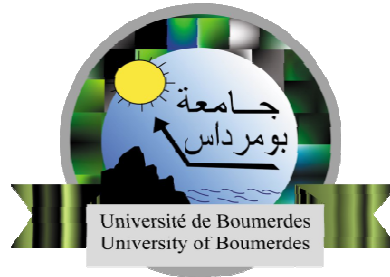


République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'hamed Bougara - Boumerdes



Faculté des sciences de l'ingénieur

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de master

Spécialité : Génie Des Procédés

Option : Matériaux Génie Civil

Thème

**Etude comparatif entre les essais destructifs et non
destructifs de béton**

Présenté Par :

Ben Mokhtar Mohamed Ali

Rabia Salah

Encadré Par

Pr. Ghernouti. Y

2017/2018

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier le bon Dieu le tout puissant de nous avoir illuminé et ouvert les portes du savoir, et nous avoir donné la volonté et le courage pour réaliser ce mémoire.

*Nous tenons en premier lieu, à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur **M' GHERNOUTI**. A qui a bien voulu nous encadrer pour l'élaboration et le suivi théorique de notre projet de fin d'étude.*

Nous tenons à remercier sincèrement M' le directeur de «laboratoire central des matériaux de cosider» pour nous avoir accepté d'effectuer le stage pratique au sein de ce centre, et pour la confiance qu'il nous a témoigné.

*Il nous est particulièrement agréable de témoigner notre reconnaissance à nous encadreurs **M'Makhloufi Abdel Hadi**, et **Tafat Madjid** pour leurs suivi pratique et leurs conseils instructifs et précieux.*

Nous tenons à exprimer aussi notre vive reconnaissance aux enseignants de département de génie des matériaux qui ont contribué à notre formation.

Enfin, que toutes celles et tous ceux qui, de près ou de loin nous ont généreusement offert leurs concours à l'élaboration de ce travail, trouvant ici l'expression de notre profonde sympathie.

*Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont encouragées pour réaliser
Ce travail.*

Dédicace

On tient à dédier ce modeste travail

*A ceux qui nous ont donné la vie et qui ont toujours veillé à notre
bien-être, nos très chers parents*

A ceux qui sont la source de notre inspiration et notre courage,

Nos chères sœurs et nos chers frères

A toute la famille et la belle famille

Aussi à nos très chères amies

Mohamed Ali & Salah

Sommaire

Table Des Figures.....	VIII
Liste Des Tableaux.....	X
Liste des abréviations	XII
Introduction Générale.....	2
Chapitre I: Etude Bibliographique	
I.1. Généralités.....	3
I.2. Définition du béton :	3
I.3. Classification des bétons :	4
I.3.1. Introduction :	4
I.3.2. Classes de consistance du béton frais :	4
I.3.3. Classes de résistance à la compression des bétons durcis :	4
I.4. Constituants.....	5
I.5. Formulation	5
I.6. Les propriétés du béton	6
I.6.1. Introduction	6
I.6.2. Propriété du béton a l'état frais	6
I.6.2.1. Ouvrabilité.....	7
I.6.2.1.1.Mesure de la maniabilité du béton	7
A. Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS	8
B. Maniabilimètre LCPC	8
I.6.2.3 Densité réelle du béton frais	9
I.7.Propriétés du béton dur	9
I.7.1. Résistance mécanique	9
I.7.1.1.Essais destructifs	9
A. Résistance à la compression	10

B. Résistance à la traction.....	10
C. Le Carottage.....	11
C.1.Généralités.....	11
C.2.Principe.....	13
C.3. Définitions.....	13
C.4.Facteurs influent la résistance des carottes.....	13
I.7.1.2. Essais non destructifs.....	14
A.Essai par scléromètre.....	15
A.1.Introduction.....	15
A.2.Historique.....	15
A.3.Appareillage.....	16
A.4.Méthodologie.....	16
1. Préparation de la surface.....	16
2. Points de mesures.....	17
a) mesures sur ouvrage.....	17
b) Mesures sur éprouvette 16 * 32.....	17
A.5.Méthodes de mesure de l'Indice de rebondissement.....	18
A.6.Facteurs influençant l'essai au scléromètre.....	18
B.Les ultrasons.....	20
B.1.Introduction.....	20
B.2.Historique.....	20
B.3.Principe.....	21
B.4.Appareillage.....	22
B.5.Mode Opérateur.....	23
a) Travaux préparatoires.....	23
b) Points de mesures.....	23
c) Distances minimales entre points de mesures.....	23

