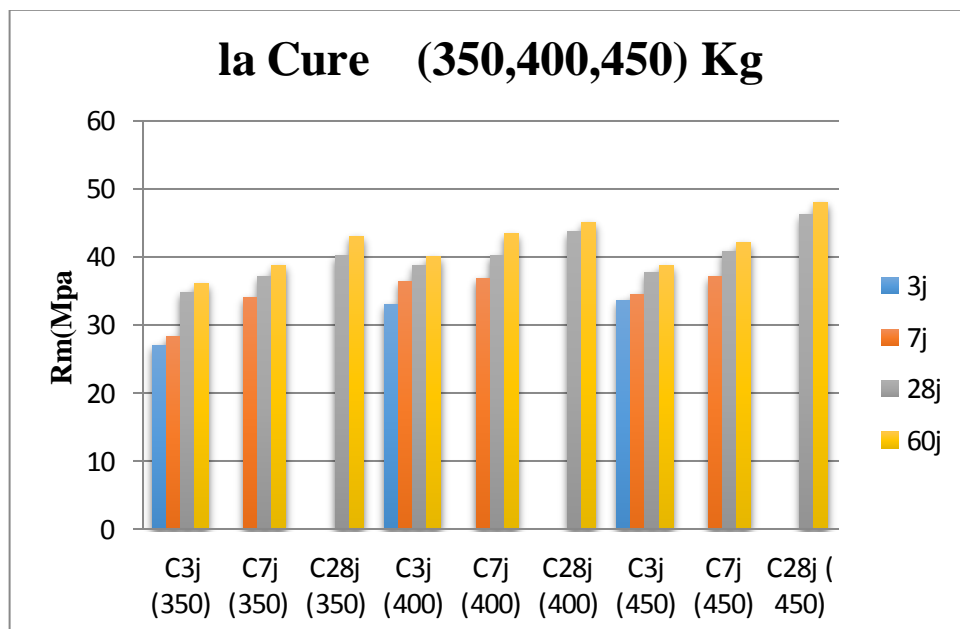


Figure V-23 la résistance mécanique par rapport de régime de la cure (350.400.450)kg/m³.

❖ **Commentaire**

La figure (20 à 23) présente l'évolution de la résistance mécanique des bétons de régime de la cure (350.400.450) Kg/m³ successivement.

On remarque que l'accroissement des résistances en fonction de l'âge de cure Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de la cure, la cure favorise l'hydratation qui a pour effet de colmater les pores capillaires existants et renforcer les liaisons inter granulaires.

On remarque que l'accroissement des résistances en fonction de l'âge par le dosage de ciment Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de dosage de ciment.

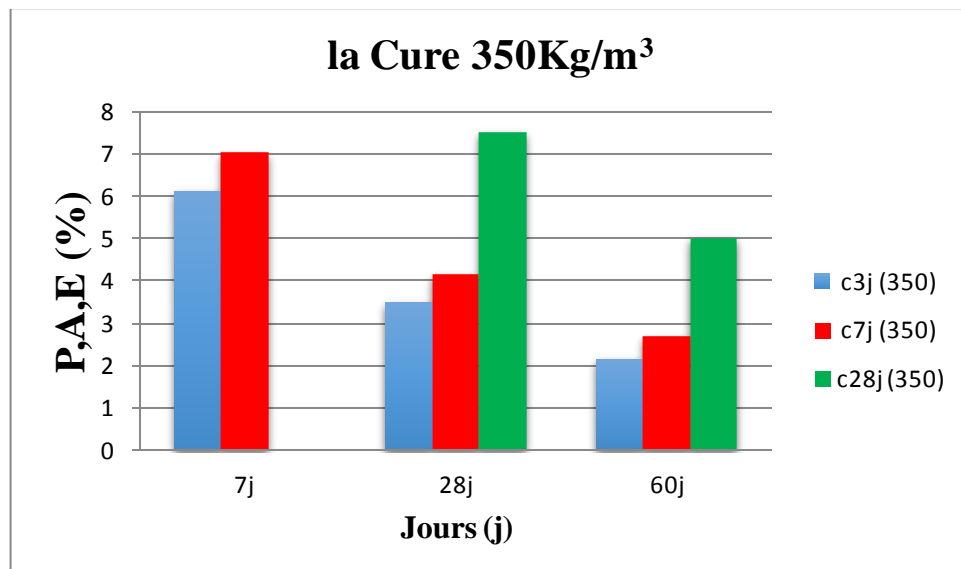
➤ **V-7- La porosité P.A.E(%) de bétons de régime du cure étudiés (350, 400.450) kg/m³.**❖ **Comparaison la porosité P.A.E(%) par rapport de régime de la cure C=350 kg/m³.**

