



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Benzala Chettouh

Habireche Kacem

DOMAINE : Sciences Techniques

FILIERE : Génie Civil

OPTION : Structures

Thème

**RECHERCHE D'UNE CORRELATION ENTRE LES
RESISTANCES A LA COMPRESSION DES BETONS COURANTS
OBTENUES PAR ECRASEMENT L'AUSCULTATION
ULTRASONIQUE ET SCLEROMETRIQUE : APPLICATION A
DES ELEMENTS DE STRUCTURES**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade		qualité
Khenfer Med Mouldi	Professeur	U. Laghouat	Président
Nouioua Tahar	M.A.A	U. Laghouat	Examineur
Merah Ahmed	M.C.A	U. Laghouat	Rapporteur
Krobba Benharzallah	M.A.A	U. Laghouat	Co-rapporteur

Promotion : JUIN - 2018

إهداء

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين

أما بعد،

أهدي هذا العمل المتواضع إلى:

من يسعد قلبي بلقائها

من ربّنتي وأنارت دربي وأعانتني بالصلوات والدعوات

إلى أعلى إنسان في هذا الوجود،

أمي الحبيبة.

إلى من عمل بكد في سبيلي وعلمني معنى الكفاح وأوصلني إلى ما أنا عليه

أبي العزيز.

إلى إخوتي وأخواتي.

إلى زوجتي المصونة.

إلى كل الأهل والأقارب.

إلى كل أساتذتي الكرام.

إلى كل الزملاء والزميلات في الدراسة.

إلى كل الأصدقاء والأحباب وكل من مد لي يد العون من قريب أو بعيد.

حبيرش قاسم

Dédicaces

Je dédie ce travail

À mes parents, tout d'abord à ma mère, une femme comme on en rencontre plus de nos jours,

À mes frères et sœurs. À toute ma famille

À tous mes amis de services de moyens généraux et planification surtout Belkacem et Meriem qui

m'ont soutenu aussi bien lors de préparation de ce travail

À nos respectables professeurs pour leur patience et le savoir qu'ils ont bien voulu nous

Transmettre.

Chettouh.

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tenons d'abord à remercier Dieu pour nous 'avoir donné la force et la patience pour venir à bout de cette thèse.

Nous voudrions saisir l'occasion qui nous est offerte pour exprimer nos profondes gratitude et tous nos remerciements à nos promoteurs Monsieur Merah Ahmed, Maître de Conférences à l'Université Amar Thelidji de Laghouat et Monsieur Krobba Benharzallah, Maitre-Assistant l'Université Amar Thelidji de Laghouat, pour leur dévouement, leurs précieux conseils, leurs critiques constructives et leur intérêt qu'ils ont porté toute au long de l'élaboration de ce travail.

Nous remercions également monsieur Khenfer Med Mouldi ; Professeur à l'université Amar Thelidji de Laghouat d'avoir accepté de présider le jury de délibération.

Nos remerciements vont également à Messieurs : Nouioua Tahar ; Maitre à Assistant l'Université Amar Thelidji de Laghouat ; de nous avoir fait l'honneur d'examiner et de porter un regard critique sur notre travail en participant au jury de délibération.

En addition, nos vives et parfaites convictions sont allouées au personnel du laboratoire de Génie Civil et C.T.C. LAGHOUAT pour l'assistance et l'accompagnement pendant la durée de la réalisation de notre travail de laboratoire.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

.

.

ملخص

تؤدي الاختبارات التخطيمية المستخدمة في تقييم مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة إلى إضعاف بنية الخرسانة (اختبار على العينات الجزرية)، وتوليد نفايات ضارة بيئيًا عند استخدام اختبار مقاومة الضغط البسيط.

يعد مقياس الصلادة غير التخطيمي والاختبار بمقياس النبض بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة المتصلبة بديلاً لعلاج المشكلات التي يسببها الاختبار التخطيمي. الهدف من هذا العمل هو اقتراح علاقة تربط بين اختبار مقياس الصلادة ومقياس سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية وبين اختبارات مقاومة الضغط. في هذا السياق، تم تطوير صيغتين للخرسانة تعتمد على مواد محلية نوعين من الإسمنت CEM I 42.5 و CEM II 42.5 الأكثر استخدامًا في الجزائر، كما تم إجراء اختبارات متزامنة على مكعبات للاختبار (اختبار الموجات فوق الصوتية، اختبار الصلادة، اختبار مقاومة الضغط) في أعمار 7 و 28 يومًا. تظهر نتائج هذه الاختبارات وجود علاقة جيدة بين مقاومة الضغط ونتائج مقياس الصلادة والموجات فوق الصوتية.

اعتمادًا على هذه العلاقات يمكن التنبؤ بمقاومة الضغط للخرسانة دون الحاجة إلى اختبارات تخطيمية. ومع ذلك، يمكن تحسين هذه العلاقات بأخذ العوامل المؤثرة في هذه الاختبارات بعين الاعتبار.

كلمات مفتاحية: اختبارات غير التخطيمية، مقياس الصلادة، مقياس سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية، مقاومة الضغط.

Abstract

Destructive testings used in evaluating the compressive strength of hardened concrete weaken the structure (coring), generate environmentally harmful waste generally when using the simple compression test.

Non-destructive sclerometer and ultrasonic testing on hardened concrete is an alternative to remedy the problems caused by the destructive testing. For this purpose, The objective of this work is to find a relationship between compressive strength, sclerometer bounce and ultrasonic velocity tests. In this context, two formulations of concretes based on local materials and two types of cements (CEM I 42.5 and CEM II 42.5) most used in Algeria, were developed and simultaneous tests on the cubes (Ultrasound test, sclerometric test, crushing test) are performed at ages of 7 and 28 days. The results of these tests show a good correlation between the compressive strength and the sclerometric, ultrasonic and combined results (ultrasound and sclerometer). These relationships can predict the compressive strength of concrete without the need for destructive testing. Nevertheless, these relationships can be improved by taking into account the parameters influencing these tests.

Key words : Nondestructive Testing; Rebound Hammer; Ultrasonic Pulse Velocity; Combined Method; Compressive Strength;

Table des Matières

Dédicace.....	I
Remerciements.....	III
Résumé.....	IV
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux.....	X
Introduction générale.....	2

CHAPITRE I

Synthèse bibliographiques

I	Introduction.....	4
II	Revue sur les essais destructifs sur les betons durcis.....	4
II.1	Essai de compression simple.....	4
II.2	Essai de carottage	5
II.2.1	Principe	5
III	Revue sur les essais non destructifs sur les betons durcis	5
III.1	Différents Essais Non Destructifs	5
III.1.1	Essai au scléromètre.....	5
III.1.1.1	Principe fondamental.....	5
III.1.1.2	Description de l'appareil	6
III.1.1.3	Fonctionnement de l'appareil	7
III.1.1.4	Procédé de mesure	8
III.1.1.5	Facteurs influençant la mesure de l'indice de rebondissement	9
III.1.1.6	Modèles de littérature de corrélation entre la résistance et l'indice de rebondissement	10

III.1.1.7	Avantages et limites d'essai du marteau de rebondissement	12
III.1.1.8	Normalisation des méthodes de mesure de la dureté de surface	12
III.1.2	Essai au ultrasonique.....	13
III.1.2.1	Principe fondamental.....	13
III.1.2.2	Description de l'appareil	13
III.1.2.3	Procédé de mesure	15
III.1.2.4	Applications de la méthode ultrasonique.....	17
III.1.2.5	Estimation de la résistance du béton.....	18
III.1.2.6	Facteurs affectant la vitesse d'impulsion ultrasonique	18
III.1.2.7	Modèles de corrélation entre la résistance et la vitesse ultrasonique	19
III.1.2.8	Avantages et limites.....	21
III.1.2.9	Méthode combinée des essais non destructifs	21
IV	Conclusions.....	27

CHAPITRE II

Caractérisation des matériaux et techniques expérimentales

I	Introduction.....	29
II	Caractérisation des matériaux utilisés	29
II.1	Ciments.....	29
II.2	Granulats.....	29
II.2.1	Sable	29
II.2.2	Graviers	30
II.3	Eau de gâchage	31
III	Formulation du béton.....	31
III.1	Formulation de Dreux- Gorisse	31
III.2	Confection et conservation des échantillons	33
IV	Matériels utilisés pour les essais destructifs et non destructifs.....	34

IV.1	L'appareil ultrasonique.....	34
IV.1.1	Mode opératoire de l'appareil ultrasonique	35
IV.2	Scléromètre.....	36
IV.2.1	Mode opératoire du scléromètre.....	37
V	Conclusions.....	39

CHAPITRE III

Résultats et discussions

I	Introduction.....	41
II	Résultats des différents essais	41
III	Relation entre la résistance à la compression et l'indice de rebondissement	44
III.1	Ciment CEM I 42.5.....	44
III.2	Ciment CEM II 42.5	45
IV	Relation entre la résistance à la compression et la vitesse ultrasonique.....	47
IV.1	Ciment CEM I 42.5.....	47
IV.2	Ciment CEM II 42.5	48
V	Relation combinée entre la résistance à la compression, l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique	49
V.1	Ciment CEM I 42.5.....	49
V.2	Ciment CEM II 42.5	50
VI	Application à des éprouvettes cylindriques prélevés du béton d'un élément structural (voile) à Hassi R'mel (voir Annexe).....	52
VII	Conclusions.....	53
	Conclusion generale.....	55
	References bibliographiques.....	58

Annexe

Annexe 1 : Fiche technique ciment CPA biskria

Annexe 2 : Composition du béton utilisé

Liste des Figures

Fig. I.1	Marteau de rebondissement de Schmidt type N en cours d'utilisation.....	7
Fig. I.2	Vue en coupe schématique du marteau de rebondissement de Schmidt type N.....	7
Fig I.3	Vue en coupe schématique du fonctionnement.....	8
Fig I.4	Diagramme schématique du circuit d'essai de vitesse de l'impulsion.....	14
Fig I.5	Appareil de mesure de la vitesse d'impulsion.....	15
Fig I.6	Configurations des transducteurs pour la mesure de la vitesse ultrasonique.....	16
Fig I.7	Exemple de détermination de la vitesse de propagation du son par transmission indirecte (mesures en surface) 15.....	17
Fig I.8	Application de la méthode de la vitesse d'impulsion sur béton in situ.....	17
Fig I.9	Corrélation entre la résistance et la vitesse ultrasonique.....	18
Fig I.10	Corrélation combinée entre la résistance par écrasement et les mesures non destructives (indice de rebondissement – vitesse ultrasonique).....	22
Fig I.11	Variation des résultats obtenus à la figure 2.23.....	23
Fig I.12	Corrélation combinée entre la résistance par écrasement, l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique pour un béton de référence.....	23
Fig I.13	Corrélation combinée entre la résistance par écrasement, l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique.....	24
Fig II.1	La courbe d'analyse granulométrique du sable.....	30
Fig II.2	La courbe d'analyse granulométrique du gravier.....	31
Fig II.3	courbe de référence Dreux- Gorisse.....	32

Fig II.4 Éprouvettes conservées dans la Chambre humide à laboratoire.....	34
Fig II.5 Appareil de l’ultrason utilisé.....	35
Fig. II.6 Mesure du temps de transit par l’ultrason.....	36
Fig. II.7 Le scléromètre est de type N et de modèle C 181.....	37
Fig II.8 Mesure de l’indice de rebondissement par le scléromètre.....	38
Fig II.9 Presse hydraulique (3000 kN).....	38
Fig II.10 Écrasement d’éprouvette.....	39
Fig III.1 Corrélation Résistance à la compression – Indice de rebondissement. (CEM I).....	45
Fig III.2 Corrélation Résistance à la compression – Indice de rebondissement. (CEM II)....	46
Fig III.3 Corrélation Résistance à la compression – Vitesse ultrasonique. (CEM I).....	47
Fig III.4 Corrélation Résistance à la compression – Vitesse ultrasonique. (CEM II).....	48
Fig III.5 Corrélation combinée entre la résistance à la compression par écrasement et les mesures non destructives (Indice sclérométrique et Vitesse ultrasonique). CEM I....	49
Fig III.6 Corrélation combinée entre la résistance à la compression par écrasement et les mesures non destructives (Indice sclérométrique et Vitesse ultrasonique). CEM II...	51

Liste des Tableaux

Tableau I.1	Différents modèles de scléromètre.....	6
Tableau I.2	Corrélations proposées par différents auteurs entre la résistance à la compression R (MPa) et l'indice de rebondissement I.....	11
Tableau I.3	Relation générale entre la qualité du béton et la vitesse d'impulsion.....	13
Tableau I.4	Corrélations proposées par différents auteurs entre la résistance à la compression R (MPa) et la vitesse ultrasonique V (km/s, *: m/s).....	20
Tableau I.5	Corrélations proposées par différents auteurs entre la résistance à la compression R (MPa) et les mesures non destructives combinées (I, V (km/s)).....	25
Tableau II.1-	Caractéristiques de différents ciments utilisés.....	29
Tableau II.2	Formulation des différents bétons étudiés.....	32
Tableau II.3	Affaissement au cône d'Abrams.....	33
Tableau II.4	Répartition du nombre d'éprouvettes confectionnées.....	33
Tableau III.1	Résulta des essais destructifs et non destructifs sur le béton de ciment CME I.....	41
Tableau III.2	Résulta des essais destructifs et non destructifs sur le béton de ciment CME II.....	43

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les méthodes de contrôle de qualité du béton durci se répartissent en méthodes destructives et non destructives. Les méthodes de contrôle destructives sont à leur tour subdivisées en deux catégories et qui sont : le carottage et essais d'écrasement au laboratoire sur des éprouvettes confectionnées sur site, ces deux moyens de contrôle de béton présentent des inconvénients sur le plan économique et sur la stabilité de la structure.

Le carottage est réalisé généralement sur des éléments de structure en faisant prélever des carottes. Cependant, les opérations de carottage sont coûteuses et les structures examinées peuvent subir des dégradations qui vont affaiblir la structure et minimiser leur durée de vie.

Dans le même contexte, les essais d'écrasement au laboratoire sur des éprouvettes confectionnés sur site ne sont pas généralement représentatifs et génèrent des déchets importants qui ont un effet néfaste sur l'environnement.

Pour répondre à ce souci, les méthodes non destructives sont venues remédier en partie à ces inconvénients en offrant un moyen pratique et fiable au contrôleur du béton. Les méthodes non destructives visées dans ce travail sont celles basées sur le scléromètre et l'ultrason.

La résistance à la compression du béton présente une caractéristique importante dans la durabilité et donne indication fiable sur la qualité du béton, d'où l'objectif de ce mémoire est de trouver une relation entre la résistance à la compression sur éprouvettes, l'indice sclérométrique, la vitesse ultrasonique et la méthode combinée. Cette relation va nous permettre de prédire la résistance à la compression des éléments de structures sans avoir recours aux méthodes destructives.

Afin de mettre en œuvre cet objectif, notre travail est divisé en trois chapitres répartis comme suit :

Le chapitre I traite une revue bibliographique sur les recherches sur les méthodes de contrôles destructifs et non destructifs, le deuxième chapitre présente la caractérisation des matériaux utilisés et les techniques expérimentales.

Le dernier chapitre est dédié aux résultats obtenus et leur interprétation.

Notre travail est achevé par une conclusion générale et des perspectives

Chapitre I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUES

I Introduction

Les essais non destructifs constituent une alternative fiable pour remplacer les essais destructifs, à travers ce chapitre, on va présenter les différentes recherches réalisées dans le domaine des essais non destructifs ainsi que les méthodes combinées (ultrason et scléromètre) et leur relation avec la résistance à la compression.

II Revue sur les essais destructifs sur les bétons durcis

Les principales techniques d'évaluation du béton couramment utilisées en génie civil sont présentées dans les ouvrages de Malhotra and Carino , Bungey and Millard , ou Breysse and Abraham [1].