d) Étalonnage de l'appareil	23
e) Manières de mesure.....	24
B.6 Facteurs affectants la vitesse de propagation	25
I.8 Conclusion.....	27
Chapitre II: Partie expérimentale	
II. Objectif de partie pratique.....	28
2.1 Caractéristique des constituants du béton	29
2.1.1 Ciment.....	29
A. Essais chimique	29
B. Essais physique	29
C. Essais mécanique	30
2.1.2. Granulats.....	30
A. Caractéristique géométriques des granulats.....	30
B. Caractéristiques physico-chimiques	34
2.1.3 Eau de gâchage	34
2.1.4 Adjuvant	34
2.2 Formulation du béton	34
2.3 Procédure d'essais	35
2.4 Environnement de conservation	36
2.5. Propriétés des bétons	37
A. Etat frais	37
B. Etat durci	37
B.1 Les méthodes non destructives	38
B.1.1 Essai ultrason	38
Mode opératoire	38
B.1.2 Essai scléromètres	39
Mode opératoire	39
Préparation de la surface	39
B.2 Les méthodes destructives:	40
B.2.1 Essais de compression.....	40
Mode opératoire.....	40
B.2.2 Carottage	41

Chapitre III: Résultats et discussions	
3.1. Résultat et discussion.....	43
3.1.1 État frais.....	43
Interprétation de résultats	43
3.1.2 États durci	43
A. Non destructif	44
A.1 Ultrason.....	44
A.1.1 Cas des éprouvettes cubiques	44
A.1.2 Cas des blocs.....	45
Interprétation des résultats.....	46
A.2 Scléromètre.....	47
A.2.1 Cas des éprouvettes.....	47
A.2.2 Cas des blocs.....	47
Interprétation des résultats	48
B. Destructif.....	49
B.1 Compression des éprouvettes cubique	49
Interprétation des résultats	51
B.2 Carottes	52
Interprétation des résultats.....	53
3.2 L'essai combiné	53
Interprétation des résultats.....	54
Conclusion générale.....	55
Référence bibliographie	
ANNEX	

Tableau Des Figures

Figure 01 : les constituants de béton	3
Figure 02 : certains appareils pour mesurer l'ouvrabilité	7
Figure 03 : Mesure de l'affaissement au cône d'ABRAMS	8
Figure 04 : Principe de Fonctionnement du Mainabilmètre L.C.P.C.....	9
Figure 05 : les essais de la compression.....	10
Figure 06 : les essais de traction.....	11
Figure 07 : carottage vertical.....	12
Figure 08 : carottage horizontal.....	12
Figure 09 : les carottes.....	14
Figure 10 : les scléromètres.....	16
Figure 11 : Points De Mesures Pour Un Panneau (Exemple Dalle 3x3m ²).....	17
Figure 12 : grille de mesure sur éprouvette.....	17
Figure 13 : inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter	18
Figure 14 : Essai Ultrasons.....	21
Figure 15 : appareil de mesure.	21
Figure 16 : appareil de mesure.	22
Figure 17 : Méthode en transparence (directe)	24
Figure 18 : Méthode en surface (indirecte)	24
Figure 19 : Méthode semi-directe	25
Figure 20 : Courbes d'analyse granulométrique des granulats (Méthode Dreux – Gorisse	33
Figure 21 : Malaxeur de béton	36
Figure 22 : des éprouvettes et les blocs.....	36
Figure 23 : Affaissement au cône d'Abrams	37
Figure 24 : Pratique de l'essai aux ultrasons sur une éprouvette et bloc de béton.	38
Figure 25 : Pratique de l'essai au scléromètre sur un éprouvette et un bloc de béton	40
Figure 26 : Essai de compression	41

Figure 27: Mise en place d'un carottier à la surface d'un bloc en béton.....	42
Figure 28 : Essai de compression sur les carottes	42
Figure 29 : comparaison entre les blocs et les éprouvettes selon la vitesse ultrasonique (m/s) avec Dmax 15	49
Figure 30 : comparaison entre les blocs et les éprouvettes selon la vitesse ultrasonique (m/s) avec Dmax 25.....	49
Figure 31 : comparaison entre les blocs et les éprouvettes selon l'indice scléromètre avec Dmax 15	51
Figure32 comparaison entre les blocs et les éprouvettes selon l'indice scléromètre avec Dmax 25.....	51
Figure 33 : la résistance mécanique à l'âge de 28jours des bétons de différentes classes avec Dmax 15	53
Figure 34 : la résistance mécanique à l'âge de 28jours des bétons de différentes classes avec Dmax 25.....	50
Figure 35 : Gain et la perte à l'âge de 28 jours de la résistance mécanique des bétons de mêmes classes avec Dmax15 et Dmax 25.....	51