Figure V-24 : La porosité des bétons la Cure C=350 Kg/m³.

❖ **Comparaison la porosité P.A.E(%) par rapport de régime de la cure C=400 kg/m³**

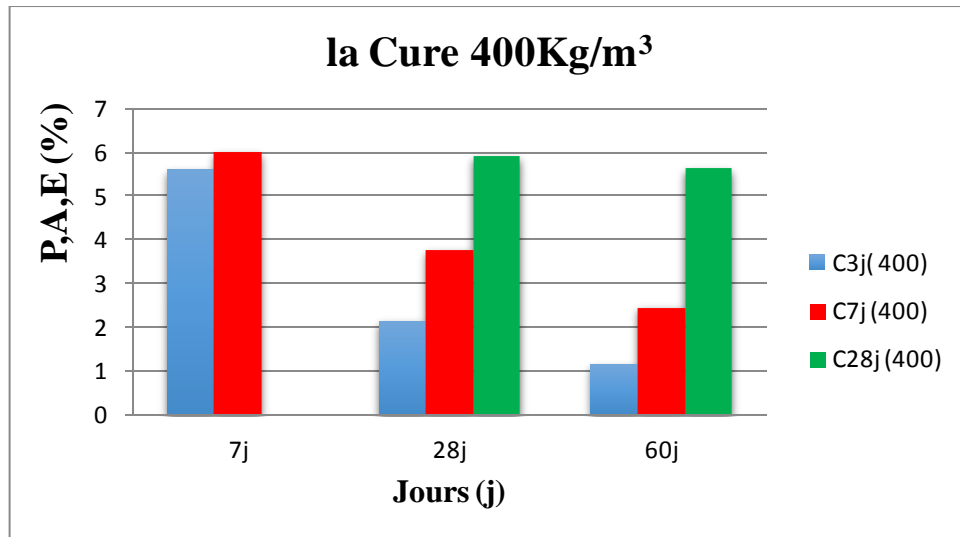


Figure V-25 : La porosité des bétons la Cure C=400 Kg/m³.

❖ Comparaison la porosité P.A.E(%) par rapport de régime de la cure C=450 kg/m³.