La résistance à la compression des bétons est une caractéristique importante qui est évaluée par des essais sur des échantillons ayant été confectionnés avec la même gâchée que les structures (cubes par exemple) ou bien ayant été prélevés (carottes) directement sur les ouvrages à ausculter. Ces essais sont destructifs. Les mesures des résistances R_c et R_t sont réalisées avec des presses (compression, traction par fendage, par flexion, etc.). L'utilisation des méthodes non destructives in situ présente une solution fiable pour éviter le recours aux essais destructifs coûteux et nocifs pour l'environnement.

II.1 Essai de compression simple

La caractéristique essentielle du béton durci est la résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages. Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou une carotte à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression suivant des spécifications et de normes bien déterminées.

- Norme de référence : EN 12390-3 (2007): Essais pour béton durci. [2]

- Conditions de préparation et de conservation définies dans la norme EN 12390-2 (2007). [3]

La norme européenne EN 13791 décrit les différentes procédures de détermination de la résistance en compression sur ouvrages ou sur éléments préfabriqués. Elles distinguent les méthodes directes qui consistent à mesurer la résistance sur des carottes prélevées

directement sur l'ouvrage, des méthodes indirectes qui sont peu destructives. Parmi ces méthodes on trouve l'essai au rebound hammer et l'essai UPV (ultrasonique pulse vitesse).

II.2 Essai de carottage

II.2.1 Principe

Le carottage est un essai non destructif réalisé sur des éléments des structures en béton armé en prélevant des carottes au moyen d'un carottier, leurs extrémités sont préparées par rectification ou par surfacage, puis testées en compression.

Certains essais destinés à analyser les modifications des propriétés du béton, ne peuvent être réalisées in situ. En conséquence, il convient de prélever des échantillons et de les apporter dans un laboratoire. Le carottage ne doit pas porter atteinte à la stabilité ou à la résistance structurelle de l'ouvrage ; les armatures devront être repérées avant le carottage, pour éviter autant que faire se peut de récupérer des éprouvettes de béton avec des armatures. Le stockage des carottes est conforme à la norme EN12504-1 les carottes doivent être protégées et mises dans un sac plastique fermé à chacune des extrémités. Pour des essais mécaniques, le diamètre doit être égal au moins à 3D (D=dimension du plus gros granulats), un élongement de l'éprouvette de 2 est souhaitable [4].

III Revue sur les essais non destructifs sur les bétons durcis

III.1 Différents Essais Non Destructifs

Parmi les méthodes non destructives les plus populaires et habituellement utilisées du fait de leur simplicité et de leur moindre coût, pour évaluer certaines propriétés et déterminer la résistance du béton sur site sont :

- Les ultrasons UPV (ultrasonique pulse vitesse)
- Le rebound-hammer RH ou scléromètre

III.1.1 Essai au scléromètre

III.1.1.1 Principe fondamental

Le scléromètre est principalement un appareil de contrôle de la dureté d'une surface de béton durci. Il travaille sur le principe que le rebondissement d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface. Plus la distance de rebondissement est grande, plus la surface essayée est dure. Il y a peu de rapport théorique apparent entre la résistance du

béton et l'indice de rebondissement du marteau. Cependant, avec des limites, des corrélations empiriques ont été établies entre les propriétés de résistance et l'indice de rebondissement [5].

III.1.1.2 Description de l'appareil

Il existe plusieurs types de scléromètre qui se différencient par la valeur de l'énergie d'impact, type de recul et leur destination à l'essai comme le montre le Tableau I.1.

Tableau I.1 Différents modèles de scléromètre [6]

Modèle	Energie d'impact (Kgf.m)	Type de recul	Domaine d'utilisation
L	0.075	Linéaire	• Eléments minces en béton ($e < 10$ cm) • Bétons à base des granulats légers
M	3.000	Linéaire	Eléments massifs
N	0.225	Linéaire	Bétons usuels
NA	0.225	Linéaire	Contrôle de la qualité du béton sous l'eau
NR	0.225	Linéaire	Identique au modèle N mais avec un dispositif d'enregistrement des mesures
PT	0.090	Angulaire	Contrôle de la qualité des matériaux de très faible résistance ($R_c < 5$ MPa)

Le scléromètre le plus adapté au béton ordinaire est le marteau de rebondissement de Schmidt de modèle N qui est montré dans la figure I.1. Il pèse environ 1.8 kg et convient aux essais en laboratoire comme aux essais sur chantier.

Une vue en coupe schématique du scléromètre de modèle N est montrée dans la figure I.2. Les composants principaux incluent dans le corps : la tige de percussion, la masse du marteau et le ressort principal. D'autres dispositifs y incluent : un mécanisme de verrouillage qui ferme la masse du marteau à la tige et un curseur coulissant pour mesurer le rebondissement de la masse du marteau. La distance de rebondissement est mesurée sur une échelle arbitraire marquée de 10 à 100. La distance de rebondissement est enregistrée comme un "indice de rebondissement" correspondant à la position du curseur sur l'échelle [5].



Fig. I.1 Marteau de rebondissement de Schmidt type N en cours d'utilisation.

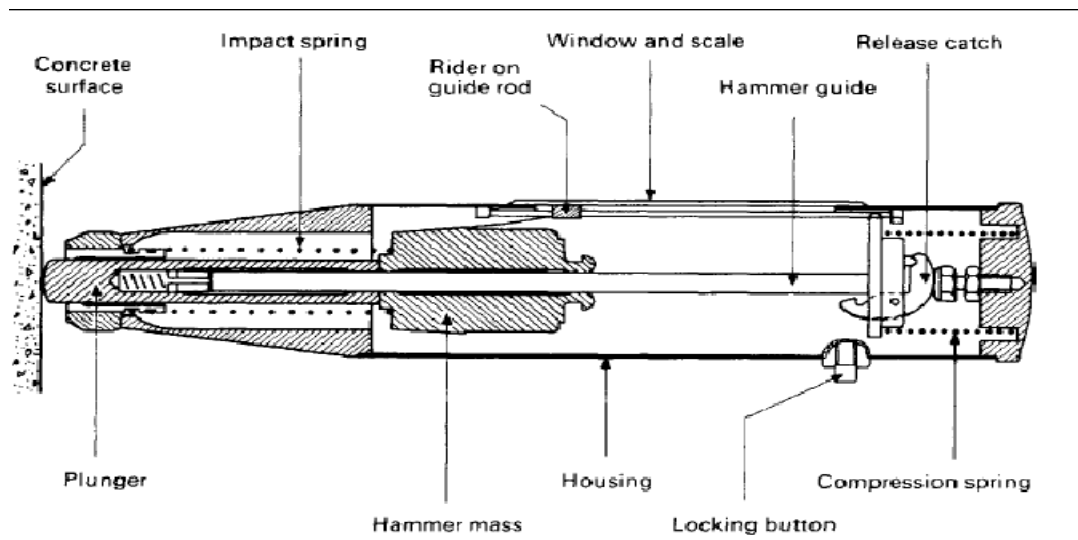


Fig. I.2 Vue en coupe schématique du marteau de rebondissement de Schmidt type N [5].

III.1.1.3 Fonctionnement de l'appareil

Pour préparer l'instrument pour l'essai, libérer la tige de sa position verrouillée en poussant violement la tige contre le béton, ce qui permet au corps de s'éloigner lentement du béton. Ceci fait sortir la tige du corps et le verrou attache la masse du marteau à la tige (Fig I.3.A). La tige est alors maintenue perpendiculaire à la surface du béton et en poussant lentement le corps vers le béton (Fig I.3.B). Ce mouvement va tendre le ressort qui tient la masse au corps. Quand le corps est poussé à la limite, le verrou est automatiquement libéré, et l'énergie stockée au ressort venant propulser la masse vers le bout de la tige et par là, la surface du béton (Fig I.3.C). La tige de percussion réagit et retransmet le rebondissement à la masse (Fig I.3.D).

Lors de rebondissent, le curseur coulisse avec la masse et il s'arrête à la distance maximale où la masse atteint après le rebondissement. Un bouton du côté du corps est poussé pour fermer à clef la tige dans la position rétractée et l'indice de rebondissement est indiqué sur une échelle linéaire solidaire du bâti de l'instrument [5].

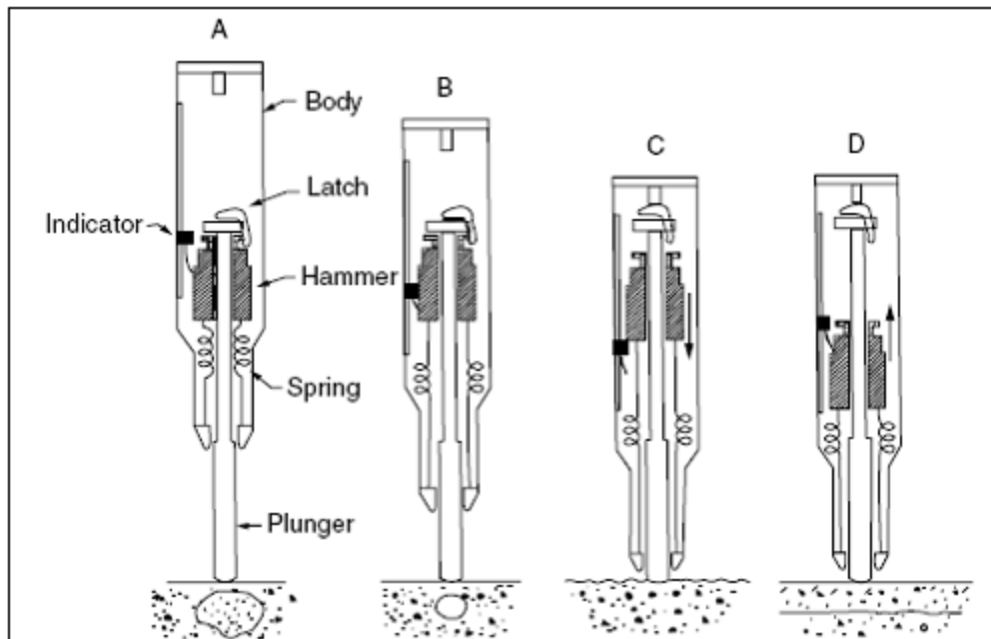


Fig L3 Vue en coupe schématique du fonctionnement

III.1.1.4 Procédé de mesure

La lecture est très sensible aux variations locales dans le béton, particulièrement à la présence immédiatement de gros granulats et des vides sous la tige lors de l'essai. Il est donc nécessaire de prendre 10 à 12 mesures par zone et de trouver leur moyenne exprimée sous forme de nombre entier [7, 8]. En éliminant les lectures différentes de la valeur médiane de plus de six unités et ensuite on détermine la moyenne pour le reste. Si plus de 20% de l'ensemble des lectures diffèrent de la valeur médiane de plus de six unités, l'ensemble des lectures doit être écarté. Il est recommandé de définir sur la surface à essayer des zones d'environ 300 mm x 300mm, et de tracer un quadrillage de 25 mm à 50 mm de côté, et de considérer les intersections de ces lignes comme points d'impact de la tige de percussion. La distance minimale entre deux essais de choc étant de 25 mm et aucun essai ne doit être réalisé à moins de 25 mm du bord de la surface testée [8, 9].

Les éléments de béton soumis à l'essai doivent avoir une épaisseur minimale de 100 mm et être encastrés dans une structure. Des corps d'épreuve de dimensions plus réduites peuvent être testés à condition qu'ils soient fermement maintenus [8, 9]. La surface à essayer doit être lisse, propre et sèche. Si la surface est rugueuse, il devrait être lissée par ponçage avec une pierre abrasive. Toute trace d'humidité constatée à la surface, peinture ou enduit adhérent susceptible de fausser les mesures doivent être éliminées. Il convient d'éviter les zones présentant des nids de cailloux, des écaillages, des parties ébréchées, une texture grossière, une porosité élevée ou un enrobage moins de 20 mm d'épaisseur [9, 10]. Lors de l'essai chaque empreinte laissée sur la surface doit être examinée, et si le choc provoque l'écrasement ou la perforation d'une surface proche d'un vide d'air, le résultat ne doit pas être pris en considération [8, 9].

L'appareil peut être effectué à la position horizontale, verticale vers le haut ou vers le bas, ou à n'importe quel angle intermédiaire, à condition que le marteau soit fermement maintenu de manière à permettre à la tige de frapper perpendiculairement la surface d'essai. Il convient d'utiliser le scléromètre dans une température ambiante comprise entre 10 et 35 °C [8].

III.1.1.5 Facteurs influençant la mesure de l'indice de rebondissement

Plusieurs facteurs affectent la mesure de l'indice de rebondissement et par conséquent influent sur sa corrélation avec la résistance à la compression correspondante. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir :

- ✓ Uniformité de la surface d'essai ;
- ✓ Taille, forme et rigidité du spécimen ;
- ✓ Age du béton ;
- ✓ Degré d'humidité de la surface du béton ;
- ✓ Nature et qualité des granulats ;
- ✓ Type de ciment ;
- ✓ Inclinaison de l'appareil ;
- ✓ Carbonatation de la surface du béton. [12]

J. Helal et al montre que le marteau à rebond est une méthode simple, facile et peu coûteuse pour estimer les propriétés de résistance du béton. Cependant, les résultats de l'essai sur le béton sont influencés par divers facteurs tels que la rugosité de la surface, les propriétés géométriques

de l'éprouvette, l'âge de l'éprouvette, les conditions d'humidité superficielle et interne du béton, le type d'agrégat, le type de ciment et la carbonatation de la surface du béton.

L'estimation de la contrainte à partir des lectures de rebond des spécimens similaires à la courbe de corrélation les spécimens sont obtenus avec une précision de 15% à 20%. Il est donc recommandé d'utiliser l'essai de marteau à rebond comme méthode d'évaluation de la variabilité des propriétés de résistance entre les échantillons de béton plutôt que de se substituer à détermination de la compression simple.[13]

Aydin et Saribiyik ont tenté d'établir une relation entre les nombres de rebondissement (N) et la contrainte d'écrasement pour des cubes et des carottes provenant d'éléments de structures. Les données tracées ont été comparées en effectuant une régression linéaire. Il a été constaté que les variations de corrélation étaient plus élevées pour le béton plus vieux (plus de 90 jours). [14]

D'autre part, Pattanaika a suggéré qu'au moins deux méthodes indépendantes d'équipement différent des NDT devraient être utilisées pour déterminer la résistance à la compression du béton. En utilisant des courbes de corrélation, il a obtenu un facteur de correction qui peut être utilisé pour l'évaluation rapide de la qualité du béton par marteau à rebond. Il a également établi une corrélation entre chaque paire d'instruments NDT pour l'évaluation de la résistance à la compression du béton à l'endroit où on doit surveiller l'état de la structure. [15]

III.1.1.6 Modèles de littérature de corrélation entre la résistance et l'indice de rebondissement

L'évaluation de la résistance à la compression est habituellement basée sur des corrélations empiriques établies entre la résistance à la compression par écrasement et l'indice de rebondissement correspondant. Cependant, ce rapport reliant la résistance avec l'indice de rebondissement n'est pas unique, car il est affecté par beaucoup de facteurs, par exemple, type et dosage en granulats et en ciment, rapport E/C, et la teneur en humidité. Les fabricants fournissent généralement avec leurs appareils des courbes de corrélation établies suivant leurs propres systèmes d'essai, lesquels ne sont pas appropriées à tous les types de béton. Par conséquent, l'utilisateur doit développer sa propre corrélation qui est adaptée à sa situation [11].