Liste Des Tableaux

Tableau 01 : classes de consistance des bétons	4
Tableau 02 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône	7
Tableau 03 : Qualité du béton en fonction de la vitesse de propagation des impulsions	23
Tableau 04 : Analyse chimique du ciment.....	29
Tableau 05 : Essais physique du ciment	29
Tableau 06 : Résistance à la compression et a la flexion du ciment.....	30
Tableau 07 : Analyse granulométrique du sable 0/1 de Boussaâd.....	30
Tableau 08 : Analyse granulométrique du sable0/4 de bouzegueza	30
Tableau 9 : Analyse granulométrique du sable corrigé	31
Tableau 10 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	31
Tableau 11 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.....	32
Tableau 12 : Analyse granulométrique du gravier 15/25.....	32
Tableau 13 : Propriétés physico-chimiques	34
Tableau14 : Formulation des différents bétons étudiés Désignation avec Dmax 15.....	35
Tableau 15 : Formulation des différents bétons étudiés Désignation avec Dmax 25	35
Tableau 16 : Classe de consistance des bétons	37
Tableau 17 : Résultats d'Affaissement au cône d'Abrams	46
Tableau 18 : Masse volumique du béton a 28 jours.....	46
Tableau 19 : Résultats de vitesse ultrason (m/s) pour les éprouvettes cubique	47
Tableau 20 : Résultats de vitesse ultrason (m/s) pour les blocs	48
Tableau 21 : Résultats de scléromètres obtenus sur éprouvettes cubiques	50
Tableau 22 : Résultats de scléromètres obtenus sur des blocs en béton	50
Tableau 23 : Essai de compression sur éprouvettes cubiques de béton 15X15cm	52
Tableau 24 : Résultats Essai de compression des Carottage sur bloc avec dmax 15.....	55
Tableau 25 : Résultats Essai de compression des Carottage sur bloc avec dmax 25.....	55
Tableau 26 : Résultats combinée entre scléromètre et ultrason.....	56

Liste des abréviations

D_{max}: Dimension maximale des granulats.

CaO: La chaux.

M_v : La masse volumique.

V: La vitesse d'impulsion (m/s).

T: Le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur en (s).

Ø: Diamètre.

us: Micro seconde.

CD: Contrôle destructif.

CND: Contrôle non destructif. .

M_f: Module de finesse du sable.

C/E: Rapport Ciment/ Eau.

EP: Eprouvette.

Re: La résistance en compression.

R_{28j}: La résistance à 28 jours.

I: L'indice de rebondissement.

Résumé :

Le contrôle et le suivi du béton est un souci primordial dans les travaux de génie civil; les méthodes destructives et non destructives sont des essais importants afin de déterminer la résistance du béton, les essais de résistance à la compression, effectués sur des éprouvettes coulées au même moment. Mais cette méthode a beaucoup d'inconvénients qui proviennent du fait que: les résultats ne sont pas immédiatement disponibles, le béton des éprouvettes peut être différent de celui de l'ouvrage, les conditions de Cure ou le compactage peuvent être différents et les propriétés de résistance d'une éprouvette dépendent de sa grosseur et de sa forme.

Le développement des méthodes fiables d'évaluation non destructives des propriétés du béton in situ s'avèrent alors d'une importance particulière. Ces méthodes sont basées sur le fait que certaines propriétés physiques du béton peuvent être reliées à la résistance et peuvent être mesurées par des moyens non destructifs.

Parmi les méthodes non destructives les plus populaires et habituellement utilisées du fait de leur simplicité et de leur moindre cout, pour évaluer la résistance du béton sur site sont: les ultrasons et le scléromètre.

Dans ce cadre notre travail s'intéresse au contrôle du béton en utilisant des éprouvettes Cubique (15*15*15), et on utilise par des carottes, sachant que cette technique est très souvent utilisée pour suivre l'exactitude de mise en œuvre des bétons surtout dans les coffrages Complexes.

Mots-clés : résistance à la compression - contrôle non destructif - contrôle destructif - ultrasons - scléromètre - carotte - éprouvettes.

