

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT Génie Civil

N° :



FILIERE : Genie Civil

OPTION : Matériaux

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: Bouderbala Fatma

Abdelkebir Nedjoua

Intitulé

**Corrélation entre les essais destructifs (ET) et
non destructifs (NDT) du béton au Céramique
exposée haute température**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr Maza Mekki	Université de M'sila	Président
Dr Tebbal Nadia	Université de M'sila	Examineur
Pr. Rahmouni Zine El Abidine	Université de M'sila	Rapporteur
Dr. Belouadah Messaouda	Université de M'sila	Co-Rapporteur

Année universitaire : 2020 /2021

REMERCIEMENT

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail de thèse.

Aussi nous tenons à exprimer notre gratitude et profonde reconnaissance à tous

Ceux et toutes celles qui nous ont donnés le coup de main à la réalisation de ce

Mémoire et en particulier :

Notre encadreur Pr :Rahmoani Zine elabidine &Dr :Belouadah Messaouda

Pour son aide appréciable, sa disponibilité, et ses conseils

Fructueux qui ont facilité la réalisation de ce travail

qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail et de participer à mon jury de soutenance.

Je remercie pareillement l'ensemble des membres du laboratoire

sur tout « YAM NA BAKHTI »

اهداء 1

- إلى من كلفه الله بالهيبية والوقار، إلى من علمني العطاء بدون انتظار، إلى من أحمل اسمه بكل افتخار، أرجو من الله ان يطيل في عمرك لترى ثمارا قد حان قطفها بعد طول انتظار "والدي العزيز" شفاك الله.
- إلى ملاكي في الحياة، إلى معنى الحب والحنان والتفاني، إلى سمة الحياة وسر الوجود، إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي اغلى الحبايب "امي الحبيبة".
- إلى من بهم أكبر وعليهم اعتمد، الى شمعة متقدة تنير ظلمة الحياة الى من بوجودهم اكتسب قوة ومحبة لا وجود لها، إلى من عرفت معهم معنى الحياة "أخواتي".
- إلى القلوب الطاهرة في هذه الحياة بدنوكم لا شيء معكم اكون انا وبدنوكم اكون مثل اي شيء الى من علموني علم الحياة "أخوتي".
- إلى الذين كلمة الشكر لا تكفيهم ، الى الذين لا أنساهم ومنحوني شخصا عزيزا عليا "عائلة عبد الكبير سليمان".
- إلى من تذوقت معهم اجمل اللحظات ، إلى من سأفتقدهم ويفتقدوني ،إلى من جعلهم الله اخوتي في الله "اصدقائي".
- إلى ملاذي وملجئي، إلى من تقاسمت معها حلو الايام ومرها التي وقفت معي في اصعب اوقاتي ،إلى توأم روحي وزميلتي في المذكرة "عبد الكبير نجوى"

اهداء2

-إلى من احمل اسمه بكل فخر يامن يرتعش قلبي بذكره ،إلى ينبوع الصبر، إلى من يجمع بين سعادتني وحزني "ابي الغالي"

- إلى من ارضعتني الحب والحنان، إلى رمز الحب، إلى القلب الناصع بالبياض، إلى قرّة عيني "امي الحبيبة"
- إلى سندي وقوتي وملاذي بعد الله، إلى من أثروني على انفسهم "اخواتي"
- إلى الذي ارى التفاؤل بعينه والسعادة في ضحكته، إلى شعلة الذكاء والامل بمحبتك ازهرت ايامي
"اخي الغالي"

- إلى القلوب الرائعة، إلى عائلتي الجديدة التي ضمتني إلى حضنها واعتبرتني الابنة والاخت كلمة الشكر لكم لا تكفيكم فلکم مودتي واحترامي لكل اخواتي واخوتي في عائلة "بودربالة محمد"

- الان تفتح الاشرعة وترفع المرساة لتنتقل السفينة في عرض بحر واسع مظلم هو بحر الحياة وفي هذه الظلمة لا يضيء الا قنديل الذكريات ذكريات الاخوة البعيدة الى الذين احببتهم واحبوني "اصدقائي"
- إلى اختي التي لم تلدها امي، إلى من تتحلى بالإخاء وتتميز بالوفاء والعطاء، إلى يبابيع الصدق الصافي والقلب الطيب إلى زميلتي في المذكرة "بودربالة فاطمة".

Résumé :

La connaissance du comportement du béton soumis à des hautes températures constitue un enjeu de grand intérêt pour les applications en génie civil en cas d'incendies car le béton peut présenter une instabilité thermique au-delà d'une certaine température.

Le premier objectif de ce travail est une contribution à l'amélioration du comportement mécanique des bétons traités thermiquement avec différents pourcentage de poudre de céramique (0%, 10%, 15%). Le deuxième but est d'utiliser les essais non destructifs pour évaluer la résistance en compression par des relations empiriques. Afin d'étudier l'influence de l'introduction de poudre de céramique sur le comportement des bétons soumis à des températures élevées, des essais sont effectués afin de caractériser les différentes propriétés physiques et mécaniques des bétons à haute température. De plus, des essais non destructifs ont été réalisés grâce à un ultrason UPV (ultrasonique pulse velocity) et le scléromètre Is (rebound hammer).

Cette étude expérimentale aboutit à la formulation de bétons dont à la fois la stabilité à haute température et le comportement mécanique après refroidissement sont améliorés.. Les essais non destructifs qui ont été proposés sont des méthodes d'inspection prometteuse pour le béton endommagé par le feu.

Mots clés : Béton, Température, Poudre de céramique, Propriétés mécaniques, Essai non destructif, Ultrason, Scléromètre.

Abstract

Knowledge of the behavior of concrete subjected to high temperatures is of great interest for civil engineering applications in the event of fires because concrete can exhibit thermal instability above a certain temperature.

The first objective of this work is to contribute to improving the mechanical behavior of concrete heat treated with different percentage of ceramic powder (0%, 10%, 15%). The second goal is to use non-destructive testing to assess compressive strength by empirical relationships. In order to study the influence of the introduction of ceramic powder on the behavior of concrete subjected to high temperatures, tests are carried out to characterize the different physical and mechanical properties of concrete at high temperature. In addition, non-destructive tests were carried out using UPV ultrasound (ultrasonic pulse velocity) and the Is (rebound hammer).

This experimental study leads to the formulation of concretes whose both high temperature stability and mechanical behavior are improved. The non-destructive tests which have been proposed are promising inspection methods for concrete damaged by fire.

Keywords: Concrete , Temperature, Ceramic powder, Mechanical properties, Non-destructive testing, Ultrasound, Sclerometer.

ملخص :

تعتبر معرفة سلوك الخرسانة المعرضة لدرجات حرارة عالية ذات أهمية كبيرة لتطبيقات الهندسة المدنية في حالة نشوب حرائق لأن الخرسانة يمكن أن تظهر عدم استقرار حراري فوق درجة حرارة معينة.

الهدف الأول من هذا العمل هو المساهمة في تحسين السلوك الميكانيكي للخرسانة المعالجة حرارياً بنسب مختلفة من مسحوق السيراميك (0% ، 10% ، 15%). الهدف الثاني هو استخدام الاختبار غير المدمر لتقييم قوة الانضغاط من خلال العلاقات التجريبية. من أجل دراسة تأثير إدخال مسحوق السيراميك على سلوك الخرسانة المعرضة لدرجات حرارة عالية ، يتم إجراء اختبارات لتوصيف الخصائص الفيزيائية والميكانيكية المختلفة للخرسانة عند درجات الحرارة العالية. بالإضافة إلى ذلك ، تم إجراء اختبارات غير مدمرة باستخدام الموجات فوق الصوتية (UPV) سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية) ومقياس التصلب (RN مطرقة الارتداد).

نتج عن هذه الدراسة التجريبية تكوين خرسانة تم تحسين ثباتها بدرجة الحرارة العالية وسلوكها الميكانيكي ، وتعتبر الاختبارات غير التدميرية التي تم اقتراحها طرق فحص واعدة للخرسانة التي تضررت بفعل الحريق.

كلمات مفتاحية: الخرسانة ، درجة الحرارة ، مسحوق السيراميك ، الخواص الميكانيكية ، الاختبار غير المتلف ، الموجات فوق الصوتية ، مقياس الصلابة..

Sommaire

Sommaire	I
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	IX
Notations	XII
Introduction générale	1

Chapitre I: Analyse Bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Modifications des propriétés des constituants d'un béton à haute température.....	3
I.2.1. Transformations physico-chimiques de la pâte de ciment durcie.....	3
I.2.2. Evolution des granulats.....	4
I.2.3. Dégradation de l'interface pâte – granulats.....	5
I.3. Les propriétés physiques et mécaniques de béton en fonction de la température.....	7
I.3.1. Les propriétés physiques en fonction de la température.....	7
I.3.1.1. La perte de masse	7
I.3.1.2. La porosité.....	7
I.3.1.3. La perméabilité.	8
I.3.2. Les propriétés mécaniques du béton.....	9
I.4.2.1. Résistance à la compression.....	9
I.4.2.2. Résistance en traction.....	10
I.4.2.3. Le module d'élasticité	11
I.4. Les propriétés thermiques du béton avec la température.....	13
I.4.1. La conductivité thermique	13
I.4.2. Chaleur spécifique.....	14
I.5. Instabilité thermique du béton.....	15
I.5.1. Différentes formes d'instabilité thermique.....	15
I.5.1.1. L'écaillage.....	15
I.5.1.2. L'éclatement.....	16

I.5.1.3. Mécanisme du phénomène d'écaillage et de l'éclatement du béton.....	16
I.5.1.4. Paramètres influençant sur l'instabilité thermique.....	17
I .6. Principales méthodes non destructives du béton à haute température.....	18
I.6.1. Introduction.....	18
I.6.2. Inspections visuelles.....	18
I.6.3. Rebond (marteau de rebondissement de Schmidt).....	19
I.6.3.1 Mode opératoire d'utilisation pour un béton chauffé.....	19
I.6.3.2 Facteurs influençant l'essai au scléromètre.....	19
I.6.3.3 Corrélation entre la résistance et le Rebond.....	20
I.6.4 Les ultrasons ou couramment nommée UPV.....	21
I.6.4.1 Facteurs affectant la vitesse ultrasonore.....	23
I.6.4.2 Modèles de corrélation entre la résistance et la vitesse ultrasonore.....	24
I.6.5.1 Définition du coefficient de corrélation linéaire.....	24
I .7.Conclusion.....	25

Chapitre II : Elaboration et caractérisation des matériaux céramiques

II.1. Historique.....	26
II.2. Définition.....	26
II.3. Matière première.....	27
II.3.1. Matériaux plastiques.....	27
II.3.1.1. Minéraux Argileux.....	27
II.3.2 Matériaux Fondants.....	29
II.3.2. 1 Minéralogie.....	30
II.3.2.2 Gisements.....	30
II.3.3 Matériaux de graissant.....	31
II.3.4 Matériaux Réfractaires.....	31
II.3.4.1 Minéraux Magnésiens.....	31
II.3.4.2. Silicates D'Alumine.....	32

Chapitre III : Matériaux et Procédures Expérimentales

III .1.Introduction	36
III .2.Caractéristiques des Matériaux.....	36
III .2.1.Ciment.....	36
III.2.1.1. Composition.....	36

III.2.1.2. Caractéristique Chimiques.....	37
III.2.1.3. Caractéristique physiques.....	37
III.2.1.4. Caractéristique Mécaniques.....	37
III.2.1.5. Domaine d’emploi.....	37
III .2.2. Poudre de céramiques.....	37
III.2.3.Super plastifiant.....	40
III .2.4. Eau de Gâchage.....	41
III .2.5.Caractéristique du sable.....	41
III .2.5.1.Essai d'analyse granulométrique [NFEN933-1].....	41
III .2.5.2.Module de finesse.....	42
III .2.5.3.Masse volumique absolue [NFP18-555]	42
III .2.5.4.Masse volumique apparente [NFP18-555].....	43
III .2.5.5.Porosité.....	44
III.2.5.6 Compacité.....	44
III .2.5.7.L’indice des vides.....	44
III .2.5.8.Equivalent de sable [NFEN933-8].....	45
III .2.5.9.Teneur en eau [NFP18-555].....	46
III .2.6.Caractéristique du gravier Utilisé	46
III .2.6.1.Analyse granulométrique [NFEN933-5]	46
III .2.6.2.Les caractéristiques physiques des graviers utilisés	47
III .2.6.2.1.Masse volumique apparent [NFP18-554]	47
III .2.6.2.2.Masse volumique absolue	48
III .2.6.2.3.Compacité, porosité et l’indice de vide [NFEN1097-4]	48
III .2.6.2.4.Teneur en eau du gravier [NFEN1097-6]	49
III .2.7.Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés	49
III .2.7.1.Essai Los Angeles [NFEN1097-2]	49
III .3.Préparation et Conditionnement des Echantillons de Béton.....	50
III .3.1.La formulation de la composition des bétons ordinaire	50
III .3.2.Composition des différents bétons ordinaires.....	53
III .3.3.Fabrication et conditionnement des éprouvettes.....	55
III .3.4.Procédure de fabrication des bétons.....	56

III .4.Essais à l'Etat Frais.....	57
III .4.1.Affaissement au cône d'Abrams (slump test):NF P18-305.....	57
III .4.2.Vibration: NFP18-421.....	58
III .5.Essais à l'Etat Durci.....	58
III .5.1.Cure appliquée [NFP18-404].....	58
III .5.2.La Résistance à la Compression (essais d'écrasement):NFP18-406.....	59
III.5.3 Estimation de la perte de masse.....	60
III.5.4 Essai de chauffage.....	61
III.5.5 Volume des éprouvettes.....	62
III.6. Essais Non Destructifs.....	62
III.6.1. Essais de dureté par rebondissement (scléromètre) [NFEN12398].....	62
III.6.2. Les Ultrasons.....	63
III.7. Conclusion.....	64

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Introduction	65
IV.2. Méthodologie adaptée pour les manipulations.....	65
IV.3. Présentation des résultats.....	65
IV.4.A l'état frais (propriétés physiques).....	65
IV.4.1. Rapport E/L.....	66
IV.4.2. La masse volumique (frais).....	66
IV.5. État durci (Propriétés physiques).....	67
IV.5.1. La masse volumique apparente à l'état durci.....	67
IV.5.2. Perte de masse.....	68
IV.5.3. L'indice sclérométrique (Is).....	71
IV.5.4. La vitesse d'ultrason(V).....	72
IV.5.5. Résistance à la compression (RC).....	74
IV.5.6. Evolution de la surface fissurée des éprouvettes en béton après un cycle chauffage refroidissement	76
IV.5.7. Photos microscopiques des différents pourcentages du béton.....	77
IV.6. Étude de corrélation	78
IV.6.1. Étude de corrélation entre la perte de masse et la vitesse.....	78

IV.6.1.1	Corrélation entre la perte de masse et la vitesse pour BF0.....	78
IV.6.1.2.	Corrélation entre la perte de masse en fonction de vitesse pour BF10.....	79
IV.6.1.2.	Corrélation entre la perte de masse en fonction de vitesse pour BF15.....	80
IV.6.2.	Étude de corrélation entre la perte de masse et indice sclérométrique.....	80
IV.6.2.1.	la corrélation la perte de masse en fonction de(Is) pour BF0.....	80
IV.6.2.2.	la corrélation la perte de masse en fonction de(Is) pour BF10.....	81
IV.6.2.3.	la corrélation la perte de masse en fonction de(Is) pour BF15.....	82
IV.6.3.	Étude de corrélation entre la perte de masse et la résistance à la compression.....	83
IV.6.3.1.	la corrélation la perte de masse en fonction de(Rc) pour BF0.....	83
IV.6.3.2.	la corrélation la perte de masse en fonction de(Rc) pour BF10.....	83
IV.6.3.3.	la corrélation la perte de masse en fonction de(Rc) pour BF15.....	84
IV.6.4.	Étude de corrélation entre la vitesse et la résistance à la compression.....	85
IV.6.4.1.	la corrélation la vitesse en fonction de(Rc) pour BF0.....	85
IV.6.4.2.	la corrélation la vitesse en fonction de(Rc) pour BF10.....	86
IV.6.4.3.	la corrélation la vitesse en fonction de(Rc) pour BF15.....	86
IV.6.5.	Étude de corrélation entre l'indice sclérométrique et (Rc).....	87
IV.6.5.1.	Corrélation(Rc) entre(V) et(Is) pour BF0.....	87
IV.6.5.2.	Corrélation(Rc) entre(V) et(Is) pour BF10.....	88
IV.6.5.3.	Corrélation(Rc) entre(V) et(Is) pour BF15.....	89
IV.7	les méthodes combinées.....	90
IV.7.1	Corrélation (Rc) entre (V) et (Is) pour les bétons BF0.....	90
IV.7.2	Corrélation (Rc) entre (V) et (Is) pour les bétons BF10.....	91
IV.7.2	Corrélation (Rc) entre (V) et (Is) pour les bétons BF15.....	92
IV.8.	Conclusion.....	93
	Conclusion générale.....	94
	Références bibliographiques.....	96

Liste des Tableaux

Tableau	Chapitre	Page
Chapitre-III		
Tableau III.1	Caractéristiques Chimiques des Ciments Portland aux Ajouts.	37
Tableau III.2	Caractéristiques physiques de la poudre de céramique	38
Tableau III.3	Composition chimique de la poudre de céramique	39
Tableau III.4	Caractéristiques de MEDAPLAST SP 40	40
Tableau III.5	Caractéristiques chimiques de l'eau	41
Tableau III.6	La masse absolue de sable en (g/cm ³)	43
Tableau III.7	La masse volumique apparente à l'état lâche et l'état compact en (Kg/l)	44
Tableau III.8	Porosité, compacité et indice des vides	44
Tableau III .9	Résultats obtenus pour l'équivalent de sable	45
Tableau III .10	Résultats obtenus pour teneur en eau	46
Tableau III.11	Masse volumique apparente du gravier	47
Tableau III.12	La masse volumique absolue du gravier	48
Tableau III.13	Porosité, compacité et indice des vides.	48
Tableau III.14	Teneur en eau des graviers	49
Tableau III.15	Caractéristiques mécaniques du gravier recyclé	50
Tableau III.16	Classification des roches en fonction du coefficient LA.	50
Tableau III.17	La composition d'un m ³ de béton ordinaire	53

Tableau III.18	Liste de Description bétons étudiés	54
Tableau III.19	Liste de différents bétons étudiés en pourcentage.	54
Tableau III.20	Les quantités des constituants des mélanges des bétons ordinaires.	55
Chapitre-V		
Tableau IV.1	Formules de corrélation proposées pour l'estimation des propriétés physiques et mécaniques.	93

Liste des Figures

Figure	CHAPITER	page
CHAPITER I		
Figure I.1	Etude de la stabilité thermique et des transformations physico-chimiques de divers granulats en fonction de la température	5
Figure I.2	Déformations thermiques de bétons formulés avec différents granulats	6
Figure I.3	Mécanismes liés aux incompatibilités pate-granat	6
Figure I.4	Perte de masse des bétons déterminées durant l'échauffement	7
Figure I.5	Illustration des différents les types de porosité dans un système cimentaire	8
Figure I.6	Evolution de la perméabilité intrinsèque résiduelle des bétons en fonction de la température	9
Figure I.7	Courbe contrainte-déformation en compression simple	10
Figure I.8	Comportement du béton en traction simple	10
Figure I.9	Évolution du module d'élasticité résiduel relatif	11
Figure I.10	Évolution du module d'élasticité résiduel relatif de BHP avec ou sans fibres : (a) pour fibres de polypropylène et fibres métalliques (b)	12
Figure I-11	Influence des granulats sur le module d'élasticité résiduel relatif : test à l'ambiance (a), test à chaud(b)	12
Figure I.12	Conductivité thermique du béton en fonction de la température	13
Figure I.13	Influence des types de granulat sur la chaleur massique de bétons	14
Figure I.14	Illustration du mécanisme d'éclatement	17
Figure I.15	Corrélation Résistance à la compression – Indice de rebondissement	21
Figure I.16	Appareil de mesure	22
Figure I.17	Appareil d'auscultation sonique 58-E48 avec oscilloscope	23
Figure I.18	Corrélation Résistance à la compression – Vitesse ultrasonique	24
CHAPITER II		
Figure II.1	Une cour de séchage devant un atelier de poterie	26
Figure II.2	le kaolin	27
Figure II.3	Les illites	28
Figure II.4	Les montmorillonites	29

Figure II.5	Un gisement de Felds path découvert dans le Cameroun	30
CHAPITER III		
Figure III.1	Poudre de ciment	36
Figure III.2	Sacs de ciment Gica Ain Elkebira	36
Figure III.3	Poudre de céramiques	38
Figure III.4	Distribution granulométrique de la poudre de céramique	38
Figure III.5	Pesage de l'échantillon	38
Figure III.6	Mesure de Blaine	39
Figure III.7	appareille PSD	39
Figure III.8	Distribution granulométrique de la poudre de céramique	39
Figure III.9	Courbe analyse granulométrique du sable	40
Figure III.10	la masse volumique absolue du sable	41
Figure III.11	la masse volumique apparente du sable	42
Figure III.12	équivalent de sable	43
Figure III.13	analyse granulométrique du gravier	45
Figure III.14	Courbe analyse granulométrique d'un gravier de deux fraction (3/8, 8/16).	46
Figure III.15	la masse volumique absolue du gravier	47
Figure III.16	Los Angeles	48
Figure III.17	La courbe granulométrique	49
Figure III.18	Liste de différents bétons étudiés en pourcentage.	53
Figure III.19	Type des éprouvettes utilisées : cubique	54
Figure III.20	malaxeur de béton	55
Figure III.21	Mesure de l'affaissement	57
Figure III.22	Table de vibration	58
Figure III.23	moule en chargé	59
Figure III.24	Conservation les éprouvettes dans l'eau	59
Figure III.25	Machine d'essai de compression	60
Figure III.26	essai de chauffage	61
Figure III.27	Principe de l'essai scléromètre.	62
Figure III.28	Appareil ultrason	63

CHAPITER IV		
Figure IV.1	Variation de rapporte E/L en fonction du pourcentage additifs pour l'ensemble de béton.	66
Figure IV. 2	variation de la masse volumique à l'état frais en fonction du dosage de Céramique.	67
Figure IV.3	L'évolution de la masse volumique apparente en fonction du pourcentage poudre de céramique pour les différents types des bétons à 28 jours.	68
Figure IV. 4	La variation la perte de masse en fonction de la température à 7jours.	69
Figure IV. 5	La variation la perte de masse en fonction de la température à 14jours	70
Figure IV. 6	La variation la perte de masse en fonction de la température à 28jours	70
Figure IV. 7	La variation l'indice sclérométrique (Is) en fonction de la température à7jours.	71
Figure IV. 8	La variation l'indice sclérométrique (Is) en fonction de la température à14 jours.	71
Figure IV. 9	La variation l'indice sclérométrique (Is) en fonction de la température à 28 jours.	72
Figure IV. 10	La variation la vitesse ultrasonique en fonction de la température à 7jours	73
Figure IV. 11	La variation la vitesse ultrasonique en fonction de la température à 14 jours.	73
Figure IV. 12	La variation la vitesse ultrasonique en fonction de la température à 28 jours.	74
Figure IV. 13	La variation la Résistance en fonction de la température à 7 jours	75
Figure IV. 14	La variation la Résistance en fonction de la température à 14 jours	75
Figure IV. 15	La variation la Résistance en fonction de la température à 28 jours	76
Figure IV.16	Photographique et la surface de BF0 à20°	77
Figure IV.17	Photographique et la surface de BF0 à100°	77
Figure IV.18	photographique et la surface de BF0 à300°	77
Figure IV.19	photographique et la surface de BF0 à500°	77
Figure IV.20	photographique et la surface de BF0 à700°	77
Figure IV.21	photographique et la surface de BF10 à20°	77

Figure IV.22	photographique et la surface de BF10 à 100°	78
Figure IV.23	photographique la surface de BF10 à 300°	78
Figure IV.24	photographique et la surface de BF10 à 500°	78
Figure IV.25	photographique et la surface de BF10 à 700°	78
Figure IV.26	Corrélation entre perte de masse et la vitesse pour BF0 à 28 jours	79
Figure IV.27	Corrélation entre perte de masse et la vitesse pour BF10 à 28 jours	79
Figure IV.28	Corrélation entre perte de masse et la vitesse pour BF15 à 28 jours	80
Figure IV.29	La corrélation la perte de masse en fonction d'indice sclérométrique pour BF0 à 28 jours	81
Figure IV.30	La corrélation la perte de masse en fonction d'indice sclérométrique pour BF10 à 28 jours	82
Figure IV.31	La corrélation la perte de masse en fonction d'indice sclérométrique pour BF15 à 28 jours	82
Figure IV.32	La corrélation la perte de masse en fonction de résistance à la compression pour BF0 à 28 jours	83
Figure IV.33	La corrélation la perte de masse en fonction de résistance à la compression pour BF10 à 28 jours.	84
Figure IV.34	La corrélation la perte de masse en fonction de résistance à la compression pour BF15 à 28 jours	85
Figure IV.35	La corrélation la (Rc) en fonction de (V) pour BF0 28 jours	85
Figure IV.36	La corrélation la (Rc) en fonction de (V) pour BF10 28 jours	86
Figure IV.37	La corrélation la (Rc) en fonction de (V) pour BF15 28 jours	87
Figure IV.38	La corrélation (Rc) en fonction de (Is) pour BF0 à 28 jours	88
Figure IV.39	La corrélation (Rc) en fonction de (Is) pour BF10 à 28 jours	88
Figure IV.40	La corrélation (Rc) en fonction de (Is) pour BF15 à 28 jours	89
Figure IV.41	Corrélation entre la résistance à la compression, la vitesse d'ultrason et l'indice sclérométrique pour BF0 à 28 jours	90
Figure IV.42	Corrélation entre la résistance à la compression, la vitesse d'ultrason et l'indice sclérométrique pour BF10 à 28 jours.	91
Figure IV.43	Corrélation entre la résistance à la compression, la vitesse d'ultrason et l'indice sclérométrique pour BF15 à 28 jours.	92

Notations

Abs(%) : taux d'absorption	m : masse après l'essai
A : poids de l'échantillon après étuvage	Mf : Module de finesse
Af : affaissement	M1 : masse du récipient vide
C(%) : Compacité	M2 : masse du récipient vide
C : poids a l'air immersion et ébullition (g).	P_s : Masse volumique absolue
D_{max} : Diamètre maximal du gros granulat.	P : Masse volumique apparent
D : poids à l'eau immersion et ébullition	ρ_{app} : masse volumique à l'état lâche
e (%) : L'indice des vides	ρ_{abs} : masse volumique absolue
E/C : Rapport eau/ciment.	P_c : Masse volumique à l'état compact
E/L : rapport eau/liant.	P(%) : Porosité
E.S.V : Equivalent de sable visuel	R_c : Refus cumulé
E.S.P : Equivalent de sable piston	RC : résistance à la compression
F : la charge de rupture (N).	R² : coefficient de corrélation
h1 : hauteur du sable plus flocculat.	S : section de l'éprouvette (mm ²).
h2 : hauteur du sable.	V_p : volume des vides.
h2' : hauteur du sable avec piston	V_r : Volume du récipient
IS : Indice sclérométrique	V : la vitesse ultrasons
LA : Le coefficient de Los Angeles.	W : Teneur en eau
M1 : masse d'éprouvette après l'étuvage.	V_e : volume initiale
M 2 : masse d'éprouvette saturée d'eau	γ :coefficient de compacité
M_h : Masse des granulats humides	VC : volume de ciment
M_s : Masse des granulats secs	V_g : volume du granulat
M : masse total	BF10 :béton de 10% céramique
Δm : la perte de masse	BF15 : béton de 15%céramique

Introduction générale

Introduction générale

Introduction général :

La formulation des bétons qui, pendant très longtemps, a reposé sur une simple association ternaire ciment, eau et granulats, s'est progressivement compliquée au point qu'un béton actuel comporte de façon courante cinq constituants : ciment, eau, granulats, additions minérales et adjuvants.[1]

Cet accroissement du nombre de constituants est, d'un point de vue pratique, très avantageux car il conduit, généralement, à l'amélioration très significative des performances mécaniques, physiques et durabilités des bétons. L'incorporation des additions minérales est maintenant une technique importante en améliorant les propriétés du béton telles que la fluidité, la résistance, la durabilité, etc.. Ces additions minérales affectent de manière significative la rhéologie des matériaux cimentaires à l'état frais, qui est directement relié avec le développement de la résistance et à leurs relations avec les essais indirects, la durabilité des matériaux durcis.

Les méthodes d'essais indirects sur les constructions en béton, en béton armé ou en béton précontraint sont particulièrement intéressantes pour l'importance que représente le contrôle de la qualité directement sur l'ouvrage. Les avantages de ces essais par rapport aux autres peuvent être résumés dans le caractère non destructif qui nous permet d'obtenir des informations dans des domaines inaccessibles aux méthodes directes, économiser des matériaux, du temps et des outils d'essai, par la possibilité de faire les essais sur le matériau dans l'ouvrage même ou sur une seule éprouvette un nombre pratiquement infini de fois, due à la rapidité de l'exécution de ce type d'essais. Outre le progrès des technologies elles-mêmes. [2]

Lorsque le béton est exposé au feu, il se décompose également de l'extérieur vers l'intérieur, et ce processus conduit à la détérioration des propriétés physiques, des propriétés de transport et des performances mécaniques du béton en raison de la modification de sa microstructure.

Ces dommages peuvent également affecter la stabilité des ouvrages, en plus de l'importance de l'impact des additifs cimentaires sur le béton, car leur utilisation peut améliorer les propriétés du béton pour mieux lui apporter les qualités d'un béton à hautes performances.

Objectif

Notre travail s'inscrit dans le domaine général de la recherche il vise à valoriser les déchets de céramique dans la confection des bétons, et à caractériser la poudre de céramique comme ajout au ciment et d'étudier son effet sur le comportement physique et mécanique du béton.

L'influence des hautes températures (20°C-100°C -300°C-500°C- 700°C) sur les caractéristique du béton à base de la poudre de céramique sera étudiée aussi, en tenant compte de l'effet de la maturité

Introduction générale

(âge) des éprouvettes soumises aux températures élevées afin d'établir une relation entre la dégradation produite par la température et l'âge du béton.

Les âges de durcissement choisis sont : 7 jours- 14 jours et 28jours de durcissement dans un milieu humide

Ce mémoire est reparti en 4chapitres comme suit :

- Le premier chapitre est une analyse bibliographique des travaux de recherche sur le comportement du béton à haute température ;
- Le deuxième chapitre définit le cimentaire et présente le comportement du verre dans un milieu cimentaire ;
- Le troisième chapitre les caractéristiques des matériaux utilisés et les formulations des différents bétons d'étude ;
- Le quatrième chapitre résume les essais et les résultats des expériences réalisées durant notre étude.



Chapitre I:

Analyse Bibliographique

I.1 Introduction

Le béton est un matériau de construction composite moderne, simple d'emploi et extrêmement répandu. Il se compose d'une matrice cimentaire (pâte de ciment hydraté) qui amalgame les inclusions rigides (graviers et sable). Un béton contient environ (en volume) : eau : entre 14 et 22 %; ciment : entre 7 et 14%, granulats (dont sable) : entre 60 et 78 % [3].

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, c'est pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et, en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton. [3]

Le contrôle par essais destructifs nécessite la confection d'éprouvettes prélevées représentant un échantillon. Ce contrôle ne peut être effectué à 100 % ou tout au moins sur un échantillonnage significatif. De plus, l'échantillon prélevé n'est pas toujours représentatif du béton de la structure réelle. Ainsi, pour répondre à ces problèmes, on a développé une gamme d'essais in situ appelés « essais non destructifs » venant compléter les essais destructifs. [3]

Les essais non destructifs consistent à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions, ils représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments.

Les essais non destructifs peuvent jouer un rôle exceptionnel dans la garantie de la qualité du béton et dans le développement ultérieur de la technologie de construction. La signification de ces essais se développera considérablement à l'avenir, parce que sa technologie de mesure automatisée et la réduction de la taille de l'appareillage de mesure ouvriront des applications entièrement nouvelles. Une importante caractéristique des essais non destructifs est qu'ils peuvent être refaits au même endroit ou presque, ce qui permet de suivre les changements des propriétés du béton dans le temps. [3]

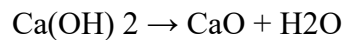
I.2 Modifications des propriétés des constituants d'un béton à haute température

I.2.1 Transformations physico-chimiques de la pâte de ciment durcie

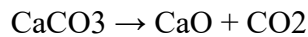
Au sein du matériau béton se déroulent de nombreuses réactions chimiques avec des cinétiques plus ou moins rapides. Ainsi tout au long de la vie du béton, celui-ci est sensible aux conditions d'humidité et de température de son environnement qui modifient ses caractéristiques macroscopiques (durabilité, résistance...). Pour notre cas, nous présentons maintenant les intervalles de

température pour lesquels se produisent des changements physico-chimiques de la pâte de ciment et du béton ordinaire [4]. L'élévation de la température entraîne les processus suivants :

- ✓ entre 30° C et 120° C : l'eau libre et une partie de l'eau adsorbée s'évaporent, et aussi une décomposition de l'étrangéité et son élimination complète avant 100° C.
- ✓ entre 130° C et 170° C : le gypse se décompose.
- ✓ En dessous de 100° C jusque 400° C le gel C-S-H se déshydrate essentiellement en β -C₂S, β -CS et en eau
- ✓ entre 450° C et 550° C : décomposition de la Portlandite selon l'équation :



- ✓ autour de 570° C : transformation des granulats quartziques de la phase α à la phase β . Ceci s'accompagne d'un gonflement.
- ✓ entre 600° C et 700° C : deuxième phase de déshydratation du gel C-S-H.
- ✓ à partir de 650° C : décomposition endothermique du calcaire selon l'équation :



- ✓ à partir de 1300° C : début de fusion de la pâte et des granulats, éliminations des sulfates et évaporations des alcalins. [4]

I.2.2 Evolution des granulats

Les granulats possèdent un comportement différent de la pâte de ciment avec l'élévation de la température. Différents types de granulats peuvent être utilisés : calcaire, siliceux, silico-calcaire, grès, basalte, argile expansé ...etc. Ces différents types de granulats peuvent avoir des comportements différents à haute température selon leur composition [5] . Avec une élévation de température, les granulats subissent des modifications physicochimiques. C'est essentiellement la structure minérale qui est modifiée avec la température.