Alors, plusieurs modèles de corrélation ont été proposés par différents chercheurs comme le montre le Tableau I.2.[12]

Tableau I.2 Corrélations proposées par différents auteurs entre la résistance à la compression R (MPa) et l'indice de rebondissement I [12]

Auteurs	Fonctions de régression	Plage de Résistance	Spécimens	Granulats	Réf.
Ravindrajah et al. (1988)	$R = 7.25e^{0.08 I}$	15.0 – 75.0	Cube 100mm	granite Dmax=20mm	[1]
Almeida (1993)	$R = 1.0407 I^{1.155}$ $R = 1.041 I^{1.155}$	40.1- 120.3	Cube 150mm	Granite Dmax=25mm	[1]
Gonçalves* (1995)	$R = 1.73 I - 34.3$	18.0 – 42.0	Carotte 70mmx70mm	/	[1]
Pascale et al*(2000)	$R = 0.000135 I^{3.4424}$	30.0 – 150.0	Cube 150mm	Calcaire Dmax=15mm	[1]
Qasrawi (2000)	$R = 1.353 I - 17.393$	6.0 – 42.0	Cube 150mm	variable	[7]
Soshiroda et Voraput (1999)	$R_{28} = 161 I_3 - 137$ $R_{28} = 147 I_{28} - 16.85$	20.0 - 65.0	Cube 150mm	gravier	[1]
Soshiroda et al. (2006)	$R_{28} = 1.846 I_3 - 10.583$ $R_{28} = 1.630 I_7 - 11.107$ $R_{28} = 1.623 I_{28} - 20.547$	12.45 -96.2	Cube 150mm	gravier	[24]
Lima et Silva (2000)	$R = 0.0501 I^{1.8428}$	25.1 – 33.1	Cylindre	/	[1]
Hobbs et Kebir (2007)	$R = 2.168 I - 27.747$	20.0 – 49.0	Cube 150mm	Gravier Dmax=20mm	[1]
Proceq-Digi Schimdt	$R_7 = 1.4553 I_7 - 22.817$ $R_{14-56} = 1.398 I_{14-56} - 2017$	25.1 – 33.1	Cube 200mm	gravier Dmax=32mm	[1]

III.1.1.7 Avantages et limites d'essai du marteau de rebondissement

Le marteau de rebondissement est un essai applicable pour évaluer l'uniformité et estimer le développement de la résistance du béton in situ, ainsi que pour déterminer des zones de faible qualité ou du béton détérioré dans une structure.

Cette méthode est peu coûteuse, simple et rapide pour connaître la résistance du béton, mais une précision entre ± 15 et $\pm 20\%$ n'est possible qu'avec des éprouvettes qui ont été coulées, soumises à un traitement de cure et examinées dans des conditions semblables à celles dans lesquelles les courbes de corrélation sont établies [17].

Il est clair que l'indice de rebondissement reflète seulement le béton de surface. Alors, les résultats obtenus sont représentatifs seulement de la couche externe du béton avec une épaisseur de 3 à 5 cm [7].

Cette méthode ne peut se substituer aux essais destructifs pour la détermination de la résistance du béton à la compression, alors elle n'est pas prévue comme base pour l'acceptation ou le rejet du béton en raison de l'incertitude inhérente dans la résistance estimée [18].

III.1.1.8 Normalisation des méthodes de mesure de la dureté de surface

La méthode de rebondissement a gagné une acceptation considérable, et a été introduite dans plusieurs normes telles que ASTM, EN et ISO pour l'estimation de la résistance à la compression du béton.

La norme américaine ASTM C 805 [33] « Méthode d'essai standard pour l'indice de rebondissement du béton durci » a été publiée pour la première fois en 1975 comme une méthode d'essai provisoire et adopté en 1979 comme méthode d'essai standard.

La norme européenne NF EN 12504-2 [8] « Essais pour béton dans les structures – Partie 2 : Essais non destructifs – Détermination de l'indice de rebondissement » spécifie une méthode permettant de déterminer l'indice de rebondissement d'une surface de béton durci à l'aide d'un marteau à ressort du type N qui a été développé à l'origine par la société Schmidt.

Cette norme découle du projet de norme internationale ISO/DIS 8045, « Béton durci - Détermination de l'indice de rebondissement à l'aide du scléromètre », et fait référence à l'ASTM C 805 [9]

III.1.2 Essai au ultrasonique

La méthode de la vitesse ultrasonique a été utilisée avec succès pour évaluer la qualité du béton pendant plus de 60 ans. Cette méthode peut être utilisée pour la détermination de l'homogénéité du béton, de la présence de fissures ou de vides, les changements de propriétés dans le temps et pour la détermination des caractéristiques physiques et dynamiques. Par ailleurs, il est également possible d'estimer la résistance du béton en laboratoire aussi bien que sur site.

Cet essai est une méthode véritablement non destructive, car elle est basée sur des ondes ultrasoniques ayant aucun dommage à l'élément examiné du béton. Un spécimen peut être examiné à plusieurs reprises au même endroit, ce qui peut s'avérer utile pour surveiller les changements structurels subis à l'intérieur du béton sur une longue durée [19].

III.1.2.1 Principe fondamental

Cet essai est une méthode de détermination de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques longitudinales dans le béton durci. Elle consiste à mesurer le temps de propagation entre deux points désignés sur la surface de l'objet à essayer. En sachant la longueur du parcours entre ces deux points, alors la vitesse d'impulsion peut être déterminée. Une vitesse élevée de propagation des impulsions indique généralement un béton de bonne qualité comme il a été décrit dans le Tableau I.3 [20, 17].

Tableau I.3 Relation générale entre la qualité du béton et la vitesse d'impulsion [20]

Vitesse de propagation des impulsions (m/s)	Qualité du béton
Supérieure à 4500	Excellente
3500 - 4500	Bonne
3000 - 3500	Moyenne
Inférieure à 3000	Douteuse

III.1.2.2 Description de l'appareil

L'appareillage est constitué d'un générateur d'impulsions électriques, d'une paire de transducteurs, d'un amplificateur et d'un dispositif électronique de mesure de temps permettant de mesurer la durée écoulée entre le départ d'une impulsion générée par le transducteur émetteur et son arrivée au transducteur-récepteur. Un barreau de calibrage est fourni pour

permettre d'obtenir une ligne de référence du mesurage de la vitesse [21]. L'équipement peut inclure une batterie rechargeable et une unité de chargement, et également muni d'un afficheur pour le temps mesuré. Il peut également être relié à un oscilloscope, ou à tout autre dispositif d'affichage, pour observer la nature de l'impulsion reçue. Un diagramme schématique est montré à la figure I.4 [19].

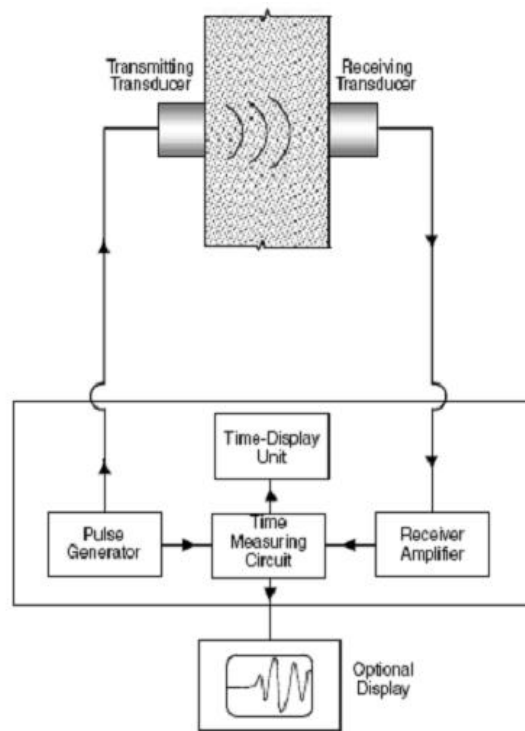


Fig I.4 Diagramme schématique du circuit d'essai de vitesse de l'impulsion

Les fréquences propres des transducteurs se situent généralement dans une plage comprise entre 20 et 150 kHz. Les impulsions à haute fréquence s'amortissent plus rapidement que les impulsions de plus basse fréquence. Il est donc préférable d'utiliser des transducteurs à haute fréquence (60 kHz à 200 kHz) pour les distances de parcours courts (à partir de 50 mm) ou pour le béton à haute résistance, tandis que les transducteurs à basse fréquence (10 kHz à 40 kHz) sont utilisés pour les distances de parcours longs (jusqu'à un maximum de 15 m) ou pour le béton à gros granulats. Les transducteurs ayant une fréquence de 40 kHz à 60 kHz conviennent pour la plupart des applications [19, 21]. L'instrument généralement utilisé est représenté à la figure I.5.



Fig I5 Appareil de mesure de la vitesse d'impulsion.

III.1.2.3 Procédé de mesure

L'opération est relativement simple mais exige un grand soin afin d'obtenir des résultats fiables. Il doit assurer un bon accouplement acoustique entre la surface du béton et la face du transducteur, en utilisant un produit de couplage tel que la vaseline, le savon liquide ou la graisse pour éliminer complètement les poches d'air. Il est important que cette couche de séparation devrait être mince autant que possible. Pour les surfaces lisses, il convient d'appliquer sur elle une couche mince de la vaseline ou le savon liquide, mais une graisse plus épaisse est recommandée pour les surfaces qui n'ont pas été coulées contre des surfaces lisses d'un coffrage. Si la surface du béton est très rugueuse et irrégulière, il convient de la polir et de l'égaliser par ponçage ou à l'aide d'une résine époxy à prise rapide. Il est recommandé d'appuyer fermement les faces des transducteurs contre les surfaces du béton jusqu'à la stabilité du temps affiché. Il est également important que les lectures soient répétées par le déplacement et la ré application des transducteurs jusqu'à l'obtention d'une valeur minimale du temps mesuré, avec une attention spéciale à l'élimination de n'importe quelle autre source de vibration, même de manière légère, pendant l'essai [10, 21, 22].

Pour la longueur de parcours, il doit mesurer la distance à ligne directe entre les centres des faces des transducteurs avec une précision de 0.5 % de la distance. De même que le temps de passage soit enregistré avec une précision de 0.5 % du temps. Le résultat ainsi obtenu de la vitesse de propagation du son doit être exprimé à 10 m/s près [21, 22]. Il y a trois configurations possibles dans lesquelles les transducteurs peuvent être arrangés, comme représenté à la figure I.6:

- ✓ faces opposées (transmission directe);
- ✓ faces adjacentes (transmission semi directe);

✓ la même face (transmission indirecte).

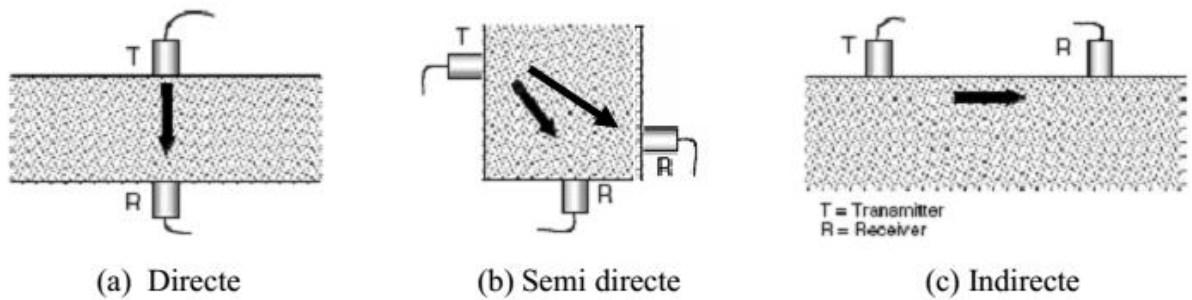


Fig I.6 Configurations des transducteurs pour la mesure de la vitesse ultrasonique [19].

La méthode directe est la plus fiable du point de vue de la mesure du temps de passage. En outre, le parcours est clairement défini et peut être mesuré exactement, et cette approche devrait être utilisée pour évaluer la qualité du béton. Lorsqu'il est nécessaire de placer les transducteurs sur des faces opposées, mais pas en opposition directe, ce type de disposition est alors considéré comme une transmission semi-directe. La disposition semi directe est utilisée lorsque la disposition directe ne peut pas être adoptée.

La disposition par transmission indirecte est la moins sensible, et il convient de ne l'utiliser que si une seule face du béton est accessible, ou si l'on s'intéresse à la qualité du béton de surface par rapport à la qualité globale. Dans ce cas la longueur de parcours n'est pas mesurée, mais une série de mesurages est effectuée avec des transducteurs positionnés à différentes distances. Le transducteur-émetteur doit être placé au contact de la surface du béton en un point x défini et le transducteur-récepteur doit être placé selon des espacements X_n augmentant de façon constante, le long d'une ligne tracée sur la surface. Il convient que les temps de transmission soient portés sur un graphique montrant leur relation avec la distance qui sépare les transducteurs (Fig I.7). La pente de la droite de régression tracée entre les points ($\tan \theta$) doit être mesurée et enregistrée comme étant la vitesse moyenne de propagation du son sur la ligne définie sur la surface du béton. Si les points mesurés indiquent une discontinuité, cela est probablement dû à une fissure de surface ou à une couche de surface de qualité inférieure, et dans ces conditions la mesure de la vitesse n'est pas fiable [21].

La méthode indirecte est certainement la moins satisfaisante, puisque l'amplitude du signal reçue peut-être moins de 3 % de celle pour une transmission directe comparable. Alors, la

vitesse de l'impulsion sera principalement influencée par la couche de surface du béton, qui ne peut pas être représentative du béton interne [10].

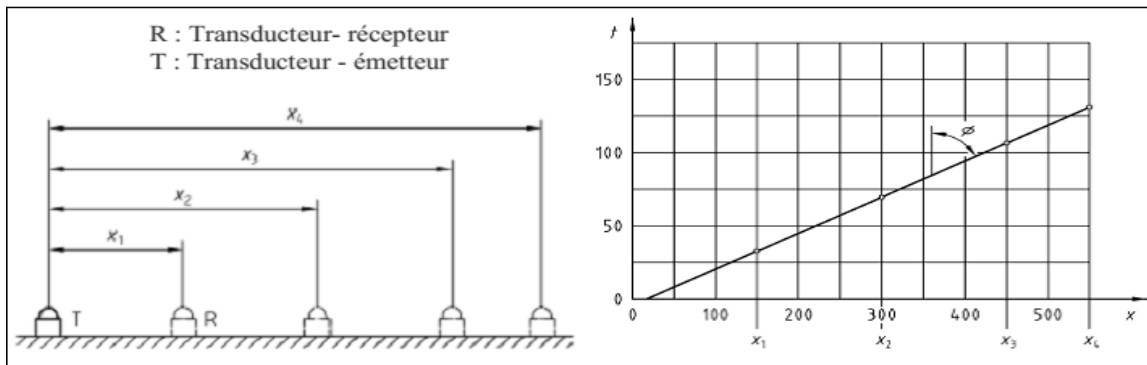


Fig 1.7 Exemple de détermination de la vitesse de propagation du son par transmission indirecte (mesures en surface) [21].

III.1.2.4 Applications de la méthode ultrasonique

La méthode de la vitesse d'impulsion a été appliquée avec succès aussi bien en laboratoire que sur chantier. En outre, elle peut être employée pour le contrôle de la qualité et l'analyse de la détérioration du béton in situ (Fig 1.8) [19]. Alors, cette méthode peut être généralement utilisée pour les applications suivantes:

- ✓ Estimation de la résistance du béton;
- ✓ Etablissement de l'homogénéité du béton;
- ✓ Etudes de l'hydratation du ciment;
- ✓ Etudes de la durabilité du béton;
- ✓ Mesure de la profondeur des fissures de surface;
- ✓ Détermination du module d'élasticité dynamique et module de Poisson.



Fig 1.8 Application de la méthode de la vitesse d'impulsion sur béton in situ.