Abstract:

The control and monitoring of concrete is a primary concern in civil engineering works;

Destructive and non-destructive methods are important tests for determining the strength of concrete, compressive strength tests, performed on specimens cast at the same time. But this method has many disadvantages that come from the fact that: the results are not immediately available, the concrete of the specimens may be different from that of the structure, the conditions of Cure or compaction may be different and the strength properties of a test piece depend on its size and shape.

The development of reliable non-destructive evaluation methods for the properties of concrete in situ is therefore of particular importance. These methods are based on the fact that certain physical properties of concrete can be related to the strength and can be measured by non-destructive means. Among the most popular non-destructive methods commonly used because of their simplicity and low cost, to evaluate the on-site concrete resistance are: Ultrasound and Accelerometer.

In this frame our work is interested in the control of the concrete by lower by specimens Cubic (15*15*15), and it is swallowed by carrots, knowing that this technique is very often used to monitor the accuracy of concretes implementation especially in formwork Complex.

Key words: compressive strength - nondestructive testing - destructive testing - ultrasound - accelerometer - core - test pieces.

الملخص:

يعتبر التحكم والمراقبة للخرسانة مصدر قلق رئيسي في أعمال الهندسة المدنية. تعتبر الطرق المدمرة وغير المدمرة اختبارات مهمة لتحديد قوة اختبارات قوة الضغط والخرسانة، التي يتم إجراؤها على عينات يتم التقاطها في نفس الوقت. لكن هذه الطريقة لها العديد من العيوب التي تأتي من حقيقة: النتائج غير متوفرة على الفور، قد تكون الخرسانة في العينات مختلفة عن بنية الهيكل وظروف قد يكون الشفاء أو الضغط مختلفين، تعتمد خصائص قوة قطعة الاختبار على حجمها وشكلها.

لذلك، فإن تطوير أساليب تقييم غير مدمرة موثقة لخصائص الخرسانة في الموقع له أهمية خاصة. تعتمد هذه الطرق على حقيقة أن بعض الخواص الفيزيائية للخرسانة يمكن أن ترتبط بالقوة ويمكن قياسها بوسائل غير مدمرة. من بين الطرق غير المدمرة الأكثر شيوعاً التي يشجع استخدامها بسبب بساطتها وانخفاض تكلفتها، لتقييم مقاومة الخرسانة في الموقع هي: الموجات فوق الصوتية، مقياس الصلابة.

في هذا الإطار، يهتم عملنا بالتحكم في الخرسانة بواسطة الحبيبات بواسطة العينات مكعب (*15*15*15) وابتلعها الجزر، مع العلم أن هذا الأسلوب كثيراً ما يستخدم لمراقبة دقة تنفيذ ملموسة خاصة في أشكال مجمع.

الكلمات المفتاحية: قوة الانضغاط - الاختبارات غير المدمرة - الاختبارات المدمرة - الموجات فوق الصوتية - مقياس الصلابة - النواة - قطع الاختبار.

Introduction Générale

Introduction Générale

Le béton est aujourd'hui le matériau le plus largement utilisé depuis plus d'un siècle, aussi bien dans le génie civil que dans le bâtiment, plus que tous les autres matériaux réunis.

Néanmoins des statistiques montrent que certaines difficultés surgissent au cours de la période de construction pour différentes raisons ; la plus fréquente est une insuffisance de la résistance du béton à la compression .En effet, suite aux constats et expertises effectués sur des structures en béton armé après des catastrophes naturelles « séismes, Chleff (ex El Asnam) 1980, Boumerdes 2003 ».

Il a été constaté que l'un des facteurs majeurs à l'origine de l'ampleur des désastres est dû au non-respect des normes de construction.

La qualité du béton mis en place est de loin inférieure à celle officiellement mentionnée par les essais d'écrasement aux laboratoires.

Traditionnellement ; la méthode normalisée utilisée, pour évaluer la qualité du béton dans les ouvrages en béton comprend, les essais de résistance à la compression et à la traction par flexion, effectués sur des éprouvettes coulées au même moment. Mais cette méthode a beaucoup d'inconvénients qui proviennent du fait que : les résultats ne sont pas immédiatement disponibles ; le béton des éprouvettes peut être différent de celui de l'ouvrage, par le fait même que la cure ou le compactage peuvent être différents; d'autre part, les propriétés de résistance d'une éprouvette dépendent de sa grosseur et de sa forme. Bien que les normes de la construction couvrent cette incertitude par l'affectation de la résistance du béton par un coefficient de sécurité et la pondération des charges, ces mesures se sont avérées insuffisantes pour compenser les imperfections de la mise en place du béton.