Dans le cas des granulats siliceux, entre 120 et 600°C, l'eau adsorbée est partiellement libérée, ce qui provoque un clivage et une réduction de la résistance des granulats. A 575°C, il se produit la transformation allotropique du quartz. Cela correspond au passage brusque du domaine où l'une des formes du quartz (ici, la forme α) est stable à celui où c'est une autre forme (ici, la forme β) qui le devient. En effet, avant cette température, le quartz α est sous forme d'un édifice tétraédrique et subit une légère rotation pour former une structure cristalline de symétrie hexagonale, correspondant à du

quartz β. Cette variation de structure provoque un endommagement dans le béton. Cette transformation s'accompagne d'un gonflement du granulat de l'ordre de 1 à 1.4% [5]

Pour les granulats calcaires, le comportement thermique est plus stable jusqu'à 700°C. Au-delà de cette température, on assiste à la décarbonatation du calcaire : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. Cela entraîne une déstructuration du granulat. Le monoxyde de calcium relâché peut réagir avec de l'eau pour reformer de la portlandite. Cette réaction entraîne un gonflement, donc un accroissement de fissures dans le béton qui est sans doute à l'origine des diminutions de résistances observées [5].

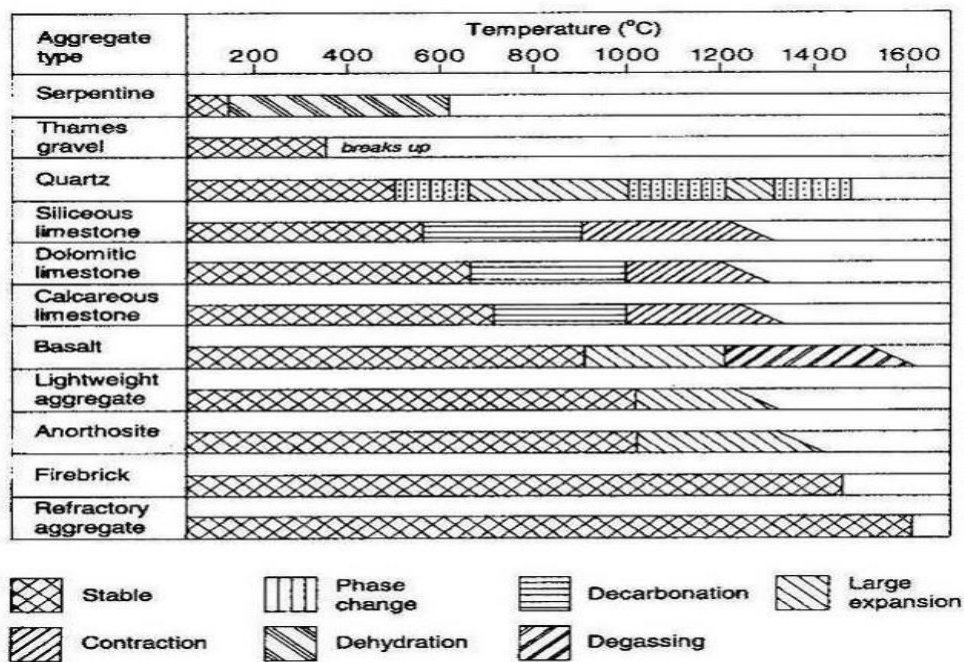


Figure I.1: Etude de la stabilité thermique et des transformations physico-chimiques de divers granulats en fonction de la température [5]

La figure I.1 présente la stabilité minéralogique de divers granulats sous l'effet de sollicitations thermiques. Les granulats étudiés [5] peuvent présenter un caractère instable. Dans cette étude, les granulats légers possèdent une bonne stabilité thermique. Jusqu'à 1000°C. Par contre, les granulats calcaires, siliceux et silico-calcaires sont instables d'es 550°C [5]

I.2.3 Dégradation de l'interface pâte – granulats

Tous les éléments constituant le béton subissent avec la température des modifications physiques et chimiques. Concernant la matrice cimentaire et les granulats, des comportements opposés sont observés. Au-delà de 105°C, la matrice cimentaire subit un retrait tandis que les granulats subissent une expansion. Ce comportement opposé engendre une micro fissuration [4].

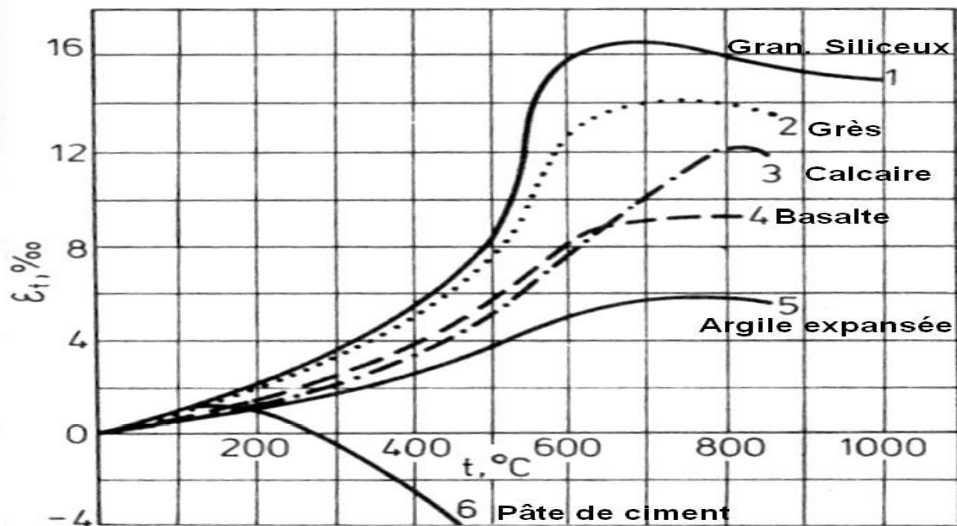


Figure I.2 : Déformations thermiques de bétons formulés avec différents granulats[4]

Ces deux évolutions créent à l'interface pâte-granulats des incompatibilités de déformations induisant des contraintes de traction au sein de la pâte de ciment et de compression au sein des granulats (Voir figure I.2). Les auteurs [4] constatent que la déformation thermique des bétons composés de granulats légers sont les plus faibles, tandis que celles des granulats siliceux les plus importantes (Facteur 4 entre les 2 extrêmes) (Voir figure I.2). Donc, la nature du granulat a une incidence sur la déformation thermique, et par conséquent sur l'incompatibilité pâte-granulats.

Parallèlement à cette incompatibilité, les hautes températures entraînent le départ d'eau (libre, liée, adsorbée) contenue dans les pores et dans les hydrates. Or, au niveau de l'auréole de transition, cette déshydratation détériore rapidement les liaisons créées entre les granulats et la pâte de ciment. Cela entraîne l'apparition de micro fissures [4].



Figure I.3: Mécanismes liés aux incompatibilités pâte-granulat [4]

I.3 Les propriétés physiques et mécaniques de béton en fonction de la température

I.3.1 Les propriétés physiques en fonction de la température

I.3.1.1 La perte de masse

La masse du béton subit une perte de poids au cours du chauffage. Cette perte est due à l'évaporation de l'eau et la déshydratation progressive du gel CSH. Les travaux menés par A. Noumowé, G.I. Hageret M. Kanema sur l'évolution de la perte de masse du béton avec la température montrent que la perte de masse commence à partir des températures supérieures à 100 °C.

La figure I.4 présente les courbes de la perte de masse mesurées par G.I. Hager [6]. Les courbes obtenues montrent que la cinétique de la perte de masse augmente brusquement entre 150 et 300 °C. Celle-ci correspond au départ de l'eau libre et de l'eau liée chimiquement [6]. La température de 300 °C peut être considérée comme la fin de la migration d'eau évaporable, A partir de cette température, la vitesse de perte de masse ralentit. Cependant, la diminution de la masse continue à cause de la déshydratation de la Portlandite et du gel de CSH.[6]

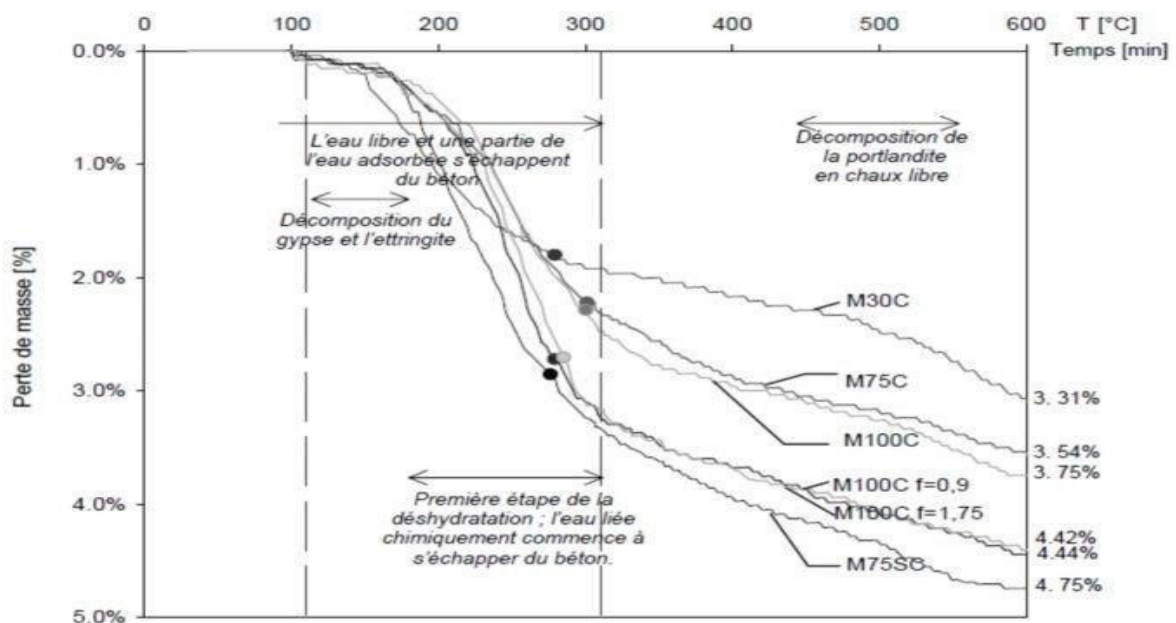


Figure I.4: Perte de masse des bétons déterminées durant l'échauffement [6].

I 3.1.2 La porosité

La porosité est une caractéristique physique essentielle du béton qui conditionne plusieurs propriétés de ce dernier tel que sa perméabilité, sa résistance mécanique, son module d'élasticité et surtout sa durabilité. La porosité ouverte est considérée comme un indicateur de durabilité pertinent pour une large gamme de dégradations. En effet, elle conditionne les échanges entre le matériau et son

milieu environnant. Ces pores sont surtout les capillaires continus qui contribuent au transport des espèces chimiques au sein de la structure poreuse [3]

La porosité ouverte interconnectée est donc particulièrement liée aux propriétés de transfert dans le béton, notamment la perméabilité à l'eau. Il y a trois types de pores : les pores fermés, les pores accessibles à l'eau non interconnectés et les pores accessibles à l'eau interconnectés (figure I.5) [3]

Les dimensions et le volume des pores capillaires sont les principaux paramètres qui régissent les propriétés physiques et mécaniques du béton. La porosité est essentiellement une fonction du rapport E/C du béton. Il a été démontré que pour un béton donné, la seule réduction du rapport E/C de 0,5 à 0,22, réduit d'un facteur 3 le volume total des pores capillaires [3]

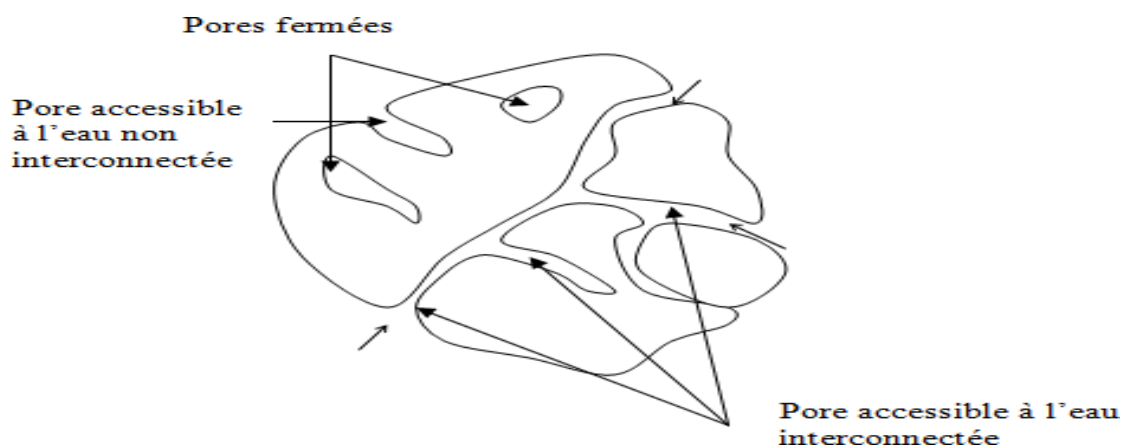


Figure I.5 : Illustration des différents les types de porosité dans un système cimentaire [3]

I 3.1.3 La perméabilité

La perméabilité d'un milieu poreux caractérise la capacité que possède ce milieu à se laissé traverser par un fluide sous un gradient de pression. Bien que cette perméabilité dépend fortement de la porosité du milieu poreux et d'autres paramètres, tel que la connectivité, la tortuosité ainsi que la constructiviste du réseau poreux liée à la taille des pores, la perméabilité du béton dépend également de ses constituants. Elle est fonction du rapport E/C, qui est directement lié à la porosité capillaire, de la nature et de la quantité des granulats, qui peuvent modifier la tortuosité par la création de l'auréole de transition. Les résultats expérimentaux, M. Kanema, A. Noumewé, ont montré que la perméabilité du béton subit un accroissement significatif quand la température dépasse 100 °C. La (figure I.6) présente la variation de la perméabilité intrinsèque résiduelle du béton en fonction de la température obtenue par M. Kanema et al. . Ils constatent que la perméabilité des bétons diminue à 150 °C pour augmenter de manière exponentielle pour des températures supérieures. Ils attribuent la baisse de la perméabilité intrinsèque résiduelle à 150 °C à la présence d'eau sous forme liquide dans les pores. L'augmentation

de la perméabilité constatée entre 150 et 300 °C est attribuée à un élargissement des pores capillaires tandis que celle observée entre 300 et 450 °C est due à une détérioration de la matrice cimentaire. [6]

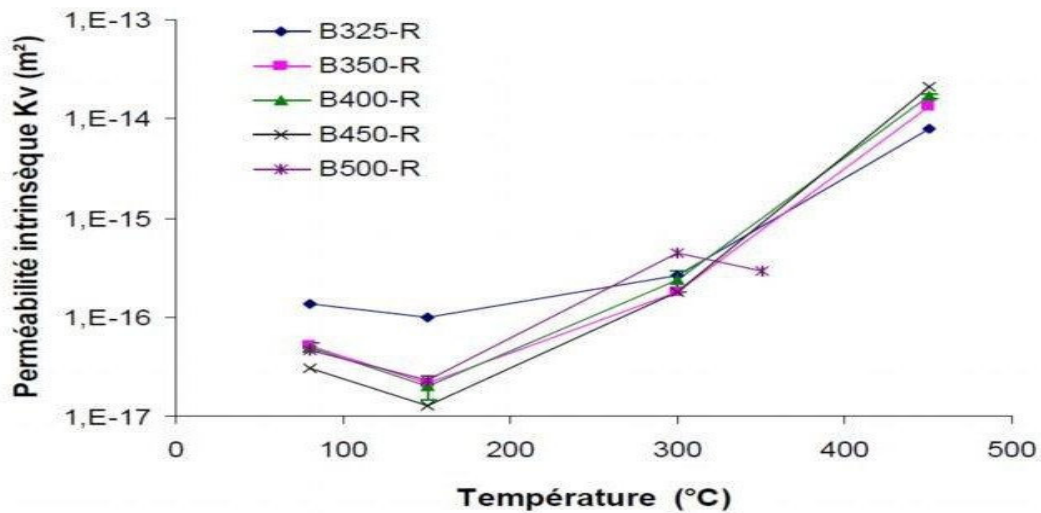


Figure I.6:

Evolution de la perméabilité intrinsèque résiduelle des bétons en fonction de la température [6].

I.3.2 Les propriétés mécaniques du béton

Le béton se caractérise, pour la partie mécanique, par la résistance à la compression, généralement considérée comme sa propriété importante, et par la résistance à la traction. Cette partie permet de présenter un aperçu du comportement mécanique du béton à température ambiante sous sollicitation de compression et de traction. [6]

I.3.2.1 Résistance en compression

La résistance en compression est le paramètre de base pour le béton, elle définit souvent une classe de résistance dont sont censées découler beaucoup d'autres propriétés. Le comportement de béton en compression est traduit principalement par une relation contrainte déformation, cette relation est présentée schématiquement à la figure I.7. On peut distinguer, à déformation croissante, trois phases de comportement:

- Une phase de comportement analogue à celui d'un matériau homogène et élastique, se traduisant par une relation à peu près linéaire entre la contrainte et la déformation ;
- La phase de développement de la microfissuration qui entraîne une incurvation progressive de la courbe jusqu'à l'atteinte du maximum de contrainte.
- La phase de développement des surfaces de fracture et d'une fissuration plus ou moins généralisée, c'est-à-dire la propagation progressive de la rupture. [6]

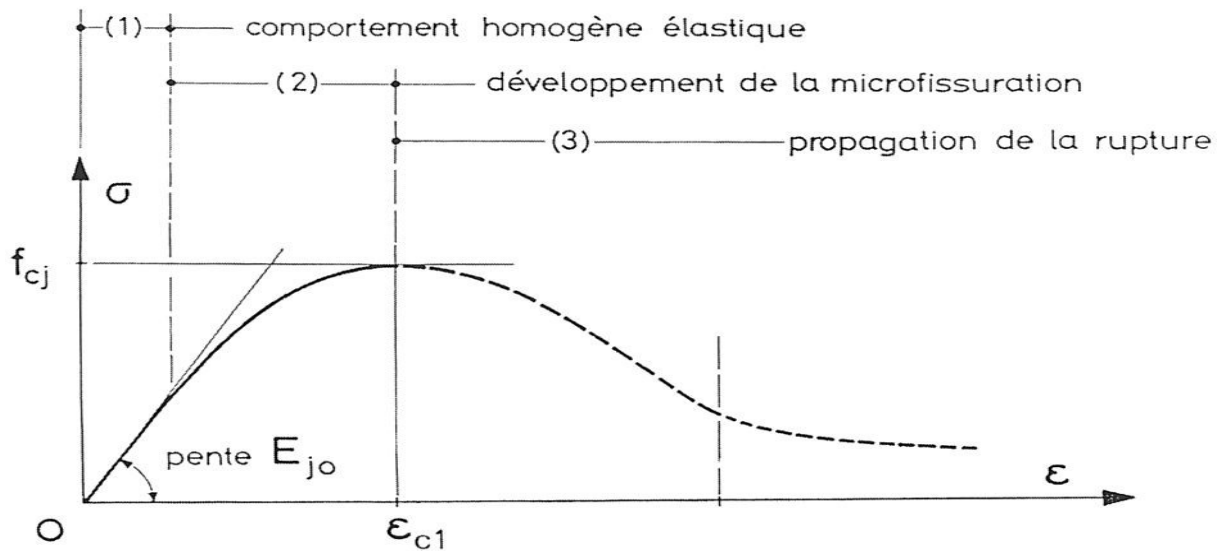


Figure I.7: Courbe contrainte-déformation en compression simple [6].

I.3.2.2 Résistance en traction

C'est le second paramètre de base, avec la résistance en compression, qui caractérise les propriétés mécaniques du béton. La figure I.8 présente la courbe contrainte-déformation pour le béton en traction simple [6].

Dans la première phase, le comportement est quasi linéaire jusqu'à l'atteinte de la force maximale, cette charge maximale correspond à la formation d'une fissure. Juste avant l'apparition de la fissure visible, il y a un endommagement diffus dans une bande de faible largeur autour de la future fissure, qui explique une petite non-linéarité précédant la charge maximale. Après l'apparition de la fissure, la force décroît rapidement lorsque l'allongement croît jusqu'à s'annuler [6].

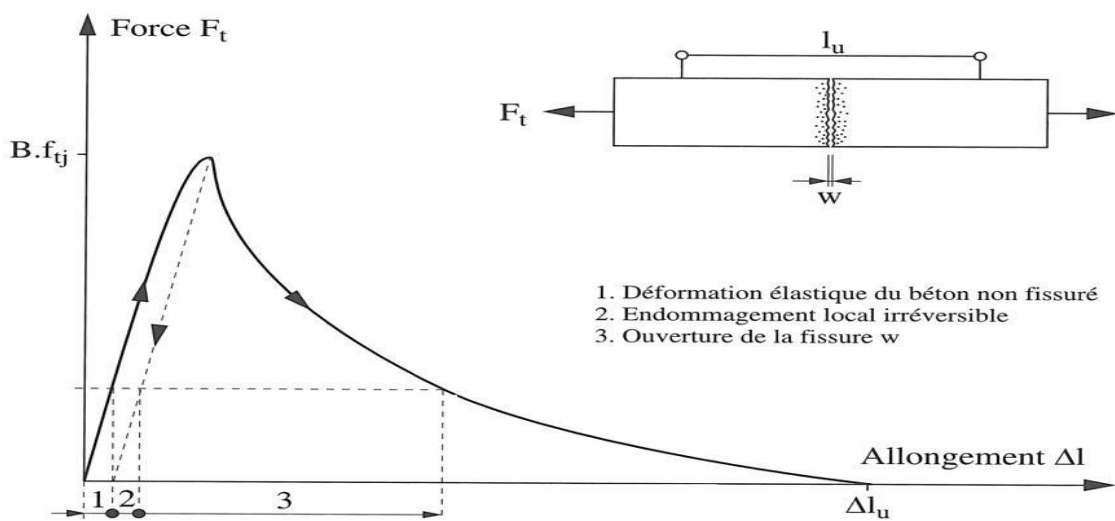


Figure I.8 : Comportement du béton en traction simple [6].

I.3.2.3 Le module d'élasticité

Contrairement aux mesures de résistances à la compression et à la traction, il existe très peu de données dans la littérature sur l'évolution du module d'élasticité du béton porté à une température élevée. La figure I.9 regroupe les évolutions de module d'élasticité résiduel de différents bétons.

D'une manière générale, le module d'élasticité résiduel diminue d'une manière progressive et identique en fonction de la température et quel que soit le rapport E/C. Le type de béton n'influe donc pas sur l'évolution du module d'élasticité. Kenema a observé une rigidité presque nulle (2%) à la suite d'un chauffage à 600°C. La forte baisse de rigidité du béton chauffé est liée aux différentes transformations physico-chimiques de la matrice cimentaire, de la déformation des granulats avec l'interface pâte - granulats et l'augmentation du volume poreux. [7]

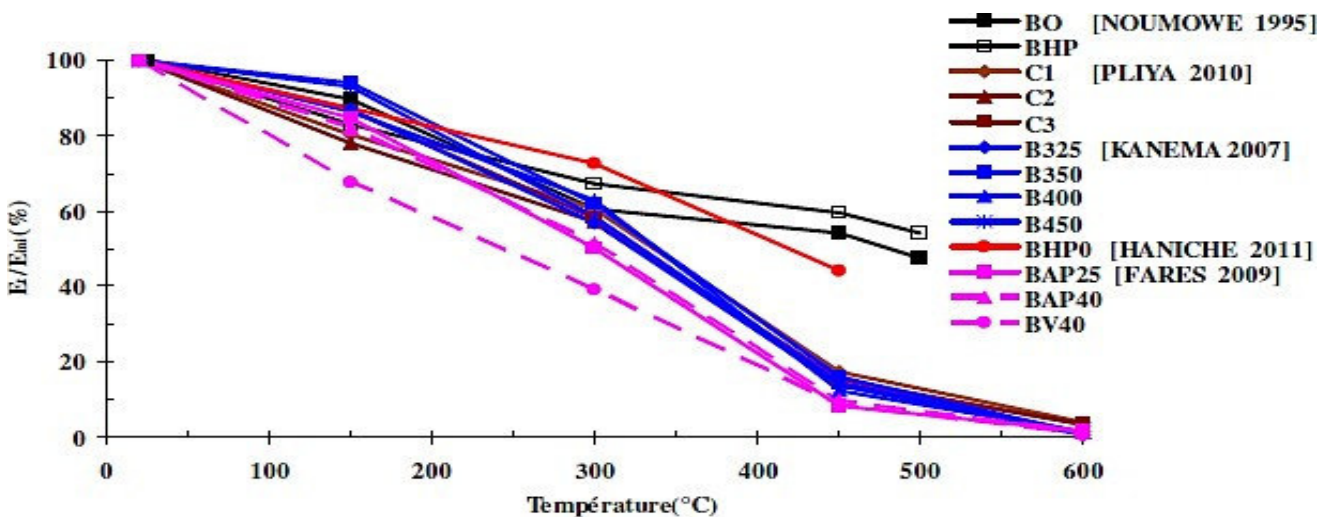


Figure I.9: Évolution du module d'élasticité résiduel relatif [7]

L'ajout de fibres de polypropylène semble mener à une baisse du module d'élasticité résiduel du béton à haute résistance au cours du chauffage. Le module d'élasticité résiduel du béton à haute résistance diminue avec le dosage de fibres de polypropylène utilisé et une diminution significative (33%) avec le dosage de 1,8 kg/m³ en fibres à 200°C est notée par. Des tests réalisés à chaud par montrent le même phénomène pour des bétons contenant 0,9 kg/m³ et 1.75kg/m³ de polypropylène. Cependant, il y a de légers gains sur les modules d'élasticité pour des bétons BHP de fibres de polypropylène après un chauffage à 300°C. Au-delà de cette température, les modules d'élasticité résiduels des bétons avec et sans fibres de polypropylène sont voisins (figure I.10). Avec les fibres métalliques, un effet bénéfique est constaté jusqu'à la température 300°C - 400°C. Au-delà de cette température, la différence entre le béton sans fibres et le béton de fibres n'existe plus quasiment, quel que soit le dosage (figure I-10). Les résultats concernant le module d'élasticité mesuré à chaud par

aboutissent à la même évolution pour des bétons BHP avec des fibres métalliques. Une perte de module du béton dosé à 0.54% de fibres métalliques est plus grande que celle du béton sans fibres [7].

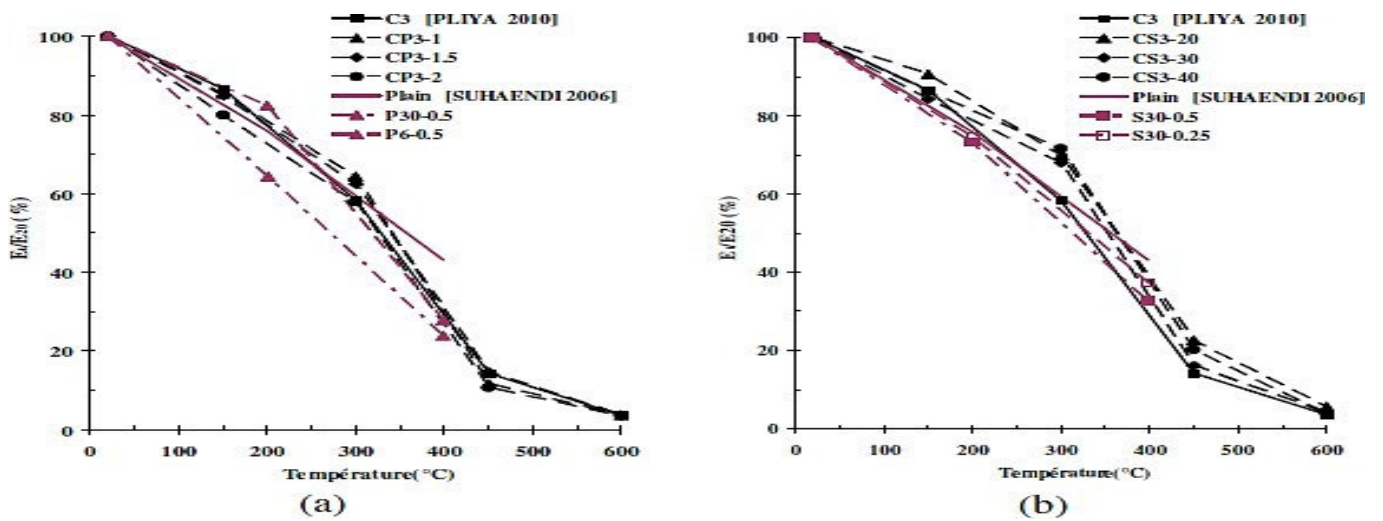


Figure I.10: Évolution du module d'élasticité résiduel relatif de BHP avec ou sans fibres : (a) pour fibres de polypropylène et fibres métalliques (b) [7]

L'influence de la nature des granulats sur l'évolution du module d'élasticité a été présentée dans la littérature. Schneider constate que le module d'élasticité dépend significativement du type de granulats. Le béton calcaire présente une décroissance du module élastique plus faible que le béton de quartzite. Ce phénomène est aussi observé sur le béton ordinaire contenant de granulats calcaires par rapport à ceux contenant des granulats siliceux et silico-calcaires (figure I.11-a). À 600°C, le module d'élasticité du béton de granulat silico-calcaire a une rigidité presque nulle. Néanmoins, il n'y a pas de différence de module d'élasticité entre les bétons à hautes performances contenant de granulats calcaires et siliceux. Pour des tests réalisés à chaud, les granulats calcaires et siliceux n'influent pas sur la variation des modules d'élasticité du béton à hautes performances (figure I.11-b) [7].

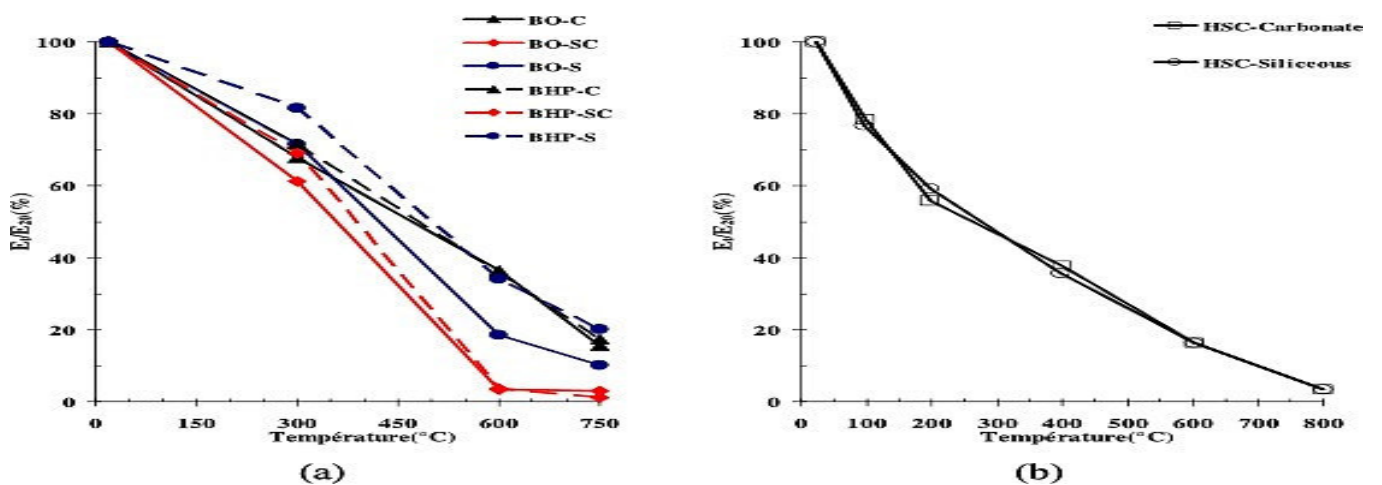


Figure I-11 : Influence des granulats sur le module d'élasticité résiduel relatif : test à l'ambiance (a), test à chaud b)[7]

I.4 Les propriétés thermiques du béton avec la température

L'évolution de la distribution de température dans une structure est gouvernée en grande partie par les propriétés thermiques du matériau, particulièrement la capacité calorifique et la conductivité thermique. Cependant, la détermination de ces propriétés avec exactitude, dans le cas du béton, est très difficile, en raison de nombreux phénomènes qui se produisent au sein de la microstructure du béton. [4]

I.4.1 La conductivité thermique

La conductivité thermique désigne l'aptitude que possède un matériau à conduire de la chaleur. Ce paramètre est prépondérant pour décrire la distribution de la température au sein du matériau lors du chauffage. La conductivité thermique du béton diminue, d'une manière générale, lorsque la température augmente. Ce comportement met en évidence la détérioration de la microstructure, les microfissures limitent les transferts de la chaleur.