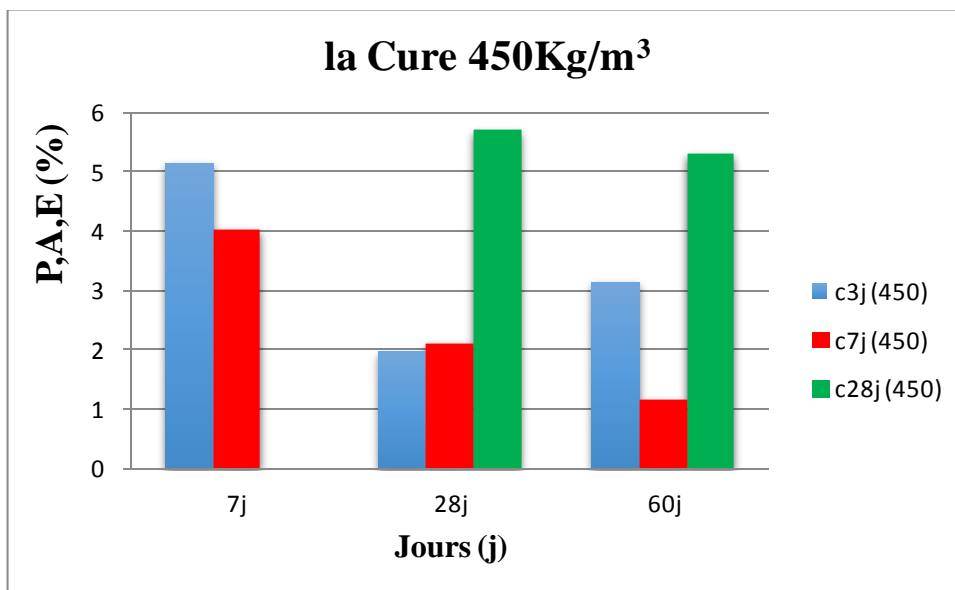


Figure V-26 : La porosité des bétons la Cure C=450 Kg/m³.

- ❖ Comparaison la porosité P.A.E(%) par rapport de régime de la cure (350.400.450)kg/m³.

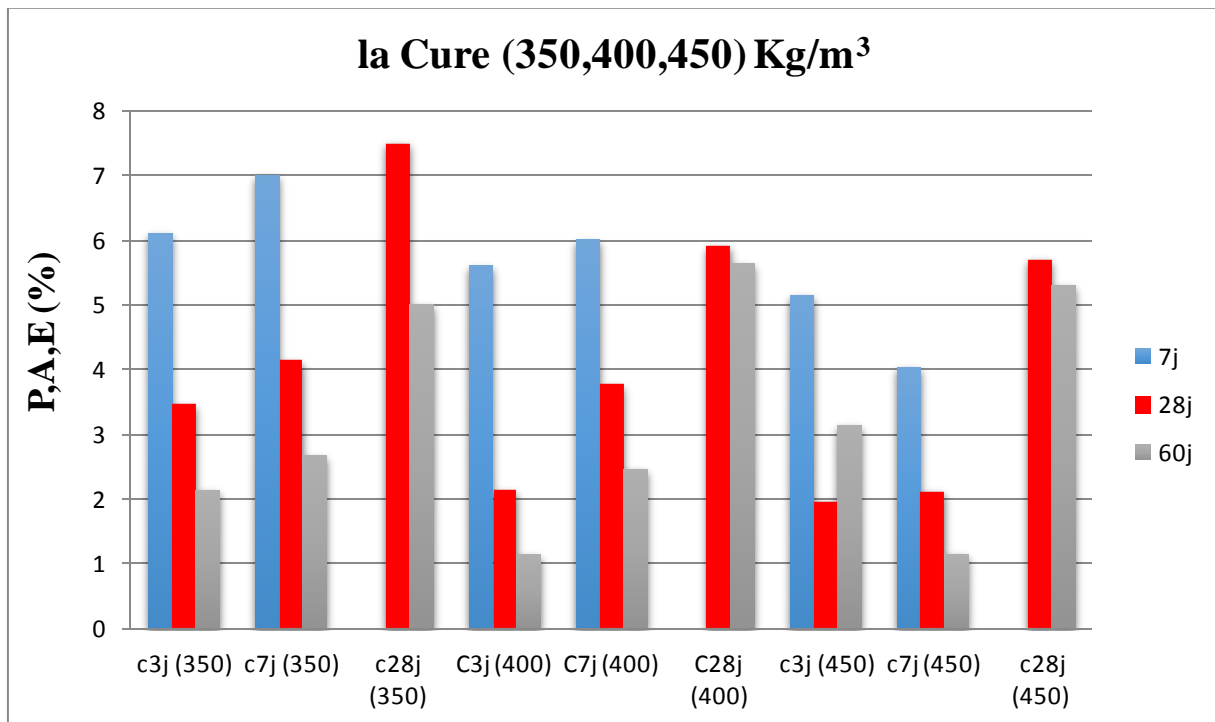


Figure V-27: La porosité des bétons de régime de cure (350.400.450)kg/m³ .