III.1.2.5 Estimation de la résistance du béton

La méthode de vitesse d'impulsion peut fournir un moyen pour estimer la résistance du béton in situ et du béton préfabriqué bien qu'il n'y ait aucune relation physique entre la résistance et la vitesse. La résistance peut être estimée à partir de la vitesse d'impulsion par une corrélation graphique préétablie entre les deux paramètres (Fig I.9). Le rapport entre la résistance et la vitesse d'impulsion n'est pas unique, et est affecté par plusieurs facteurs, par exemple la taille, le type et la quantité des granulats, le type et le dosage en ciment, le rapport E/C et la teneur en humidité. L'effet de chaque facteur a été étudié par plusieurs chercheurs. Ils ont clairement précisé qu'aucune tentative ne devrait être faite pour estimer la résistance à la compression du béton à partir de la vitesse d'impulsion à moins que des corrélations semblables aient été précédemment établies pour le type de béton à l'étude [19].

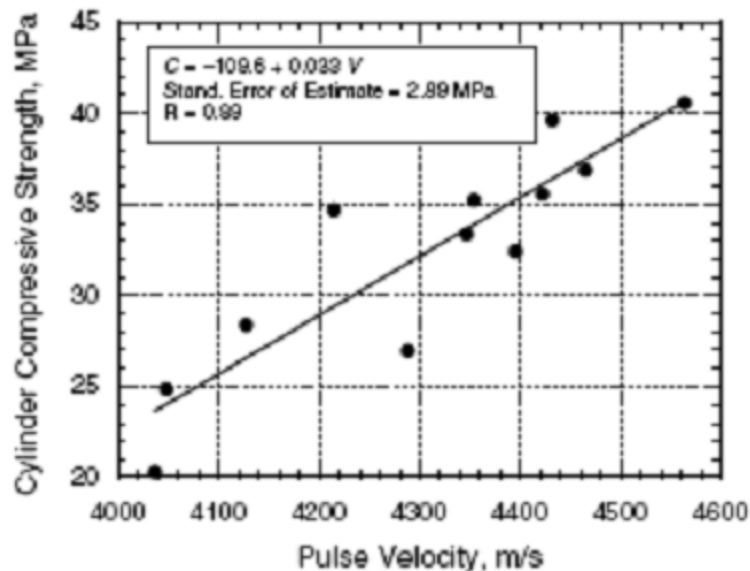


Fig I.9 Corrélation entre la résistance et la vitesse ultrasonique [19].

Plusieurs organismes de normalisation tels que la RILEM et le ACI ont fourni des recommandations pratiques afin de développer des corrélations entre les vitesses d'impulsion et les résistances à la compression.

III.1.2.6 Facteurs affectant la vitesse d'impulsion ultrasonique

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le béton résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du module d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton. Par ailleurs, la résistance du béton ne dépend pas nécessairement du dosage en gros granulats ou de leur module d'élasticité.

Cependant pour un granulat donné et une composition donnée, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir :

- ✓ Le type de ciment ;
- ✓ Le dosage en ciment ;
- ✓ La nature des granulats ;
- ✓ La granulométrie ;
- ✓ L'humidité du béton ;
- ✓ La maturité du béton ;
- ✓ Les adjuvants.

Les résistances des autres bétons qui diffèrent du béton standard pour lequel une courbe de calibrage a été établie, doivent être corrigés en affectant la résistance du béton de référence par des coefficients partiels d'influence correspondants.

III.1.2.7 Modèles de corrélation entre la résistance et la vitesse ultrasonique

L'évaluation de la résistance à la compression du béton in situ est habituellement basée sur des corrélations empiriques établies entre la résistance à la compression par écrasement et la vitesse ultrasonique correspondante. Aujourd'hui, il est unanimement admis que la résistance à la compression du béton croît en même temps que la vitesse ultrasonique avec une relation non linéaire c.à.d. qu'aux grandes vitesses, les résistances augmentent plus vite qu'aux faibles vitesses [23]. Les expressions analytiques les plus utilisées reliant la résistance à la compression "R" avec la vitesse ultrasonique "V" sont les suivantes :

- Relation de forme polynomiale: $R = a V^2 + b V + c$,
- Relation de forme puissance: $R = a V^b$,
- Relation de forme exponentielle: $R = a e^{bV}$

La forme d'expression mathématique adoptée pour la précision de la corrélation ne peut pas être responsable d'erreurs supérieures à 5 ou 7 %. Alors, l'essentiel pour la précision est la façon dont sont déterminées les constantes expérimentales a, b, et c qui sont affectées par beaucoup de facteurs, par exemple: type et dosage en granulats et en ciment, rapport E/C et les conditions de conservation du béton à examiner [23]. Cependant, l'utilisateur doit développer son propre modèle de corrélation qui est adapté à sa situation [11]. Plusieurs

modèles de corrélation ont été proposés dans ce sens par différents chercheurs comme le montre le tableau I.4. [12]

Tableau I.4 Corrélations proposées par différents auteurs entre la résistance à la compression R (MPa) et la vitesse ultrasonique V (km/s, *: m/s) [12]

Auteurs	Fonctions de régression	Plage de Résistance	Spécimens	Granulats	Réf.
Ravindraiah et al. (1988)	$R = 0.060 \exp(1.44 V)$	15.0 à 75.0	Cube 100mm	granite Dmax=20mm	[20]
Almeida (1993)	$R = 0.0133V^{5543}$	40.1 à 120.3	Cube 150mm	Granite Dmax=25mm	[20]
Gonçalves* (1995)	$R = 0.011 V^{5654}$				
	$R = 0.02 V - 65.4$	18.0 à 42.0	Carotte 70mmx70mm	/	[20]
Pascale et al* (2000)	$R = 10^{-28} V^{8.1272}$	30.0 à 150.0	Cube 150mm	Calcaire Dmax=15mm	[20]
Qasrawi (2000)	$R = 36.72 V - 129.077$	6.0 à 42.0	Cube 150mm	variable	[23]
Soshiroda et Voraput (1999)	$R_{28} = 44.52 V_1 - 126.83$ $R_{28} = 54.18 V_{28} - 206.27$	20.0 à 65.0	Cube 150mm	gravier	[20]
Soshiroda et al. (2006)	$R_{28} = 1.941 \exp(0.815 V_1)$ $R_{28} = 0.356 \exp(1.110 V_3)$ $R_{28} = 0.131 \exp(1.293 V_7)$ $R_{28} = 0.043 \exp(1.498 V_{28})$	12.45 à 96.2	Cube 150mm	gravier	[37]
Phoon et al (1999)	$R = 124.4 V - 587.0 + \xi$	35.0, 55.0 et 75.0	Cube 150mm	granite Dmax=20mm	[20]
Hobbs et Kebir (2007)	$R = 2.289V^2 - 48.024V + 24.271$	20.0 à 49.0	Cube 150mm	gravier Dmax=20mm	[38]
Elvery et Ibrahim (1976)	$R = 0.012 \exp(2.27 V) \pm 6.4$	15.0 à 60.0	Cube 100mm	Gravier Dmax=19mm	[20]
Yun et al (1988)	$R = 0.329 V - 1065$	5.0 à 30.0	Carotte 150mmx300mm	gravier Dmax=25mm Dmax=40mm	[20]

III.1.2.8 Avantages et limites

La méthode de la vitesse d'impulsion est un excellent moyen pour étudier l'uniformité du béton. Le procédé de l'essai est simple, l'équipement est disponible sur le marché et est facile à utiliser aussi bien en laboratoire que sur site.

Les méthodes d'essai ont été normalisées par plusieurs normes. L'essai ultrasonique ajoute une nouvelle dimension à la qualité du contrôle du béton dans l'ouvrage. Il peut être effectué sur des spécimens en laboratoire comme sur le béton dans des structures. En plus, les techniques ultrasoniques peuvent fournir un moyen efficace pour détecter les fissures de surface et interne du béton de structure [19].

Toutefois, ces essais ne sont pas aussi efficaces pour évaluer la résistance à cause du grand nombre de variables influençant la relation entre la résistance et la vitesse des impulsions [17].

III.1.2.9 Méthode combinée des essais non destructifs

Vu les limites que présentent les essais uni-paramétriques au scléromètre et à l'ultrason, l'utilisation d'une seule méthode ne sera pas suffisante pour étudier et évaluer la propriété requise du béton. Alors, il est donc habituellement pratique d'associer les deux méthodes ensemble car l'utilisation de plus d'une méthode donne des résultats plus fiables et va réduire l'erreur produite lors de l'utilisation d'une seule méthode. Par exemple, l'augmentation de la teneur en humidité du béton augmente la vitesse ultrasonique d'impulsion mais au contraire diminue l'indice de rebondissement. Cette combinaison a été développée depuis plusieurs années dans quelques pays et par conséquent elle a gagné la reconnaissance dans l'évaluation des structures en béton [7,11, 26].

En outre, les résultats obtenus par la méthode combinée (scléromètre - ultrason) lors de la corrélation avec la résistance à la compression donnent généralement un coefficient de corrélation plus élevé et une erreur type moins élevée comparativement aux méthodes uni-paramétriques [11, 26, 27].

Le principe de l'estimation de la résistance à la compression du béton par la méthode combinée des deux dispositifs de mesure (scléromètre - ultrason) consiste à établir une courbe de corrélation donnant la variation de la résistance du béton en fonction de l'indice de rebondissement et de la vitesse ultrasonique.

Plusieurs chercheurs ont proposés différents modèles de corrélation par la méthode combinée sous forme graphique et sous forme d'équations reliant les mesures des essais non destructifs (indice de rebondissement et vitesse ultrasonique) avec la résistance à la compression par écrasement.

Hisham Y. Qasrawi [7] a développé un modèle combiné sous forme graphique en regroupant les indices de rebondissement avec un incrément de 2 (Fig I.10). Alors, il a abouti à une meilleure corrélation par la méthode combinée comparativement aux méthodes uni-paramétriques. En outre, l'auteur a fait recours à l'intervalle de confiance pour tenir compte de la variation des résultats obtenus auparavant (Fig I.11).

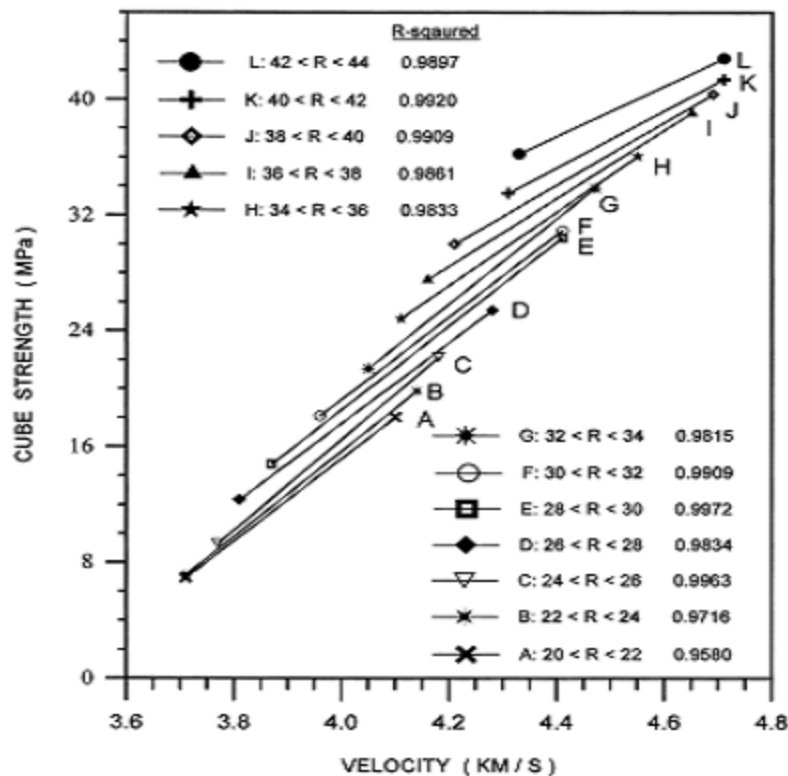


Fig I.10 Corrélation combinée entre la résistance par écrasement et les mesures non destructives (indice de rebondissement – vitesse ultrasonique) [7].

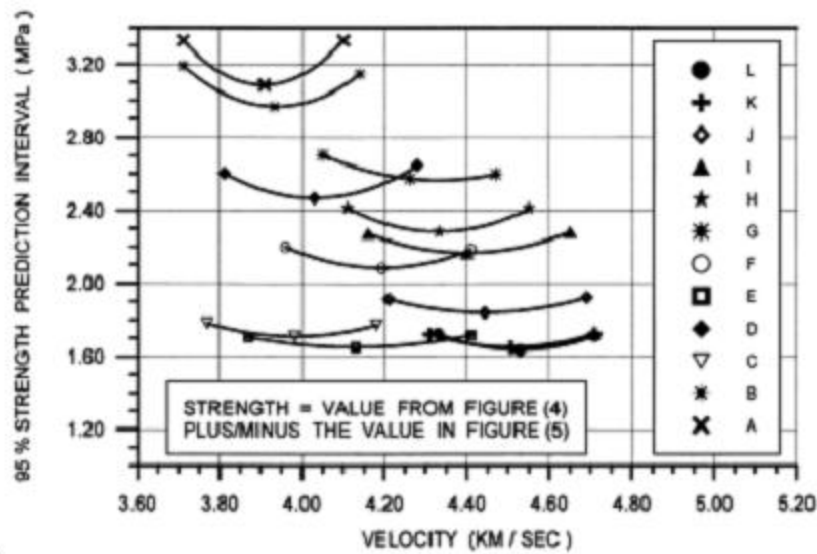


Fig I.11 Variation des résultats obtenus à la figure 2.23 [7].

De même, SONREB [27] a proposé un modèle combiné sous forme graphique et cette méthode est la plus utilisée en Roumanie. Ce modèle a été établi sur un béton de référence (Fig I.12) avec des coefficients de correction développés par Facaoaru [29], ont été utilisés pour améliorer la précision de la résistance.

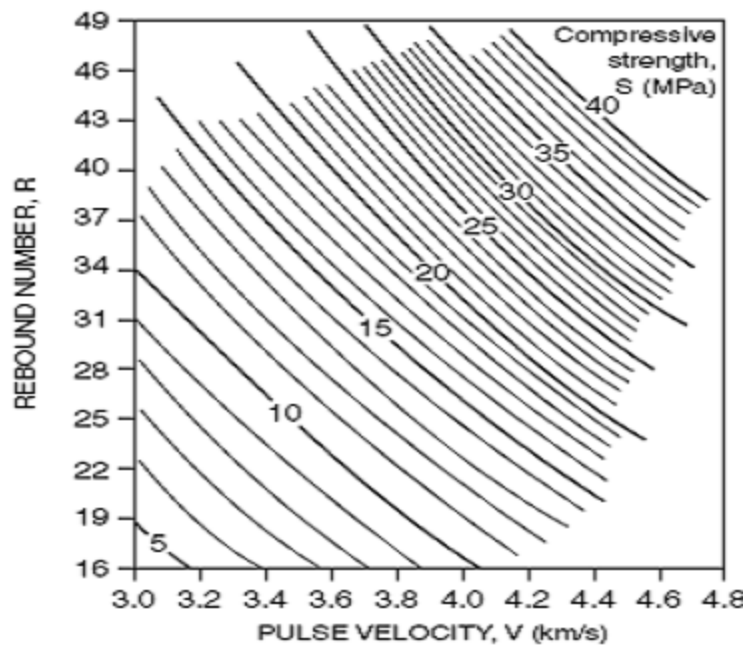


Fig I.12 Corrélation combinée entre la résistance par écrasement, l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique pour un béton de référence [51].

Knaze .[28] aussi a développé un modèle combiné sous forme graphique (Fig I.13), mais il a conclu qu'il n'est pas possible d'avoir une amélioration de précision des résultats avec la méthode combinée si l'une des méthodes uni-paramétriques est sensiblement moins précise.