Les principaux paramètres influençant l'évolution de la conductivité thermique sont : la teneur en eau, le type de granulats, le degré de saturation en eau liquide, la structure de l'espace poreux et la formulation du béton. [4]

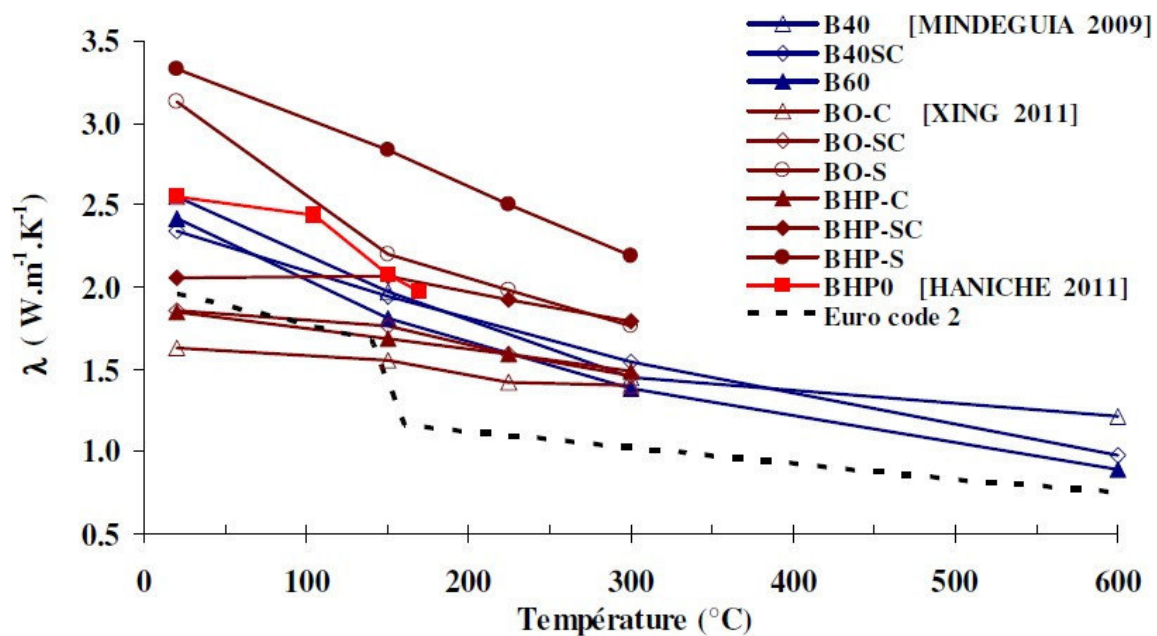


Figure I.12: Conductivité thermique du béton en fonction de la température [4]

I.4.2 Chaleur spécifique

La chaleur spécifique d'un matériau est la quantité d'énergie nécessaire pour faire monter de 1°C la température d'une masse unitaire de matière. Autrement dit, c'est la capacité du matériau à emmagasiner de la chaleur.

L'évolution de la chaleur spécifique du béton est principalement reliée à celle de la pâte de ciment et de type de granulats. [4]

La chaleur spécifique augmente d'une manière générale avec la montée de la température. Cette variation est liée aux différentes réactions endothermiques. En effet, la chaleur massique du béton à haute température est gouvernée significativement par la nature du granulat existant dans la composition du béton. Une augmentation de la chaleur massique du béton contenant les granulats siliceux se produit autour de 500°C liée à la transformation du quartzite. L'influence des granulats calcaires sur la chaleur massique du béton est négligeable pour une température inférieure à 600°C - 800°C. Cependant, au-delà de cette température, la chaleur massique du béton calcaire s'accroît immédiatement et est liée à la consommation de chaleur sous forme latente pour la décarbonatation du calcaire. La chaleur latente nécessaire pour élever la même température du béton de granulat calcaire est dix fois plus élevée que celle du béton de granulat siliceux lorsque la température est supérieure à 600°C. [4]

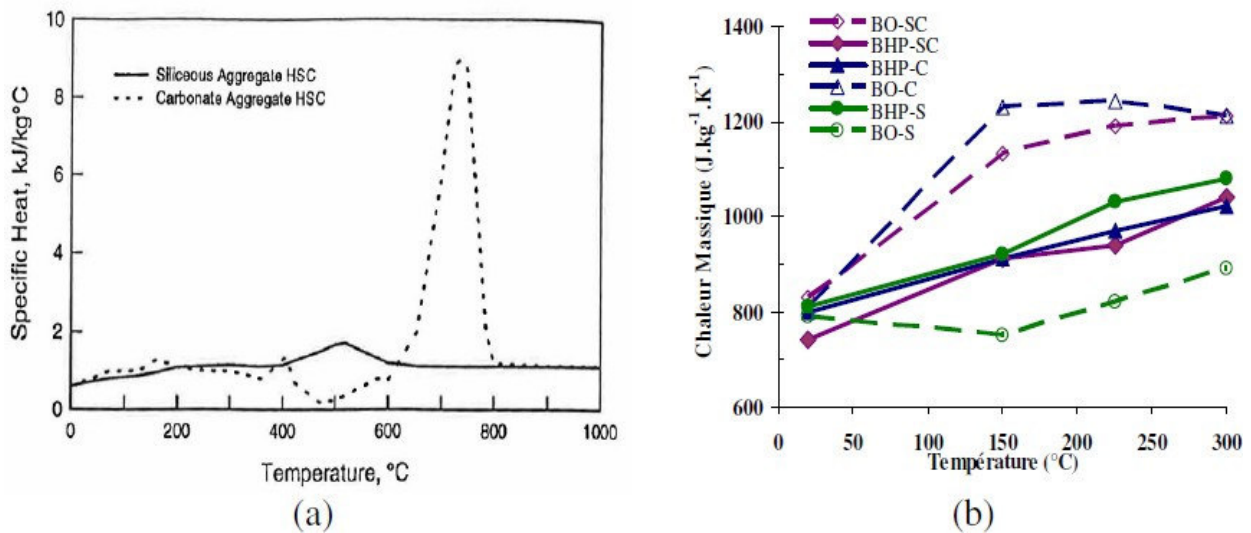


Figure I.13: Influence des types de granulat sur la chaleur massique de bétons [4]

I.5 Instabilité thermique du béton

I.5.1 Différentes formes d'instabilité thermique

En cas d'incendie de bâtiments, de tunnels, le béton peut présenter une instabilité thermique au-delà d'une certaine température. L'instabilité thermique du béton peut se présenter sous diverses formes [7].

Eclatement explosif : ce type d'éclatement se produit pendant les trente premières minutes du feu ou d'un essai standard. Il peut se produire à une température supérieure à 100°C. L'éclatement explosif est caractérisé par un détachement brutal de petits ou gros morceaux de béton, accompagné d'un bruit fort

Eclatement de surface : couramment appelé écaillage, l'éclatement de surface est caractérisé par le détachement de petits morceaux (jusqu'à 20 mm environ) du parement exposé au feu. Il est moins violent que l'éclatement explosif.

Eclatement de granulats : cet éclatement est provoqué par la dilatation thermique des granulats proches de la surface à cause de la montée en température. Les principales causes de ce phénomène sont la conversion de quartz à 570 °C. Les dommages engendrés par l'éclatement de granulats ne sont que superficiels.

Eclatement d'angle : il s'observe dans les stades avancés du feu lorsque le béton est affaibli et que les fissures se développent en raison des contraintes de traction le long des bords et coins de l'ouvrage.

Eclatement par détachement des granulats : ce type d'instabilité est issu de la modification de la microstructure de la pâte de ciment avec la montée en température et aussi des fissures internes engendrées par la dilatation thermique différentielle entre la pâte de ciment et les granulats.

Eclatement en phase de refroidissement : il est non violent et sans bruit. Ce phénomène est causé par la présence de granulats calcaires et de la réhydratation de la chaux lors de la phase de refroidissement.[7]

I.5.1.1 L'écaillage

Est une forte probabilité à l'écaillage. Ce processus se répète de proche en proche jusqu'à disparition complète du béton. Ce phénomène se produit généralement à des températures comprises entre 250 et 400°C et pour des vitesses de chauffage pouvant être très faibles (1°C/min) ([112, 75]. Mais, le risque d'écaillage est souvent associé à des montées en température rapides comme dans le cas d'un incendie. Pour expliquer ce phénomène, deux principales raisons sont souvent évoquées :[5]

- ✓ Effet du gradient thermique appelé « Processus thermomécanique »,

- ✓ Formation de gradients de pression de vapeur d'eau dans le réseau poreux appelé « Processus thermo hydrique ». [5]

I.5.1.2 L'éclatement

Lors d'incendie ou d'essais testant la résistance au feu des matériaux, il a été fréquemment observé des désordres importants appelés «Eclatement» ou «Spalling» (en anglais). En effet, les échantillons de bétons ou des structures en béton ont présenté des éclats et ont été détruits suite à un bruit sourd comme une explosion.

Comme nous allons le voir par la suite, l'éclatement est la résultante de processus thermiques, hydriques et mécaniques couplés et concurrents, impliquant un grand nombre de paramètres, tant à l'échelle du matériau qu'à celle de l'élément de structure. De ce fait, le comportement à l'éclatement présente un caractère aléatoire.

Mais, il faut distinguer le phénomène d'écaillage et d'éclatement. Un écaillage est la rupture de la surface d'un élément en béton soumis à une augmentation de température [5]. Par contre, un éclatement est la soudaine désintégration de l'élément de structure en béton qui s'accompagne d'une libération d'une grande quantité d'énergie en projetant des morceaux de béton à grande vitesse dans toutes les directions.

I.5.1.3 Mécanisme du phénomène d'écaillage et de l'éclatement du béton

Le phénomène de l'éclatement peut être principalement attribué à deux processus : le processus thermomécanique et le processus thermo-hydrique.

Le processus thermomécanique : il est lié à la température au sein du béton. Le gradient thermique crée une dilatation thermique, et lorsqu'elle est empêchée, elle génère des contraintes de compression parallèles à la face chauffée. De plus, au cours du chauffage, les granulats se dilatent, tandis que la pâte de ciment se rétracte en raison de sa déshydratation. La pâte de ciment est ainsi soumise à des contraintes de traction et les granulats, à des contraintes de compression. Lorsque les contraintes thermiques sont importantes, le phénomène d'écaillage peut se produire. [4]

Le processus thermo-hydrique : il est associé au transfert de masse qui engendre de fortes pressions de vapeur dans le réseau poreux. La figure I.14 montre le mécanisme d'éclatement lié à la pression de vapeur. Lorsque le béton est exposé à une haute température, l'eau qui se trouve dans les pores sous forme libre ou liée commence à s'évaporer. Une partie de cette eau vaporisée s'évacue vers la surface chauffée et une autre partie migre vers les zones froides à l'intérieur puis se condense. Une accumulation de l'eau liquide dans les pores aux zones froides crée un bouchon saturé qui gêne la

migration de l'eau vaporisée. Le bouchon saturé provoque une élévation de la pression interne des pores du côté le plus chaud. Ces pressions de vapeur associées aux fortes contraintes thermiques aboutissent à l'apparition du phénomène d'instabilité thermique. Dans le cas de béton de forte densité et de faible perméabilité, l'augmentation de pression pourrait engendrer l'éclatement.[4]

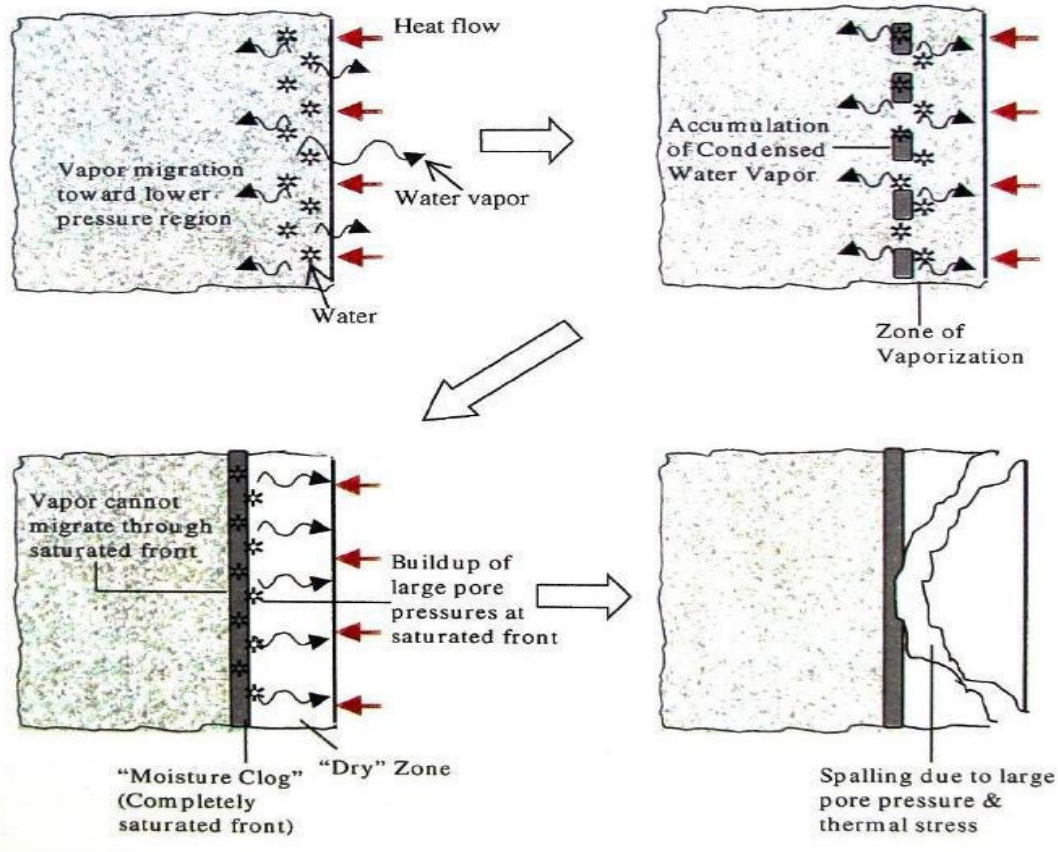


Figure I.14 : Illustration du mécanisme d'éclatement [4]

I.5.1.4 Paramètres influençant sur l'instabilité thermique

Plusieurs paramètres peuvent influencer l'éclatement du béton. Une des causes principales de l'instabilité thermique du béton est la pression de vapeur dans les pores.

Teneur en eau : elle joue un rôle principal dans la formation de pression de Vapeur. Une teneur en eau massique inférieure à 3-4% limiterait le risque d'éclatement. Dans le cadre de travaux de l'influence de teneur en eau sur l'endommagement de BHP, une faible fissuration sur des échantillons de teneur en eau inférieure à 2.6%. [4]

Propriétés physico-mécaniques du matériau (densité, perméabilité, résistances) : un BHP caractérisé par un faible rapport Eau/Liant est plus sensible à l'éclatement. La faible perméabilité du BHP rend difficile le transfert de fluide engendrant de fortes pressions de vapeur lors de la montée en température.

Vitesse de chauffage : plus elle est élevée, plus le risque d'instabilité thermique du béton est important. L'échauffement rapide engendre de forts gradients thermiques d'où de fortes contraintes thermiques pouvant entraîner l'écaillage/ éclatement du béton. À la vitesse de chauffage de 1°C/min, des éprouvettes cylindriques (16x32cm) ont éclaté à une température du surface voisine de 300 – 350°C. A l'inverse des éprouvettes exposées à la vitesse de chauffage de 0.1°C/min n'ont pas éclaté. La faible vitesse de montée en température réduit donc le risque d'éclatement.

Taille des éprouvettes : un effet d'échelle est remarqué sur le comportement de diverses sections d'éprouvettes de béton. Des tests de chauffage sur des éprouvettes cylindriques 16x32 cm et 11x22 cm, ont montré plus d'éclatement avec les éprouvettes 16x32cm. La mesure de la perte de masse des éprouvettes au cours du chauffage a conduit à un séchage plus rapide des échantillons 11x22cm. Cette perte de masse peut atténuer la pression de vapeur et limiter l'éclatement.

Nature des granulats : le comportement des granulats est fortement lié à leur nature chimique et minéralogique. Les granulats siliceux présentent généralement un coefficient de dilatation thermique plus élevé que celui les granulats calcaires. [5]

I.6. Principales méthodes non destructives du béton à haute température

I.6.1 Introduction

Ils représentent des méthodes de reconnaissances couramment appliquées aux ouvrages. Comme leur nom l'indique, il s'agit de mesures n'endommageant pas les éléments de structure. Ces essais ont la particularité d'être rapides et faciles à mettre en œuvre. Les Contrôles Non Destructifs sont un ensemble de méthodes qui permettent l'évaluation de l'état d'intégrité d'un matériau, de structures, ou d'ensembles mécaniques, sans les dégrader. Ils peuvent être appliqués pratiquement à tous les stades de vie d'un élément:

- Production ;
- Utilisation ;
- Étude de vieillissement ;
- Maintenance.[8]

I.6.2 Inspections visuelles

Le contrôle visuel (symbole VT) est le plus simple et le plus naturel de tous les contrôles non destructifs. Il consiste à observer la surface par des moyens globaux comme l'œil humain ou par des moyens plus ponctuels comme une loupe ou des moyens grossissants. Le contrôle visuel permet la

détection de tout défaut débouchant en surface : fissures, rayures, porosités, retassures, gouttes froides, lignes, repliures, dédoubleures, criques, tapures, dépôts, traces de corrosion, dépôts, corps migrants, arrachement, etc...

Nous vous proposons une large gamme d'outils robustes, simples et économiques pour explorer l'inaccessible. [9]

I.6.3 Rebond (marteau de rebondissement de Schmidt)

Le Marteau Schmidt PCE-HT-225A est un instrument à usage facile. Il s'utilise surtout dans le secteur de la construction et dans d'autres secteurs industriels (vérification de la dureté Wickel de la marchandise en rouleaux...). Il est utile pour vérifier la résistance du béton et est basé sur le principe de Schmidt. La vérification s'effectue toujours sous une même énergie de test de 2,207 J. L'énergie cinétique de rebond initiale est donnée dans le duromètre comme une mesure de la dureté du béton, de la pression sur la surface ou de la résistance à la pression (kg/cm² ou sa conversion à N/mm²).

1. Plages de mesure: 100 ... 600 kg / cm² ($\sim 9,81 \dots 58,9 \text{ N / mm}^2$)
2. Précision: $\pm 18 \text{ kg / cm}^2$ ($\sim \pm 1,8 \text{ N / mm}^2$)
3. L'énergie de percussion: 2,207 J
4. Fabricant: PCE Instruments [10]

I.6.3.1 Mode opératoire d'utilisation pour un béton chauffé

La technique du béton chauffé est essentiellement utilisée en préfabrication afin d'augmenter considérablement l'exécution des travaux. Ainsi, la rotation des cycles de fabrication sera fortement accélérée. Pour vous donner une idée de cette rapidité, le démoulage peut se faire après 3 ou 4 heures après le bétonnage.

Nous pouvons y avoir recours par exemple pour la réalisation des poutrelles, des volées d'escalier, des cloisons, des dalles de planchers, etc.

Par conséquent, l'avantage principal réside dans la rapidité d'exécution des travaux. Cependant, comme tout a un coût, [...]. [11]

I.6.3.2 Facteurs influençant l'essai au scléromètre

La corrélation entre la résistance à la compression du béton et le nombre de rebonds variera en fonction de l'utilisation de différents granulats. Des corrélations naturelles sont obtenues dans les résultats en utilisant des granulats naturels tels que du gravier et des granulats concassés. L'utilisation

de granulats légers dans le béton nécessite un étalonnage spécial. Voici les facteurs importants qui affectent le test de régression de Hammer.

Le type de ciment : Le béton à base de ciment à haute teneur en alumine doit avoir une résistance à la compression plus élevée que le ciment Portland ordinaire. L'utilisation de ciment super-soufre dans le béton réduit la résistance à la compression de 50%.

Type d'état de surface et humidité: Le test de marteau de rebond fonctionne mieux pour le béton proche du tissu que le béton ouvert, le béton fin ne convient pas pour les essais avec un marteau de rebond, la résistance est surestimée en testant des surfaces flottantes ou à la truelle par rapport aux surfaces moulées et à la surface de béton humide s'il s'agit d'un test, il donnera une valeur de résistance inférieure, cette réduction peut réduire la résistance à 20% du béton sec.

Type de cure et âge du béton: Avec le temps, la relation entre la résistance et la dureté du béton changera, le traitement des conditions du béton et les conditions d'exposition à l'humidité affectent également cette relation, car le béton entre 3 jours et 90 jours est exempt de l'effet de l'âge et il est nécessaire d'avoir des courbes d'étalonnage spéciales pour le béton plus ancien.

Carbonatation à la surface du béton: La résistance la plus élevée est estimée par le marteau de rebond sur le béton exposé au carbonate et est estimée à 50% plus élevée, de sorte que le test doit être effectué en retirant la couche carbonisée et en testant avec le marteau de rebond sur une couche de béton non carbonatée.[12]

I.6.3.3 Corrélation entre la résistance et le Rebond

La figure I.15 présente la corrélation établie entre les mesures de la résistance à la compression par écrasement et les indices de rebondissement correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme puissance présentée par l'équation 1 avec un coefficient de corrélation $r = 0,957$ et une erreur type $s = 3,121$ MPa.

$$R = 0,013 I^{2,112}$$

Avec : R en MPa

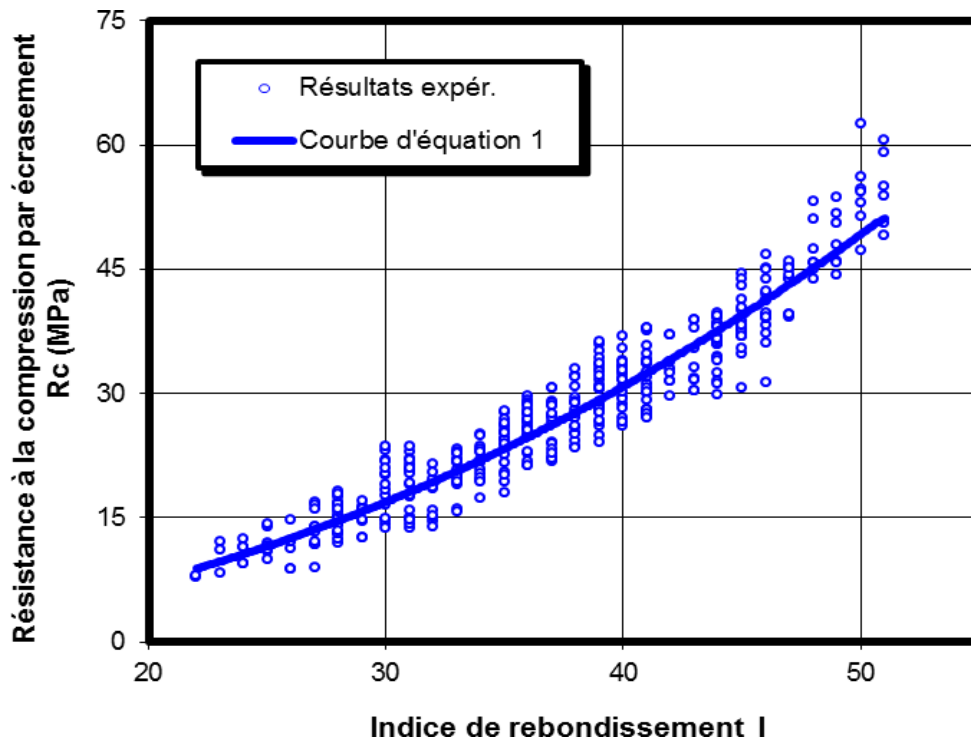


Figure I.15. Corrélation Résistance à la compression – Indice de rebondissement. [13]

D'après cette figure, on peut conclure qu'il existe une bonne corrélation ($r = 0,957$) entre les résistances à la compression par écrasement et les indices de rebondissement correspondants pour l'ensemble des bétons. A cet effet, on peut dire que les résultats trouvés par le scléromètre convergent bien vers ceux trouvés par écrasement [13]

I.6.4 Les ultrasons ou couramment nommée UPV

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue. D'après LESLIE et CHEESMAN, l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée.

Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc des cristaux semblables sont utilisées dans le récepteur JONS.R ET FACAOARU (1969). La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 Hz, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques. [3]

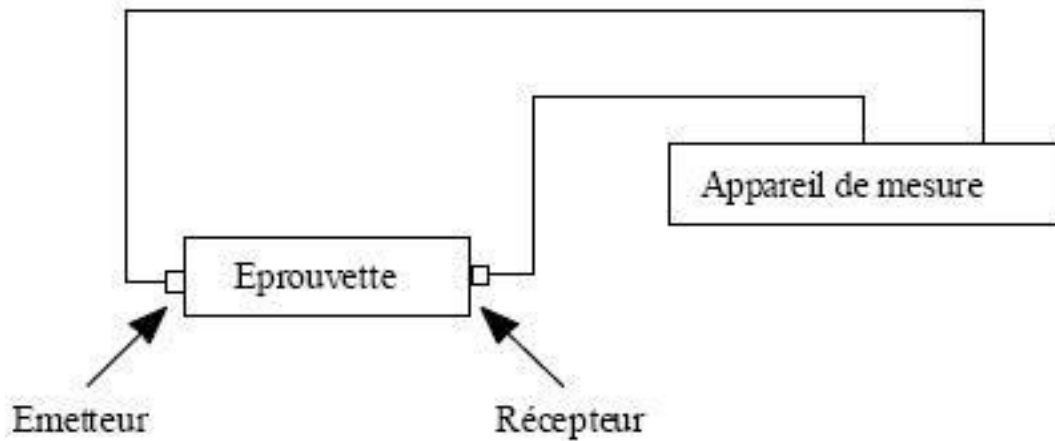


Figure I.16 : Appareil de mesure [3]

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonique et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tels que l'âge du béton, les conditions d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures. La technique ne peut pas être employée pour la détermination de la résistance de béton fabriqué par différents matériaux dont on ne connaît pas les proportions.

Ces facteurs représentent un inconvénient majeur des essais non destructifs dans lequel la propriété du béton que l'on mesure est affectée par divers facteurs dont l'influence est différente de ce qu'elle est dans la résistance du béton. Cette technique pour l'estimation de la résistance du béton in situ n'est pas encore considérée, dans la pratique, comme un outil de remplacement au cylindre standard et aux cubes, mais peut être utilisée comme une technique additionnelle, quand elle sera exécutée avec des essais de carottage. [3]

A l'utilisation de la valeur de la vitesse de propagation d'une onde sonore pour déterminer la résistance du béton, il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique entre les deux selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN (1984).

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

- Les ondes sonores se déplacent plus vite à travers un vide rempli d'eau qu'à travers un vide rempli d'air. Par conséquent les conditions d'humidité du béton influencent la vitesse des ondes sonores selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN(1984)

- La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs. Les matériaux d'interposition sont la vaseline de commerce, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de Glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.
- Une augmentation de la vitesse des impulsions se produit à des températures sous le point de congélation à cause du gel de l'eau; entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n'est pas subordonnée à la température. FELDMAN(1977).
- La présence d'acier d'armature dans le béton en particulier l'armature qui suit le trajet de l'onde entraîne une augmentation de la vitesse BUNGEY (1989). Il est par conséquent souhaitable et souvent indispensable de choisir des parcours d'impulsions qui ne sont pas influencés par la présence d'acier d'armature ou d'effectuer des corrections si l'acier se trouve sur le parcours de l'impulsion [3]



Figure I.17: Appareil d'auscultation sonore 58-E48 avec oscilloscope [3]

I.6.4.1 Facteurs affectant la vitesse ultrasonore

- Longueur du trajet.
- Test de dimension latérale de l'échantillon.
- La présence de barres d'armature
- La teneur en humidité du béton.
- L'effet de la longueur du trajet sera minime à condition qu'il ne soit pas inférieur à 100 mm lors de l'utilisation d'agrégats de 20 mm ou inférieur à 150 mm pour des agrégats de 40 mm [14]

I.6.4.2 Modèles de corrélation entre la résistance et la vitesse ultrasonore

La figure I.18, présente la courbe de corrélation établie entre les résistances à la compression par écrasement «Rc» et les vitesses ultrasoniques «V» correspondants. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme exponentielle présentée par l'équation 2 avec un coefficient de corrélation $r = 0,926$ et une erreur type $s = 4,063$ MPa.

$$R = 0,342 \text{ expos } (1,004 V)$$

Avec R en MPa et V en km/s. [13]

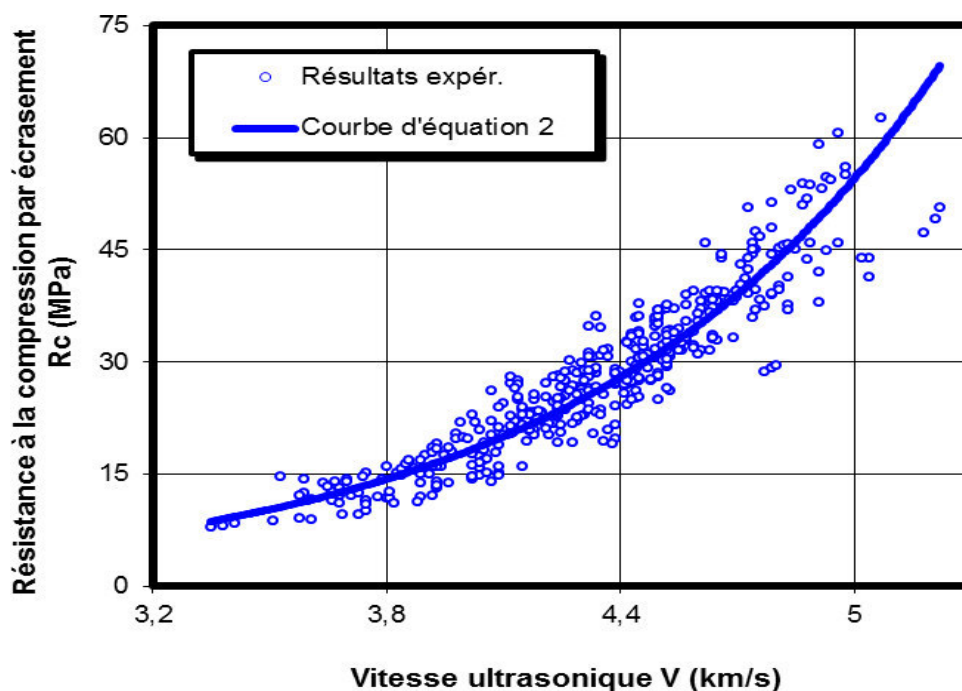


Figure I.18: Corrélation Résistance à la compression – Vitesse ultrasonique [13]

I.6.5.1 Définition du coefficient de corrélation linéaire

Le coefficient de corrélation linéaire, noté r , évalue le lien entre deux variables numériques. Sa valeur peut se situer entre -1 et 1. Une valeur nulle du coefficient indique qu'on ne peut dégager aucune liaison dans la variation des valeurs des 2 variables. Inversement un coefficient qui se situe vers 1 indique une forte liaison. C'est également le cas si le coefficient se rapproche de -1. Dans ce cas, la liaison est également forte mais avec une variation inverse.