Le non-respect des propriétés mécaniques du béton sur chantier est dû essentiellement à différents facteurs :

- ↳ L'échantillon est non représentatif.
- ↳ La - non qualification de la main d'œuvre.
- ↳ L'absence de contrôle strict et continu.
- ↳ La difficulté de maintenir une formulation constante pendant la mise en œuvre du béton.
- ↳ Les propriétés de résistance d'une éprouvette de béton dépendent de sa grosseur et de sa forme.

Le développement de méthodes fiables d'auscultation et de vérification des propriétés du béton institué avèrent alors d'une importance particulière. Plusieurs méthodes non

Introduction Générale

destructives d'évaluation ont été mises au point. Ces méthodes sont basées sur le fait que certaines propriétés physiques du béton peuvent être reliées à la résistance et peuvent être mesurées par des moyens non destructifs.

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

- Les ultrasons UPV (ultrasonic pulse velocity).
- Le scléromètre ou rebound-hammer RH.

L'évaluation de la résistance du béton se fait alors sur la base de relations empiriques entre les valeurs des mesures des essais non destructifs et les résultats obtenus par les essais destructifs et semi destructifs.

De ce fait il est impératif d'établir des équations de corrélations par l'analyse de régression multi variable.

Dans notre présent travail nous nous proposons de combiner les résultats de ces deux essais et de les corrélérer à ceux issus d'un contrôle destructif (écrasement d'éprouvettes et carottes).

La combinaison des deux essais; résulte dans l'amélioration de la précision de l'estimation de la résistance à la compression du béton, avec l'objectif de déterminer une résistance à la compression du béton potentiellement fiable.

L'intérêt dans l'utilisation de la méthode combinée est que la variabilité de certaines propriétés du béton produit des effets opposés pour chacun de ses composants (reboundhammer et UPV).

Le travail est structuré comme suit :

Le premier chapitre présente un état de l'art sur béton ordinaire, ses constituants, sa formulation et l'influence de certains paramètres tels que le rapport gravier sur sable et le diamètre maximale des granulats sur les propriétés de béton

Dans le deuxième chapitre, on a traité la détermination des caractéristiques des différents constituants entrant dans les compositions du béton et la procédure d'essai.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus expérimentalement et leurs interprétations.

Enfin le travail est clôturé par une conclusion générale.



Chapitre I
Etude Bibliographique

Généralités

Le béton, est le matériau le plus utilisé dans les constructions, il est composé de granulats, d'eau de gâchage, de liants hydraulique (ciment) et le plus souvent d'adjuvants mélangés dans des proportions bien déterminées en fonction de la nature recherchée. Le béton est présent partout où l'on construit, et il doit cette présence à ses nombreuses qualités:

- sa durabilité: le béton résiste très longtemps aux sollicitations physico-chimiques liées aux conditions d'emploi, aussi bien qu'à l'environnement;
- ses caractéristiques lui permettent de répondre aux multiples exigences imposées au bâtiment : sécurité, stabilité statique et dynamique, tenue au feu, étanchéité, thermique, acoustique et bien entendu esthétique.

Des exigences sont généralement imposées sur la qualité du béton par les utilisateurs qui sont principalement :

- la résistance caractéristique à la compression, indiquée par la classe de résistance.
- la durabilité souhaitée en fonction du domaine d'utilisation et de la classe d'environnement;
- la consistance voulue, mentionnée par une classe de consistance;
- la dimension maximale des granulats;
- des exigences complémentaires souhaitées.

I.2. Définition du béton

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, air, granulats et, le plus souvent, adjuvants qui doivent constituer un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (**eau**) à 3 (**ciment**) t/m^3 ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0,5 μm (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (**gravillons**).

ORDRE DE GRANDEUR DES PROPORTIONS DES CONSTITUANTS D'UN BETON COURANT				
Constituants	Eau	Air	Ciment	granulats
Volume(%)	14-22	1-6	7-14	60-78
Poids(%)	5-9	/	9-18	63-85

Figure 01 : les constituants de béton. [1]

I.3. Classification des bétons**I.3.1. Introduction**

La résistance du béton aux diverses conditions environnementales auxquelles il est soumis pendant la durée de service prévue de la structure est conditionnée notamment par le respect de spécifications sur le béton. Ces spécifications doivent être adaptées aux conditions susceptibles d'être rencontrées dans chaque pays européen. Il est donc nécessaire de se référer aux éditions nationales des normes (**EN206-1**, normes de produits préfabriqués et **EN 13369**) en vigueur dans le pays concerné.