❖ Commentaire

La figure (24 à 27) l'évolution de la porosité des bétons de régime de la cure (350.400.450) Kg/m³ successivement.

On remarque que diminution de porosité en fonction de l'âge de cure Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de la cure, la cure favorise l'hydratation qui a pour effet de colmater les pores capillaires existants et renforcer les liaisons inter granulaires.

On remarque que diminution de porosité en fonction de l'âge parle dosage de ciment Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de dosage de ciment

Le béton du cure dans c3j donne la porosité diminue.

On observe qu'il y a une démenti de la porosité en fonction de temps (jours)

V-8- La porosité P(%) des bétons de régime de la cure étudiés (350, 400.450) kg/m³:

- **Comparaison La porosité P(%) pour béton de régime de la cure C=350 kg/m³**

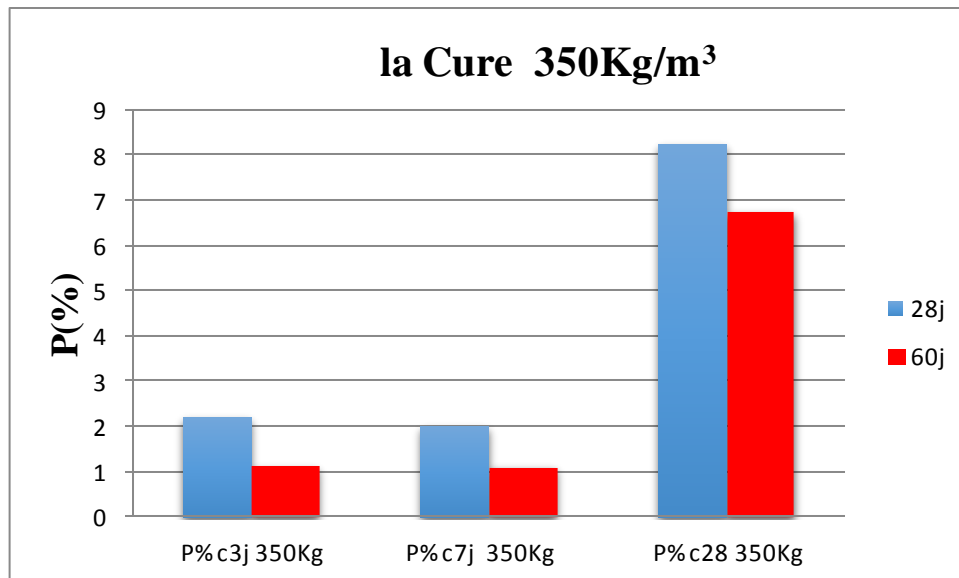


Figure V-28 : La porosité P(%) des bétons la Cure C=350 kg/m³.