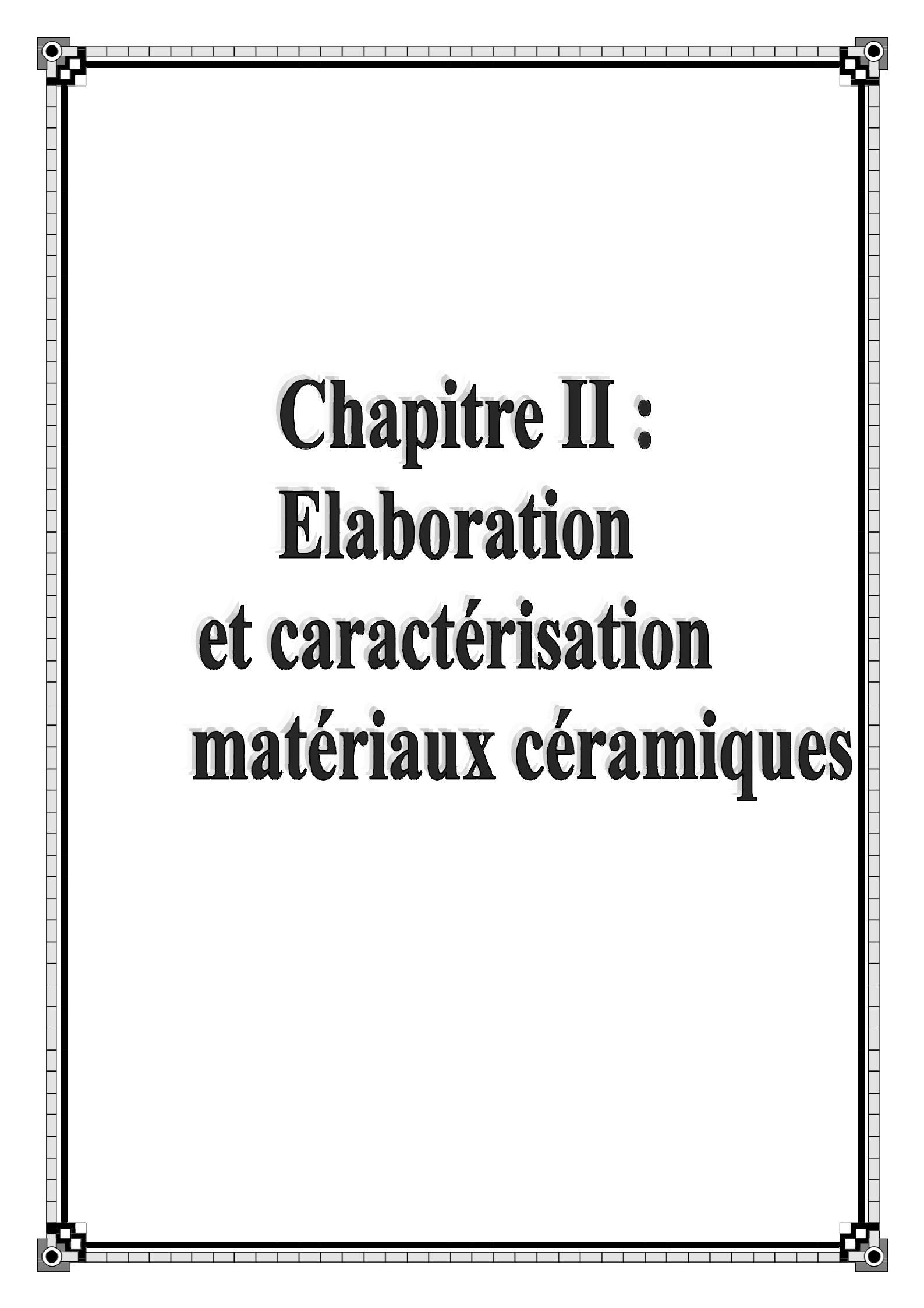
Ainsi, si on constate dans une étude que l'âge et le temps passé dans le magasin ont un coefficient de corrélation de 1, cela signifie que plus une personne est âgée plus elle va passer du temps dans le magasin. Si la valeur absolue de ce coefficient est bien inférieure à 1, on ne peut pas lier

l'âge à la présence en magasin. Des jeunes peuvent passer peu ou beaucoup de temps et il en est de même pour des personnes plus âgées. [15]

I.7 Conclusion

Nous avons fait une revue générale du béton, de ses composants et propriétés en cas de haute température, ainsi que l'étude des propriétés physiques, mécaniques et thermiques avec la température en plus de l'instabilité thermique du béton.

Nous avons également expliqué dans le cas présent que la qualité du béton est évaluée dans les domaines de la construction en effectuant des tests destructifs et non destructifs. Ces dernières mesures sont considérées comme bonnes pour la construction, comme les scléromètres et les méthodes de vitesse d'impulsion ultrasonore. Un grand besoin d'outils de contrôle destructif pour évaluer les organes tangibles dans les structures.



Chapitre II :
Elaboration
et caractérisation
matériaux céramiques

II.1 Historique

L'art de fabriquer des poteries en modelant et en cuisant l'argile a été pratiquée par les civilisations les plus anciennes et d'ailleurs l'examen des objets en terre cuite relevés au cours des fouilles est l'un des meilleurs outils dont disposent les archéologues. La poterie remonte à moins 15.000 ans avant notre ère ; elle est devenue une industrie en Égypte depuis -5.000 ans et l'usage du kaolin est avéré en Chine depuis 4.000 ans au moins. [16]



Figure II.1 : Une cour de séchage devant un atelier de poterie. [16]

II.2 Définition

Les céramiques sont définies, selon le Larousse comme étant « Art de fabriquer les poteries, fondé sur la propriété des argiles de donner avec l'eau une pâte plastique, facile à façonner, devenant dure, solide et inaltérable après cuisson ». La société américaine ASTM (American Society for Testing and Matériels) définit une céramique comme : « un article ayant un corps vitrifié ou non, de structure cristalline ou partiellement cristalline, ou de verre, dont le corps est formé de substances essentiellement inorganiques et non métalliques et qui est formé par une masse en fusion qui se solidifie en se refroidissant, ou qui est formé et porté à maturité, en même temps ou ultérieurement, par l'action de la chaleur. » Les céramiques sont des matériaux inorganiques, non métalliques, nécessitant de hautes températures lors de leur fabrication. Il s'agit en général d'oxydes métalliques et plus généralement de métaux oxydés, mais pas uniquement. Les céramiques ont en général une structure cristalline, parfois associée à une phase amorphe. Lorsque la majorité est amorphe, on parle de vitrocéramique ; lorsque la totalité est amorphe, on parle du verre. [16]

II.3 Matières première

Pour la confection de ses pâtes, l'industrie céramique fait appel à des matières premières très variées qui peuvent être classées en quatre catégories :

- Matériaux plastiques.
- Matériaux fondants.
- Matériaux dégraissants.
- Matériaux réfractaires. [16]

I.3.1 Matériaux plastiques :

Ce sont essentiellement les argiles. Les argiles sont des roches constituées de minéraux essentiels qui sont les minéraux argileux, associés à des minéraux accessoires et à des impuretés diverses. [16]

I.3.1.1 Minéraux Argileux :

Du point de vue minéralogique, les minéraux argileux sont des silicates d'alumine hydratés, parfois plus ou moins magnésiens ou ferriques, parfois légèrement calciques et même alcalins. Ils sont classés en plusieurs groupes dont deux seulement nous intéressent, car ils contiennent les principaux constituants des argiles utilisées couramment dans l'industrie céramique. [16]

I.3.1.1.1 Groupe de la kaolinite:

La kaolinite : $(\text{Si}_2)(\text{Al}_2)\text{O}_5(\text{OH})_4$; Elle est blanche quand elle est pure.

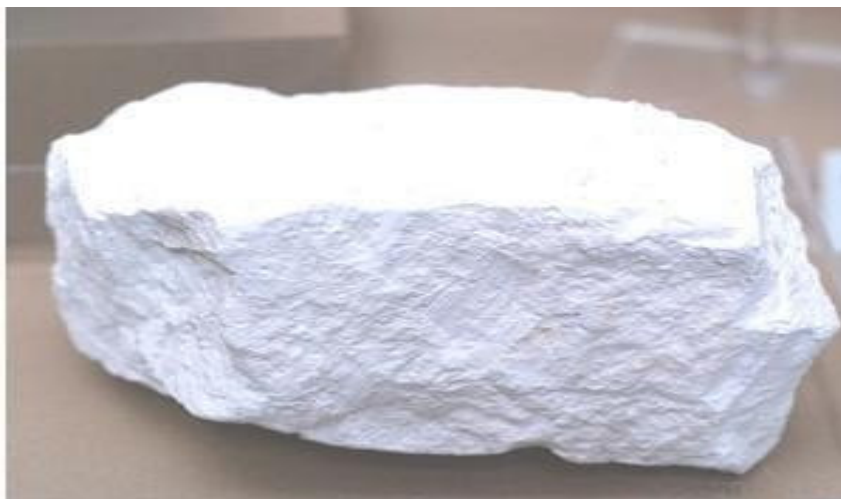


Figure II.2: le kaolin [16]

Les kaolins proviennent essentiellement de l'altération, dans certaines conditions, des feldspaths contenus dans les roches granitiques acides. Deux types de gisements se rencontrent :

***Gisements "in situ"** : la roche est altérée sur place, sur une épaisseur parfois considérable. La masse altérée est friable bien que la structure de la roche originale soit encore conservée. Le kaolin doit être séparé du reste des minéraux qui constituent la roche. Pour que l'opération soit rentable, il faut qu'on puisse extraire de la roche altérée au moins 25 % de fraction kaolinique inférieure à 40 microns.

***Gisements sédimentaires** : les roches. Granitiques kaolinisées ont été érodées. Leurs éléments constitutifs ont été balayés, transportés par les eaux courantes et se sont déposés dans des bassins fluviaux, lacustres ou Fluvio-lacustres, au voisinage des massifs précédents. Ces minéraux sont alumineux. Ils possèdent une structure en feuillets à deux couches, les feuillets étant séparés par des couches d'eau. [16]

I.3.1.1.2 Groupe des micas

Ce sont des minéraux aluminomagnésiens, potassiques et parfois calciques et ferreux. La formule structurale est une formule variable, c'est pourquoi on parle des illites. Ils sont surtout caractérisés par la présence de potassium. Ils ont une structure en feuillets à 3 couches et la formule générale peut s'écrire : $(\text{Si}_3 \text{ 6 A}_{10} \text{ 4 O}_{10}) \text{ Al}_2 \text{ K}_{0.4} (\text{OH})_2$.



Figure II.3: Les illites [16]

Les illites sont les minéraux argileux les plus répandus dans la nature et caractérisent surtout les milieux marins. Elles se rencontrent dans les séries sédimentaires de caractère lagunaire, en association avec des dolomies, du gypse, du sel (Trias par exemple).

Elles caractérisent également le milieu de sédimentation, marin au sein duquel elles peuvent en outre, se former- directement par précipitations chimiques. C'est dire qu'on peut les rencontrer dans presque toutes les formations géologiques sédimentaires où elles forment des séries parfois très épaisses (marnes du Lias par exemple). [16]

I.3.1.1.3 Groupe montmorillonite

Les montmorillonites peuvent être détritiques, par héritage des sols ou des sédiments plus anciens qui les contiennent. Elles peuvent être néoformées en milieu alcalin à partir des autres silicates ou à partir des verres volcaniques.

Elles ont une foule d'applications économiques, dans les industries chimiques, les boues de forage, etc.



Figure II.4: Les montmorillonites [16]

Du point de vue de l'industrie céramique, on distingue :

-Les argiles réfractaires, utilisées dans la fabrication des réfractaires silico-alumineux. Ce sont des argiles essentiellement kaolinitiques, riches en alumine (25 à 45 %) et renfermant peu d'alcalins. Elles peuvent prendre des colorations diverses.

-Argiles pour produits blancs (porcelaine, faïence fine, vitreuse). La nécessité de cuire blanc impose des teneurs en Fe_2O_3 inférieures à 1 % ce qui est très rare dans la nature. Ce sont des argiles généralement kaolinitiques, mais moins riches en alumine et plus riches en silice que les précédentes. On les utilise en mélange avec le kaolin. Leur rôle est surtout d'augmenter la plasticité de la pâte, le kaolin seul étant peu plastique.

-Argiles pour produits grésés elles doivent être naturellement grésantes, c'est-à-dire renfermer des fondants (alcalins et alcalino-terreux) et de préférence plastiques, la coloration étant indifférente. Ce sont le plus souvent des argiles mixtes, illito-kaolinitiques.

-Argiles pour produits de terre cuite et faïences communes. Ce sont des argiles de type extrêmement varié, généralement impures, mais renfermant le plus souvent un fort pourcentage d'illites. [16]

II.3.2 Matériaux Fondants

Ce sont des matériaux ayant un point de fusion assez bas. Leur rôle est d'allonger le palier de vitrification de la pâte céramique en abaissant son point de vitrification sans abaisser son point de fusion.

L'industrie céramique utilise des fondants de nature variée. Nous n'insisterons que sur le fondant le plus employé et le plus recherché : le feldspath. [16]

II.3.2. 1 Minéralogie

Les feldspaths sont des aluminosilicates alcalins ou alcalinoterreux comprenant de nombreuses variétés. Tout feldspath est constitué par trois composants bien définis, constituant les pôles d'un diagramme triangulaire et qui sont :

L'orthose $(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8\text{K}$ L'albite $(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8\text{Na}$ L'anorthite $(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8\text{Ca}$

L'industrie céramique recherche surtout les feldspaths potassiques orthose, microcline : $(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8\text{K}$, qui possèdent un palier de viscosité assez large (1 200-1 400°). Mais l'albite $(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8\text{Na}$ peut être également utilisée. En fait, dans la nature, on a presque toujours affaire à des feldspaths potas-sico-sodiques ou sodo-potassiques et plus rarement aux espèces pures. [16]

II.3.2.2 Gisements

Le feldspath est un des constituants essentiels des roches cristallines et cristallophylliennes. La plupart du temps, on le rencontre en cristaux de dimensions modestes, noyé au milieu des autres constituants de la roche (quartz, micas, ferromagnésiens). Son extraction nécessite un traitement délicat et très onéreux dont la mise au point n'est pas encore suffisante pour en envisager l'application au stade industriel. Cependant, certaines roches éruptives, telles que les granites, alcalins et les pegmatites sont constituées de cristaux bien individualisés et souvent de grande dimension. Certaines sont particulièrement riches en feldspath et pauvres en minéraux ferromagnésiens. [16]



Figure II.5: Un gisement de feldspath découvert dans le Cameroun [16]

II.3.3 Matériaux de graissant

Ce sont des matériaux inertes qui, convenablement pulvérisés, ont un coefficient de retrait très faible. Leur rôle est de pallier les inconvénients occasionnés par une plasticité excessive des argiles. Ils fournissent un squelette à la pâte, augmentent la porosité, aident au séchage et diminuent le retrait.

Les principaux dégraissants sont constitués par de la silice SiO_2 ou quartz qu'on trouve dans la nature sous différents aspects :

- Sables quartzeux détritiques issus du démantèlement des roches cristallines et des roches sédimentaires siliceuses lors des périodes d'érosion. Ils sont fréquents dans les formations sédimentaires.
- Grès quartzeux : ce sont des sables quartzeux qui ont été consolidés par un ciment siliceux.
- Quartzites : ce sont des roches compactes constituées de cristaux de quartz jointifs. La silice a cristallisé autour des grains dont la taille s'est progressivement accrue, en occupant tous les vides du sable initial :
- Quartz filonien : le quartz se présente quelquefois en filons de dimensions variables encaissés dans les roches des séries cristallophylliennes. En raison de la dureté et de la résistance du quartz, ces filons affleurent très bien et forment des arêtes au milieu des terrains encaissants [16].

II.3.4 Matériaux Réfractaires

La gamme des matériaux réfractaires utilisés en céramique est également très étendue. [16]

II.3.4.1 Minéraux Magnésiens

II.3.4.1.1. La Dolomite

C'est un carbonate double de calcium et de magnésium : $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, avec des teneurs théoriques de 54,35 % en CaCO_3 et 45,65 % en MgCO_3 . La dolomite est le constituant essentiel de certaines roches appelées dolomies. Ils sont formés par deux processus différents.

-La précipitation directe où les couches sont généralement peu épaisses et associées à d'autres dépôts lagunaires (gypse, anhydrite, sel gemme).[17]

-Par transformation de roches calcaires au contact de solutions magnésiennes. La dolomite se substitue progressivement à la calcite et finit par envahir toute la roche : c'est le phénomène de dolomitisation.

De ce fait, les gisements sont irréguliers, tant en volume, qu'en qualité, mais ils peuvent parfois, constituer des masses considérables.

La dolomie, décarbonatée vers 900-1 000°C, devient un excellent matériau réfractaire, frit table à haute température, mais qui s'altère au contact de l'humidité atmosphérique. [16]

II.3.4.1.2. La Magnésite

C'est le carbonate de magnésium $MgCO_3$, il peut avoir trois origines :

- Altération de certains silicates magnésiens (divine, serpentine).
- Substitution, dans -les calcaires, au contact de solutions magnésiennes (comme pour la dolomite).
- Précipitation directe dans les lagunes : giobertite sédimentaire.

En céramique, on utilise la giobertite sous forme calcinée caustique, c'est-à-dire calcinée à un degré tel qu'il subsiste 2 à 10 % de CO_2 , et que la magnésie obtenue montre des capacités d'absorption et d'activité. Dans l'industrie des réfractaires, la giobertite est utilisée sous la forme calcinée à mort, à une température supérieure à 1 500°.

La giobertite est un minéral rare et on ne connaît aucune exploitation en France bien que des indices aient été découverts assez récemment dans les Basses-Pyrénées, et dans les Pyrénées Orientales, au Sud-Est de Céret. [16]

II.3.4.2. Silicates D'Alumine

Ce sont les minéraux du groupe de la sillimanite qui comprend : la sillimanite, l'andalousite, le disthène ou cyanite. Ces trois minéraux ont la même formule : $SiO_2Al_2O_3$. Ils présentent la propriété caractéristique de se transformer par calcination prolongée à haute température en mellite ($2SiO_2, 3Al_2O_3$) substance hautement réfractaire.

Les silicates d'alumine se rencontrent dans les roches métamorphiques alumineuses (schistes, micaschistes, gneiss) associés à d'autres minéraux. [16]



Chapitre III : Matériaux et Procédures Expérimentales

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que leurs caractéristiques et on présente les calculs de formulation de notre béton et d'écrit les différents modes opératoires des essais destructives (compression) et non destructives (l'ultrason, scléromètre).

III.2 Caractéristiques des matériaux

Les matériaux utilisés dans notre étude sont des matériaux locaux, nous avons effectué des études expérimentales sur leurs caractéristiques au niveau du laboratoire de Génie Civil à l'Université Mohamed Boudiaf - M'sila.

III.2.1 Ciment

Le ciment utilisé pour l'ensemble des compositions est un ciment Portland au calcaire (CEM II/A-L 42,5N). Obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts (calcaire) et provenant de la cimenterie Lafarge de Ain El Kebira, (Wilaya de Sétif). Les résultats obtenus par voie chimique et par la Détermination des oxydants sont affichés dans les tableaux ci-dessous.



Figure III.1 Poudre de ciment



Figure III.2 : Sacs de ciment Gica Ain Elkebira

III.2.1.1 Composition

- Clinker: (80 à 94)%
- Ajoute calcaire: Catégorie A (06 à 20)%
- Constituant secondaire: (De 0 à 5)%

III.2.1.2 Caractéristique Chimiques

Tableau III.1: Caractéristiques Chimiques des Ciments Portland aux Ajouts.

	Teneur en sulfates (SO ₃)	Teneur en chlorures (Cl)
	≤ 3,5%	≤ 0,10%

III.2.1.3 Caractéristique physiques

- Temps de début de prise mesuré sur pate pure ≥ 60 minutes;
- Retrait à 28 jours d'âge mesuré sur mortier normal s 1000 mm ;
- Stabilité mesurée sur éprouvette de pate pure s ≤ 10 minutes.

III.2.1.4 Caractéristique Mécaniques

Les Résistances mécaniques à la compression font apparaitre une valeur moyenne des résultats à 28 jours voisine de 42,5 N/mm².

Les valeurs limites garanties sont :

$$\geq 10,0 \text{ N/mm}^2 \text{ à } 02 \text{ jours ;}$$

$$\geq 42,5 \text{ (N/ mm}^2) \text{ \& } \leq 62,5 \text{ (N/mm}^2) \text{ à } 28 \text{ jours.}$$

III.2.1.5 Domaine d'emploi

- Travaux de fondation, souterraine, l'assainissement ;
- Génie civil (ouvrage et route) ;
- Les bétons armés et non armés, préfabriqués ou précontraints, étuvés et auto étuvés ;
- Travaux construction (logement, locaux commerciaux et industriels) ;
- Produits dérivés du ciment

III.2.2 Poudre de céramiques

La poudre de céramique est obtenue après broyage des résidus céramiques et après passage sur un tamis de 80 μm pour atteindre la pureté souhaitée. Les caractéristiques de la poudre de céramique sont présentées dans le tableau (IV.3).



Figure III.3 : Poudre de céramiques

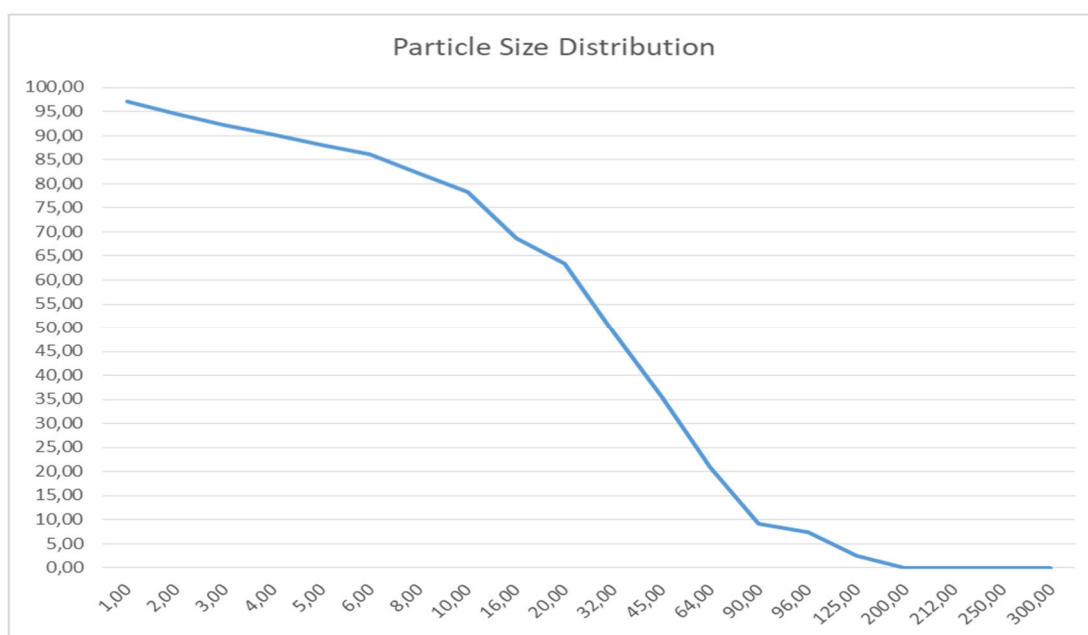


Figure III.4 : Distribution granulométrique de la poudre de céramique

Tableau III.2. Caractéristiques physiques de la poudre de céramique

Couleur	Structure	Masse Volumique	Masse spécifique	S.S.B
Blanche	Microcristalline	650,0 kg/m ³	2,68 g/cm ³	4023 cm ² /g



Figure III.5 : Pesage de l'échantillon



Figure III.6 : Mesure de Blaine

La composition chimique est indiquée dans le tableau (III.4). Elle a été déterminée par l'essai de Spectrométrie à Fluorescence aux rayons X au laboratoire de la cimenterie de Lafarge hammam Dalâa. L'analyse s'effectue sur un échantillon finement broyé, afin de déterminer sa composition chimique.

Tableau III.3. Composition chimique de la poudre de céramique

Echel perle 28 /04/2021	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	LSF	SM	AM	Paf
PERLE	69,00	21,05	1,98	1,23	0,37	0,09	3,61	0,89	0,56	3,00	10,63	0,39

PAF : perte au feu .

AM : module alumino ferrique

LSF : lime saturation factor

SM : module silicique

Les analyses granulométriques laser sont données sur la figure (III.5).



Figure III.7 : Appareille PSD

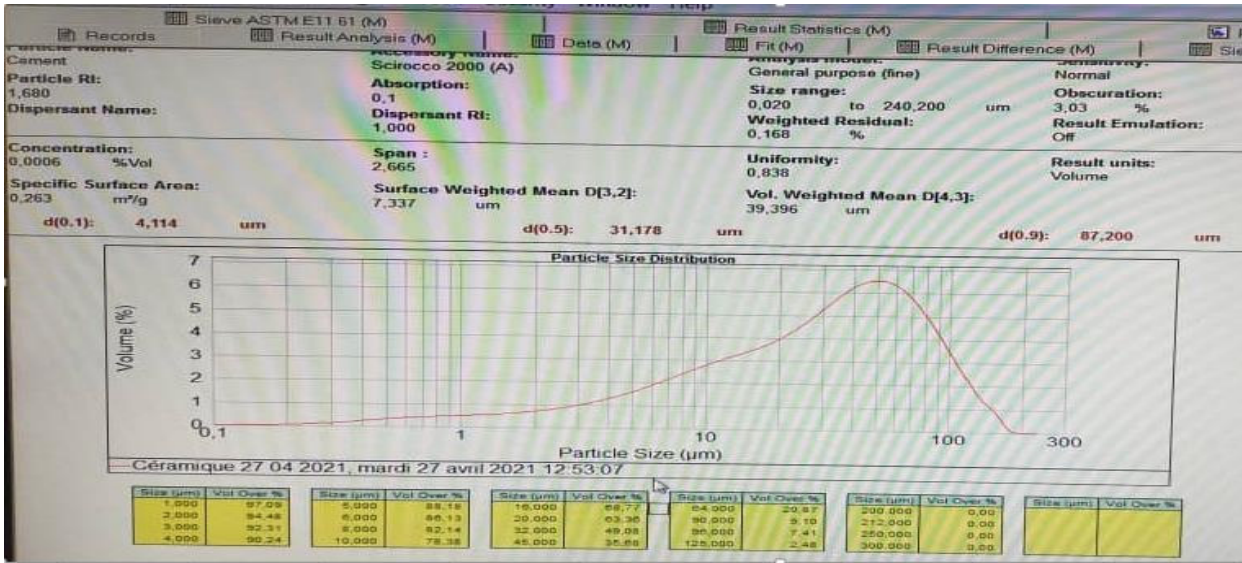


Figure. III. 8 : Distribution granulométrique de la poudre de céramique

III.2. 3 Super plastifiant

Le MEDAPLAST SP40 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau à base de polymères combinés, fourni par l'entreprise GRANITEX (Alger-Algérie). Il est recommandé dans la réalisation des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton.

L'adjuvant MEDAPLAST 40 permet d'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et long terme. Il est applicable à tout type de ciment conforme à la norme EN934-2 NA 774. La page de dosage recommandée est : 0,6 à 2,5% du poids de ciment, soit 0.5 L à 2 L par 100 Kg de ciment. Ses caractéristiques physiques et chimiques sont représentées dans le tableau (III.4).

Tableau III.4. Caractéristiques de MEDAPLAST SP 40

Super plastifiant	Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Medaplast SP 40	Liquide	Brun clair	8.2	1.2±0.01	< 1g /l	40%

III.2.4 Eau de gâchage :

Tableau III.5: Caractéristiques chimiques de l'eau.

La mesure	Teneur en (mg/l)
Le temps de prise d'échantillon	10/05/2005 (9 :25)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl-	234.3
Sulfate So-4	351.6
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Sodium Na ⁺	/
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Rééligibilité d'oxydation en eau	1024

III.2.5 Caractéristique du sable

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

III.2.5.1 Essai d'analyse granulométrique [NF EN 933-1] :

Selon la norme indiquée, les résultats obtenus sont représentés dans le (Figure III.9 .) suivant :

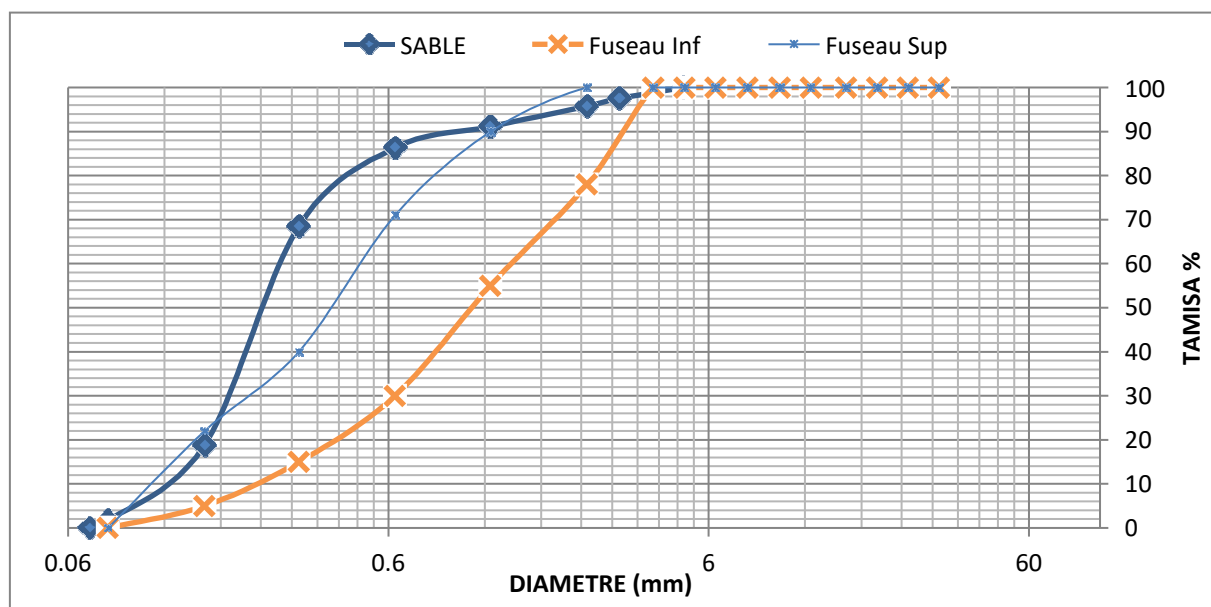


Figure III.9 : Courbe analyse granulométrique du sable

III.2.5.2 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 par les tamis de maille : [0,16-0,3150,63-1,25-2,5 ET 5(mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$Mf = \frac{\sum Rc}{100}$$

Où : Rc : Refus cumulé

Pour le sable de Boussaâda : = 1,04

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 : $1 < Mf < 1.5$ C'est un Sable très fin

III.2.5.3 Masse volumique absolue [NF P18-555]



Figure III.10: La masse volumique absolue du sable

Calculée par la formule : $\rho_{abs} = \frac{M}{V_1}$, M=300g. Les résultats obtenus en (Tableau III.6).

Tableau III.6: La masse absolue de sable en (g/cm3).

Essais	Mg	(ml)	V (ml)	ρ_s en (g/cm3)
1	300	300	428	2,38
2	300	300	429	
3	300	300	419	

III.2.5.4 Masse volumique apparente [NF P18-555]



Figure III.11 : La masse volumique apparente du sable

A- Masse volumique à l'état lâche

Qui est définie : $\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$ et les résultats en (Tableau III.7):

ρ_{app} : Masse volumique à l'état lâche

M1 : Masse du récipient à vide.

M2 : Masse du récipient plus le sable.

Vr : Volume du récipient.

B- Masse volumique à l'état compact

Qui est définie: $\rho_c = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$ Le Tableau III.7 représente les résultats obtenus :

ρ_c : Masse volumique à l'état compact

Tableau III.7: La masse volumique apparente à l'état lâche et l'état compact en (Kg/l).

	N ° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	VR (ml)	ρ_{app} (Kg/l)	ρ_{app} moy
lâche	1	115	1412,8	900	1,442	1,471
	2	115	1449,5	900	1,482	
	3	115	1456,1	900	1,490	
COMPACT	1	115	1670,9	900	1,728	1,739
	2	115	1682,3	900	1,741	
	3	115	1687,5	900	1,747	

III.2.5.5 Porosité

C'est le volume des vides entre les grains du sable .La porosité peut être déterminée par la formule suivante : $P(\%)=100- (Masse\ volumique\ apparente / Masse\ volumique\ absolue)X100$

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

ρ_{app} : Masse volumique à l'état lâche

ρ_{abs} : Masse volumique absolue

III.2.5.6 Compacité

La compacité d'un matériau est la proportion de son volume réellement occupée par la matière solide qui le constitue, c'est –à-dire le rapport du volume absolue des grains au volume apparent du matériau

$$C(\%) = 100 - P$$

P(%): Porosité en pourcentage

III.2.5.7 L'indice des vides

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide avec P en pourcent (%).

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

Vv : volume du vide

Vs : volume du solide

Tableau III.8: Porosité, compacité et indice des vides.

Porosité P(%)		Compacité C(%)		Indice des vides e (%)	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
38,19	26,93	61,81	73,07	0,61	0,36

III .2.5.8 Equivalent de sable [NF EN 933-8]



Figure III.12 : Equivalent de sable

Cet essai qui s’effectue sur la fraction de sol ou de granulat passant, au tamis à mailles carrés de 5 mm, est réalisé pour déterminer le degré de pollution d’un sable

- ❖ Equivalent de sable visuel (E.S.V) : $E.S.V = \frac{h2}{h1} \times 100 (\%)$
- ❖ Equivalent de sable piston (E.S.P) : $E.S.P = \frac{h2'}{h1} \times 100(\%)$

Tableau III .9 : Résultats obtenus pour l’équivalent de sable.

Essais	h1(cm)	h2(cm)	E.S.V (%)	h2'(cm)	E.S.P (%)
1	10,8	9,1	84,25	8,7	80,55
2	10,1	8,9	80,18	8	79,20
3	10,6	9,2	86,79	8,2	77,35

h1: hauteur du sable plus tube.

h2: hauteur du sable.

h2': hauteur du sable avec piston

E. S. V moy =83,74% Et E. S. P moy =79,03%

Pour le sable de Boussaâda : C’est un Sable très propre

III.2.5.9 Teneur en eau [NF P 18-555]

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d'eau dans le sable étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 300 grammes de sable sec.

Les résultats obtenus en (Tableau III .10) que :

$$W = (Mh - Ms) Ms * 100 (\%)$$

Mh: Masse des granulats humides.

Ms: Masse des granulats secs.

Tableau III .10 : Résultats obtenus pour teneur en eau

Essais	Mh(g)	Ms(g)	W(%)	W moy(%)
1	300	298,3	0,56	0,61
2	300	299	0,33	
3	300	297,2	0,94	

III.2.6 Caractéristique du gravier utilisé

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (carrière COSIDER).