La norme **NF EN 206-1** et son annexe nationale s'appliquent aux bétons de bâtiments et de structure de génie civil, qu'ils soient réalisés par un producteur de béton prêt à l'emploi ou un utilisateur de béton sur chantier. Dans le cas des produits en béton, les normes qui s'appliquent sont les normes de produit. Dans le cas des produits structuraux, les normes s'appuient sur la norme **NFEN 13369**, qui elle-même reprend, pour les aspects concernés, certaines exigences de la norme **NF EN 206-1**. [2]

Classes de consistance du béton frais

La norme **NF EN 206-1** définit pour les bétons à teneur en eau courante, **5 classes** de consistance des bétons

Tableau 01 : classes de consistance des bétons. [3]

Classe	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
Affaissement en (mm)	10 à 40	50 à 90	100 à 150	160 à 210	~ 220

La mesure de l'affaissement est réalisée à l'aide du «**cône d'ABRAMS**» La consistance peut aussi être spécifiée par :

- Le temps VEBE (en S).
- L'indice de serrage.
- Le diamètre d'étalement (en mm).

Classes de résistance à la compression des bétons durcis :

La résistance des bétons durcis à 28 jours peut être mesurée sur des éprouvettes cylindriques ou cubiques, elle peut donc être définie par deux valeurs : 151

- ❖ **fck-cyl** : résistance caractéristique (fractile 5 %) en compression du béton déterminée par essais sur éprouvettes cylindriques ($\phi=150$ mm - **H** = 300 mm, $\phi=160$ mm - **H** = 320 mm, Ou $\phi=110$ mm - **H** = 220 mm).
- ❖ **fck-cube** : résistance caractéristique (fractile 5 %) en compression du béton déterminé par essais sur éprouvettes cubiques (côté : 100 ou 150 mm).

I.4. Constituants

Le béton désigne un matériau composé de granulats et de sables liés entre eux par une pâte (liant). Dans les bétons “hydrauliques”, le liant est une pâte à base de ciment et d’eau. Certaines additions minérales et adjuvants peuvent être ajoutés en faible quantité afin de donner des propriétés spéciales, comme des fumées de silice ou des superplastifiants. Lorsque le béton ne contient pas de granulats mais uniquement du sable, du ciment et de l’eau on parle alors de mortier. Les granulats sont les plus gros constituants du béton, et peuvent provenir de différentes roches inertes (silico-calcaires, basaltes, granites, . . .). [4] Ils représentent environ 50% en masse du béton complet. Ils peuvent être “roulés” (granulats issus du lit de rivières) et ont alors une forme arrondie, ou “concassés” (issus de carrières) et peuvent présenter des formes angulaires. Leur dimension est déterminée par criblage sur des tamis à mailles carrées. Classiquement, leur granulométrie peut varier de 5 mm à 20 mm voire plus. Les bétons sont caractérisés par le paramètre D-max qui représente le diamètre des granulats de plus grandes dimensions. Une bonne part de la résistance des bétons est tirée des granulats, et particulièrement des plus gros d’entre eux.

Le sable représente les constituants rocheux dont les dimensions peuvent varier de 100 μ m à environ 5 mm. Leur granulométrie est définie de la même manière que pour les plus gros granulats. La dimension des grains de ciment étant de l’ordre de quelques micromètres, le béton présente alors une continuité de dimensions allant du micromètre au centimètre. Cette continuité assure une bonne compacité du matériau en minimisant les espaces entre les constituants, ce qui améliore les propriétés mécaniques de l’ensemble.

I.5. Formulation

Les bétons sont conçus suivant une formulation, donnée sous forme de quantité massique de chaque composant afin d’obtenir un volume de 1 m³ de béton. Il existe différentes méthodes de formulations, qui visent à optimiser l’empilement des différentes particules (grains de ciment, sable, gravillons) afin de minimiser les espaces

vides. [5] Le choix de la formulation permet d'obtenir des propriétés mécaniques ou de mises en œuvre recherchées. Le mélange des différents constituants du béton lors de sa fabrication s'appelle une gâchée". L'eau du mélange hydrate progressivement le ciment. La pâte de ciment hydratée forme alors un matériau poreux qui solidarise le sable et les granulats entre eux et le matériau acquiert ses propriétés mécaniques. On appelle "cure" le moyen utilisé pour protéger le béton des échanges avec l'extérieur (en particulier le séchage) afin d'assurer la prise puis le durcissement de manière optimale, la cure est particulièrement importante pendant le jeune âge du béton. On considère traditionnellement que les propriétés mécaniques finales du béton sont atteintes au bout de 28 jours. Ces propriétés évoluent en fait continûment et ne peuvent être considérées comme réellement stabilisées qu'au bout de 90 jours ou plus.