- **Comparaison La porosité P(%) pour béton de régime de la cure C=400 kg/m³.**

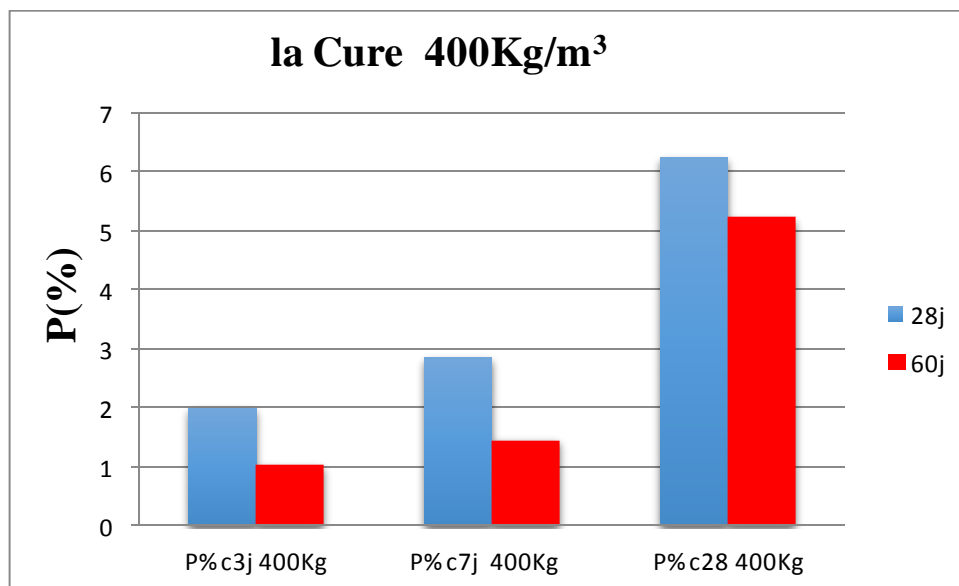


Figure V-29 : La porosité P(%) des bétons la Cure C=400 kg/m³.

➤ Comparaison La porosité P(%) pour béton de régime de la cure C=450 kg/m³

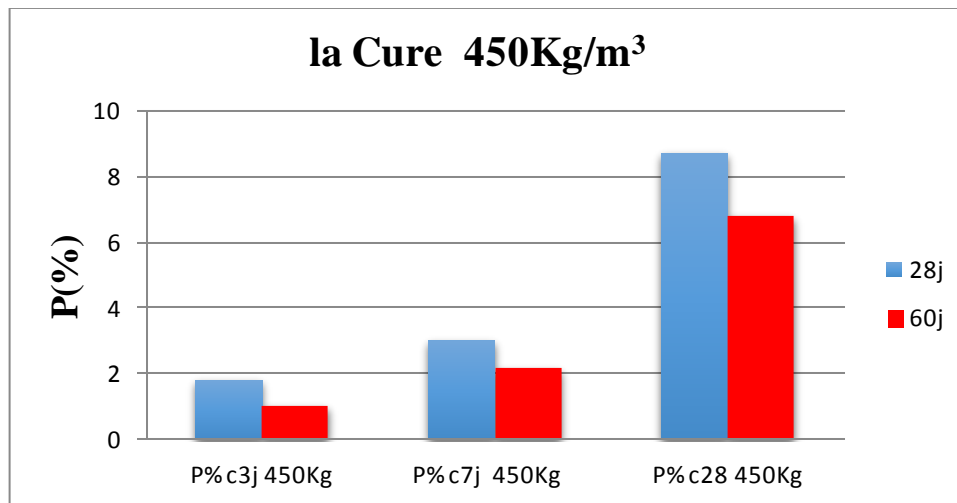


Figure V-30 : La porosité P(%) des bétons la Cure C=450 kg/m³.

➤ Comparaison La porosité P(%) pour béton de régime de la cure (350.400.450) kg/m³.