- ✓ Fraction 3/8.
- ✓ Fraction 8/16.

III.2.6.1 Analyse granulométrique [NF EN 933-5]

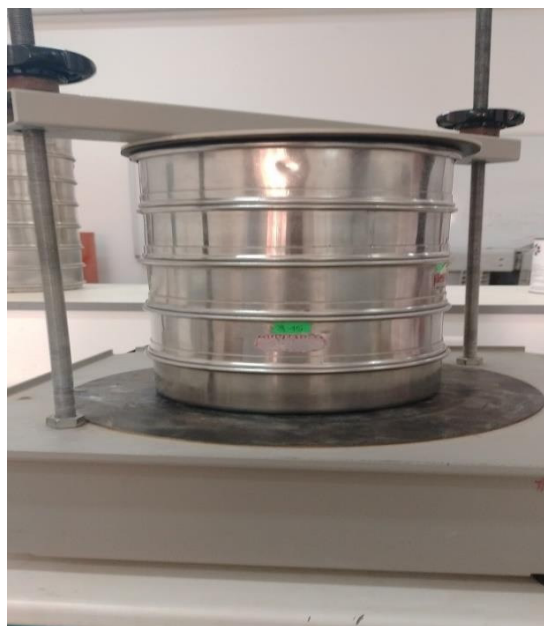


Figure III.13: Analyse granulométrique du gravier

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...).

- Fraction 3/8 M G3/8 = 2 kg.
- Fraction 8/16 M G8/16=2 kg.

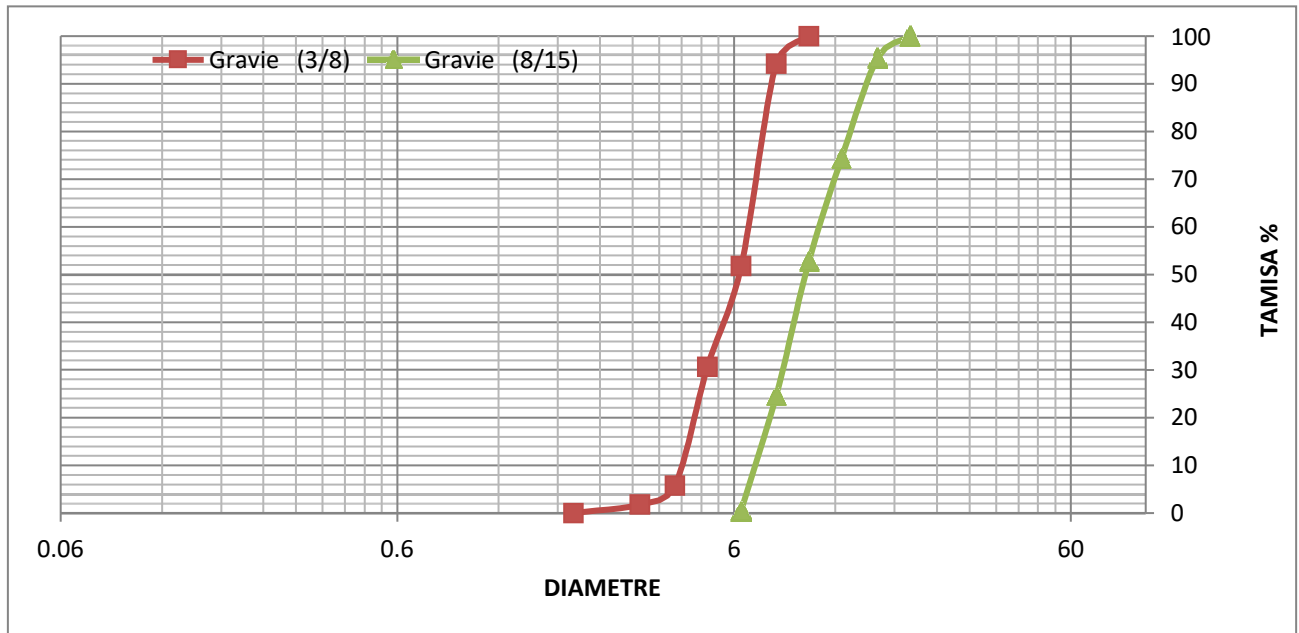


Figure III.14: Courbe analyse granulométrique d'un gravier de deux fraction (3/8, 8/16).

III.2.6. 2 Les caractéristiques physiques des graviers utilisés

III.2.6.2.1 Masse volumique apparent [NF P 18-554]

Est déterminée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{(M2 - M1)}{V}$$

M1 : Masse du récipient à vide.

M2 : Masse du récipient avec graviers.

Tableau III.11: Masse volumique apparente du gravier

Gravier	V(l)	M1 (Kg)	M2(Kg)	ρ (kg/l)	ρmoy (kg/L)
3/8	7	2,625	12,409	1,397	1,403
		2,625	12,419	1,399	
		2,625	12,519	1,413	
8/16	10	3,465	17,343	1,387	1,383
		3,465	17,326	1,386	
		3,465	17,235	1,377	

III..2.6.2.2 Masse volumique absolue

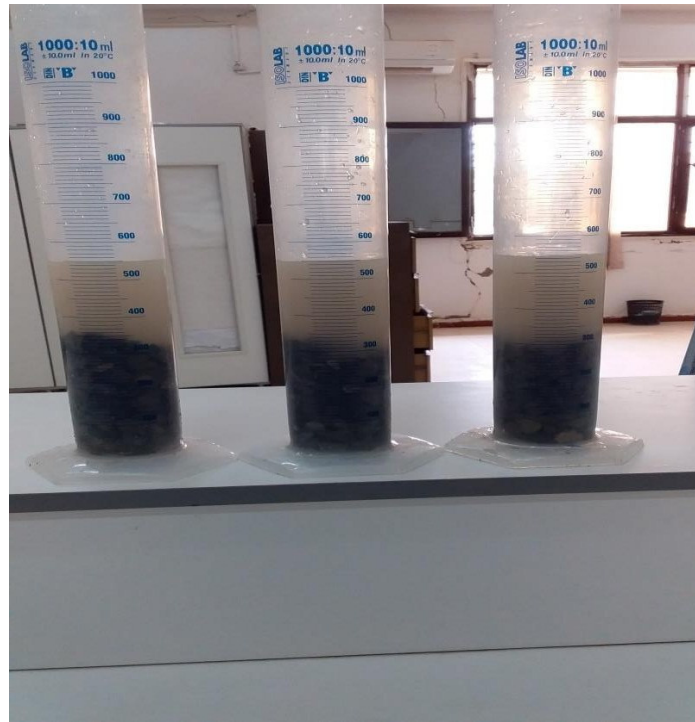


Figure III.15 : La masse volumique absolue du gravier

Le mode opératoire est même effectuée pour le sable, et les résultats sont regroupés dans le (Tableau III.12).

$$\rho_{abs} = \frac{(M2 - M1)}{V}$$

Tableau III.12: La masse volumique absolue du gravier.

Gravier	ESSAIS	M (g)	Ve (cm)	V (cm)	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{moy} (g/cm ³)
3/8	1	400	400	547	2,72	2,68
	2	400	400	550	2,66	
	3	400	400	550	2,66	
8/16	1	400	400	550	2,66	2,66
	2	400	400	549	2,68	
	3	400	400	550	2,66	

III..2.6.2.3 Compacité, porosité et l'indice de vide [NF EN 1097-4]

On calcule les paramètres (Tableau III.11:) et les mêmes formules que le gravier.

Tableau III.13: Porosité, compacité et l'indice des vides.

Fraction du gravier	Porosité P(%)	Compacité C (%)	L'indice des vides e (%)
3/8	47,64	52,36	0,90
8/16	48,01	51,99	0,92

III.2.6.2.4 Teneur en eau du gravier [NF EN 1097-6]

Tableau III.14: Teneur en eau des graviers.

Gravier	N°d'essai	Mh (g)	Ms (g)	W(%)	Wmoy(%)
Gravier 3/8	1	500	499,2	0,16	0,11
	2		499,6	0,08	
	3		499,5	0,1	
Gravier 8/16	1	500	499,1	0,18	0,13
	2		499,3	0,14	
	3		499,6	0,08	

III.2.7. Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés

III.2.7.1 Essai Los Angeles [NF EN 1097- 2]



Figure III.16 : Los Angeles

La résistance à la fragmentation par chocs s’exprime par la quantité sans dimension est appelée, par définition, coefficient de Los Angeles du matériau (Figure III.14), que :

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

M : la masse du matériau soumis à l’essai m : la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm

Tableau III.15: Caractéristiques mécaniques du gravier recyclé.

Gravier	Masse initiale M (kg)	Masse m (kg)	coefficient de los Angeles LA (%) 3
3/8	5	1,22	24,4
8/16	5	1,015	20,3

Le (Tableau III.16) représente la classification des roches en fonction du coefficient Los Angeles.

Tableau III.16: Classification des roches en fonction du coefficient LA

Coefficient LA	Nature de los Angeles LA
<20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
<50	Très tendre

- Le gravier (3/8) : est un gravier de nature dure.
- Le gravier (8/16) : est un gravier de nature Très dure.

III.3 Préparation et conditionnement des échantillons de béton

Pour formuler les bétons ordinaires, la méthode la plus utilisée dans l'industrie est celle dite de Dreux- Go risse. Elle propose différents abaques pour estimer les dosages en eau et en ciment permettant d'obtenir la résistance et l'affaissement souhaités. Elle se distingue également par une méthode originale pour proportionner les granulats, qui consiste à caler la courbe granulométrique du mélange sable/gravillons sur une courbe de référence. [18]

III.3.1 La formulation de la composition des bétons ordinaire

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.

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. Point B :
- **X = 16 mm**

➤ $Y = 100 \%$

Point de brisure A à pour coordonnées :

➤ En l'abscisse : $D_{MAX} \leq 25$, $X = D/2$;

➤ 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.

➤ Dosage de ciment $C = 350 \text{ kg/m}^3 \rightarrow K = 2$, pour les granulats concassé.

Pour le dosage en ciment de 350kg/m³, et avec un granulats concassé et une vibration normale et le module de finesse

➤ $M_f = 1,04$ est :

➤ $K_s = -8,76$

➤ $K = 2$

➤ $K_p = 0$

Point A: $X = D/2 = 16/2 = 8\text{mm}$

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

$$Y = 50 - \sqrt{D - 8,76 + 2} = 39,24$$

✓ Dosage des granulats:

La courbe granulair de référence OAB doit être tracée sur le même graphe (Graphe -2-) que les courbes granulométriques des granulats composants.

On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granulair du premier, au point à 5% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats S, G3/8, G8/15 Les résultats obtenus sont :

$$\begin{aligned} \text{Sable (S)} &= 34\% \\ \text{Gravier (G3/8)} &= 12 \% \\ \text{Gravier (G8/15)} &= 54 \% \end{aligned}$$

✓ coefficient de compacité γ : $D = 16$ donc : Béton plastique $\gamma = 0$, Vibration puissante Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

• sable roulé et gravier concassé = - 0.01 ; Donc $\gamma = 0.805$

✓ détermination de volume des granulats:

$$VC = \frac{C}{3.10} = \frac{350}{3.10} = 112,90 \text{ l/m}^3$$

$$Vg = VT - VC$$

$$Vg = 1000\gamma - VC$$

$$Vg = (0.805) - 113 = 692,1 \text{ l/m}^3$$

✓ détermination du volume absolu de chaque granulat:

- *Volume absolu du sable* = $692,1 \times 0,34 = 235,314 \text{ P}$
- *Volume absolu de gravier (3/8)* = $692,1 \times 0,12 = 83,052 \text{ P}$
- *Volume absolu de gravier (8/15)* = $692,1 \times 0,54 = 373,734 \text{ P}$

✓ Les masses spécifiques sont :

- Sable = $2,38 \text{ g/cm}^3$
 - Gravier (3/8) = $2,68 \text{ g/cm}^3$
 - Gravier (8/15) = $2,66 \text{ g/cm}^3$
- ✓ Les dosages en matériaux secs seront donc en kg/ m³:
- Ciment = 350 kg/m^3
 - Sable = $2,38 \times 235,314 = 560,047 \text{ kg/m}^3$
 - Gravier (3/8) = $2,68 \times 83,052 = 222,57 \text{ kg/m}^3$
 - Gravier (8/15) = $2,66 \times 373,73 = 940,58 \text{ kg/m}^3$
 - Eau total = $169,5 \text{ l/m}^3$

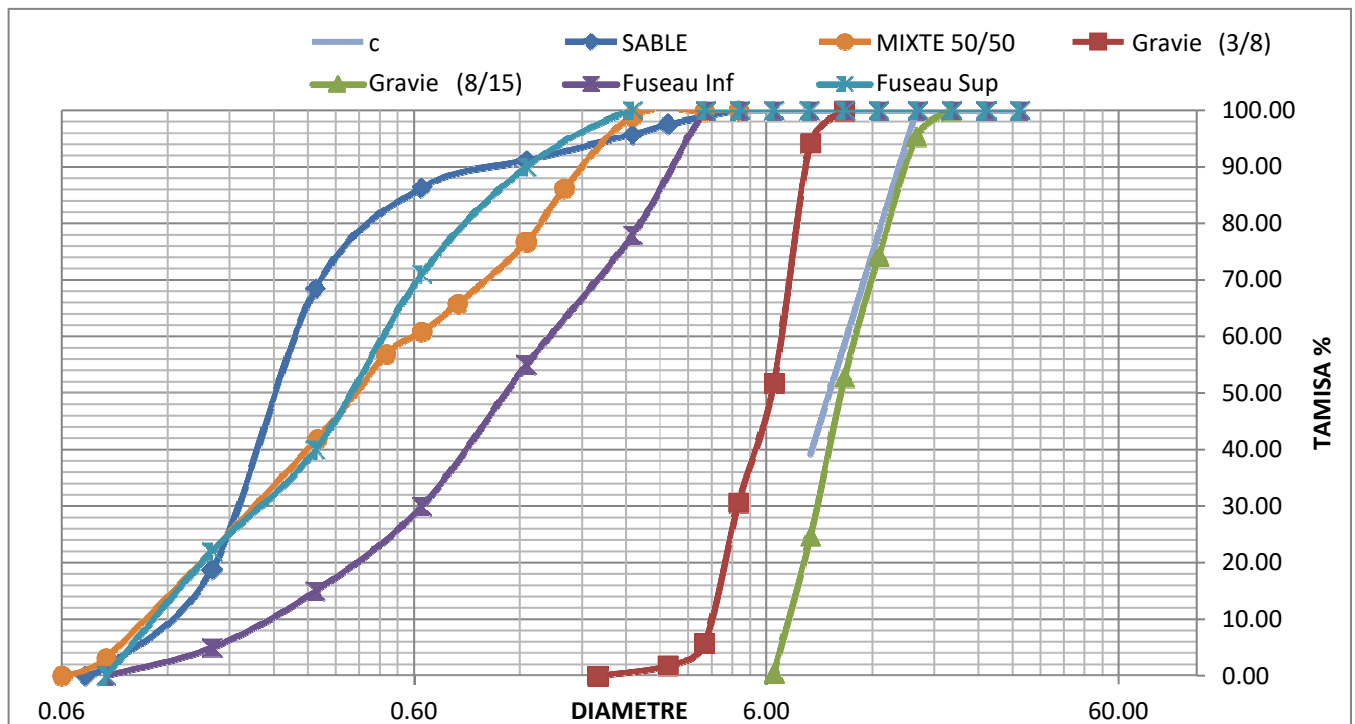


Figure III.17 : La courbe granulométrique.

Notre béton a été formulé d'après la méthode de Droux-Gorisse. Les constituants et leurs quantités sont présentés au Figure suivant (Figure III.17).

Tableau III.17: La composition d'un m³ de béton ordinaire

Constituants	Quantité kg/m ³
Ciment	350
Gravier (3/8)	222,57
Gravier (8/16)	994,132
Sable (0/5)	560,047

III.3.2 Composition des différents bétons ordinaires

Nous avons réalisé des essais sur des bétons confectionnés avec de super plastifiant et des additifs de bétons à base de ciment Portland substitué en poids par différents pourcentages voir le tableau (Tableau III.18) et (Tableau III.19) .

Tableau III.18: Liste de Description bétons étudiés

Désignation	Description
BF 0	Béton témoin
BF10	Béton 10% de poudre de céramiques
BF15	Béton 15% de poudre de céramiques

Tableau III.19: Liste de différents bétons étudiés en pourcentage.

Béton	Céramique (%)	Ciment (%)	Super plastifiant
BF0	0	100	0
BF10	10	90	1,5
BF15	15	85	1,5

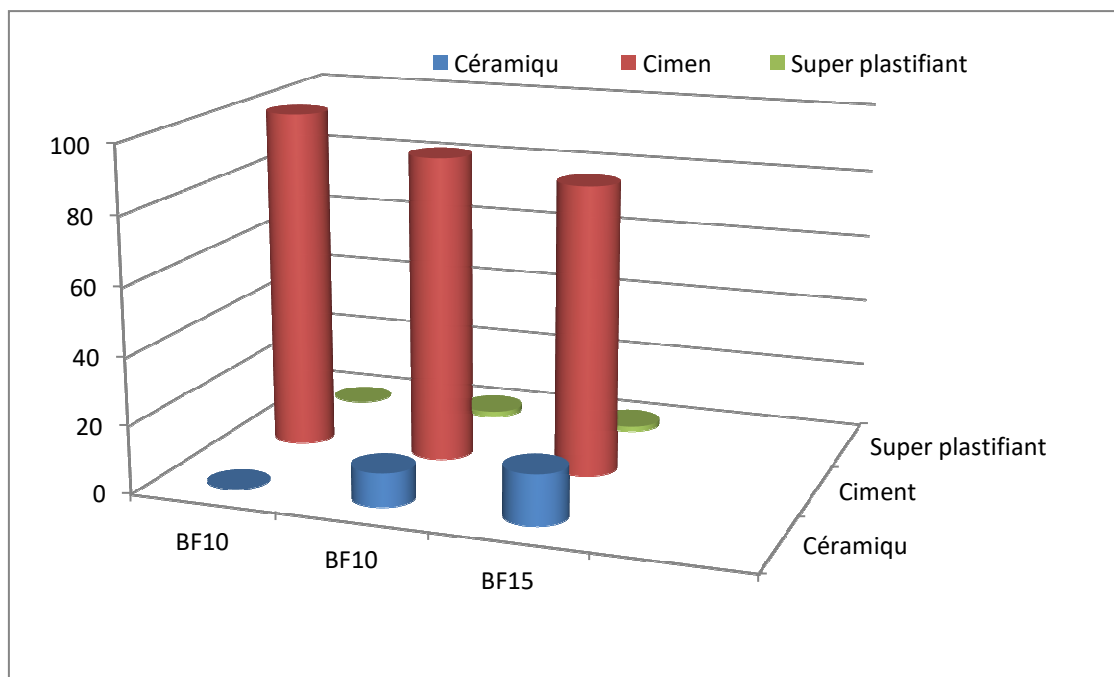


Figure III.18 : Liste de différents bétons étudiés en pourcentage.

Ces bétons ont été conservés pendant 28 jours dans une eau de robinet, ont effectué sur ces béton différents essais physiques et mécaniques (masse volumique, essais au cône d'abrams, essais à la compression, essais à l'ultrason, essais sclérométriques). Les tableaux (III.18) et (III.19) donnent la composition des différents bétons étudiés.

Tableau III.20. Les quantités des constituants des mélanges des bétons ordinaires

Composition	Désignation des bétons ordinaires		
	BF0	BF10	BF15
E/L	0,48	0,54	0,55
Eau (L)	8,77	9,82	10,12
Ciment(kg)	18,11	16,3	15,395
G (3/8)(kg)	11,51	11,51	11,51
G (8/16)(kg)	51,44	51,44	51,44
S (0/5)(kg)	28,98	28,98	28,98
Poudre de ceramique (kg)	0	1,81	2,715
Volume (cm ³)	155250		

III.3.3 Fabrication et conditionnement des éprouvettes

Le béton a été coulé dans les moules cubiques en deux couches. Chaque couche a été vibrée sur une table vibrante pendant 10 secondes par couche. Pour réaliser les essais, nous utiliserons des moules cubiques de dimensions 10 cm x 10 cm x 10 cm, les éprouvettes cubiques sont destinées aux essais de masse volumique aux essais de perte de masse et aux essais de compression avant et après exposition aux cycles thermiques..



Figure III.19: Type des éprouvettes utilisées : cubique.

III.3.4 Procédure de fabrication des bétons

On sait que le béton est le matériau obtenu par solidarisation par un liant de ciment, un squelette granulaire compose d'un ou plusieurs sables et d'un ou plusieurs graviers.

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cubique nécessaires pour les essais, ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée, le super plastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, poudre céramique).
- les constituants sont introduit dans le malaxeur à l'ordre suivant : gravier 3 /8, 8 /16, ciment+sable de dune et de poudre de céramique.
- Malaxer pend 1min et 30 secs.
- L'eau de gâchage est ajoutée à un tiers du volume de super plastifiant et de malaxage se poursuite pendant 2.5 mn.
- Le super plastifiant restant est ajouté avec un malaxage final d'une minute
- Malaxer pendent 3min et ajouter l'eau tout attentivement.
- Mesurer l'affaissement à chaque fois par cône d'Abrams jusqu'à la valeur désire ($7\text{cm}\pm 0,5$)
- On remplit les moules de béton, l'exécution en trois couches.
- On fait la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- Peser 3moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- Maintenir les éprouvettes à l'air libre au laboratoire pendant 24 h et faire la cure et marquer par peinture et conserver dans un bac d'eau jusqu'au jour d'essais (7,14et 28).



Figure III.20 : Malaxeur de béton

III.4 Essais à l'état frais

III.4.1 Affaissement au cône d'Abrams (slump test) NF P18-305

C'est l'essai le plus souvent utilisé car il est très simple à mettre en œuvre, il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40mm, il réalise à l'ordre suivant :

- ✓ Introduire le béton dans le moule légèrement humidifié et huilé en trois couches d'égales
- ✓ Piquer chaque couche 25 coups avec une tige de $\Phi = 16\text{mm}$.
- ✓ Araser en roulant la tige de piquage sur le bord supérieur de moule.
- ✓ Démouler le cône et mesurer l'affaissement à l'aide d'un portique et arrondi au centimètre.



Figure III.21: Mesure de l'affaissement.

III.4.2 Vibration NF P 18-421

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'amplitude des oscillations, ainsi que de la durée de vibration.

- ✓ Remplir les moules cubique $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$
- ✓ Faire la vibration sur la table vibrante pendant 15s.
- ✓ Peser les moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- ✓ Procéder à l'arasement.

Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquer par marqueur et conserver dans l'eau.



Figure III.22: Table de vibration

III.5 Essais à l'état Durci

III.5.1 Cure appliquée [NF P 18-404]

Toutes les éprouvettes utilisées dans cette campagne expérimentale ont suivi la même cure et le même conditionnement suivant la norme NF P 18-404. Après démoulage, les éprouvettes ont été conservées pendant 24 heures dans leur moule à température ambiante (20 ± 2) °C. A l'issue de ce temps de conservation initiale, elles ont été démoulées, puis plongées dans l'eau à 20 °C pendant (07, 14, 28) jours. Ce mode de conservation permet d'assurer l'hydratation du béton et d'éviter toute fissuration due à la dessiccation. Il permet également de maintenir les bétons saturés et de se rapprocher ainsi des conditions réelles qu'on peut rencontrer dans certains ouvrages souterrains. [19]



Figure III.23 : Moule en chargé



Figure III.24. Conservation les éprouvettes dans l'eau.

III.5.2 La Résistance à la compression (essais d'écrasement) [NF P 18- 406]

La résistance a été longtemps considérée comme la qualité essentielle, la détermination de cette résistance est nécessaire pour contrôler cette qualité essentielle de notre du béton. L'essai consiste à placé entre les plateaux d'une presse hydraulique de capacité 3000KN à une vitesse constant (0,5 KN/S) des éprouvettes cubique de dimension (10X10X10) cm.

Celles –ci doivent être bien centrées entre les plateaux afin d'éviter l'apparition des moments dus l'excentricité de la charge de compression .On calcule la résistance à la compression par la relation.

Où :

Rc : résistance à la compression (MPa).

F : la charge de rupture (N).

S : section de l'éprouvette (mm²).

$$R_c = \frac{F}{S}$$



Figure III.25: Machine d'essai de compression.

III.5.3 Estimation de la perte de masse

La perte de masse est un indicateur important des dégradations au sein du matériau, et notamment de la perte en eau. Elle permet, en complément des essais mécaniques réalisés après application des cycles thermiques, de suivre l'évolution du poids des matériaux ayant subi un cycle de chauffage. Pour la quantification de l'eau perdue, la masse des éprouvettes est mesurée avant et après chaque cycle de chauffage-refroidissement.

De la fabrication au traitement thermique, les éprouvettes subissent des variations de masse dues au ressuage, à la dessiccation ou absorption d'eau. Pour rendre compte de ces variations, les éprouvettes sont pesées à différents temps : après leur démoulage, les éprouvettes de béton sont pesées et placées dans les bacs remplis d'eau pour limiter une longue durée d'exposition à l'air libre qui entrainerait une dessiccation. A la fin de la période de cure, les éprouvettes sont essuyées avec un chiffon sec et pesées. Elles sont ensuite placées dans le four pour subir un cycle de chauffage-refroidissement.

Après le traitement thermique, chacune des éprouvettes est pesée une dernière fois pour quantifier la quantité de l'eau évaporée au cours du chauffage. Ces mesures sont effectuées sur l'ensemble des éprouvettes placées dans le four et pour tous les cycles de chauffage et pour chacune des compositions.

Les éprouvettes conservées dans l'eau ont été pesées d'abord, ensuite elles sont exposées aux fortes températures 20°C, 100°C, 300°C, 500°C et 700°C. Les taux de diminution de la masse des éprouvettes est déterminé à partir :

$$T(\%) = (\Delta m \cdot 100) / m_1$$

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

T: taux de perte de masse.

m1 : poids avant expositions à la température.

m2 : poids après expositions à la température

III.5.4 Essai de chauffage

Pour étudier le comportement à haute température du béton, il est nécessaire de lui faire subir différents cycles thermique. Toutes les éprouvettes retenues pour cette étude sont testées après leur refroidissement. Nous appliquons trois cycles de chauffage-refroidissement de 20 °C à différentes températures de palier : 200 °C, 400 °C, 600 °C. Chaque cycle de chauffage- refroidissement se compose de trois phases, une phase de montée en température, une phase de stabilisation à température constante et une troisième phase de descente de la température du palier à la température ambiante. Finalement des éprouvettes ont été exposées à une température élevée variant de 100°C, 300 °C et 500 °C et 700 °C avec une vitesse de la montée en température de 1°C/ min et un maintien de température dans le four à moufle pendant 1 heure [20] .

Le procédé expérimental appliqué repose sur Chargement thermique puis mécanique (écrasement directe)



Figure III.26 : Essai de chauffage

III.5.5 Volume des éprouvettes

Les dimensions des éprouvettes (longueur, largeur et hauteur) ont été calculées par la moyenne de trois mesures pour chaque dimension et pour chaque éprouvette. Pour la mesure des dimensions des éprouvettes, on a utilisé le pied à coulisse de précision de 0,01 mm. La mesure de la longueur, largeur et hauteur des éprouvettes a permis de calculer le volume apparent de chaque éprouvette des différents bétons avant et après chaque cycle de chauffage et d'évaluer la surface sur laquelle elle été appliquée la charge de compression. [21]



Figure III.26 : Pied à coulisse digital.

III.6 Essais non destructifs

III.6.1 Essais de dureté par rebondissement (scléromètre) [NF EN 12398]

Cet essai est l'un des plus vieux essais non destructifs et il est encore très utilisé de nos jours. Le scléromètre est un appareil simple qui mesure la " dureté au choc " du béton au voisinage de la surface (Indice sclérométrique).



Figure III.27: Principe de l'essai scléromètre.

III.6.2 Les Ultrasons [NF EN 12504-4]

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton (Figure III.25).

En a effectuer les mesures sur les éprouvettes après les faire sortir du bac de conservation et les laisser sécher pendant 24h. Les éprouvettes cubiques sont préparées pour effectuer des essais d'auscultation dynamique. Cette réparation consiste à faire certaines opérations préliminaires à savoir la calibration de l'appareil et marquer les points d'essais sur les éprouvettes afin de centrer les ondes dans la structure béton. Sur chaque éprouvette cubiques nous avons effectué 3 mesures, La vitesse (V) du parcourt est lu directement sur un écran digital au moment de leur stabilisation.



Figure III.28: Appareil ultrason.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous étudions les propriétés physiques et chimiques des matériaux, et en examinant les résultats des tests de densité, des analyses de la taille des particules, de l'équivalent sable, de la méthode de conservation et la masse volumique à l'état frais ainsi qu'à l'état solide, soit par ultrasons, si l'échelle de dureté ou de fissuration que nous avons étudiée en détail, nous avons pu atteindre la formule idéale pour le béton.



Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des essais mécaniques destructifs tels que (compression) et non destructifs tels que (scléromètre et l'ultrason) plus les essais physiques à l'état frais et durci pour voir l'influence de (E/L, la masse volumique), aussi (perte de masse, volume des éprouvettes) pour avoir une idée sur la durabilité du béton additionné par trois types d'ajouts : (poudre de Céramique (PC)). Enfin, dans l'analyse de ces résultats on va baser sur l'étude statistique pour trouver une corrélation entre les deux types des essais qui sont indiquées au précédent. Aussi voir l'influence de la nature, et le pourcentage des additions sur les propriétés mécaniques et physicochimiques des bétons ont été étudiées à la fois à température ambiante et à température élevée.

IV.2 Méthodologie adaptée pour les manipulations

Dans ce travail, nous avons opté, afin d'atteindre la formulation et la caractérisation de béton, pour les essais proposés la méthodologie suivante :

- ✓ Nous avons préparé différents mélanges de béton pour confectionner 135 éprouvettes cubiques ($10 \times 10 \times 10$) cm^3
- ✓ La formulation a été préparée par la méthode DREUX-GORISSE
- ✓ On a élaboré différents pourcentages d'additifs (entre 10% et 15%) et d'adjuvants (entre 0% et 1,5%)
- ✓ On a effectué des essais à différents âges : 7 j, 14 j et 28 jours.
- ✓ Grâce à ces essais effectués, conformes aux normes, nous allons déterminer les différentes caractéristiques suivantes : (La masse volumique, rapport (E /L) , perte de masse, volume des éprouvettes, l'indice sclérometique (Is), la vitesse ultrasons (V) et la résistance à la compression (Rc).

IV.3 Présentation des résultats

Dans cette partie, nous avons discuté les résultats obtenu d'après les essais exécutés afin de caractériser les bétons hydrauliques confectionnés, en deux états essentiels : « frais et durci » à partir des mélanges obtenus suivante la formulation utilisée et choisi aussi.

IV.4 Propriétés du béton à l'état frais :

Premièrement on présente les résultats à l'état frais, obtenu juste après le gâchage pour caractériser ce type de béton. Qui permet d'étude les propriétés du béton hydraulique à l'état frais pour voir l'effet des additions et l'adjuvant sur les deux paramètres essentiels qui sont (le rapport E/L et la

masse volumique).

IV.4.1 Rapport E/L

Dans l'ensemble des histogrammes, nous avons réalisés plusieurs types des formules gâcher de différents pourcentage d'additifs avec un affaissement fixe de 7cm, adjuvanté par une valeur fixé de 1.5% et sans adjuvant, pour voir la variation en parallèle du rapport E/L sur le comportement des bétons hydraulique à l'état frais.

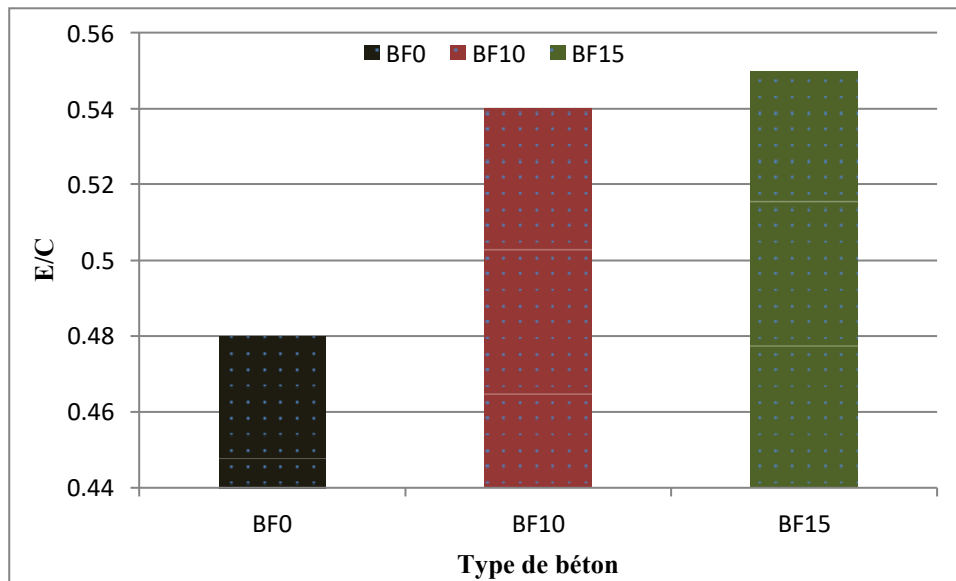


Figure IV.1 : Variation de rapporte E/L en fonction du pourcentage additifs pour l'ensemble de béton.