Le rapport de la quantité massique d'eau sur celle du ciment (appelé rapport E/C) joue un rôle important sur les propriétés mécaniques du béton. Un béton ayant un rapport E/C élevé sera plus aisé à mettre en œuvre, cependant, l'espacement entre les grains de ciment sera plus grand du fait de la quantité d'eau d'hydratation et de la porosité finale de la pâte de ciment qui sera plus importante.

L'inverse un rapport E/C faible donnera un béton plus compact avec de meilleures propriétés mécaniques mais une ouvrabilité plus faible. Ce rapport E/C est en général compris entre 0,3 et 0,9 pour les cas les plus extrêmes.

I.6. Les propriétés du béton

Introduction

Le béton est un matériau composite qui fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par ces caractéristiques de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, sa durabilité, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les teintes et les textures. Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés à l'état frais et à l'état durci. [6]

I.6.2. Propriété du béton a l'état frais

Lors du malaxage, l'eau est l'élément qui va donner une capacité d'écoulement au squelette compact formé par l'empilement des grains solides. Ceci signifie que l'eau va venir desserrer le squelette compact afin de donner une mobilité aux grains suffisants pour permettre la mise en œuvre souhaitée : deux façons de caractériser le béton à l'état frais sont abordées : l'ouvrabilité et les paramètres rhéologiques. [6]

I.6.2.1. Ouvrabilité

L'Ouvrabilité est une qualité essentielle du béton: elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en cuver du béton pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage: une bonne ouvrabilité comporte une marge de sécurité permettant sans conséquences fâcheuses une certaine et nécessaire latitude par rapport aux bonnes et plus ou moins rigoureuses règles à appliquer pour une exécution optimale. De l'ouvrabilité dépendent. En effet, la plupart des qualités de l'ouvrage : compacité et résistance belle du béton dans l'ouvrage lui-même, enrobage et adhérence des armatures

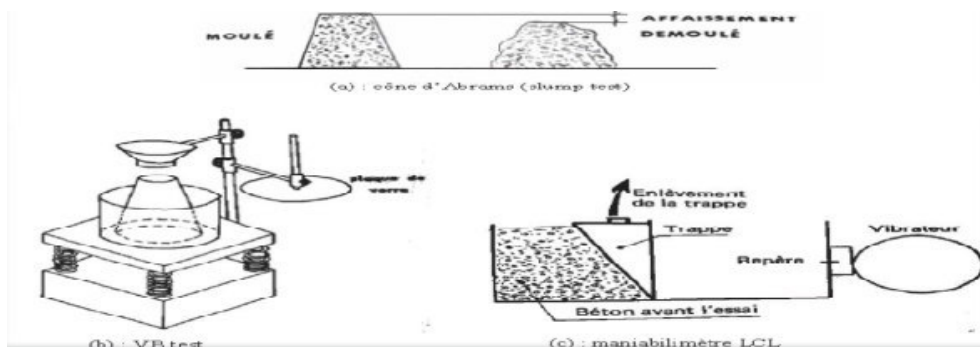


Figure 02 : certains appareils pour mesurer l’ouvrabilité. [7]

I.6.2.1.1. Mesure de la maniabilité du béton

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. On n'en citera que quelques-uns qui sont les plus couramment utilisés dans la pratique.

Tableau 02 : appréciation de la consistance en fonction de l’affaissement au cône.

[6]

Classe	Consistance du béton	Affaissement (en mm) au cône d’abrams
S ₁	Ferme	10_40
S ₂	Plastique	50_90
S ₃	Très plastique	100_150
S ₄	Fluide	160_210
S ₅	Très fluide	≥220

A. Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS

L'essai d'affaissement est le plus couramment employé pour le béton sur chantier. Cet essai est cependant très pratique pour détecter des variations de l'homogénéité d'un béton donné. On utilise un moule normalisé de 300 mm de hauteur, placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches. Chacune des couches est compactée par 25 coups d'une tige métallique normalisée