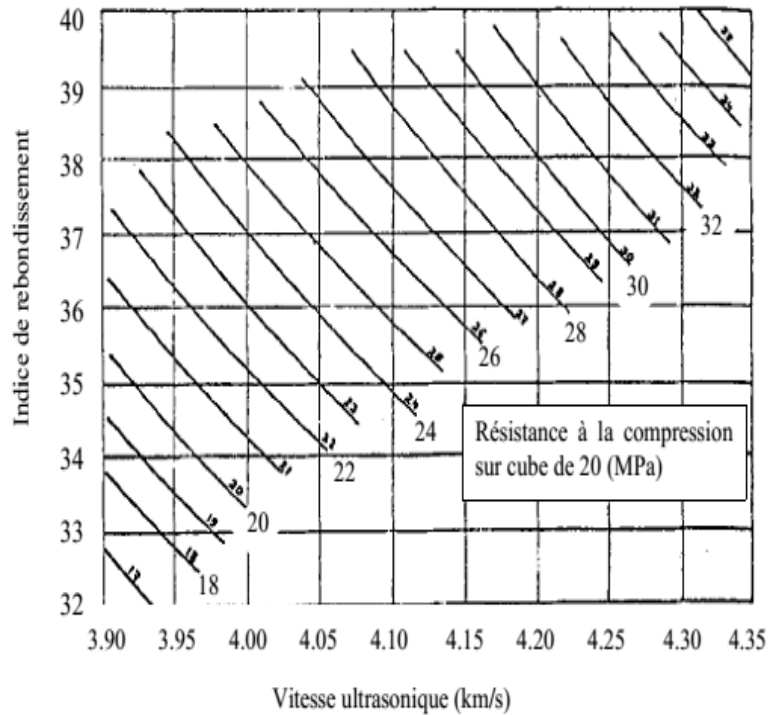


Fig I.13 Corrélation combinée entre la résistance par écrasement, l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique [28].

Quelques modèles de corrélation combinée sous forme d'équations (linéaires et non linéaires), qui ont été proposés par différents chercheurs, sont résumés dans le Tableau I.5 [12]

Tableau I.5 Corrélations proposées par différents auteurs entre la résistance à la compression
R (MPa) et les mesures non destructives combinées (I, V (km/s))[12]

Auteurs	Fonctions de régression	Coefficient de corrélation			Erreur type (MPa)			Réf.
		(V)	(I)	(V.I)	(V)	(I)	(V.I)	
Soshiroda et al (2006) Hobbs et Kebir (2007) Idrissou (2006)	$R_{28} = 10.028 V_1$ $+1.369 I_3 - 33.261$							[37]
	$R_{28} = 10.222 V_3$	0.938	0.962	0.981	5.702	4.234	2.927	
	$+1.498 I_3 - 43.372$	0.908	0.962	0.972	7.406	4.234	3.616	
	$R_{28} = 14.820 V_7$	0.926	0.951	0.963	6.379	4.781	4.098	
	$+1.210 I_7 - 62.184$	0.900	0.965	0.967	6.431	4.117	3.898	
	$R_{28} = 8.630 V_{28} + 1.41$ $6 I_{28} - 51.581$							
Ait Mohand (1995) Kenai et Bahar (2003) Sakhraoui CNERIB (2009)	$R = -4.069 V^2$ $+57.693 V + 1.307$ $I - 173.033$	0.903	0.925	0.949	2.716	2.333	1.849	[38]
	$R = 0.00745 V^{3.27}$ $I^{0.97}$	0.91	0.86	0.95	/	/	/	[36]
	$R = 0.06 V^4$ $+1.05 I - 28.26$	0.96	0.86	0.95				
Ait Mohand (1995) Kenai et Bahar (2003) Sakhraoui CNERIB (2009)	$R = 8.700 V + 0.312$ $I - 20.940$	0.87	0.83	0.88	/	/	/	[54]
	$R = 11.000 V +$ $0.390 I - 26.200$	/	/	/	/	/	/	[55]
	$R = 17.130 V +$ $0.866 I - 62.684$	/	/	/	/	/	/	[31]

Dans le même contexte, la combinaison de la méthode ultrasonique et la méthode sclérométrique a été développée par Facioaru (1961). L'avantage principal de cette combinaison apparaît dans la caractérisation complète du matériau. La résistance à la compression du béton obtenue par la méthode combinée prend en compte simultanément

l'extérieur de l'élément (2 à 3 cm de profondeur) lors de l'application du scléromètre ainsi que l'intérieur de l'élément du fait que l'onde sonore traverse tout l'échantillon.

En tenant compte des résultats de l'ultrason et scléromètre, les résultats de la méthode combinée peuvent être influencés par tous les facteurs. [30]

Par ailleurs, les programme de recherche qui sont élaborés dans le domaine des méthodes combinée non destructives ont conclus que la connaissance des caractéristiques spécifiques des matériaux (eau-ciment, G/S, âge, masse volumique), la précision des résultats peuvent être améliorés [30].

Toutes les méthodes disponibles pour l'évaluation in situ du béton sont limitées, leur fiabilité est souvent remise en question, la combinaison de deux ou plusieurs techniques se profile comme une réponse à toutes les difficultés [31].

Dans le même contexte, Dans le cas où la variation des propriétés du béton affecte les résultats des essais obtenus par les deux méthodes (ultrason et scléromètre) (particulièrement dans le sens inverse), l'utilisation d'une seule méthode devient insuffisante pour évaluer la propriété désirée. Donc, l'utilisation de plus qu'une seule méthode rend les résultats plus fiables. Par exemple l'augmentation de l'humidité relative de béton diminue l'indice sclerometrique mais fait croître la vitesse ultrasonique. [7] L'application des deux méthodes ensemble réduisent les erreurs produites par l'utilisation de chacune des deux méthodes prise toute seul.

La combinaison de plusieurs techniques du contrôle non destructif est souvent mise en œuvre de façon empirique ; combiner deux techniques sert le plus souvent à renforcer la fiabilité de l'estimation de la résistance à la compression du béton, le principe repose sur des corrélations entre les mesures observées et la propriété recherchée [32].

La résistance à la compression du béton est généralement la propriété la plus recherchée d'où le développement d'une méthode qui combine l'indice sclérometrique et la vitesse de propagation de l'onde ultrasonique UPV [33].

Les limites que présente la méthode combinée sont habituellement les mêmes que celles relatives à chaque essai seul à l'exception de celles qui affectent les résultats d'une manière opposée en cas de combinaison. En outre, la précision de la méthode combinée est meilleure, si les précisions des méthodes uni paramétriques sont voisines [26, 27, 28].

IV Conclusions

D'après cette synthèse bibliographique, les conclusions suivantes peuvent être décrites :

- 1- Les méthodes des essais non destructifs représentent une alternative pour les essais destructifs.
- 2- L'existence d'une diversité de modèles empiriques liant la résistance à la compression aux indices sclerométriques.
- 3- L'existence d'une diversité de modèles empiriques liant la résistance à la compression aux vitesses ultrasoniques.
- 4- L'existence d'une diversité de modèles empiriques liant la résistance à la compression, l'indice sclerométrique et la vitesse ultrasonique.
- 5- Les résultats de ces essais sont influencés par plusieurs paramètres tel que l'humidité, la température...

Chapitre II

Caractérisation des matériaux et techniques expérimentales

I Introduction

Dans ce chapitre, on s'intéresse principalement à la caractérisation des matériaux utilisés dans la formulation des bétons. Ces bétons sont formulés à partir de deux types de ciment (CEM I et CEM II) afin d'établir des relations qui lient la résistance à la compression et les résultats obtenus à partir des essais non destructifs (sclérométrique et ultrasonique). De plus, ce chapitre traite aussi des descriptions des appareils utilisés dans les essais non destructifs, tel que le scléromètre et l'appareil ultrasonique.

II Caractérisation des matériaux utilisés

II.1 Ciments

On a utilisé deux types de ciment produits à Biskra appelé BISKRIA CIMENT dont les caractéristiques sont présentées sur le (Tableau.II.1).

Tableau II.1- Caractéristiques de différents ciments utilisés (voir annexe)

Provenance	Type de ciment	Classe de résistance
Cimenterie de Biskra	CEM II	42.5
	CEM I	42.5

Caractéristiques et Composition de ciment CEM II/A 42, 5 NA 442 :

- 80% à 94% de clinker (K).
- Complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, tel que pouzzolane (Z), calcaire (L), etc.
- Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise [34].

II.2 Granulats

II.2.1 Sable

Le sable utilisé est ramené de la carrière de Oued M'zi

La courbe suivante montre l'analyse granulométrique du sable utilisé pour la formulation du béton :

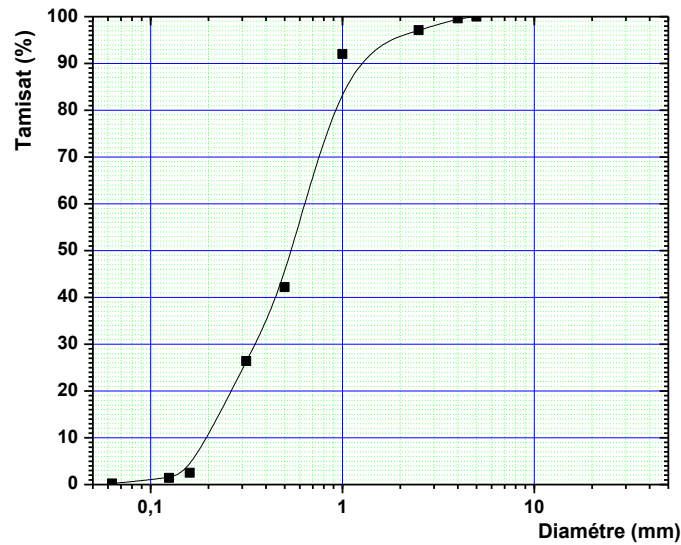


Fig II.1 La courbe d'analyse granulométrique du sable

D'après cette courbe, on peut conclure qu'il s'agit d'un sable qui peut être utilisé pour la formulation du béton, vu les caractéristiques suivantes :

- ✓ Le module de finesse du sable utilisé est environ 2.50, ce qui est acceptable et conforme à la norme.
- ✓ Il s'agit d'une granulométrie serrée.
- ✓ La Classe granulaire 0/5.
- ✓ D'après l'essai d'équivalent de sable, il s'agit bien d'un sable propre.

II.2.2 Gravier

Le gravier utilisé est un gravier concassé à deux classes granulaires (3/8 & 8/15) provenant de la carrière de la région de Laghouat.

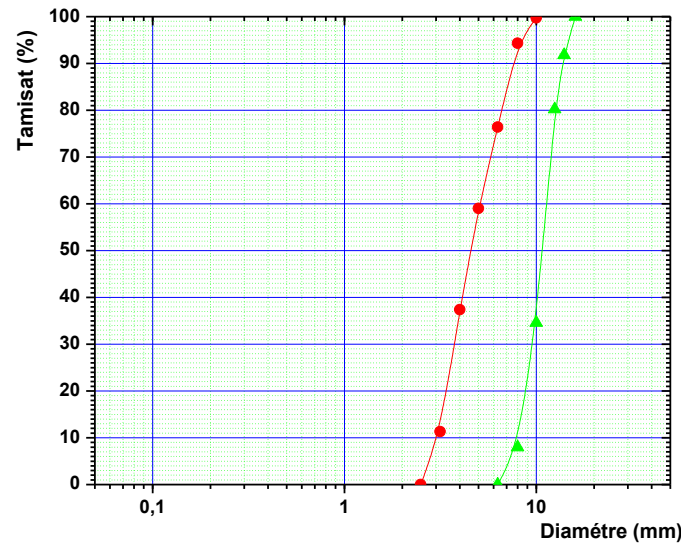


Fig II.2 La courbe d'analyse granulométrique du gravier

II.3 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage du béton est celle du robinet, qui est considérée comme potable et exempte de toute impureté nuisible au béton.

III Formulation du béton

Le béton à examiner a été confectionné avec deux types de formulations selon la méthode de Dreux- Gorisse , pour chaque type de ciment utilisé, est résumée dans le (Tableau.II.2).

III.1 Formulation de Dreux- Gorisse

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

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

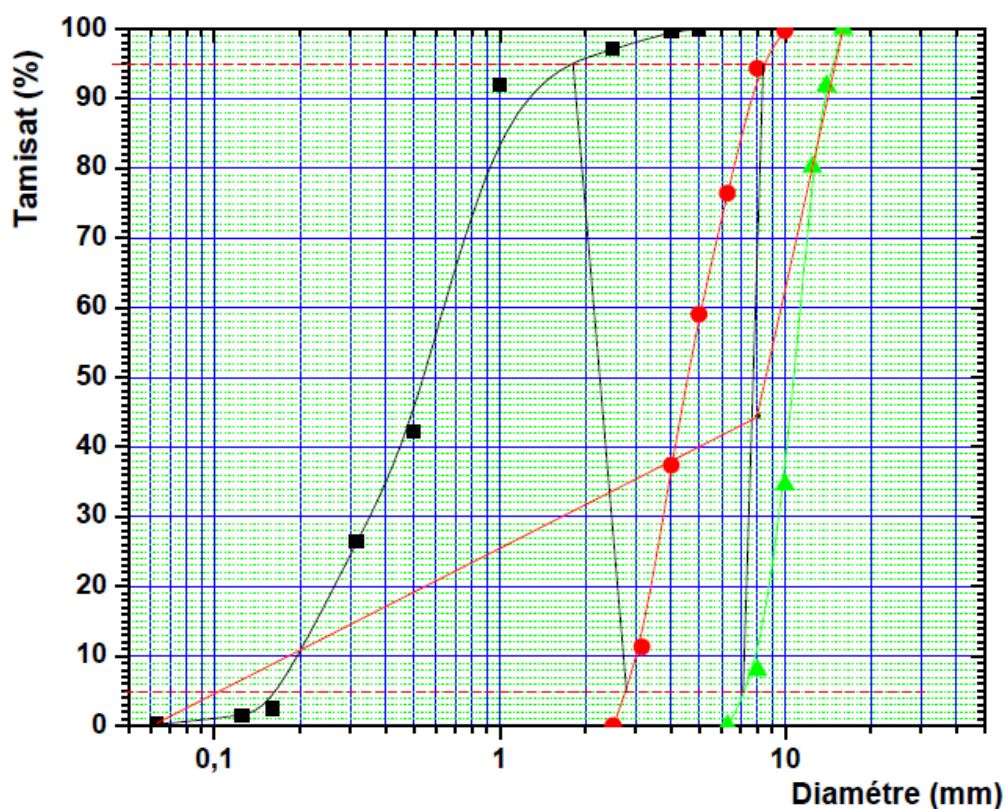


Fig II.3 courbe de référence Dreux- Gorisse

Tableau II.2 Formulation des différents bétons étudiés (voir annexe)

Désignation des composants		Dosages pondéraux des constituants (Kg/m ³)
		Biskria Ciment E/C=0.6
Ciment	CEM II 42.5	350
	CEM I 42.5	350
Sable 0/5		586,5
Gravier	3/8	174,8
	8/15	943,5
Eau de gâchage		215,44

Après avoir lavé et ensuite séché les granulats utilisés, tous les mélanges ont été gâchés dans un malaxeur de béton à axe vertical et à cuve fixe d'une capacité de 130 litres.

Les constituants ont été introduits dans l'ordre suivant : gravier, ciment et sable. Après un malaxage à sec de l'ordre d'une minute, l'eau de gâchage est ajoutée et le malaxage se poursuit pendant au moins deux minutes pour obtenir un mélange homogène. Juste après chaque malaxage, l'ouvrabilité a été mesurée selon la norme NF EN 12350-2 [35] en utilisant le cône d'Abrams dont les résultats sont présentés dans le (Tableau .II.3). Le serrage des éprouvettes a été réalisé par une table vibrante pour les spécimens qui présentent un affaissement inférieur à 13 cm et par piquage pour le reste.