La (Figure IV.1) représente une variation d'E/L en fonction du pourcentage des additions minérales avec adjuvant pour chaque échantillon de béton. On a remarqué que lorsqu'en ajout des différents pourcentages des additifs, le rapport E/L augment à certain niveau et aussi à certain pourcentage d'additifs qu'elle indique dans l'historgramme par 10% que cela à fait d'environ 0.54, avec une augmentation de 15% comme une valeur maximum par rapport le béton témoin (BF0). Les autres bétons représentent une augmentation inférieure à la valeur précédente. Nous avons aussi remarque que le coefficient E/C augmente dans les types de béton, plus la quantité de céramique ajoutée est importante, et cela est dû au fait que la céramique consomme une grande quantité d'eau remarqué

IV.4.2 La masse volumique (frais)

Dans cette partie, on va voir l'effet de la variation des pourcentages des additions minérales sur le paramètre de la masse volumique à l'état frais, à partir des pesés des éprouvettes à l'état frais ont été effectués, plus l'ensemble des résultats obtenus sont présentés dans la (Figure IV.2).

D'après les résultats obtenus dans la (figure IV.2), On constate que la densité augmente avec l'ajout de poudre de céramique dans le béton dans des proportions différentes. Cette augmentation de densité peut s'expliquer par le remplacement de la quantité de ciment par de la poudre de céramique. Nous avons aussi remarqué que le BF15 et le béton BF10 donnent de grandes valeurs de la masse volumique qui sont 2.483 kg/m^3 et 2.46 kg/m^3 , consécutivement, suivi par le BF0 avec une valeur moyenne de 2.40 kg/m^3 .

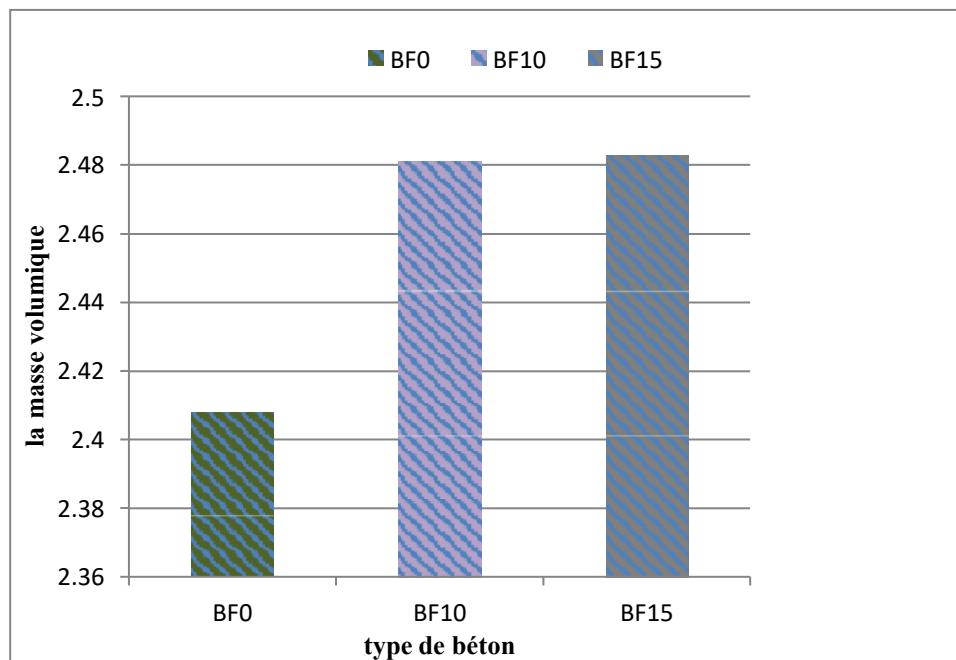


Figure IV. 2: Variation de la masse volumique à l'état frais en fonction du dosage de Céramique.

IV.5 État durci (Propriétés physiques)

IV.5.1 La masse volumique apparente à l'état durci

La masse volumique apparente des bétons étudiés a été déterminée sur le béton durci après 28 jours. Les résultats présentés dans les figures (IV.3), (IV.4). La masse volumique a été mesurée après le refroidissement.

La masse volumique apparente exprimée en pourcentage est normalisée par rapport à la valeur initiale obtenue à la température de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

On remarque que la masse volumique apparente de différentes compositions de bétons diminue en fonction de la température de chauffage.

La variation de la densité est faible, n'excédant pas 2 %, dans la gamme de température de 20°C à $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Cette diminution est attribuée au départ de l'eau libre et capillaire, l'augmentation du volume du béton suite à la déshydratation des CSH et la Portlandite [20]. Pour les bétons avec les additions (céramique) reste toujours supérieure à celle du béton référence quel que soit le cycle de chauffage.

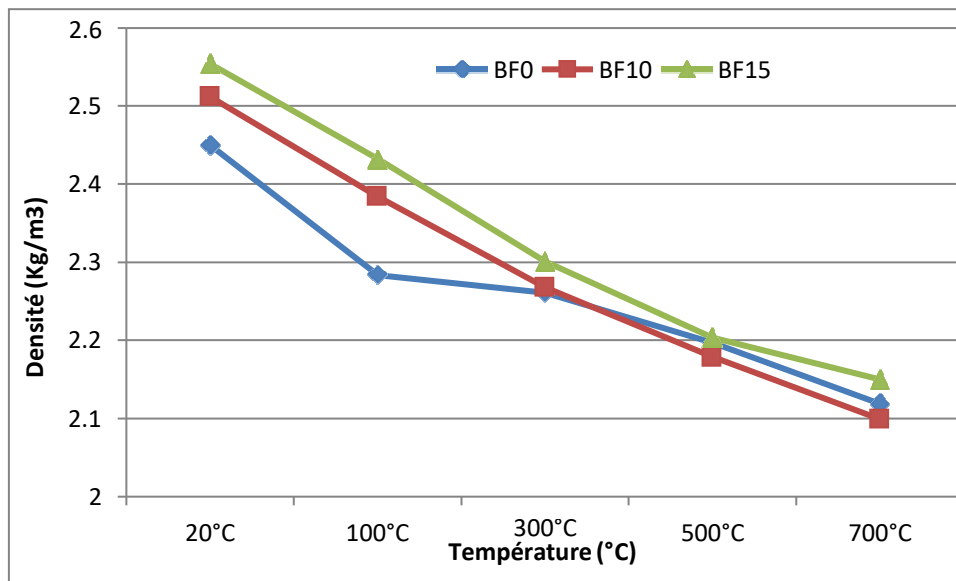


Figure IV.3 : L'évolution de la masse volumique apparente en fonction du pourcentage poudre de céramique pour les différents types des bétons à 28 jours.

IV.5.2 Perte de masse

La perte de masse des éprouvettes âgées de 7 jours augmentent avec l'augmentation de la température, les bétons à base de la poudre de céramique sont plus vulnérables en comparaison avec le béton témoin. Cette perte de masse est due d'abord à l'évaporation de l'eau ensuite de hydratation progressive des produits d'hydratation (C.S.H).elle augmente brusquement de (3%) vers 300°C et continue son augmentation.

Après 14 jours de durcissement, la perte de masse dans les deux bétons est presque équivalente à 300°C et à 500°C, vers 700°C le béton à base de la poudre de céramique perd environ 12% de sa masse initiale.

Le taux de diminution ne change pas en comparaison avec celui des éprouvettes testées à 7 jours.

Après 28 jours de durcissement le béton acquiert ses performances mécaniques, le milieu de Conservation (humide) participe à l'amélioration de la compacité, la porosité du béton est par suite sa résistance.

La perte de masse, est de l'ordre de 4% à 300°C elle augmente progressivement avec l'augmentation de la température.

Avant 300 ° C, le changement de masse est très faible. La perte de masse dans cette plage de températures correspond généralement à l'évacuation de l'eau des pores du béton.

Entre 100 et 700 °C, une perte de masse importante pour tous les échantillons de béton testés. Tout le béton a perdu entre 3% à 8% de sa masse d'origine. La majorité d'eau dans chaque échantillon de béton évaporé pendant le chauffage entre 300 °C et 500 °C.

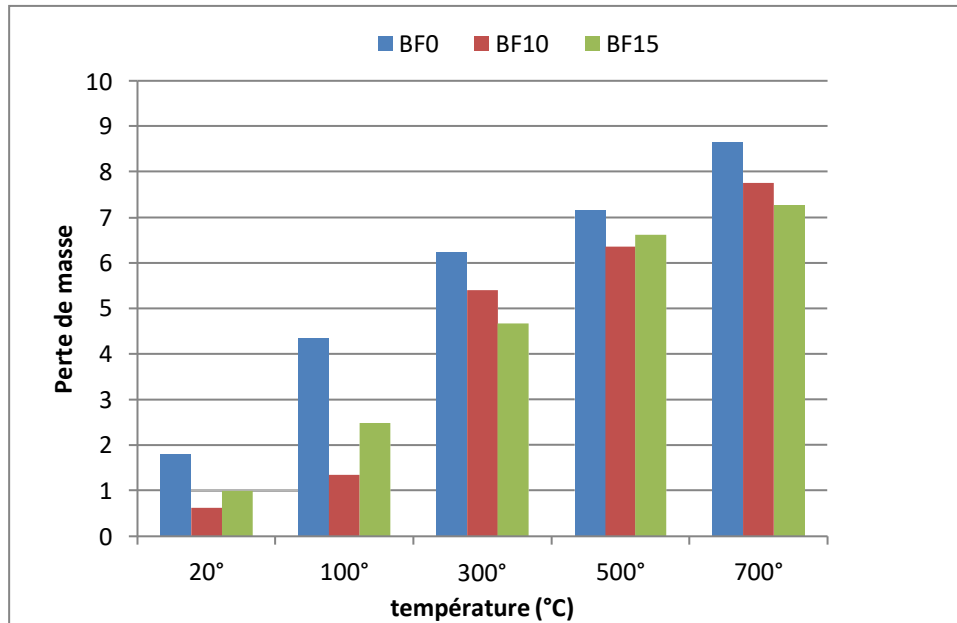


Figure IV. 4: La variation la perte de masse en fonction de la température à 7jours

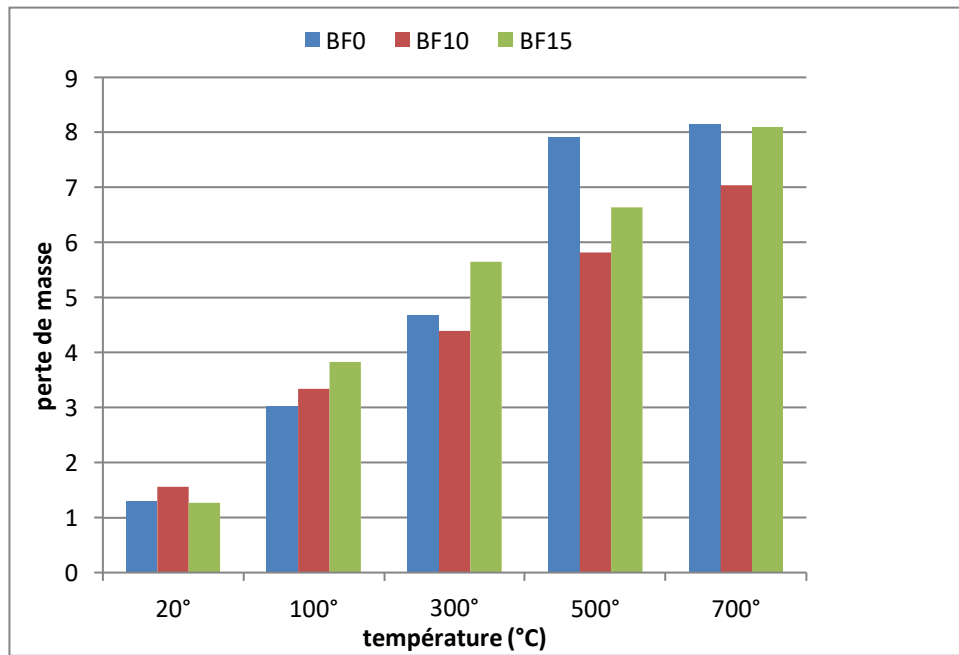


Figure IV. 5: La variation la perte de masse en fonction de la température à 14jours

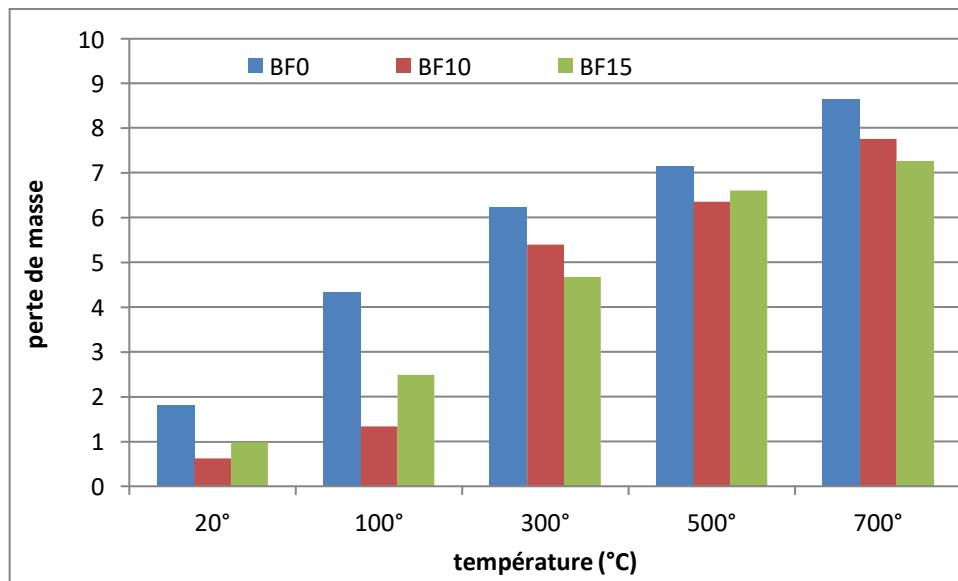


Figure IV. 6: La variation la perte de masse en fonction de la température à 28jours

IV.5. 3 L'indice sclérométrique (Is)

Pendant les figures (IV. 7), (IV. 8) et (IV. 9): La variation l'indice sclérométrique (Is) en fonction de la température à 7,14 et 28 jours

On note que plus l'indice sclérométrique obtenu avec le béton est élevé, meilleurs sont les résultats. Nous constatons que BF10 et BF15 augmentent la valeur de dureté par rapport à BF0 à une température comprise entre 20° et 300°, tandis qu'à 500° et 700° degrés l'indice sclérométrique la valeur commence à diminuer.

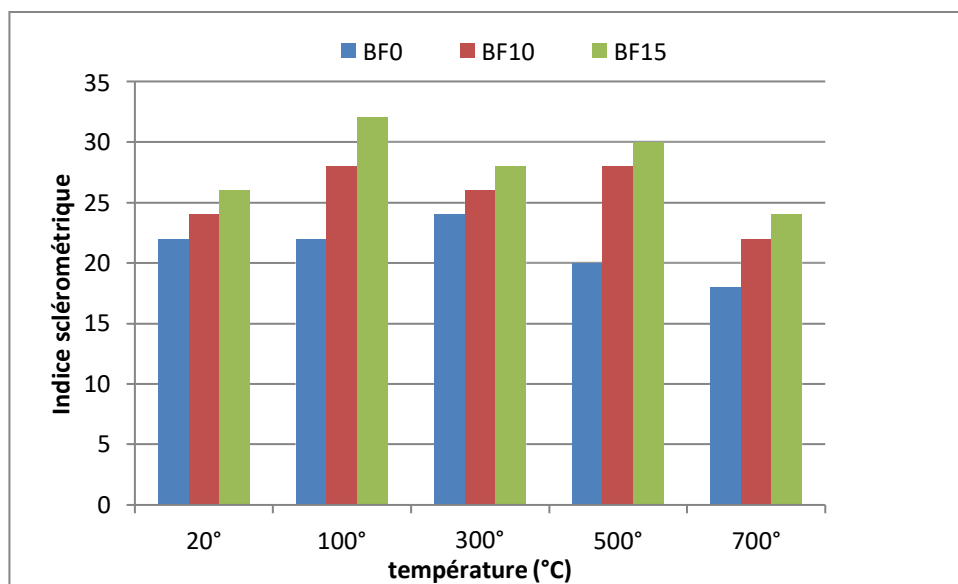


Figure IV. 7: La variation l'indice sclérométrique (Is) en fonction de la température à 7jours

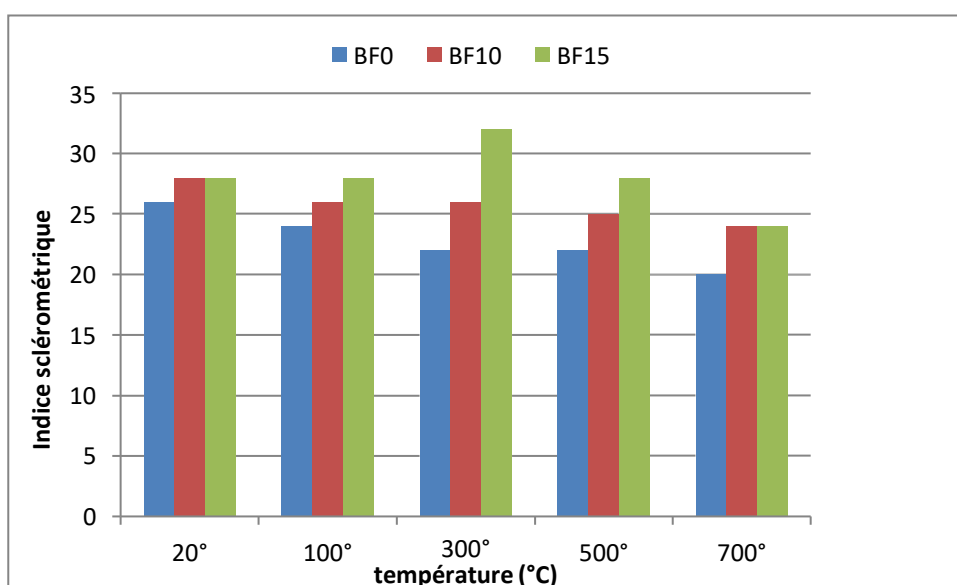


Figure IV. 8: La variation l'indice sclérométrique (Is) en fonction de la température à 14 jours

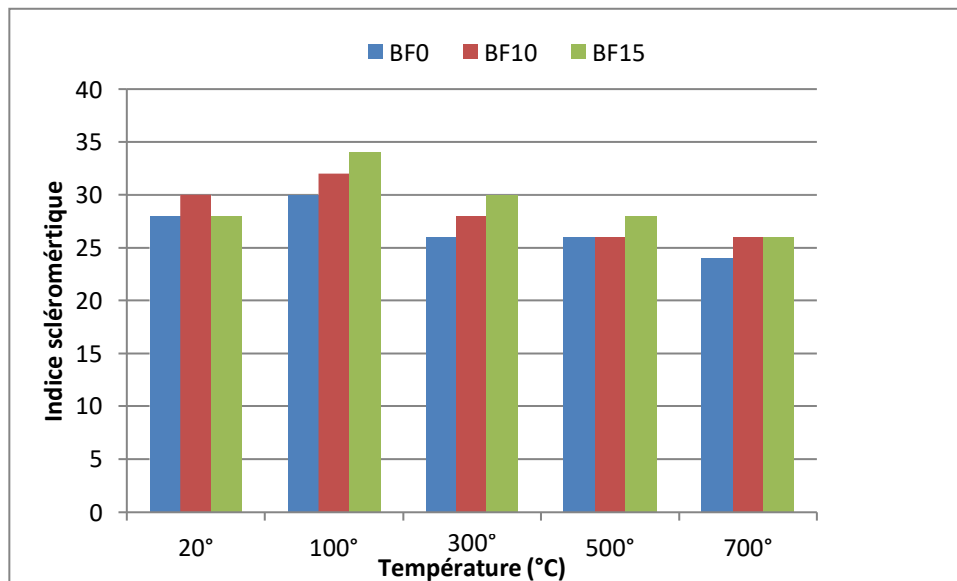


Figure IV. 9: La variation l'indice sclérométrique (Is) en fonction de la température à 28 jours

V.5.4. La vitesse d'ultrason (V)

Les figures (IV. 10), (IV. 11) et (IV. 8) représente l'évolution de la vitesse de propagation des ondes ultrason des différents bétons étudié dans le temps. On remarque que tous les bétons ont une cinétique analogique en ce qui concerne l'évolution de la vitesse d'ultrason dans le temps, mais avec des valeurs différentes, ces valeurs dépendent essentiellement à la composition du béton, le type d'adjuvant (super plastifiant) et son pourcentage ; la vitesse d'ultrason nous donne des informations sur la compacité et l'homogénéité du béton et par conséquent une bonne indication sur le comportement mécanique de ces bétons.

A partir de les figures (IV. 10), (IV. 11) et (IV. 12) nous pouvons observer une diminution de la vitesse des ondes ultrason avec l'augmentation de la température. Cette baisse de la vitesse résulte de l'endommagement produit par le chauffage du béton, ce qui est en accord avec les résultats de la littérature. [23]

Nous observons une diminution progressive de la vitesse des ondes avec l'augmentation de la température pour les trois types du béton (BF0, BF10, BF15). Une diminution de 3.5% et 9% dans la température 100 °C. A 500 °C la vitesse des ondes ultrason atteint la valeur de 9 % pour le BF0. Dans cet intervalle il y a une chute de la vitesse des ondes ultrason. Au-delà de 500 °C, la vitesse des ondes décroît d'une manière quasi linéaire

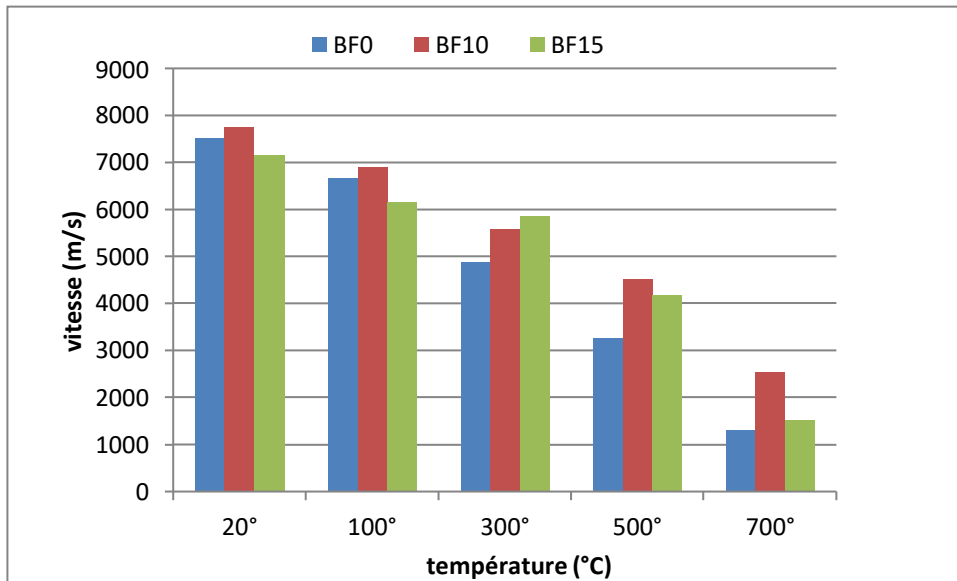


Figure IV. 10: La variation la vitesse ultrasonique en fonction de la température à 7 jours

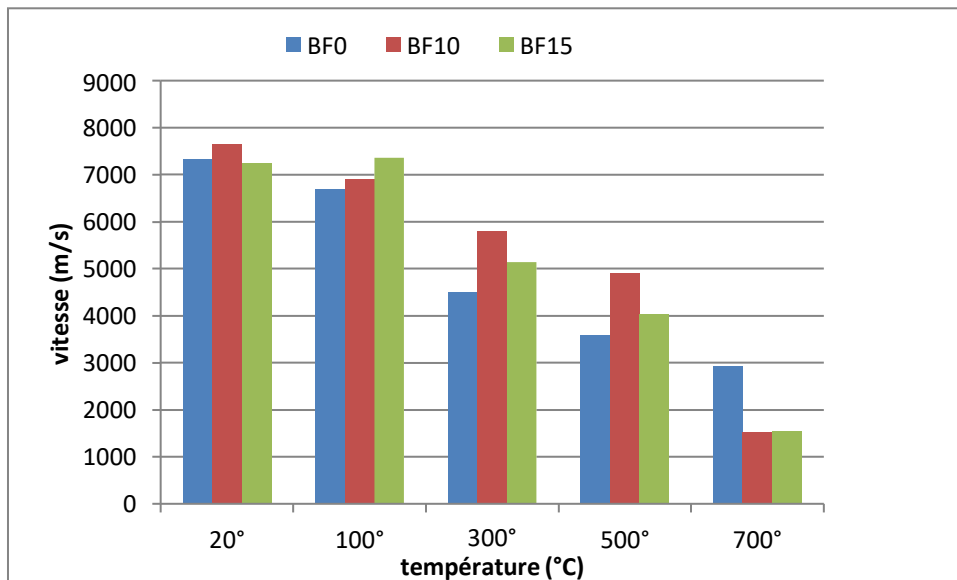


Figure IV. 11: La variation la vitesse ultrasonique en fonction de la température à 14 jours

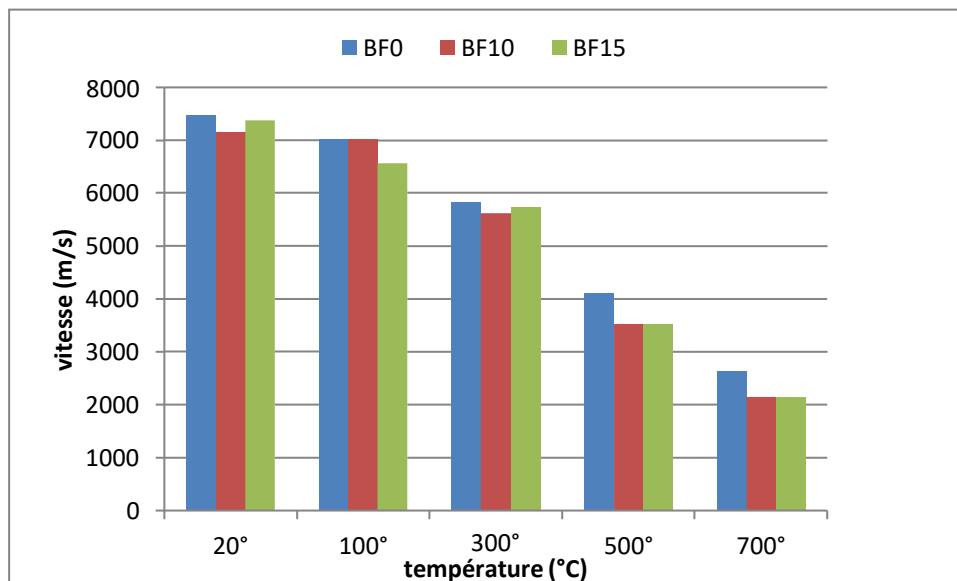


Figure IV. 12: La variation la vitesse ultrasonique en fonction de la température à 28 jours

IV.5.5 Résistance à la compression (R_c)

La résistance à la compression de tous les mélanges de bétons à température ambiante et après chauffage à 100 °C, 300 °C, 500°C et 700 °C sont illustrée sur les figures (IV. 13), (IV. 14) et (IV. 15).

A partir de cette figure, on remarque que l'augmentation de la température affecte la résistance en compression des bétons soit ordinaire ou à base de la poudre de céramique. On remarque aussi que le remplacement du ciment par 10% à 15% de poudre de céramique a augmenté la résistance à la compression d'environ 30% à 28 jours.

L'augmentation de la température à 300°C est favorable au béton de verre (il s'agit d'une accélération d'hydratation) à 500° C et 700°C la résistance chute considérablement (il perd 95% de sa résistance) le béton ordinaire perd progressivement sa résistance.

En remarque que la résistance augmente dans le temps quel que soit la température d'une façon analogique et uniforme pour tous les bétons. Cette augmentation est due au développement de l'hydratation du ciment dans le temps ce qui accélère le durcissement des bétons.

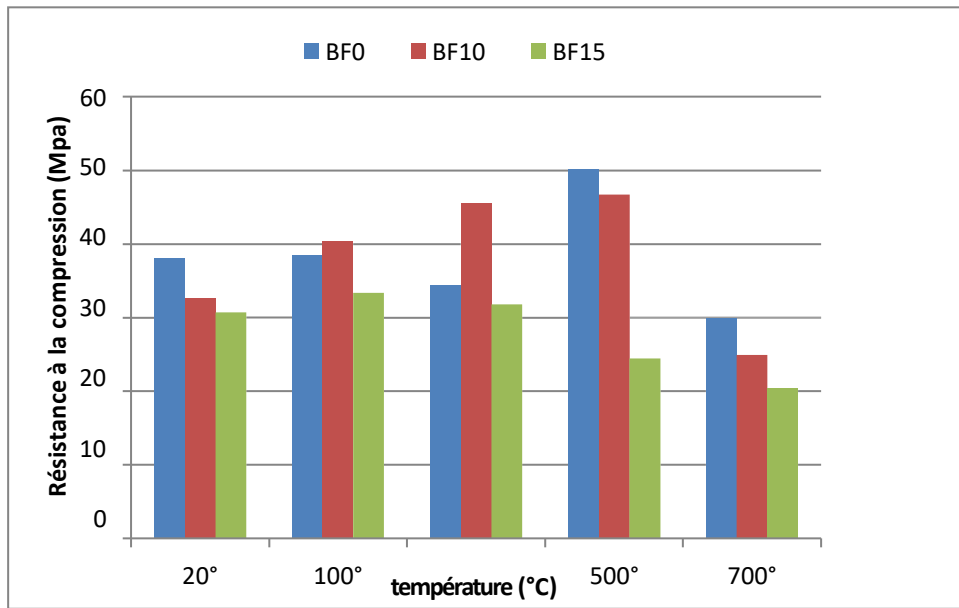


Figure IV. 13: La variation la Résistance en fonction de la température à 7 jours

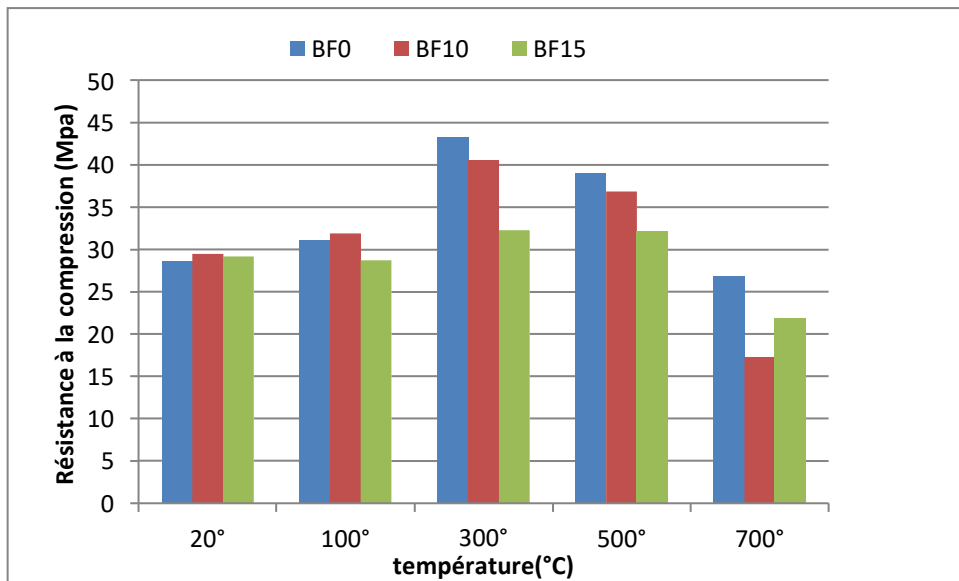


Figure IV. 14: La variation la Résistance en fonction de la température à 14 jours

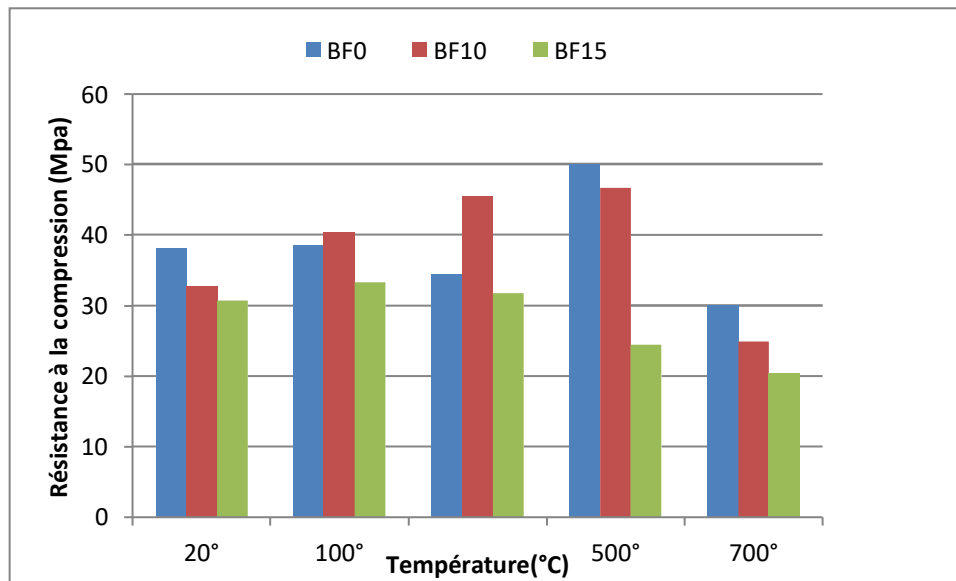


Figure IV. 15: La variation la Résistance en fonction de la température à 28 jours

La résistance à la compression de tous les mélanges de bétons à température ambiante et après chauffage à 100 °C, 300 °C, 500°C° et 700 °C sont illustrée sur les figures (IV. 13), (IV. 14) et (IV. 15).