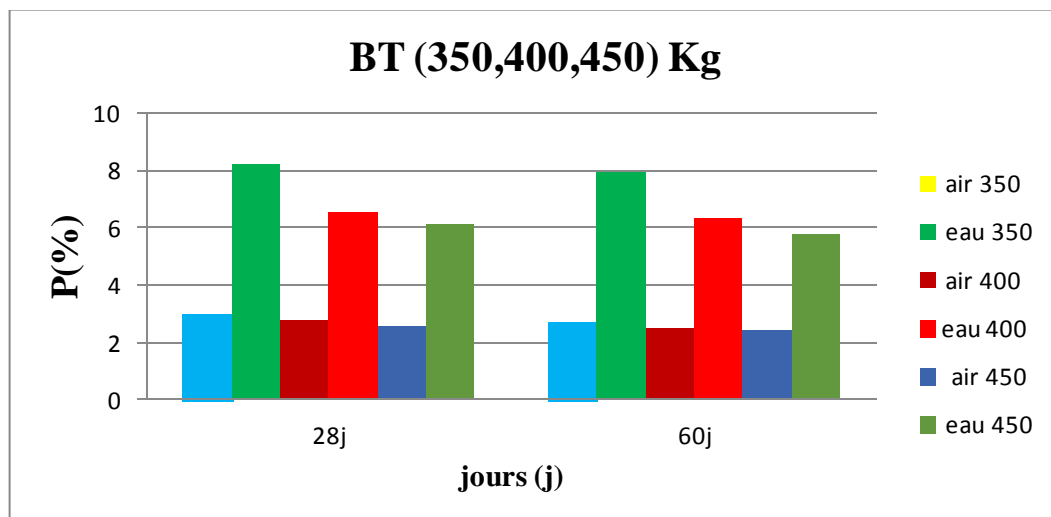


Figure V-31 : La porosité P(%) des bétons du cure (350.400.450) Kg/m³.

❖ **Commentaire**

La figure (28 à 31) l'évolution de la porosité des bétons de régime de la cure (350.400.450) Kg/m³ successivement

On remarque que diminution de porosité en fonction de l'âge de cure Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de la cure, la cure favorise l'hydratation qui a pour effet de colmater les pores capillaires

On remarque que diminution de porosité en fonction de l'âge parle dosage de ciment Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de dosage de ciment.

Conclusion géniale

Conclusion générale

L'intérêt principal de notre présente étude expérimentale est de voir l'effet de la cure et le dosage sur les propriétés mécaniques et physiques des bétons durcis dans les différents milieux de conservation.

Dont l'identification expérimentale des différents paramètres et leurs effets sur les propriétés du béton s'avèrent nécessaire pour comprendre :

- ✓ L'influence du dosage de ciment.
- ✓ L'influence du régime de cure.
- ✓ Le milieu de conservation.
- ✓ Les propriétés physiques est mécaniques étudiées.

D'après les résultats obtenus nous pouvons conclure :

- La masse volumique à l'état durci du béton avec les différents dosages augmente en fonction de l'âge.
- L'accroissement de la résistance se confirme pour le tous les types de béton pour une cure de 3 jours et 7 jours et 28 jours. en comparant au béton témoin sans cure, ce taux d'humidité et la condensation des gouttelettes d'eau a l'intérieure de l'éprouvette ceci explique le développement de la vitesse d'hydratation.
- L'utilisation d'adjuvant le MEDAFLOW30 dans le béton diminue le phénomène de la ségrégation, et augmente l'adhérence entre les gains.
- Les résultats obtenus montrent d'une façon pratique que le milieu de conservation influe considérablement sur la vitesse de durcissement du béton.
- Plusieurs paramètres effet les porosité .
 - Dosage de ciment ; l'augmentation de ces dernier s'accompagne par une diminution de porosité.
 - Régime de cure, a 3j ;7j et 28j , le cure se diminue le taux de porosité.

Cette diminution de porosité implique une augmentation de résistance

Référence

[01] **Baron.J, Olivier.J.P et. Weiss.JC, 1996** : Chapitre 1A : Les ciments courants, Les bétons Bases et données pour leur formulation, sous la direction de Jacques .BARON, Jean-Pierre OLIVIER, Ed Eyrolles.

[02] **BOUTIBA Aldjia**, Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci. Thèse de magistère université Mohamed bagarra Boumerdes.

[03] **ZSALIM** .Influence des caractéristiques du gravier sur la qualité de béton Université de M^o sila1995

[04] **COLLECTION TECHNIQUE CI M BÉTON FICHES TECHNIQUES**, Le ciment et ses applications Nouvelle édition 2001.

« Comparative study of the cementitious of différent fly ashe », pp 91-114 - 1994.

[05] **MLLE S. SABRINA** comportement des bétons a base de mémoire de granulats concace. MAGISTER Université Mentouri Constantine.