Tableau II.3 Affaissement au cône d'Abrams

Affaissement du béton (cm)
Biskria Ciment
E/C=0.6
7.5

III.2 Confection et conservation des échantillons

A partir des résultats obtenus de la formulation des bétons, des échantillons cubique ont été confectionnés et sont repartis comme suit :

Tableau II.4 Répartition du nombre d'éprouvettes confectionnées

Mode de conservation	Age (jours)	Nombre d'éprouvettes confectionnées	
		Biskria Ciment CEM II	E/C=0.6 CEM I
Chambre d'humidité	7	50	50
	28	50	50

Les différents types de bétons sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter les risques d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection, les éprouvettes ont été démoulées et conservées à la chambre humide (HR=90%) (Fig.II.4).



Fig II.4 Éprouvettes conservées dans la Chambre humide à laboratoire

Les échantillons conservés dans le Chambre d'humidité pendant 24 heures avant l'âge d'essai.

IV Matériels utilisés pour les essais destructifs et non destructifs

Les essais destructifs et non destructifs ont été effectués sur les éprouvettes à l'âge de 7 et 28 jours. Au début de chaque essai, on doit effectuer un ponçage des faces de chaque éprouvette à l'aide d'une pierre abrasive afin de les préparer aux essais non destructifs.

Le béton à examiner a été confectionné dans des moules métalliques de forme cubique de 10x10x10 cm.

Les essais non destructifs ont été réalisés à l'aide d'un scléromètre et d'un ultrason dont les modèles sont les suivants :

IV.1 L'appareil ultrasonique

L'ultrason est de type E 46 avec des transducteurs de 50 mm de diamètre et de 54 kHz de fréquence (Fig.II.5).



Fig II.5 Appareil de l'ultrason utilisé.

IV.1.1 Mode opératoire de l'appareil ultrasonique

Avant de procéder aux essais à l'ultrason, on a pris le soin de vérifier le bon fonctionnement par étalonnage de l'appareil en utilisant le barreau de calibrage,

Les essais à l'ultrason ont été effectués selon la méthode par transmission directe de telle façon que le sens de mesure du temps de transit soit perpendiculaire au sens de confection.

Sur les faces opposées de l'éprouvette on a placé les deux transducteurs en interposant entre eux une couche mince de graisse (Fig.II.6), puis l'enregistrement du temps de transit en micro seconde est réalisé. Le résultat d'essai à l'ultrason correspond à chaque éprouvette est la valeur médiane de deux mesures effectuées selon les deux sens, et par conséquent la vitesse des ultrasons calculée est exprimée à 0.01 km/s près, selon la norme NF EN 12504-4 [36].



Fig. II.6 Mesure du temps de transit par l'ultrason.

IV.2 Scléromètre

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

L'énergie de recul ;

Caractéristiques des systèmes de ressorts,

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

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



Fig II.7 Le scléromètre est de type N et de modèle C 181.

IV.2.1 Mode opératoire du scléromètre

Avant d'entamer les essais au scléromètre, on a nettoyé toutes les traces de graisse appliquées auparavant sur les faces des éprouvettes (essai ultrason), ensuite on les met entre les plateaux de la presse avec lesquelles les faces moulées ont été en contact, c'est-à-dire que le sens de compression soit perpendiculaire au sens de confection. Après avoir réglé la vitesse de chargement à 0.5 MPa/s (soit 5 kN/s qui correspond au cube de 10 cm), on a maintenu l'éprouvette entre les plateaux par compression sous une charge initiale de l'ordre de 15 % de la charge finale conforme à la norme NF EN 12504-2. Les essais au scléromètre ont été effectués à la position horizontale de l'appareil sur les deux faces opposées de l'éprouvette maintenue (Fig.II.8), qui sont au nombre de douze lectures. Alors, le résultat d'essai correspond à chaque éprouvette est la valeur médiane de l'ensemble des lectures effectuées sur les deux faces et exprimée sous forme de nombre entier conformément à la norme européenne NF EN 12504-2 [37].



Fig II.8 Mesure de l'indice de rebondissement par le scléromètre.

L'essai destructif utilisé dans cette étude est l'essai de compression simple en utilisant une presse hydraulique de capacité 3000KN.



Fig II.9 Presse hydraulique (3000 kN).

Finalement, les essais destructifs ont été effectués par écrasement d'éprouvette sous une charge appliquée jusqu'à la rupture, alors le résultat d'essai correspond à chaque éprouvette est la valeur de la charge finale de rupture.



Fig II.10 Écrasement d'éprouvette.

V Conclusions

A travers ce chapitre, on a pu formuler deux types de bétons basés sur deux types de ciments, et en utilisant les résultats de ces formulations, on a confectionné des échantillons cubiques afin d'entamer les essais non destructifs dans la troisième partie de ce travail. Par ailleurs nous avons présenté des différents appareils d'essais non destructifs, leurs avantages et leurs modes opératoires.

Chapitre III

Résultats et discussions

I Introduction

Après avoir réalisé les essais d'écrasements, essais sclerometriques, et essais ultrasoniques sur des échantillons cubiques issus de différents ciments (CEM I et CEM II), ces résultats d'essais sont utilisés afin d'obtenir une corrélation entre les essais non destructifs et l'essai destructifs, ce chapitre comprend une synthèse de ces résultats ainsi que leurs interprétations

II Résultats des différents essais

Les tableaux suivants (Tableau III.1 et le Tableau III.2) représentent les résultats des différents essais réalisés sur des échantillons cubiques (essais d'écrasements, essais sclerometrique et ultrasonique correspondant)

Tableau III.1 Résultats des essais destructifs et non destructifs Sur le béton de ciment CEM I.

CIMENT BISKRIA CEM I 42.5									
Age (jours)	Epr	VU (m/s)	Résist. (MPa)	Ind.R.	Age (jours)	Epr	VU (m/s)	Résist. (MPa)	Ind.R.
7	1	4336	27,61	27,1	7	16	3902	29,33	30,6
	2	3908	27,64	26,8		17	3884	30,48	25,9
	3	2960	26,75	29,3		18	3982	28,98	30
	4	4160	29,27	28,4		19	3961	29,08	28,6
	5	4148	27,16	23,4		20	4250	29,49	26,6
	6	4192	29,97	28,3		21	4090	28,34	27,1
	7	4107	30,32	30,9		22	4240	26,97	28,2
	8	4008	27,51	26,3		23	4296	27,42	24,6
	9	3840	28,22	27,9		24	4360	28,66	28,7
	10	4212	27,16	27,8		25	4297	29,37	28,5
	11	4157	27,96	26,8		26	4148	28,6	27
	12	4024	28,22	30,4		27	4204	29,82	25,9
	13	4138	26,7	28,6		28	4244	29,81	26
	14	4215	29,81	27,8		29	4334	30,8	28,6
	15	4156	30,1	28		30	4077	30,39	26,4

28	1	4321	40,35	34,7	28	31	4216	38,83	34,8
	2	4241	38,39	33,7		32	4137	38,52	36,3
	3	3975	40,04	34,3		33	4286	37,58	36,2
	4	4327	34,88	34,6		34	4426	36,84	34,8
	5	4298	39,91	34		35	4374	40,35	37,1
	6	4334	40,71	34,9		36	4432	37,45	36,1
	7	4238	37,45	32,1		37	4508	36,31	36,7
	8	4203	40,71	35,1		38	4385	38,88	35,5
	9	4296	39,41	34,2		39	4230	41,87	36
	10	4503	40,65	35,1		40	4309	39,55	37,3
	11	4604	40,21	35,1		41	4234	37,58	34,8
	12	4433	34,88	34,1		42	4057	36,18	34,4
	13	4370	36,83	34,4		43	4358	36,56	35,5
	14	4299	40,96	34,5		44	4376	35,1	34,7
	15	4379	37,45	33,5		45	4228	39,71	38,2
	16	4317	36,37	34,3		46	4181	35,9	35,3
	17	4389	41,45	34,1		47	4169	38,21	36,5
	18	4447	39,41	34,3		48	4326	40,73	35,6
	19	4283	39,44	34,8		49	4200	38,77	35,9
	20	4327	38,28	34,6		50	4147	34,94	34,4
	21	4278	40,9	35,2		51	4338	38,63	36,3
	22	4321	40,49	36,3		52	3849	38,61	34,8
	23	4405	38,94	35,8		53	4346	39,16	34,2
	24	4431	41,81	35,9		54	4282	37,2	35,5
	25	4278	38,86	35		55	4078	39,1	34,7
	26	3948	40,73	33,2		56	4324	40,46	37,5
	27	4454	35,95	36,2		57	4059	35,48	34,4
	28	4360	37,94	35,8		58	4426	35,4	34,3
	29	4386	41,45	35,2		59	4352	34,57	35,6
	30	4263	39,6	37		60	4191	38,08	35,7

Tableau III.2 Résultats des essais destructifs et non destructifs Sur le béton de ciment CEM II.

CIMENT BISKRIA CEM II 42.5				
Age (jours)	Epr	VU (m/s)	Résist. (MPa)	Ind.R.
7	1	4386	29,59	27,7
	2	4237	29,17	25,3
	3	4040	29,17	29,1
	4	4322	26,01	25,9
	5	4201	27,35	28,1
	6	4196	30,45	26,5
	7	4194	28,6	29
	8	3768	27,93	26,9
	9	4159	28,31	26,7
	10	4319	31,31	28,5
	11	4231	31,67	28,1
	12	3917	31,22	30,9
	13	4217	30,1	29,5
	14	4067	30,68	24,3
	15	4242	29,91	25
28	1	4626	41,1	36,2
	2	4325	36,8	31,6
	3	4336	36,74	34,3
	4	4483	39,67	38
	5	4340	39,67	35,8
	6	4241	40,94	35,5
	7	4463	37,43	33,3
	8	4522	39,2	34,5
	9	4402	35,94	35,3
	10	4258	38,62	35,6
	11	4536	40,66	36
	12	4598	40,08	35,2

28	13	4492	38,76	36,8
	14	4239	38,51	35,1
	15	4400	40,47	39,4
	16	4158	37,82	34,5
	17	4510	36,99	36,8
	18	4318	35,72	36,9
	19	4319	37,93	36,3
	20	4134	37,99	35,6
	21	4333	35,67	38
	22	4334	40,16	37,1
	23	4371	40,72	37,7
	24	4411	38,1	36
	25	4498	36,44	34,4
	26	4365	36,91	34,2

Ces essais sont réalisés au laboratoire de recherche en génie civil. Les essais d'écrasements sont effectués sur des cubes en utilisant une presse hydraulique décrite dans le chapitre II, les essais sclérometriques sont réalisés en utilisant un scléromètre étalonné et les essais ultrasoniques sont réalisés en utilisant un appareil ultrason disponible au laboratoire de recherche de génie civil.

III Relation entre la résistance à la compression et l'indice de rebondissement

III.1 Ciment CEM I 42.5

Dans ce qui suit nous allons présenter les résultats obtenus pour les essais d'écrasements sur des cubes ainsi que l'indice de rebondissement correspondant à différents âges pour le Ciment CEM I.

En utilisant les données des tableaux précédents, la figure III.1 présente l'indice de rebondissement en fonction de la résistance à la compression.

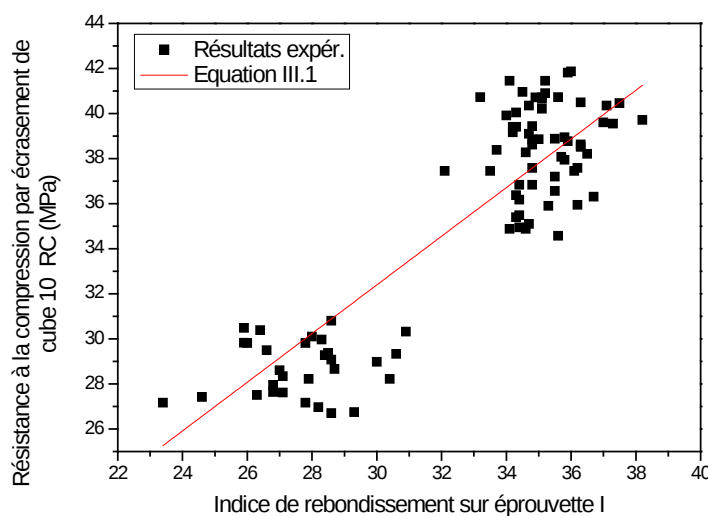


Fig III.1 Corrélation Résistance à la compression – Indice de rebondissement. (CEM I)

D'après la figure III.1 on remarque qu'il existe une corrélation entre les mesures de la résistance à la compression par écrasement et les indices de rebondissement correspondants. La relation proposée (L'équation III.1) pour cette corrélation est de forme linéaire avec un coefficient de corrélation $R_{CEM I} = 0.996$ et un écart type $s = 1,85$ MPa.

$$R_c = 1,07985 \cdot I \dots \dots \dots \text{Eq(III.1)}$$

Avec : R_c : la résistance à la compression en MPa,

I : l'indice de rebondissement sclérométrique.

D'après cette figure III.1, on peut conclure qu'il existe une corrélation acceptable ($R = 0,996$) entre les résistances à la compression par écrasement et les indices de rebondissement correspondants pour la composition de béton avec le ciment CEM I. A cet effet, on peut dire que les résultats trouvés par le scléromètre sont conformes à ceux trouvés par écrasement sur échantillons cubiques à différents âges.

III.2 Ciment CEM II 42.5

Dans ce qui suit nous allons présenter les résultats obtenus pour les essais d'écrasements sur des cubes ainsi que l'indice de rebondissement correspondant à différents âges pour le ciment CEM II.

En utilisant les données des tableaux précédents, la figure III.2 présente l'indice de rebondissement en fonction de la résistance à la compression.

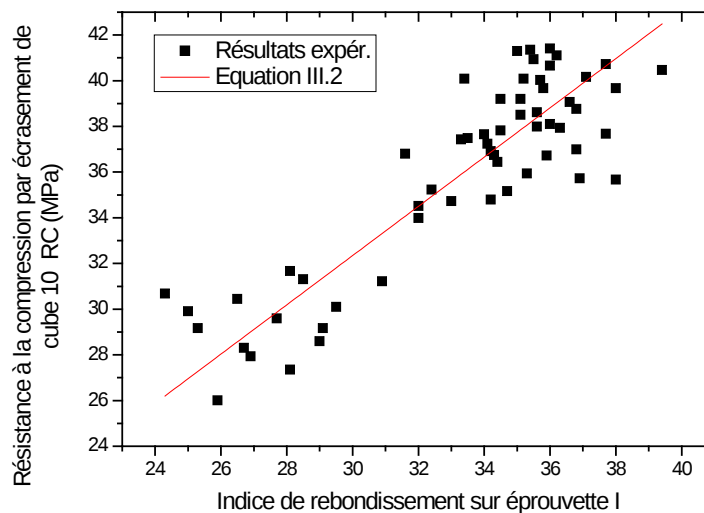


Fig III.2 Corrélation Résistance à la compression – Indice de rebondissement. (CEM II)

D'après la figure III.2 on remarque qu'il existe une corrélation entre les mesures de la résistance à la compression par écrasement et les indices de rebondissement correspondants. La relation proposée (L'équation III.2) pour cette corrélation est de forme linéaire avec un coefficient de corrélation $R_{CEM II} = 0.960$ et un écart type $s=1,67$ MPa.

$$R_c = 1,07815 \cdot I \dots \dots \dots \text{Eq(III.2)}$$

Avec : R_c : la résistance à la compression en MPa,

I : l'indice de rebondissement sclérométrique.