A partir de cette figure, on remarque que l'augmentation de la température affecte la résistance en compression des bétons soit ordinaire ou à base de la poudre de céramique. on remarque aussi que le remplacement du ciment par 10% à 15% de poudre de céramique a augmenté la résistance à la compression d'environ 30% à 28 jours.

L'augmentation de la température à 300°C est favorable au béton de verre (il s'agit d'une accélération d'hydratation) à 500° C et 700°C la résistance chute considérablement (il perd 95% de sa résistance) le béton ordinaire perd progressivement sa résistance.

IV.5.6. Evolution de la surface fissurée des éprouvettes en béton après un cycle chauffage refroidissement

Dans cette partie, on étudie l'évolution de la surface fissurée des éprouvettes en béton en fonction de la température

IV.5.7. Photos microscopiques des différents pourcentages du béton :

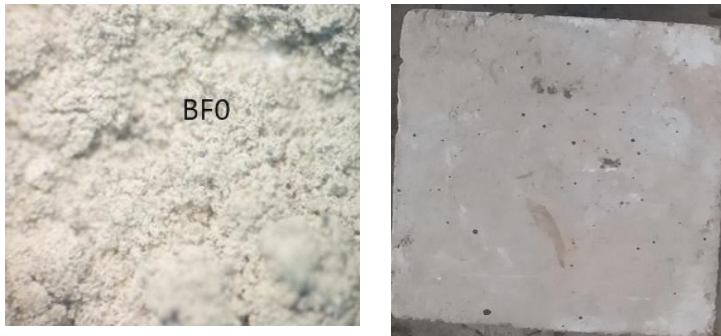


Figure IV.16 : Photographique et la surface de BF0 à 20°



Figure IV.17 : Photographique et la surface de BF0 à 100°



Figure IV.18 : Photographique et la surface de BF0 à 300°



Figure IV.19 : Photographique et la surface de BF0 à 500°



Figure IV.20 : Photographique et la surface de BF0 à 700°

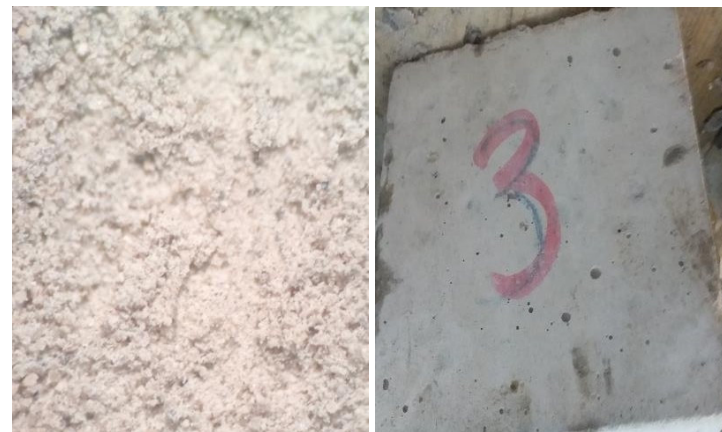


Figure IV.21 : Photographique et la surface de BF10 à 20°



Figure IV.22 : Photographique et la surface de BF10 à 100° **Figure IV.23 :** Photographique la surface de BF10 à 300°



Figure IV.24 : Photographique et la surface de BF10 à 500° **Figure IV.25 :** Photographique et la surface de BF10 à 700°

IV.6 Étude de corrélation

IV.6.1 Étude de corrélation entre la perte de masse et la vitesse

IV.6.1.1 Corrélation entre la perte de masse et la vitesse pour BF0

A partir de la figure suivante, nous concluons à une corrélation entre les mesures de la perte de masse et les vitesses d'ultrason (V). Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (IV.1) ayant un coefficient de corrélation R.

$$\Delta m = -0,0013V + 12,567 \quad (\text{IV.1})$$

$$R^2 = 0,8952$$

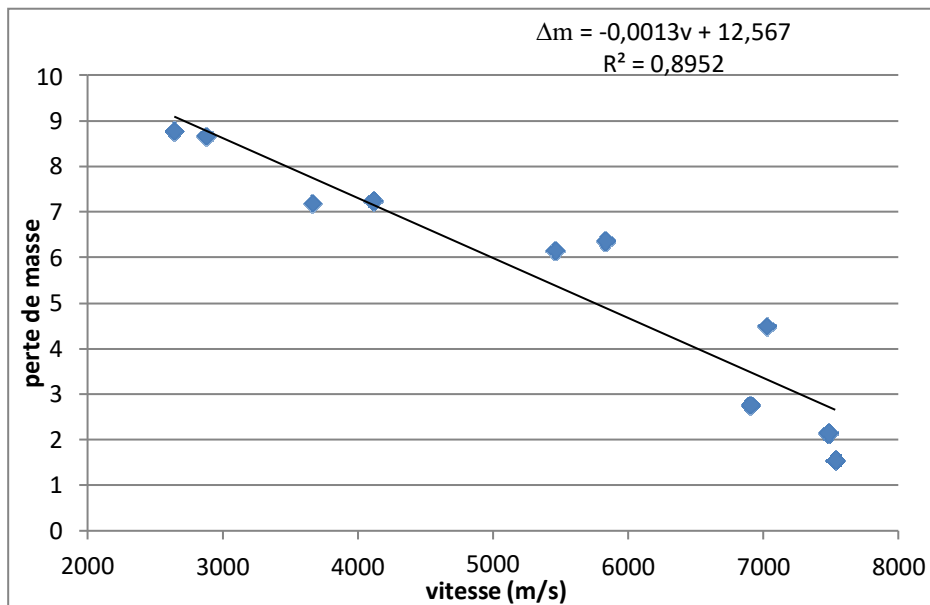


Figure IV.26 : Corrélation entre perte de masse et la vitesse pour BF0 à 28 jours

Cette figure montre qu’il existe une bonne corrélation ($R = 0,8952$) entre perte de masse et les vitesses d’ultrason correspondants à l’ensemble des bétons BF0.

IV.6.1.2 Corrélation entre la perte de masse et la vitesse pour BF10

A partir de la figure suivante, nous concluons à une corrélation entre les mesures de la perte de masse et les vitesses d’ultrason (V). Par une formule de forme linéaire, présentée par l’équation (IV.2) ayant un coefficient de corrélation R .

$$\Delta m = -0.0012V + 11,097 \tag{IV.2}$$

$$R^2 = 0,708$$

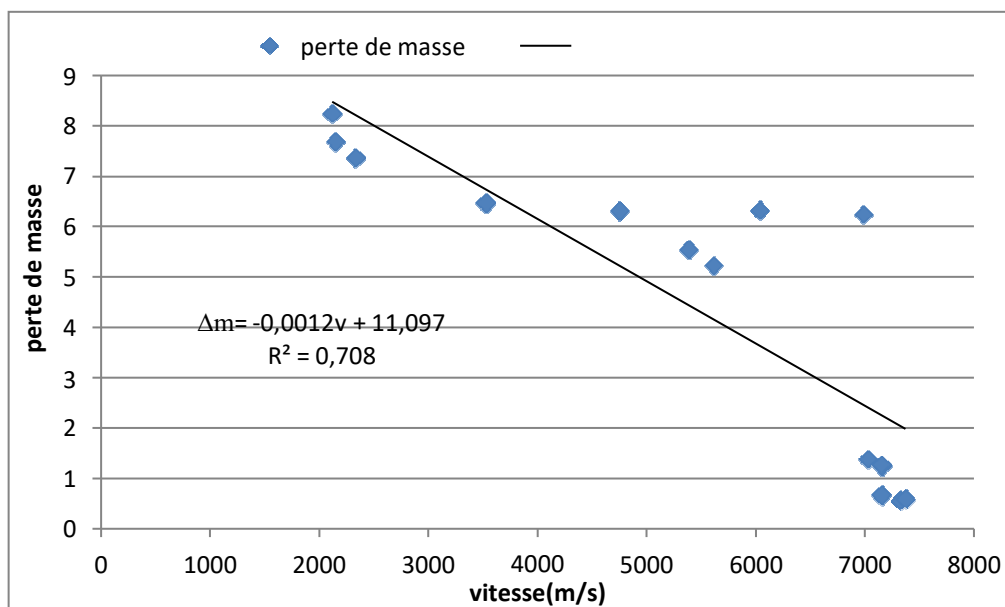


Figure IV.27 : Corrélation entre perte de masse et la vitesse pour BF10 à 28 jours

Cette figure montre qu’il existe une bonne corrélation ($R = 0,708$) entre perte de masse et les vitesses d’ultrason correspondants à l’ensemble des bétons BF10.

V.6.1.3 Corrélation entre la perte de masse et la vitesse pour BF15

A partir de la figure suivante, nous concluons à une corrélation entre les mesures de la perte de masse et les vitesses d’ultrason (V). Par une formule de forme linéaire, présentée par l’équation (IV.3) ayant un coefficient de corrélation R .

$$\Delta m = -0,0013V + 11,987 \quad (IV.3)$$

$$R^2 = 0,7993$$

Cette figure montre qu’il existe une bonne corrélation ($R = 0,7993$) entre perte de masse et les vitesses d’ultrason correspondants à l’ensemble des bétons BF15

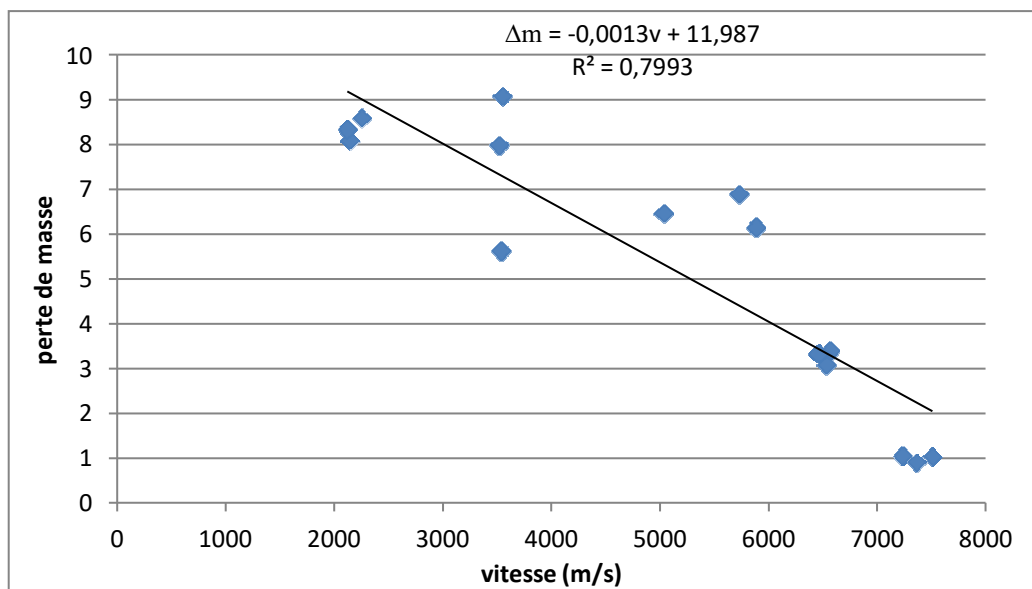


Figure IV.28 : Corrélation entre perte de masse et la vitesse pour BF15 à 28 jours

IV.6.2 Étude de corrélation entre la perte de masse et indice sclérométrique

IV.6.2.1 La corrélation la perte de masse en fonction d’indice sclérométrique pour BF0

A partir de cette figure (IV.29), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la perte de masse et l’indice de rebondissement. Par une formule de forme linéaire, présentée par l’équation (IV.4) ayant un coefficient de corrélation.

Cette figure montre qu’il existe entre la perte de masse et l’indice de rebondissement une bonne corrélation ($R = 0,7354$) correspondant à l’ensemble des bétons BF0

$$\Delta m = -0,6953Is + 25,687 \quad (IV.4)$$

$$R^2 = 0,7354$$

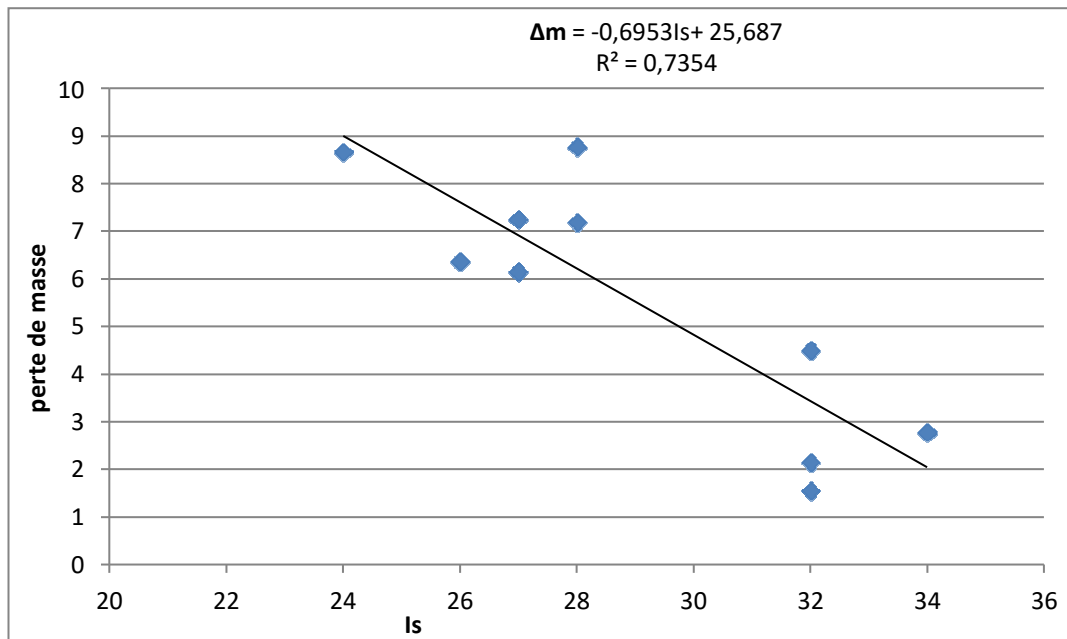


Figure IV.29 : La corrélation la perte de masse en fonction d'indice sclérométrique pour BF0 à 28 jours.

IV.6.2.2 La corrélation la perte de masse en fonction d'indice sclérométrique pour BF10

A partir de cette figure (IV.30), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la perte de masse et l'indice de rebondissement. Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (IV.5) ayant un coefficient de corrélation.

Cette figure montre qu'il existe entre la perte de masse et l'indice de rebondissement une bonne corrélation ($R = 0,6391$) correspondant à l'ensemble des bétons BF10

$$\Delta m = -0,5639Is + 20,517 \quad (IV.5)$$

$$R^2 = 0,6391$$

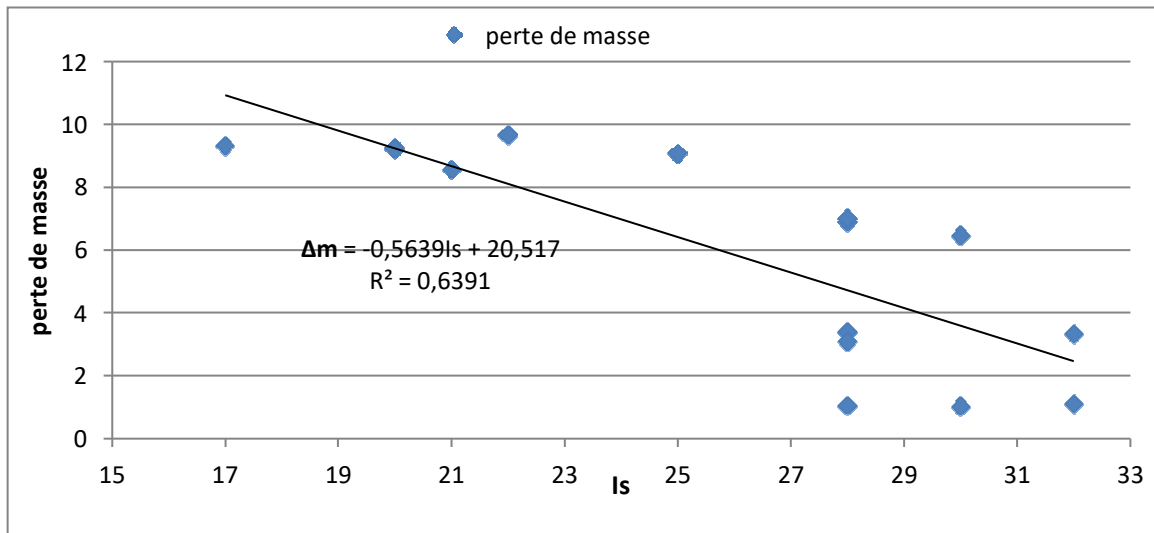


Figure IV.30 : La corrélation la perte de masse en fonction d’indice sclérométrique pour BF10 à 28 jours.

IV.6.2.3 La corrélation la perte de masse en fonction d’indice sclérométrique pour BF15

A partir de cette figure (IV.31), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la perte de masse et l’indice de rebondissement. Par une formule de forme linéaire, présentée par l’équation (IV.6) ayant un coefficient de corrélation.

Cette figure montre qu’il existe entre la perte de masse et l’indice de rebondissement une bonne corrélation ($R = 0,6014$) correspondant à l’ensemble des bétons BF15

$$\Delta m = -0,4886Is + 18,369$$

$$R^2 = 0,6014 \tag{IV.6}$$

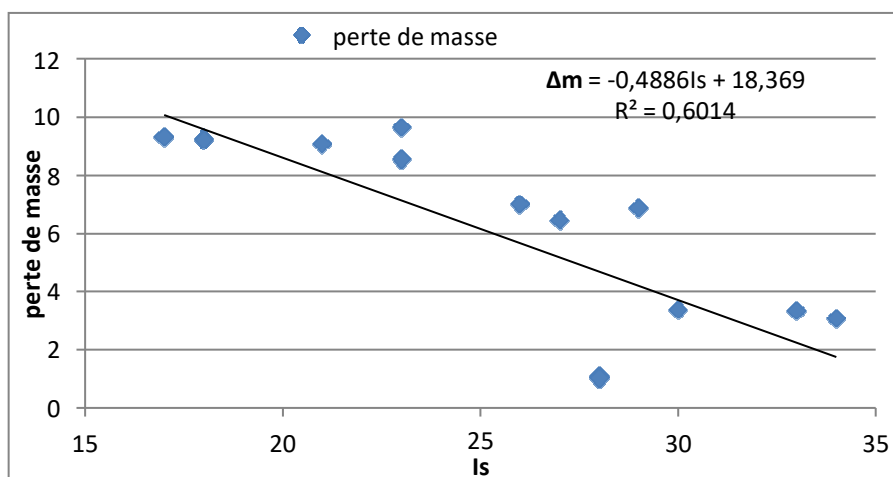


Figure IV.31 : La corrélation la perte de masse en fonction de l’indice sclérométrique pour BF15 à 28 jours.

IV.6.2 Étude de corrélation entre la perte de masse et la résistance à la compression

IV.6.2.1 La corrélation la perte de masse en fonction de la résistance à la compression pour BF0

A partir de cette figure (IV.32), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la perte de masse et La résistance à la compression. Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (IV.7) ayant un coefficient de corrélation.

$$\Delta m = -0,2188R_c + 12,418 \quad (IV.7)$$

$$R^2 = 0,5028$$

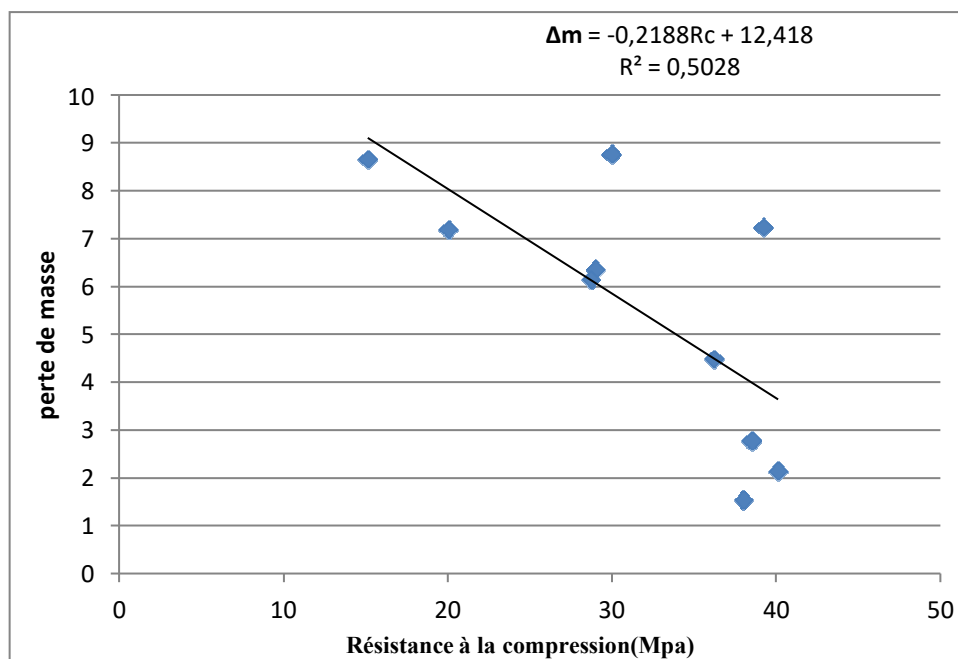


Figure IV.32 : La corrélation la perte de masse en fonction de résistance à la compression pour BF0 à 28 jours.

Cette figure montre qu'il existe entre la perte de masse et l'indice de rebondissement une faible corrélation ($R = 0,5028$) correspondant à l'ensemble des bétons BF0

IV.6.2.2 La corrélation la perte de masse en fonction de la résistance à la compression pour BF10

A partir de cette figure (IV.33), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la perte de masse et La résistance à la compression. Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (IV.8) ayant un coefficient de corrélation

$$\Delta m = -0,1827R_c + 10,207 \quad (IV.8)$$

$$R^2 = 0,5033$$

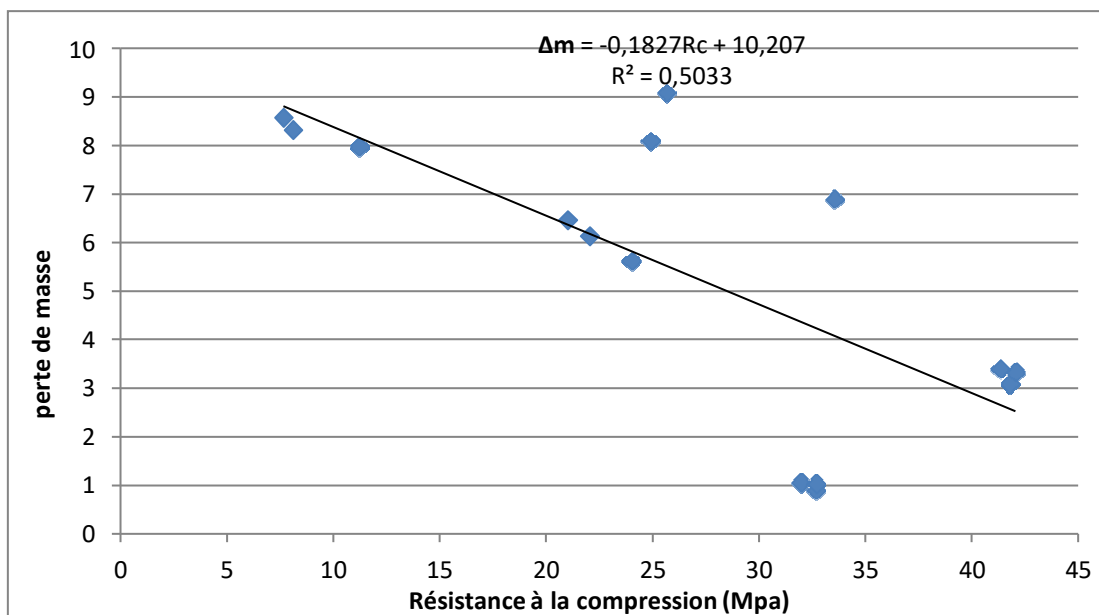


Figure IV.33 : La corrélation la perte de masse en fonction de résistance à la compression pour BF10 à 28 jours.

Cette figure montre qu'il existe entre la perte de masse et l'indice de rebondissement une bonne corrélation ($R = 0,5033$) correspondant à l'ensemble des bétons BF10

IV.6.2. 3 La corrélation la perte de masse en fonction de la résistance à la compression pour BF15

A partir de cette figure (IV.34), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la perte de masse et La résistance à la compression. Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (IV.9) ayant un coefficient de corrélation

$$\Delta m = -0,3012R_c + 12,484 \quad (IV.9)$$

$$R^2 = 0,5022$$

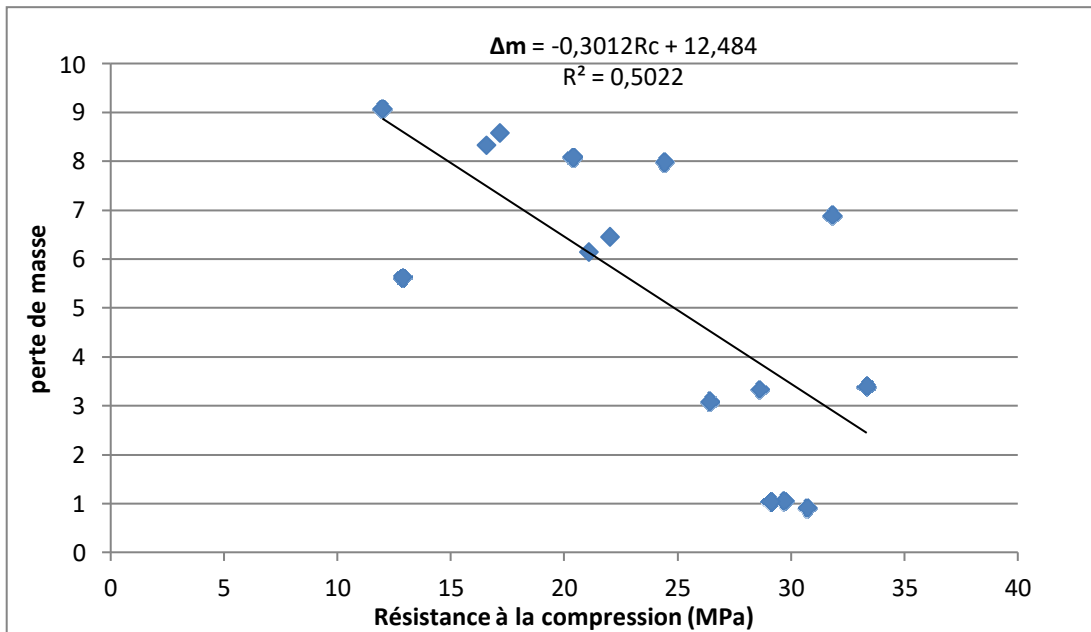


Figure IV.34 : La corrélation la perte de masse en fonction de résistance à la compression pour BF15 à 28 jours

Cette figure montre qu’il existe entre la perte de masse et l’indice de rebondissement une faible corrélation ($R = 0,5022$) correspondant à l’ensemble des bétons BF15

IV.6. 3 Étude de corrélation entre la vitesse et la résistance à la compression

IV.6. 3.1 La corrélation la (R_c) en fonction de (V) pour BF0

A partir de cette figure (IV.35), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la vitesse et La résistance à la compression. Par une formule de forme linéaire, présentée par l’équation (IV.9) ayant un coefficient de corrélation

$$R_c = 0,0051V + 1,398 \quad (IV.9)$$

$$R^2 = 0,8051$$

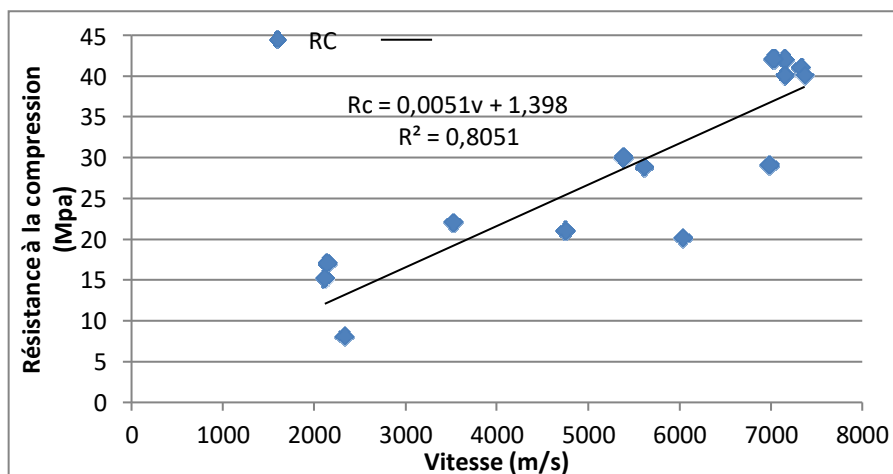


Figure IV.35 : La corrélation la (R_c) en fonction de (V) pour BF0 28 jours.

Cette figure montre qu'il existe entre la vitesse et la résistance à la compression une bonne corrélation ($R = 0,8051$) correspondant à l'ensemble des bétons BF0.

IV.6. 3.2 la corrélation la (Rc) en fonction de (V) pour BF10

A partir de cette figure (IV.36), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la vitesse et La résistance à la compression. Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (IV.10) ayant un coefficient de corrélation

$$Rc = 0.0043V + 5.6218 \quad (IV.10)$$

$$R^2 = 0,6878$$

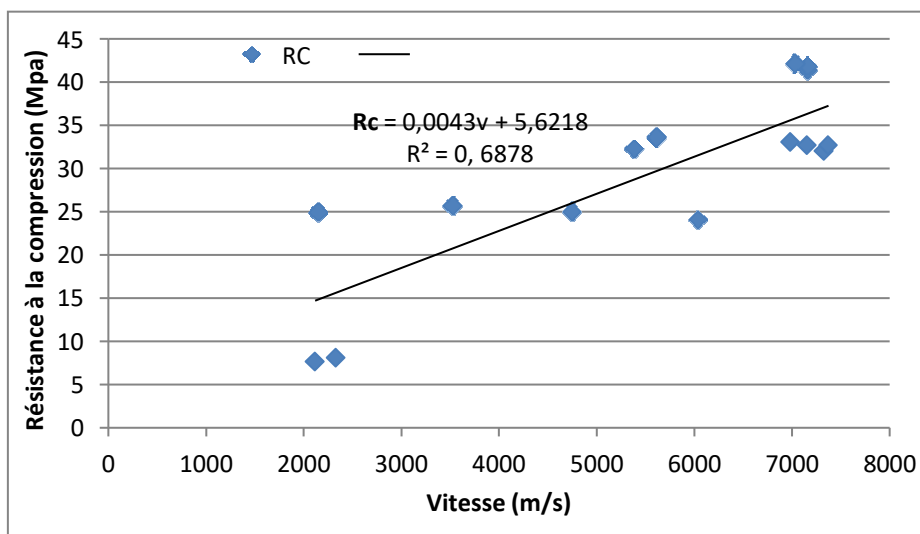


Figure IV.36 : La corrélation la (Rc) en fonction de (V) pour BF10 28 jours

Cette figure montre qu'il existe entre la vitesse et la résistance à la compression une bonne corrélation ($R = 0,6878$) correspondant à l'ensemble des bétons BF10.