[06] **HADJI Abd ellatif 2013** Amélioration de la qualité du béton à bas (gravier roulé et gravier concassé) avec différents pourcentage ;thèse de mastère université de m'sila.

[07] **BOUKLI.H**, contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen, Thèse de Doctorat, Université Abou bekr belkaid-Tlemcen, 2009.

[08] **AYAD.M BARKA.Y**, modalisation des bétons ordinaires par des plans d'expériences, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master, Université Abou bekr belkaid-tlemcen, 2013.

[09] **ACI**. Standard Specification for Curing Concrete, états- Unis. American Concrete Institue, 1998. 9 p. (ACI 308.1).

[10]**ACC**. Dosage et contrôle des mélanges de béton, Association Canadienne du Ciment, Canada, 2004. 355 p. EB101-07T.

[11]**Véronique Baroghel-Bouny**, Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons. Méthodes, analyses, interprétations, Laboratoire central des ponts et chaussées, pp.468, 1994.

[12] **M. Barrioulet, C. Legrand**, Mise en évidence expérimentale des interactions entre pâte interstitielle et granulats dans l'écoiüement du béton fiais vibré, Matériaux et Construction, Vol. 19, n° 112, pp.274-277,

[13] **Pihlajavaara S.E.(1974)**, ” A review of some of the main result of a research on the ageing phenomena of concrete : effect of moisture conditions on strength, shrinkage and creep of maure concrete “,Cement and Concrete Research , 4, n° 5.

[14] **Fiche technique**: Group Granitex.

[15] **Thèse d'ingniorat**:

Influence des températures élevées sur le comportement mécanique du béton
Mémoire de fin d'étude (SABI, KAMEL. ATTAOUA) Nourddine.

[16] **Norme europeenne** :

NE FN197-1, Etétée et différée Pr l'association française de normalisation (AF NOR, EUROPEENNE 92049 Paris, Février 2001.

Résumé :

Ce travail vise à étudier le comportement et l'utilisation durable de l'évaluation du béton et du ciment existant du contenu d'influence. Méthode de conservation de résistance dépend de nombreux facteurs qui ne sont pas toujours faciles à isoler :

configurer divers éléments en béton (dose et le type de ciment et de granulats), mise en œuvre technique, l'âge du béton , les conditions climatiques . Cela se fera en tenant compte du béton normal. Requisite que, dans cette étude, l'effet de la dose sur les propriétés mécaniques des matériaux de ciment et le but de développer une possibilité concrète de la résistance.

Mots clé: dosage de ciment, de la résistance, le traitement, les gravats, l'âge, Type de ciment

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة الحالة والاستعمال الدائم لتقييم الخرسانة الموجودة في وسط التأثير وطريقة الاحتفاظ بالطاقة لها علاقة بعدة عوامل التي لا تعتبر سهلة العزل:
اظهار بعض العناصر في الخرسانة (الجرعة ونوع الأسمنت والركام) ، التنفيذ التقني ، عمر الخرسانة ، حالة المناخ .
وسيتم ذلك مع الأخذ بعين الاعتبار الخرسانة العادية . مطلوب أنه ، في هذه الدراسة تأثير جرعة الاسمنت على الخصائص الميكانيكية المادية و الهدف من تطوير إمكانية ملموسة المقاومة .
الكلمات المفتاح: جرعة الاسمنت , المقاومة , العلاج , الركام , عمر , نوع الأسمنت

Abstract:

This work aims to study the behavior and the sustainability of current use concrete and evaluate the cement content of influence. Resistance conservation method depends on several factors that are not always easy to isolate:

Composition of the various constituents of the concrete (dosage and type of cement, aggregates) , technical implementation , concrete age , condition climate . This will be done taking into account ordinary concrete. He is wanted, in this study, the cement dosage influence on the physical mechanical characteristics and to the objective of developing a resistant concrete possibility.

Key words: cement dosage, resistance, the cure, rubble, age, Type of cement