D'après la figure III.2, on peut conclure qu'il existe une corrélation acceptable ($R = 0,960$) entre les résistances à la compression par écrasement et les indices de rebondissement correspondants pour la composition de béton avec le ciment CEM II. A cet effet, on peut dire que les résultats trouvés par le scléromètre sont conformes à ceux trouvés par écrasement sur échantillons cubiques à différents âges.

IV Relation entre la résistance à la compression et la vitesse ultrasonique

IV.1 Ciment CEM I 42.5

Dans ce qui suit nous allons présenter les résultats obtenus pour les essais d'écrasements sur des cubes ainsi que la vitesse ultrasonique correspondant à différents âges pour le Ciment CEM I.

En utilisant les données des tableaux précédents, la figure III.3 présente la vitesse ultrasonique en fonction de la résistance à la compression.

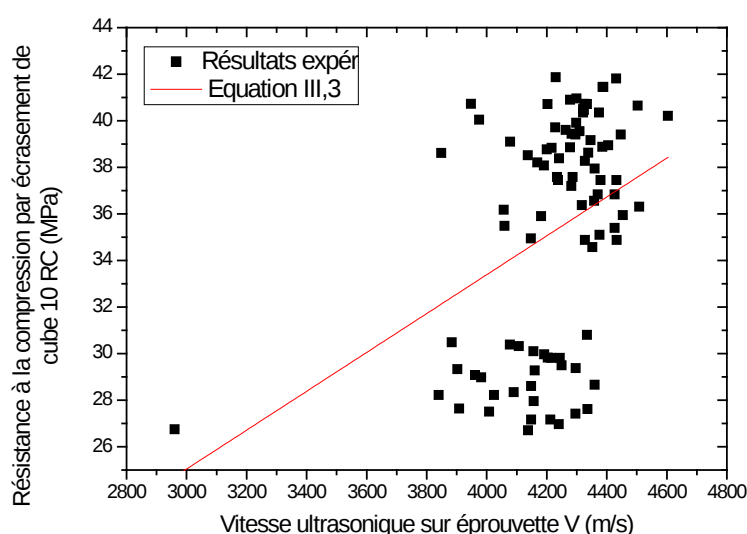


Fig III.3 Corrélation Résistance à la compression – Vitesse ultrasonique. (CEM I)

D'après la figure III.3 on remarque qu'il existe une corrélation entre les mesures de la résistance à la compression par écrasement et la vitesse ultrasonique correspondants. La relation proposée (L'équation III.3) pour cette corrélation est de forme linéaire avec un coefficient de corrélation $R_{CEM I} = 0,984$ et un écart type $s = 3,85$ MPa.

$$R_c = 0,00835 \cdot V \dots\dots\dots \text{Eq(III.3)}$$

Avec : R_c : la résistance à la compression en MPa,

V : vitesse ultrasonique en m/s

D'après la figure III.3, on peut conclure qu'il existe une corrélation acceptable ($R = 0,984$) entre les résistances à la compression par écrasement et les vitesses ultrasoniques correspondants

pour la composition de béton avec le ciment CEM I. A cet effet, on peut dire que les résultats trouvés par l'ultrason sont conformes à ceux trouvés par écrasement sur échantillons cubiques à différents âges.

IV.2 Ciment CEM II 42.5

Dans ce qui suit nous allons présenter les résultats obtenus pour les essais d'écrasements sur des cubes ainsi que la vitesse ultrasonique correspondant à différents âges pour le Ciment CEM II.

En utilisant les données des tableaux précédents, la figure III.4 présente la vitesse ultrasonique en fonction de la résistance à la compression.

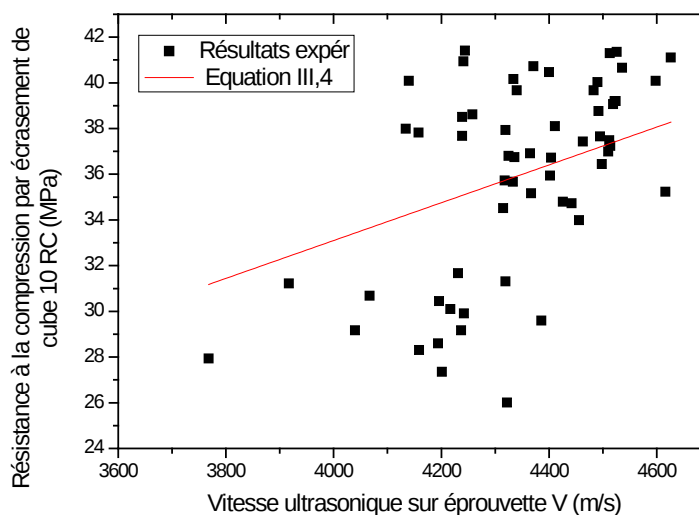


Fig III.4 Corrélation Résistance à la compression – Vitesse ultrasonique. (CEM II)

D'après la figure III.4 on remarque qu'il existe une corrélation entre les mesures de la résistance à la compression par écrasement et la vitesse ultrasonique correspondants. La relation proposée (L'équation III.4) pour cette corrélation est de forme linéaire avec un coefficient de corrélation $R_{CEM II} = 0,989$ et un écart type $s = 3,00$ MPa.

$$R_c = 0,00827 \cdot V \dots\dots\dots \text{Eq(III.4)}$$

Avec : R_c : la résistance à la compression en MPa,

V : vitesse ultrasonique en m/s

D'après la figure III.4, on peut conclure qu'il existe une corrélation acceptable ($R = 0,989$) entre les résistances à la compression par écrasement et les vitesses ultrasoniques correspondants pour la composition de béton avec le ciment CEM II. A cet effet, on peut dire que les résultats trouvés par l'ultrason sont conformes à ceux trouvés par écrasement sur échantillons cubiques à différents âges.

V Relation combinée entre la résistance à la compression, l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique

V.1 Ciment CEM I 42.5

Dans ce qui suit nous allons présenter les résultats obtenus pour les essais d'écrasements sur des cubes ainsi que l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique correspondant à différents âges pour le Ciment CEM I.

En utilisant les données des tableaux précédents, la figure III.5 présente l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique en fonction de la résistance à la compression.

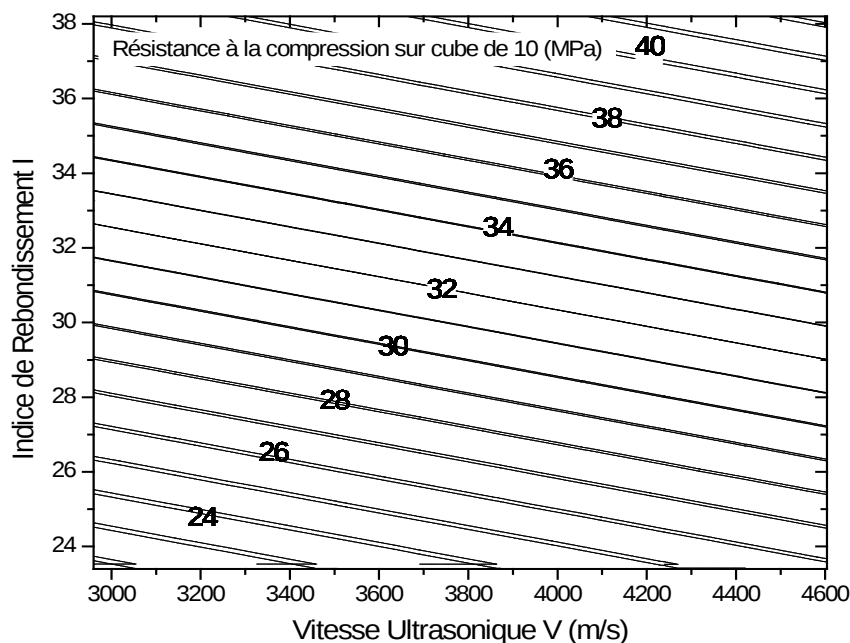


Fig III.5 Corrélation combinée entre la résistance à la compression par écrasement et les mesures non destructives (Indice sclérométrique et Vitesse ultrasonique). CEM I

D'après la figure III.5 on remarque qu'il existe une corrélation entre les mesures de la résistance à la compression par écrasement et les mesures d'auscultation combinées (la vitesse ultrasonique et le nombre de rebondissement) correspondants. La relation proposée (L'équation III.5) pour cette corrélation est de forme linéaire avec un coefficient de corrélation $R_{CEM I} = 0,804$ et un écart type $s = 1,90$ MPa.

$$R_c = (1,11583 * I) + (V * 0,00247) - 11,65043 \dots \dots \dots \text{Eq(III.5)}$$

Avec : R_c : la résistance à la compression en MPa,

V : vitesse ultrasonique en m/s

I : l'indice de rebondissement sclérométrique

D'après la figure III.5, on peut conclure qu'il existe toujours une corrélation acceptable ($R = 0,804$) entre les résistances à la compression par écrasement et les vitesses ultrasoniques et l'indice de rebondissement sclérométrique correspondants pour la composition de béton avec le ciment CEM I.

V.2 Ciment CEM II 42.5

Dans ce qui suit nous allons présenter les résultats obtenus pour les essais d'écrasements sur des cubes ainsi que l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique correspondant à différents âges pour le Ciment CEM II.

En utilisant les données des tableaux précédents, la figure III.6 présente l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique en fonction de la résistance à la compression.

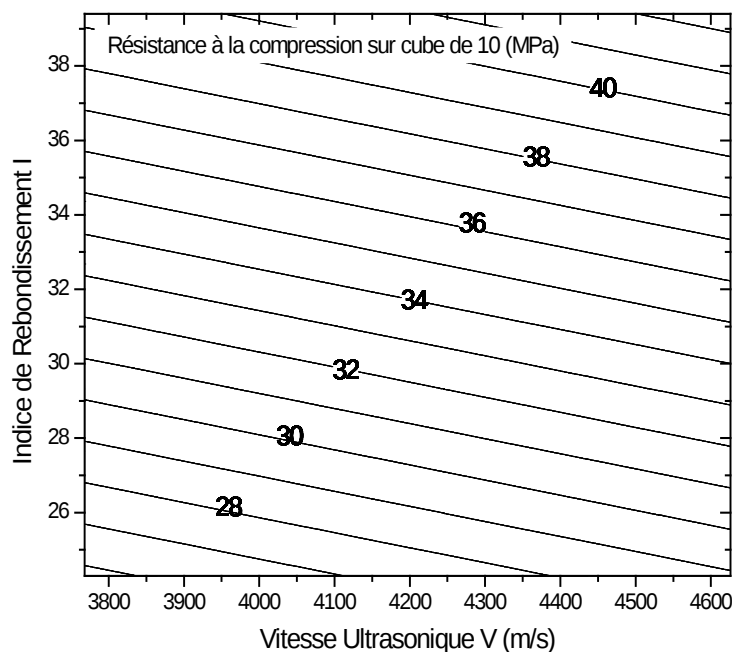


Fig III.6 Corrélation combinée entre la résistance à la compression par écrasement et les mesures non destructives (Indice sclérométrique et Vitesse ultrasonique). CEM II

D'après la figure III.6 on remarque qu'il existe une corrélation entre les mesures de la résistance à la compression par écrasement et les mesures d'auscultation combinées (la vitesse ultrasonique et le nombre de rebondissement) correspondants. La relation proposée (L'équation III.6) pour cette corrélation est de forme linéaire avec un coefficient de corrélation $R_{CEM II} = 0,782$ et un écart type $s = 1,60$ MPa.

$$R_c = (0,89924 * I) + (0,00364 * V) - 9,83163 \dots \dots \dots \text{Eq(III.6)}$$

Avec : R_c : la résistance à la compression en MPa,

V : vitesse ultrasonique en m/s

I : l'indice de rebondissement sclérométrique

D'après la figure III.6, on peut conclure qu'il existe toujours une corrélation acceptable ($R = 0,782$) entre les résistances à la compression par écrasement, les vitesses ultrasoniques et l'indice de rebondissement sclérométrique correspondants pour la composition de béton avec le ciment CEM II.

VI Application à des éprouvettes cylindriques prélevés du béton d'un élément structural (voile) à Hassi R'mel (voir Annexe).

Rc : Résistance à la compression

1. **Corrélation entre la résistance la compression par écrasement et l'indice de rebondissement**

$$R_c = f(I) = 1,07985 * I$$

2. **Corrélation entre la résistance la compression par écrasement et la vitesse ultrasonique**

$$R_c = f(V) = 0,00835 * V$$

3. **Corrélation entre la résistance la compression par écrasement et l'indice de rebondissement et la vitesse ultrasonique**

$$R_c = f(I, V) = (0,89924 * I) + (0,00364 * V) - 9,83163$$

Le tableau suivant montre le récup de l'application des relations de corrélation entre les différents paramètres avec comparaison des résultats obtenus sur des éprouvettes cylindriques prélevés du béton d'un élément structural (voile).

Rc = f(I)	Rc corrigé	Rc = f(V)	Rc corrigé	Rc = f(I,V)	Rc corrigé	Rc sur cylindre
39,17	40,84	37,55	40,55	39,37	40,97	46,60
37,56	39,23	36,88	39,88	37,73	39,33	50,78
Moyenne	40,03		40,22		40,15	48,69
Conversion de la Résistance à la compression du cylindre vers le cube Rc cylindre = 0.9 * Rc cube						43,82

D'après les résultats montrés dans le tableau ci-dessus, on remarque que les résistances à la compression obtenus par les formules élaborées montrent une parfaite concordance entre les relations uni-paramétriques et multiparamétriques d'une part, en comparant ces résultats avec leurs résistances a la compression sur cylindres corrigés correspondants, on remarque que ces résultats sont proches à celles obtenus par les formules élaborés.

VII Conclusions

Dans le cadre de cette étude, l'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux conclusions suivantes :

- Malgré la variation des paramètres (ciment et âge) des bétons fabriqués en laboratoire, il est possible de développer une relation de bonne corrélation entre la résistance à la compression par écrasement et les mesures non destructives correspondantes (indice de rebondissement et vitesse ultrasonique) pour l'ensemble des différents bétons examinés;
- L'estimation de la résistance à partir des modèles établis par la méthode combinée donne une meilleure précision comparativement à celle établie par la méthode uniparamétrique.
- l'utilisation de ces courbes de corrélation, permet une meilleure approche de la résistance réelle du béton comparativement aux courbes usuelles recommandées par les fabricants des appareils ou celles établies par d'autres auteurs.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La corrélation entre les essais destructifs et non destructifs est un objectif d'actualité de plusieurs chercheurs. Cette corrélation permet de prédire la résistance à la compression des structures en béton armé sans avoir recours à des essais destructifs qui génèrent des déchets inertes et des dégradations des ouvrages en génie civil.

Dans ce contexte entre notre travail qui vise principalement à trouver :

1. Une relation entre la résistance à la compression obtenue par écrasement et l'indice de sclerometrique ;
2. Une relation entre la résistance à la compression obtenue par écrasement et la vitesse du son ;
3. Une relation combinée entre la résistance à la compression obtenue par écrasement, l'indice sclerometrique et la vitesse du son.

A travers le premier chapitre de notre mémoire nous avons pu faire une synthèse bibliographique sur les recherches réalisées sur les méthodes d'essais non destructifs sur béton durci et leur corrélation avec l'essai de compression d'écrasement.

D'après ce chapitre, les remarques suivantes peuvent être tirées :

1. Ces corrélations peuvent être influencées par plusieurs paramètres de composition de béton tel que les facteurs E/C, G/S et nature de ciment.
2. Les corrélations sont des fois linéaires, puissance, exponentiel.
3. Les méthodes combinées sont plus fiables pour estimer la résistance à la compression.

Dans le deuxième chapitre, les matériaux sont caractérisés et les techniques expérimentales sont présentés et particulièrement l'essai d'écrasement, essai au sclerometrique.