IV.6. 3.3La corrélation la (Rc) en fonction de (V) pour BF15

A partir de cette figure (IV.37), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la vitesse et La résistance à la compression. Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (IV.11) ayant un coefficient de corrélation

$$Rc = 0.0043V - 7.6207 \quad (IV.11)$$

$$R^2 = 0,6626$$

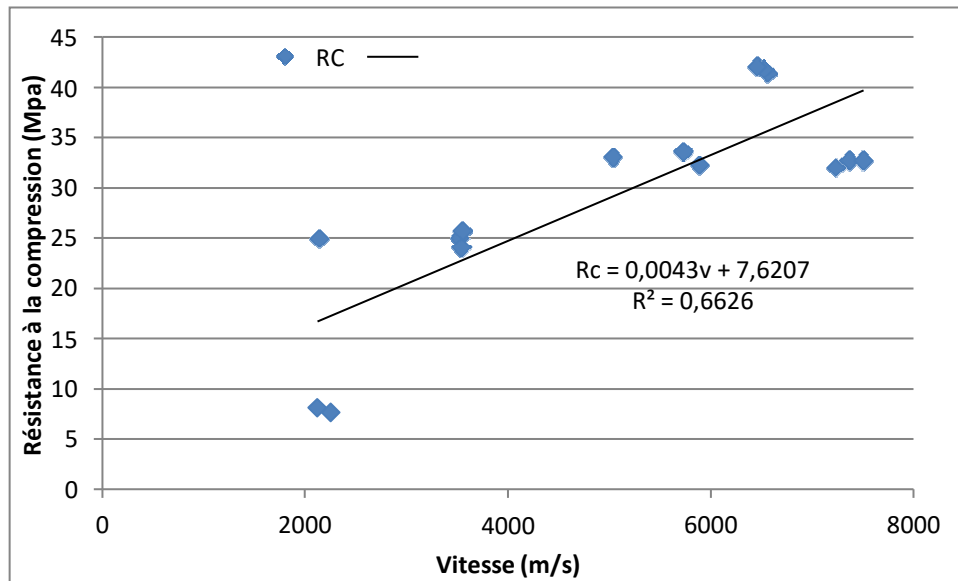


Figure IV.37 : La corrélation la (Rc) en fonction de (V) pour BF15 28 jours

Cette figure montre qu’il existe entre la vitesse et la résistance à la compression une bonne corrélation (R = 0,6626) correspondant à l’ensemble des bétons BF15

IV.6. 4 Étude de corrélation entre la résistance à la compression et l’indice sclérométrique

IV.6. 4.1.La corrélation (Rc) en fonction de (Is) pour BF0

A partir de cette figure (IV.38), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la vitesse et La résistance à la compression. Par une formule de forme linéaire, présentée par l’équation (IV.12) ayant un coefficient de corrélation

$$Rc = 2.7755Is + 51.264 \quad (IV.12)$$

$$R^2 = 0,8803$$

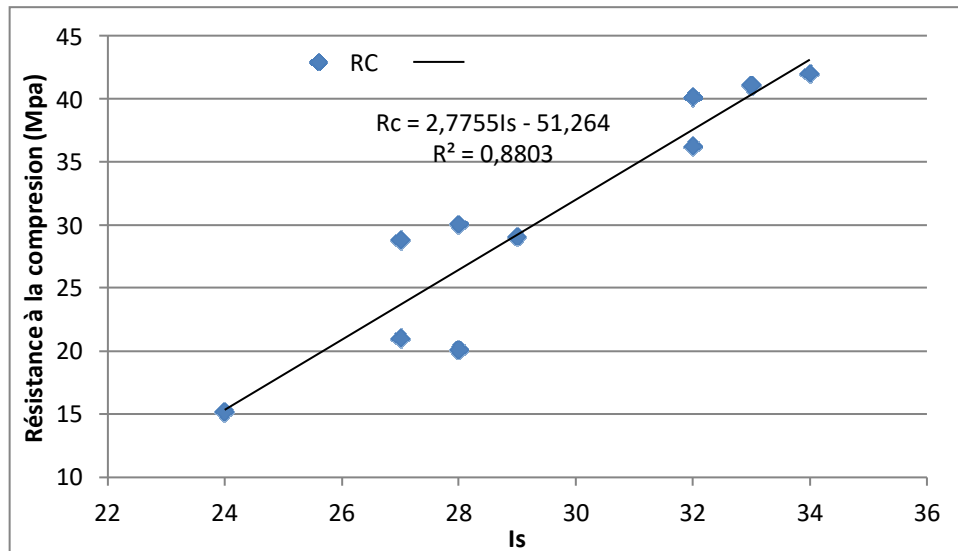


Figure IV.38 : La corrélation (Rc) en fonction de (Is) pour BF0 à 28 jours

Cette figure montre qu’il existe entre L’indice sclérométrique et la résistance à la compression une bonne corrélation (R = 0,8803) correspondant à l’ensemble des bétons BF0

IV.6. 4.2.la corrélation (Rc) en fonction de (Is) pour BF10

A partir de cette figure (IV.39), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la vitesse et La résistance à la compression. Par une formule de forme linéaire, présentée par l’équation (IV.13) ayant un coefficient de corrélation

$$Rc = 1.9463Is + 22,773 \quad (IV.13)$$

$$R^2 = 0,7026$$

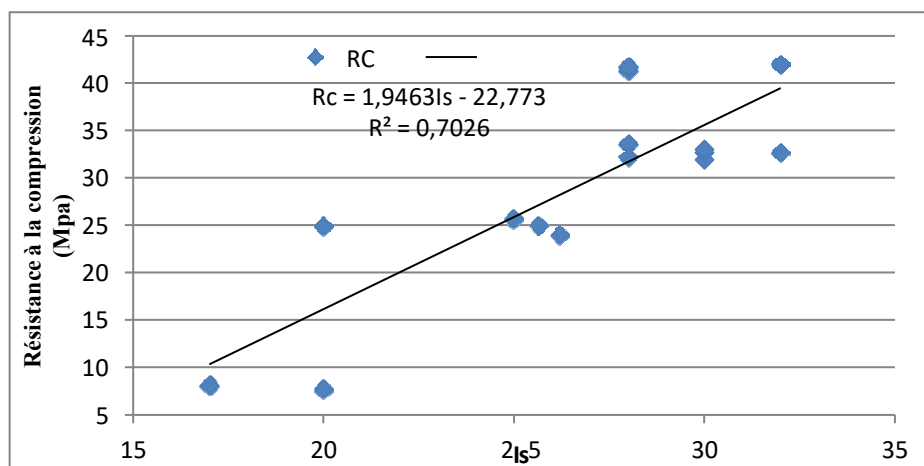


Figure IV.39 : La corrélation (Rc) en fonction de (Is) pour BF10 à 28 jours

Cette figure montre qu’il existe entre L’indice sclérométrique et la résistance à la compression une bonne corrélation (R = 0.8311) correspondant à l’ensemble des bétons BF10

IV.6. 4.3.La corrélation (Rc) en fonction de (Is) pour BF15

A partir de cette figure (IV.40), nous concluons à une corrélation entre les mesures de la vitesse et La résistance à la compression. Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (IV.14) ayant un coefficient de corrélation

$$Rc = 1,838Is + 16,859 \quad (IV.14)$$

$$R^2 = 0,8311$$

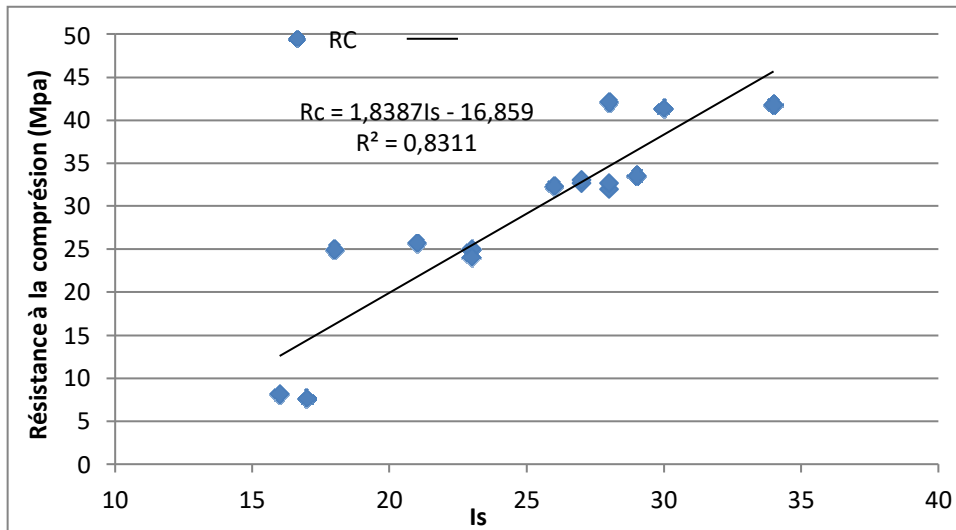


Figure IV.40 : La corrélation (Rc) en fonction de (Is) pour BF15 à 28 jours

Cette figure montre qu'il existe entre L'indice sclérométrique et la résistance à la compression une bonne corrélation (R = 0,8311) correspondant à l'ensemble des bétons BF15

IV.7 Les méthodes combinées

IV.7.1 Corrélation (Rc) entre (V) et (Is) pour les bétons BF0

On procède à la combinaison des techniques de mesure pour minimiser ou bien éliminer les erreurs liées aux conditions de mesure dans le but de composer les insuffisances des méthodes non destructives (ultrason , scléromètre)

D'après cette figure IV.41, on remarque une courbe de corrélation combinée établie entre la résistance à la compression (Rc) et les mesures d'indice de rebondissement (IS) correspondantes et vitesses ultrasoniques (V) pour BF0. On aboutit à l'expression analytique de cette corrélation, en utilisant la régression multiple de forme linéaire présentée par l'équation (IV.15), la corrélation devient acceptable avec un coefficient de corrélation $R^2=0.599$.

$$Rc = -13.16 + 1.259Is + 0.001524V \quad (IV.15)$$

$$R^2 = 0.599$$

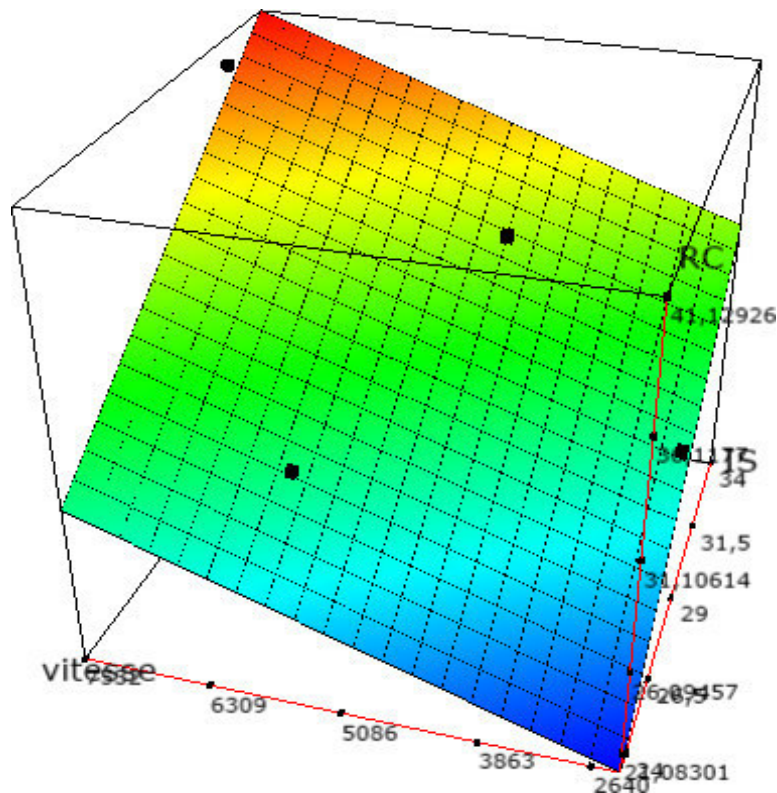


Figure IV.41: Corrélation entre la résistance à la compression, la vitesse d'ultrason et l'indice sclérométrique pour BF0 à 28 jours

IV.7.2 Corrélation (Rc) entre (V) et (Is) pour les bétons BF10

On procède à la combinaison des techniques de mesure pour minimiser ou bien éliminer les erreurs liées aux conditions de mesure dans le but de composer les insuffisances des méthodes non destructives (ultrason , scléromètre)

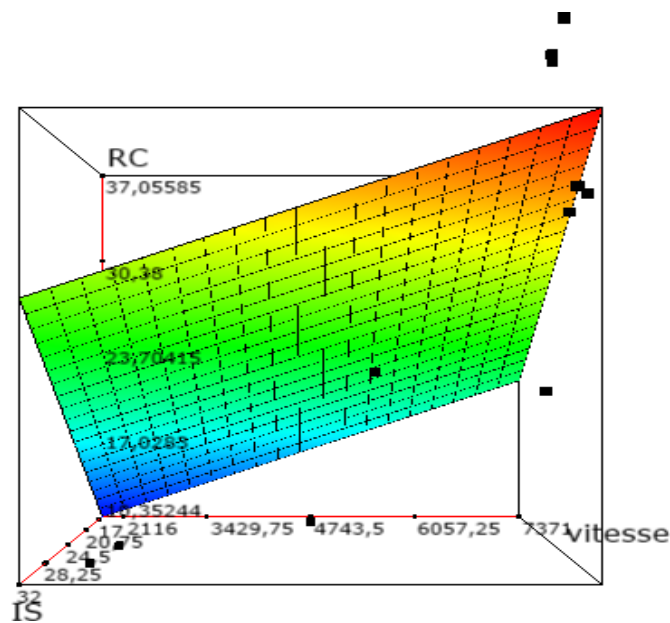


Figure IV.42: Corrélation entre la résistance à la compression, la vitesse d’ultrason et l’indice sclérométrique pour BF10 à 28 jours.

$$Rc = - 12.12 + 1.069 Is + 0.002029 V \quad (IV.16)$$

$$R^2 = 0.596$$

D’après cette figure (IV.42), on remarque une courbe de corrélation combinée établie entre la résistance à la compression (Rc) et les mesures d’indice de rebondissement (IS) correspondantes et vitesses ultrasoniques (V) pour BF2. On aboutit à l’expression analytique de cette corrélation, en utilisant la régression multiple de forme linéaire présentée par l’équation (IV.16) , la corrélation devient acceptable corrélation avec un coefficient $R^2=0.596$.

IV.7.2 Corrélation (Rc) entre (V) et (Is) pour les bétons BF15

La figure (IV.43) consiste à définir la corrélation combinée effectuée entre les résistances à la compression par écrasement (Rc) et les mesures d’auscultations correspondantes indices de rebondissement (Is) et les vitesses ultrasoniques (V) pour BF15

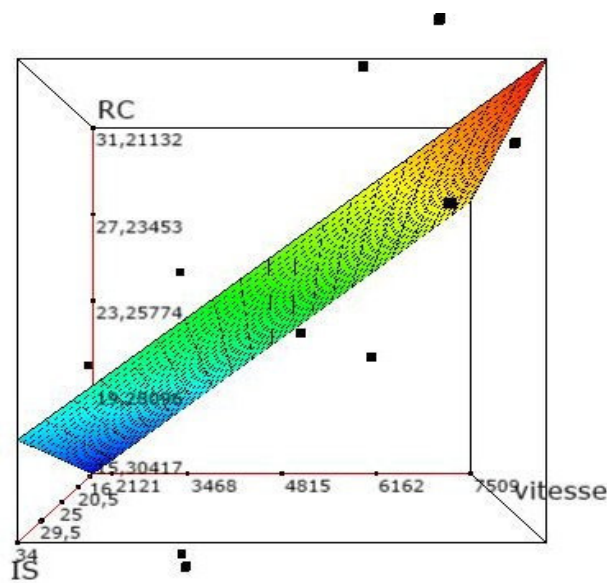


Figure IV.43: Corrélation entre la résistance à la compression, la vitesse d’ultrason et l’indice sclérométrique pour BF15 à 28 jours.

$$Rc = 7.368 + 0.1878 Is + 0.002325 V \quad (IV.16)$$

$$R^2=0.631$$

Nous avons extrait une expression analytique pour cette corrélation par la régression multiple de forme linéaire présentée par l’équation (IV.17) avec un coefficient de corrélation $R = 0.631$. La corrélation susvisée est donc bonne.

Tableau IV. 1: Formules de corrélation proposées pour l'estimation des propriétés physiques et mécaniques.

Caractéristiques	Méthode	BF0	BF10	BF15
Résistance mécanique (MPa)	Ultrason	$R_c = 0,0051v + 1,398$ $R^2 = 0,8051$	$R_c = 0,0043v + 5,6218$ $R^2 = 0,6878$	$R_c = 0,0043v + 7,6207$ $R^2 = 0,6626$
	Scléromètre	$R_c = 2,7755I_s - 51,264$ $R^2 = 0,8803$	$R_c = 1,9463I_s - 22,773$ $R^2 = 0,7026$	$R_c = 1,8387I_s - 16,859$ $R^2 = 0,8311$
	Combiné	$R_c = -13.16 + 1.259I_s + 0.001524V$ $R^2 = 0.599$	$R_c = - 12.12 + 1.069 I_s + 0.002029 V$ $R^2 = 0.596$	$R_c = 7.368 + 0.1878 I_s + 0.002325 V$ $R^2=0.631$
La densité (Kg/m3)	Ultrason	$R_c = -13.16 + 1.259I_s + 0.001524V$ $R^2 = 0.599$	$R_c = - 12.12 + 1.069 I_s + 0.002029 V$ $R^2 = 0.596$	$R_c = 7.368 + 0.1878 I_s + 0.002325 V$ $R^2=0.631$
	Scléromètre	$p = -0,6953I_s + 25,687$ $R^2 = 0,7354$	$\Delta m = -0,5639I_s + 20,517$ $R^2 = 0,6391$	$\Delta m = -0,4886I_s + 18,369$ $R^2 = 0,6014$

IV.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous concluons que le béton produit avec l'ajout de poudre de céramique dans des proportions différentes développe l'état physique et mécanique par rapport au béton ordinaire en présence de différentes températures, car il affecte également la résistance du béton. Par conséquent, l'étude de la corrélation qui a été menée permet de mettre en évidence les corrélations entre propriétés physiques et mécaniques et résultats d'essais non destructifs et dégradables à haute température. Enfin, d'après les résultats des études qui ont été menées, on peut dire que la corrélation entre la résistance à la compression et la mesure de l'essai destructif, en plus du fait qu'il existe un effet significatif de la température sur le béton.

Conclusion générale

Conclusion général :

Le but de notre travail est d'utiliser de la poudre de céramique finement broyée comme additif pour ciment dans le but de former du béton en présence de température élevée.

Les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis d'atteindre les résultats suivants :

- En gardant le rapport E/C autour de 0,5, avec un affaissement fixe de 7cm.
- L'ajout de poudre de céramique a donné des résultats satisfaisants par rapport à la composition témoin, mais dans la composition de béton BF10, la résistance mécanique était bonne.
- L'ajout de la poudre de céramique a donné des résultats acceptables par rapport à la composition témoin, essentiellement la composition de béton BF15 amélioré la maniabilité et la résistance mécanique;
- L'effet de la température élevée sur la perte de masse n'a été visible qu'à la première température (300 °C), car l'évaporation se produit à une température voisine de (100 °C). Cette déshydrations provoque des modifications microstructurales qui influent sur les résistances mécaniques. On a pu noter qu'à 300 °C, les valeurs des résistances en flexion sont plus faibles que celles à la température ambiante. En compression toutes les formulations de béton présentent une augmentation de la résistance à 500 °C comparativement à celle à 300 °C.
- Aux températures 500 °C et 700 °C, les pertes de masse des différents bétons sont voisines.
- La densité du béton en présence de céramique est de 10 % supérieure à sa présence de 15 % par rapport à la composition témoin.
- On remarque que les résistances à la compression chutent à 300 °C par rapport à 20 °C et 500 °C, avec un meilleur résultat à 500 °C pour les formulations sans ajout et avec ajout.
- L'utilisation des super plastifiants dans la fabrication des bétons améliore beaucoup les caractéristiques rhéologiques et mécaniques du béton ; cette amélioration dépend du dosage et de la nature de super plastifiant utilisé.
- Nous avons constaté, d'après les résultats obtenus de cette étude, que l'amélioration de la résistance à la compression est obtenue d'environ 8%, 3% pour (BF10, BF15) respectivement par rapport au béton témoin; ceci peut être expliqué par la bonne compatibilité du liant avec ce super plastifiant et des additifs,
- La vitesse des ondes soniques de tous les bétons diminue avec l'augmentation de température, et un processus d'accélération dans la diminution de la vitesse des ondes soniques est observé dans la plage de 300 à 700 °C. Dans cette plage de température, la vitesse des ondes soniques des bétons contenant du céramique présente les valeurs les plus faibles que celles des bétons témoin.

Conclusion général

- Les corrélations que nous avons atteintes dans notre étude sont bonnes en présence de céramique à 10 % et mauvaises à 15 %, surtout en présence d'une température élevée (500 et 700) car le béton brûle ses composants et donc le manque de résistance dû à la résistance à la compression par fissuration et mesures non destructives (indice de rebond et vitesse ultrasonore Pour tous types de béton testés.
- Nous recommandons de poursuivre ce travail par des études avec des pourcentages inférieurs de 15% de poudre de céramique.

RECOMMANDATIONS

Notre étude expérimentale nous a permis de faire la recommandation suivante :

- ❖ L'utilisation du(MEB) pour voir et examiner la structure des matières étudiées.
- ❖ Etudier la durabilité des bétons à base de poudre de céramique en milieu agressif ;
- ❖ Etudier le comportement des bétons à base de poudre de céramique au feu.
- ❖ L'utilisation d'un adjuvant super plastifiant par des différents pourcentages.
- ❖ Utilisé le céramique comme un sable.

En perspectives, nous envisageons les améliorations de la qualité de béton par des matériaux locaux comme la poudre de céramique qui lui donne de meilleures caractéristiques a certain dosage.

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique:

- [1] **Boudchicha Abdelaziz.** « utilisation des additions minérales et adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologique et mécaniques des bétons », mémoire de master, université Mentouri Constantine, 2007
- [2] Effets des additions minérales et adjuvants fluidifiants sur le comportement rhéologique des mortiers et bétons frais et durcis à base de sables des carrières
- [3] **Mounir, S., & Mokrani, E. H. A. H.,** (2019). Corrélation aux moyens des essais non destructifs (END) et essai direct (ED) d'un béton à base de matériaux locaux (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- [4] **Zoubiri, A.** (2016). Comportement du béton à base de la poudre de verre à hautes températures Effet de l'âge (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M 'sila).
- [5] **Fares, H.** (2009). Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons auto-plaçant exposés à une température élevée (Doctoral dissertation, Université de Cergy Pontoise).
- [6] **Belouadah, M.** (2018). Etude de l'influence de la nature des fillers sur les propriétés des bétons à base des matériaux locaux à l'état frais et à l'état durci et soumis aux hautes températures (Doctoral dissertation, Université de M'sila).
- [7] **Chouiter, Y.** (2016). Etude du comportement d'un béton à haute performance (BHP) avec des fibres de verre soumis à haute température (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M' sila).
- [8] **Aggoune, A .**(2016). Evaluation de la qualité des bétons auto-plaçant(BAP) fibré exposés à haute température aux moyens des essais non-destructifs (NDT) et essai direct (Doctoral dissertation, Université de M'sila).
- [9] WWW.Sofranel.com/fr/inspection-visuelles
- [10] **Rahmouni, Z. EL., Tebbal, N.** Influence de la nature des granulats sur le comportement rhéologique du béton à hautes températures. MATEC Web of Conferences 11, 01010;
- [11] <https://maconnerie.bilp.fr/guide-générale/part-1-généralités/matriel-matériaux/béton/chauffé>
- [12] <https://e3arabi.com/البنية/الخيل-طرق-شهادات>
- [13] **Boukhelkhal, D., & Kenai, S.** (2015, May). Détermination non destructive de la résistance du béton sur site (Scléromètre & Ultrason). In Rencontres Universitaires de Génie Civil.
- [14] <https://e3arabi.com/البنية/الخيل-طرق-شهادات>
- [15] <https://www.soft-concept.com/surveymag/definition-fr/definition-coefficient-de-corrélation-linémaire.html>
- [16] **Guechi, M & Saadi, N.EL.I.**(2020) Béton à base de graviers industriels (déchets céramique)-etude bibliographique(Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- [17] **Rahmouni .Z .A, Tebbal . N, IY Omri.** Effect of curing temperature in the alkali-activated brick waste and glass powder mortar and their influence of mechanical resistances. KnE Engineering, (2020) 49–61-49–61.

Référence Bibliographique

- [18] **Belouadah M, Rahmouni ZEA, Tebbal N.** Experimental characterization of ordinary concretes obtained by adding construction waste (glass, marble). *Procedia Computer Science* (2019) 158, 153-162;
- [19] **Belouadah M, Rahmouni ZEA, Tebbal N.** Influence of the addition of glass powder and marble powder on the physical and mechanical behavior of composite cement. *Procedia Computer Science* 158 (2019) 366–375;
- [20] **Belouadah M, Rahmouni ZEA, Tebbal N.** Effects of glass powder on the characteristics of concrete subjected to high temperatures. *Advances in concrete construction* 6 (2018) (3), 311;
- [21] **Belouadah M.** Etude de l'influence de la nature des fillers sur les propriétés des bétons à base des matériaux locaux à l'état frais et à l'état durci et soumis aux hautes températures. Université de M'sila. (2018);
- [22] **Tebbal N, Rahmouni Z, Belouadah M.** Influence d'un ajout sur le comportement mécanique des bétons a haute performance soumis à des températures élevées. 30eme Rencontres AUGC—IBPSA Chambéry, Savoie, France, 6 au 8 juin 2012;
- [23] **Tebbal N, Rahmouni Z.** La relation rhéologique entre la nature des granulats et le comportement du béton a hautes températures. 12ème congrès de Mécanique 21-24 Avril 2015 Casablanca (Maroc)
- [24] **Rahmouni Z, Belouadah M, Tebbal N.** Contribution to the study of the development of non-destructive and destructive tests of glass powder concrete at high temperatures »attended online the icon '21 international conference on materials and energy icome 2021'holded from June 9th to 11th 2021 in Metz, France.

UN DEMI SIÈCLE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION.

NA 442/2013

CEM II/A-L 42.5 N

Ciment Portland au Calcaire

Produit disponible chez nos filiales

Société des Ciments de Hadjar Soud
(SCHS, SKIKDA)

Société des Ciments de Ain El Kebira
(SCAEK, Sétif)

Société des Ciments de Ain touda
(SCIMAT, Batna)

Société des Ciments de Sour El Ghozlene
(SCSEG, Bouira)

Société des Ciments de Béni Saf
(SCIBS, Ain Temouchent)

Société des Ciments de Hamma Bouziane
(SCHB, Constanfine)

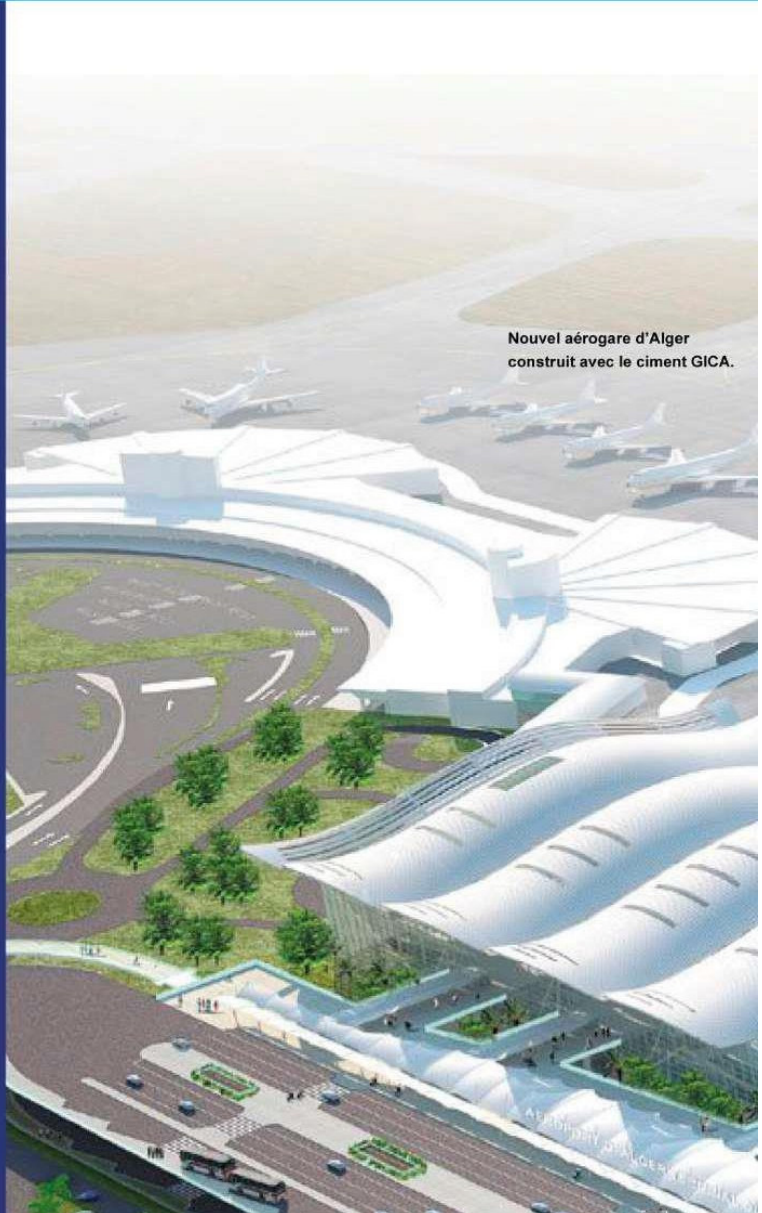
Société des Ciments de l'Algérois
(SCAL, Alger)

Société des Ciments de Saida
(SCIS, Saida)

Société des Ciments de la Mitidja
(SCMI, Blida)

Entreprise des Ciments et Dérivés d'Ech-Chelif
(ECDE, Chlef)

Nouvel aéroport d'Alger
construit avec le ciment GICA.



CEM II/A-L 42.5 N Ciment Portland au Calcaire

CEM II

Présentation

Le **CEM II/A-L 42.5 N** est un Ciment Portland au Calcaire (**CPC**), certifié selon exigences et les normes en vigueur.

Domaine d'emploi

Le ciment **CEM II/A-L 42.5 N** de GICA est adapté pour les usages suivants :

- Travaux de fondation, souterrains, d'assainissement ;
- Génie civil (ouvrage et routes) ;
- Les bétons armés et non armés, préfabriqués ou précontraints, étuvés et auto étuvés ;
- Travaux de construction (logements, locaux commerciaux et industriels);
- Produits dérivés du ciments.

Recommandations spécifiques et générales

- Pour les travaux sous la pluie, par temps chaud, par grand vent ou par temps de gel utilisé des adjuvants normalisés et appropriés ;
- Les coulées doivent être régulières et continues par couches de faible épaisseur ;
- La hauteur de chute du béton ne peut pas dépasser 1 mètre de hauteur, de façon à éviter toute ségrégation. Au delà de cette hauteur, il est indispensable de prévoir l'utilisation d'une goulotte amenée à hauteur convenable, ou d'une cheminée d'alimentation ;
- Adapter la vibration du béton à sa consistance pour obtenir une compacité optimal sans ségrégation ;
- Veiller au respect des temps de prise lors de la livraison du béton frais.

COMPOSITION

	Clinker	Ajout calcaire	Constituant secondaire
Taux %	(80 à 94) %	Catégorie A (06 à 20) %	(De 0 à 5) %

PACKAGING

Sacs 50kg / Disponible en Vrac

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

	TEMPS DE PRISE	STABILITÉ
TEMPS	≥ 60 minutes	≤ 10 minutes

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Résistance à la compression à 02 J	Résistance à la compression à 28 J
≥ 10.0 N/mm ²	≥ 42.5(N/mm ²) & ≤ 62.5(N/mm ²)

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Teneur en sulfates (SO3)	Teneur en chlorures (Cl)
≤ 3.5 %	≤ 0.10 %



Groupement Industriel des Ciments d'Algérie (GICA) 2019

Certification



Retrouvez nous sur



Groupement Industriel des Ciments d'Algérie (GICA)
Siège social : Route de Dar El Beida Meftah (W. de Blida), Algérie
Tél/Fax : +213(0) 25 45 61 98 / 213(0) 25 45 62 61
site web : www.gica.dz

NOTICE TECHNIQUE

Version 03

Edition Janvier 2018

1 3 6

MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme EN 934-2 tab 1, tab 3.1 et tab 3.2 et NA 17052-2

Super Plastifiant -/Haut réducteur d'eau

Description

Le MEDAPLAST SP 40 est un super plastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

Domaines D'application

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

Propriétés :

Grâce à ses propriétés le MEDAPLAST SP 40 permet :

Sur béton frais :

- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

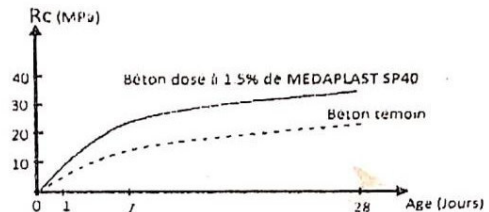
- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

DESIGNATION	Rc MPA	
Jours	7j	28j
Témoin	8,05	31,3
MEDAPLAST SP 40(1.5%)	13,65	38,13

Béton CEM II/A 42.5 = 350Kg/m³ ; E/C = 0.46
Gravier et sable concassés

Caractéristiques :

- Aspect Liquide
- Couleur Marron
- PH 8,2
- Densité 1,20 ± 0,01
- Teneur en chlore < 1g/L
- Extrait sec 40%



Evolution des résistances en compression

Mode D'emploi

Il est recommandé d'ajouter le MEDAPLAST SP 40 dans le béton après introduction de la totalité de l'eau de gâchage. Il est conseillé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage adéquat pour les résultats recherchés.

Dosage:

Plage de dosage recommandée : 0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés

Conditionnement Et Stockage

Le MEDAPLAST SP 40 est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 260 kg et en cubitainers de 1200 kg.

Durée de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Précaution D'emplois

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERIB en 17 JUL 2016.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Zone industrielle Oued Smar - BP 85 Oued Smar - 16270, Alger
Tél : +213 (0)215 16681 & 82
Fax : +213 (0)215 16422 & 0215 16523
www.granitex-dz.com - e-mail : granitex@granitex-dz.com