Dans le dernier chapitre, on présente les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations

Les principaux résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Equations des corrélations et coefficient de détermination des régressions - résistance Compression – CME I -		
Indice scléromètre I	$R_c = 1,07985 * I$	$R^2 = 0,996$
Vitesse ultrasonique V	$R_c = 0,00835 * V$	$R^2 = 0,984$
Méthode combinée	$R_c = (1,11583 * I) + (V * 0,00247) - 11,65043$	$R^2 = 0,804$
Equations des corrélations et coefficient de détermination des régressions - résistance Compression – CME II -		
Indice scléromètre I	$R_c = 1,07815 * I$	$R^2 = 0,960$
Vitesse ultrasonique V	$R_c = 0,00827 * V$	$R^2 = 0,989$
Méthode combinée	$R_c = (0,89924 * I) + (0,00364 * V) - 9,83163$	$R^2 = 0,782$

Les résultats trouvés montrent l'existence d'une corrélation acceptable entre l'essai d'écrasement et les différents essais. Les relations établies peuvent prédire la résistance à la compression des éléments de structures sans avoir recours aux essais destructifs.

En ce qui concerne, les perspectives on propose les axes de recherches suivantes :

- 1- Etudier l'effet des classes granulaires des agrégats ainsi que leurs types sur ces essais.
- 2- Etudier l'influence de la température et l'humidité sur les résultats de ces essais non destructifs.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] S. Hannachi, “Evaluation de la resistance a la compression du beton sur site,” 2015.
- [2] EN 12390-2 : essai pour béton durci partie 2 ; confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance.
- [3] EN 12390-3 : essai pour béton durci partie 3 ; résistance à la compression des éprouvettes. [Http: //www.ndt/article/ndt net/ 2012/OJCE 2012](http://www.ndt/article/ndt%20net/2012/OJCE2012).
- [4] Komlos, K., Popovics, S., Nurnbergerova, T., Babal, B., Popovics, J.S., ‘Ultrasonic Pulse Velocity test of concrete properties as specified in various standard’, *Cement and Concrete Composites*, 18, 357-364. 1996
- [5] A. N. Bin Ibrahim, P. Bin Ismail , M. Forde, “Guidebook on non-destructive testing of concrete structures“, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002, 242p.
- [6] S. Sakhraoui, L. Mouffok, “Application de la méthode ultrasonique pour le calcul prévisionnel des résistances des bétons après traitement thermique“, *Technologie du Béton, Séminaire*, Alger, 2009, 10p.
- [7] Y. Q. Hisham and Y. Qasrawi, “Concrete Strength by Combined Nondestructive Methods Simply and Reliably Predicted,” *Cement and Concrete Research*, vol. 30, no. 5, pp. 739–746, 2000.
- [8] NF EN 12504-2, “ Essais pour béton dans les structures. Partie 2 : Essais non destructifs - Détermination de l'indice de rebondissement“, AFNOR, 2003, 9p.
- [9] ASTM C805-02, “Standard test method for rebound number of hardened concrete“, ASTM International, 2002, 3p.
- [10] J. H. Bungey, S. G. Millard, “Testing of concrete in structures “, Chapman & Hall, 1996, 292p.
- [11] M. M. Idrissou, “Reliability in interpreting non-destructive testing (NDT) results of concrete structures“, *Mémoire de Master*, University of Malaysia, 2006, 87p.
- [12] K. A. BENYAHIA, “Corrélations entre Essais non Destructifs et Essais Destructifs du Béton à Faible Résistance,” *PhD Thesis*, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef, 2010. Page 53 ; 58
- [13] J. Helal, M. Sofi, and P. Mendis, “Non-destructive testing of concrete: A review of methods,” *Electronic Journal of Structural Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 97–105, 2015.

- [14] F. Aydin and M. Saribiyik, “Correlation between Schmidt Hammer and destructive compressions testing for concretes in existing buildings,” *Scientific Research and Essays*, vol. 5, no. 13, pp. 1644–1648, 2010.
- [15] Pattanaika S C, 2010, Ultra sonic pulse velocity and rebound hammer as non destructive test tools for structural health monitoring, Proceedings of International Conference NUICONE 2010, at Institute of Technology, Nirma University, Ahemedabad from December 09-11, 2010.
- [16] A. C. Evangelista, I. Shehata, L. Shehata, “Parameters that influence the results of nondestructive test methods for concrete strength“, *Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, 2003, 7p.
- [17] R. F. Feidman, “Essais non destructifs du béton“, CBD-187-F, 2005, 6p.
- [18] V. M. Malhotra, “Surface Hardness Methods“, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*, CRC Press LLC, 2004, 15p.
- [19] T. R. Naik, V. M. Malhotra, J. S. Popovics, “The Ultrasonic Pulse Velocity Method“, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*, CRC Press LLC, 2004, 19p.
- [20] R. Govind Khare, “Prediction of compressive strength of concrete by various non destructive tests methods“, *Essar Engineering Center*, Mumbai, 15p.
- [21] NF EN 12504-4, “ Essais pour béton dans les structures. Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation du son“, AFNOR, 2005, 17p.
- [22] ASTM C597-02, “Standard test method for pulse velocity through concrete “, *ASTM International*, 2003, 4p.
- [23] R. Jones, I. Facaoaru, “Les méthodes non destructives d’essais des bétons: Corrélation entre la vitesse de propagation du son et la résistance du béton à la compression“, *Notes d’Information Technique N° 140-27*, CEBTP, 1969, pp.148-178.
- [24] T. Soshiroda, K. Voraputhaporn, Y. Nozaki, “Early-stage inspection of concrete quality in structures by combined non-destructive method “, *Materials and Structures*, Vol.39, 2006, pp.149-160.
- [25] B. Hobbs, M. T. Kebir, “Non-destructive testing techniques for the forensic engineering investigation of reinforced concrete buildings“, *Forensic Science International*, Vol.167,2007, pp.167-172.

- [26] D. Breysse, M. Soutsos, R. Felicetti, M. Krause, J. Lataste, A. Moczko, “How to improve the quality of concrete assessment by combining several NDT measurements “, NonDestructive Testing in Civil Engineering, France, 2009, 8p.
- [27] A. Samarin, “Combined Methods“, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, CRC Press LLC, 2004, 12p.
- [28] P. Knaze, P. Beno, “The use of combined non-destructive testing methods to determine the compressive strength of concrete“, Matériaux et Constructions, Vol.17, 1984, pp.207-210.
- [29] I. Facaoaru, “Romanian achievements in nondestructive strength testing of concrete “, ACI, SP-82, Detroit, 1984, pp.35-56.
- [30] C. Chingălată, M. Budescu, R. Lupășteanu, V. Lupășteanu, and M.-C. Scutaru, “Assessment of the Concrete Compressive Strength Using Non-Destructive Methods,” *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, vol. 63, no. 2, 2017.
- [31] Hobbs B, Tchoketch K Non destructive testing techniquesfor the forensic engineering investigation of reinforcedconcrete buildings. *Forensic Sci. Int.*, 167(2-3): 167-172.2007.
- [32] Bungey, J.H. & Millard, S.G., 1996, *Testing of Concrete inStructures* , 3rd edn.Blackie Academic &Professional, animprintof Chapman& Hall. 1996.
- [33] Denys Breysse. Combining information, reliability andmaintenance. *Diagnosis of NEC works* 2008
- [34] site web : www.biskriaciment-dz.com
- [35] NF EN 12350-2, “ Essai pour béton frais. Partie 2 : Essai d’affaissement “, AFNOR, 1999, 9p.
- [36] NF EN 12504-4, “ Essais pour béton dans les structures. Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation du son“, AFNOR, 2005, 17p.
- [37] NF EN 12504-2, “ Essais pour béton dans les structures. Partie 2 : Essais non destructifs - Détermination de l'indice de rebondissement“, AFNOR, 2003, 9p.

Annexe 1

Fiche technique ciment CPA biskria



شركة ذات أسهم البسكريّة للإسمنت

S.P.A BISKRIA CIMENT

ش.ذ.أ. - رأس مالها الاجتماعي : 870.000.000 DA
N° Identification Fiscale : 000907024283698 - N° Article d'Imposition : 07030013436 - N° Registre de Commerce : 07/00-0242836 B 09

FICHE TECHNIQUE

CEM I 42.5 CRS

Mise à jour du 09 Janvier 2017

Caractéristiques chimiques

Eléments	Garanties	Teneur %
SO ₃	(NA 237) < 3.5%	2.30
Cl	(NA 5080) ≤ 0.1%	0.028
P.A.F	(NA 237) ≤ 5 %	2.04
C3S Clinker	Calculé Selon Bogue	62
C2S Clinker	Calculé Selon Bogue	13
C3A Clinker	Calculé Selon Bogue	1.5
C4AF Clinker	Calculé Selon Bogue	17

Caractéristiques physiques

Désignation	Unité	Garanties	mesures
Surface spécifique Blaine	Cm ² /g	(NA 231)	3420
Début de prise	min	(NA 233) ≥ 60 min	180
Expansion à chaud	mm	≤ 10mm (NA 232)	0.5
Consistance	%	T (NA 229)	25.7

Caractéristiques mécaniques

Résistance à la compression MPa	02 jours	≥ 10	21
	28 jours	62.5 ≥ R ≥ 42.5	49.5

Annexe 2

Composition du béton utilisé

FICHE FORMULE SECHE AU METRE CUBE

	Masse V.App	Masse V.Ab	Coeff.ab	Classe vraie du ciment	
				2j	28j
Ciment		3,1		10	40
Sable 0/5		2,65	1,7		
Gravier 3/8		2,52	0,53		
Gravier 8/15		2,55	0,53		
Gravier 15/25					
				Air occlus	1,50 %

Date : 06/02/2018 12:49

Norme : XP P 18-305

Client :

Désignation : BA 25 P 0/16

Ouvrage : B.A

Environnement : Sec

Quantité: 10 Litre

Maniabilité : Plastique

Composition du béton

Matériaux	Quantité / m3		Quantité / D	
	Volume L	Masse Kg	Volume L	Masse Kg
Ciment	112,90	350	1,13	3,50
Sable 0/5	221,32	586,5	2,21	5,86
Gravier 3/8	69,37	174,8	0,69	1,75
Gravier 8/15	370,00	943,5	3,70	9,44
Gravier 15/25	0	0,0	0,00	0,00
Eau totale	227,3	227,3	2,27	2,27
Eau absorbée	15,9	15,9		0,16
Eau efficace	211,44	211,44		2,11
Air occlus	15			
Somme V/M	1000			22,82
G/S		1,91		
Etot/C		0,65		
Eeff/C		0,60		
Affaissement				
Résistance 3J				
Résistance 7J				
Résistance 28J				

2374,00

عنوان المذكرة : البحث عن علاقة ترابط بين مقاومة الضغط الناتجة عن التحطيم للخرسانة العادية وبين نتائج غير التحطيمية للموجات فوق الصوتية ومقياس الصلادة: تطبيق على العناصر الهيكلية.

المؤطر: مراح أحمد - قرية بن حرز الله

الاسم واللقب: شتوح بن زعلة - قاسم حبيرش

ملخص: تؤدي الاختبارات التحطيمية المستخدمة في تقييم مقاومة الضغط للخرسانة المتصلة إلى إضعاف بنية الخرسانة (اختبار على العينات الجزرية)، وتوليد نفايات ضارة بيئياً عند استخدام اختبار مقاومة الضغط البسيط. يعد مقياس الصلادة غير التحطيمي والاختبار بمقياس النبض بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة المتصلبة بديلاً لعلاج المشكلات التي يسببها الاختبار التحطيمي. الهدف من هذا العمل هو اقتراح علاقة تربط بين اختبار مقياس الصلادة ومقياس سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية وبين اختبارات مقاومة الضغط. في هذا السياق، تم تطوير صيغتين للخرسانة تعتمد على مواد محلية نوعين من الإسمنت CEM I 42.5 و CEM II 42.5 الأكثر استخداماً في الجزائر، كما تم إجراء اختبارات متزامنة على مكعبات للاختبار (اختبار الموجات فوق الصوتية، اختبار الصلادة، اختبار مقاومة الضغط) في أعمار 7 و 28 يوماً. تظهر نتائج هذه الاختبارات وجود علاقة جيدة بين مقاومة الضغط ونتائج مقياس الصلادة والموجات فوق الصوتية. اعتماداً على هذه العلاقات يمكن التنبؤ بمقاومة الضغط للخرسانة دون الحاجة إلى اختبارات تحطيمية. ومع ذلك، يمكن تحسين هذه العلاقات بأخذ العوامل المؤثرة في هذه الاختبارات بعين الاعتبار.

كلمات مفتاحية: اختبارات غير التحطيمية، مقياس الصلادة، مقياس سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية، مقاومة الضغط

Memory title : Research for a corrélation between the compressive strength of common concrete Obtained by crushing, Ultrasonic, Sclerometric auscultation : Application to structural elements.

Name: Benzala Chettouh - Habireche Kacem - **Directed by:** Merah Ahmed - Krobba Benharzallah

Abstract: Destructive testings used in evaluating the compressive strength of hardened concrete weaken the structure (coring), generate environmentally harmful waste generally when using the simple compression test. Non-destructive sclerometer and ultrasonic testing on hardened concrete is an alternative to remedy the problems caused by the destructive testing. For this purpose, The objective of this work is to find a relationship between compressive strength, sclerometer bounce and ultrasonic velocity tests. In this context, two formulations of concretes based on local materials and two types of cements (CEM I 42.5 and CEM II 42.5) most used in Algeria, were developed and simultaneous tests on the cubes (Ultrasound test, sclerometric test, crushing test) are performed at ages of 7 and 28 days. The results of these tests show a good correlation between the compressive strength and the sclerometric, ultrasonic and combined results (ultrasound and sclerometer). These relationships can predict the compressive strength of concrete without the need for destructive testing. Nevertheless, these relationships can be improved by taking into account the parameters influencing these tests.

Key words: Nondestructive Testing; Rebound Hammer; Ultrasonic Pulse Velocity; Combined Method; Compressive Strength;

Titre du mémoire : Recherche D'une Corrélation Entre La Résistance A La Compression Des Bétons Courants Obtenues Par Ecrasement, L'auscultation Ultrasonique Et Sclerometrique : Application à des éléments de structures

Nom: Benzala Chettouh – Habireche Kacem **Encadreur:** Merah Ahmed - Krobba Benharzallah

Résumé: Les essais destructifs d'évaluation de la résistance à la compression du béton durci affaiblissent la structure (carottage), génèrent des déchets qui nuisent l'environnement en ce qui concerne l'essai de compression simple.

Les essais non destructifs au scléromètre et à l'ultrason sur béton durci constituent une alternative pour remédier aux problèmes posés par les essais destructifs.

A cet effet, l'objectif de ce travail est de trouver une relation entre la résistance à la compression par essai d'écrasement, par rebondissement au scléromètre et par vitesse ultrasonique.

Dans ce contexte, deux formulations de bétons basées sur des matériaux locaux et deux types de ciments (CEM I 42.5 et CEM II 42.5) les plus utilisés en Algérie, ont été élaborés et des essais simultanés sur les cubes (Essai à l'ultrason, essai sclerometrique, essai d'écrasement) sont réalisés à des âges de 7 et 28 jours.

Les résultats de ces essais montrent une bonne corrélation entre la résistance à la compression et les résultats sclerometrique, ultrasonique et combinées (ultrason et scléromètre). Ces relations peuvent prédire la résistance à la compression des bétons sans avoir recours aux essais destructifs. Néanmoins ces relations peuvent être améliorées en tenant compte des paramètres influençant ces essais.

Mots clés : Contrôle non destructif, scléromètre, ultrason, méthode combinée, résistance à la compression,