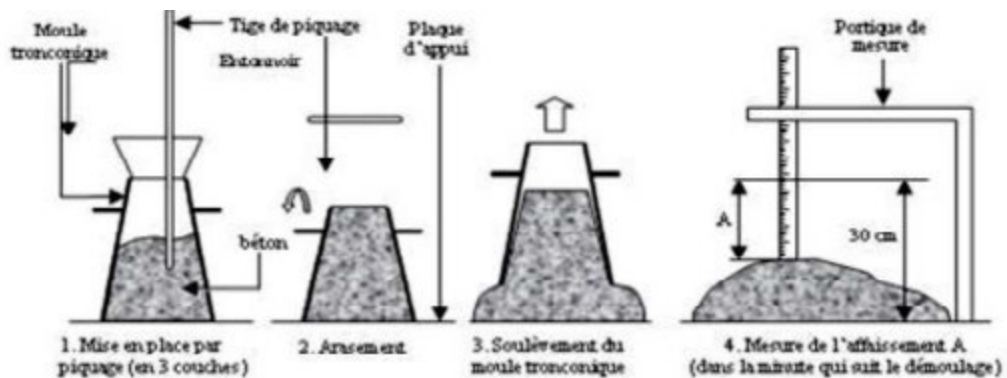


Figure 03 : Mesure de l'affaissement au cône d'ABRAMS. . [6]

Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse, La différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est l'affaissement, il est mesuré à 5 mm Près (figure 03).

B. Maniabilimètre LCPC

Cet essai a l'avantage de tenir compte de la mise en vibration du béton dans l'appréciation de sa maniabilité. L'appareil comporte une cuve métallique parallélépipédique dont les dimensions inférieures sont : 30cm de largeur, 30cm de profondeur et 60cm de longueur. Une paroi mobile de section triangulaire sépare la cuve en deux alvéoles distincts, après avoir rempli le moule de béton l'alvéole située du côté du parement incliné de la paroi mobile, cette dernière qui peut coulisser verticalement est soulevée ce qui déclenche simultanément un contact électrique provoquant la mise en marche d'un vibreur (Shertz) fixé sur la paroi avant de l'appareil; le béton s'écoule dans le second alvéole de la cuve et l'on chronomètre le temps qu'il met pour atteindre un trait repère sur la paroi opposée. [6]

Plus le béton est plastique, maniable et de bonne ouvrabilité et plus le temps est court; on constate en moyenne les valeurs suivantes :

- Pour les bétons mous et très fluides, $t \leq 10$ secondes.
- Pour les bétons très plastiques $t \leq 15$ secondes.
- Pour les bétons de bonne ouvrabilité, $20 \leq t \leq 30$ secondes.
- Pour les bétons secs, peu maniables et d'ouvrabilité défectueuse, $t \geq 40$ secondes.

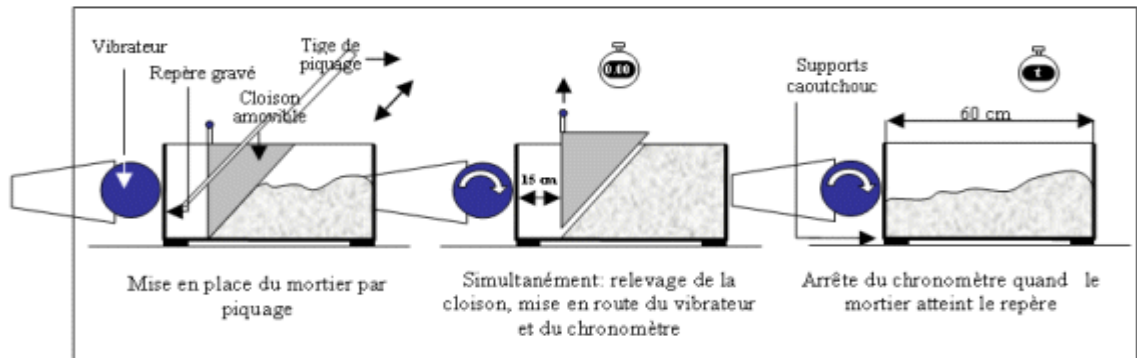


Figure 04: Principe de Fonctionnement du Mainabilmètre L.C.P.C. [8]

Densité réelle du béton frais

L'essai est assez simple et nécessite peu de moyens. Il suffit de remplir un moule de volume connu (**V**) (dans les mêmes conditions que celle du chantier) et le peser, soit une masse (**M**) La masse volumique se déduira alors de :

La masse volumique du béton courant dépend évidemment de la composition et des constituants, et en général, elle varié dans les limites suivantes (2200) - 2400) Kg/m³.

[9]

I.7. Propriétés du béton durci

La résistance à la compression du béton est généralement considérée comme propriété la plus importante bien que, dans nombreux cas pratiques, d'autres caractéristiques telles la durabilité et la perméabilité puissent en fait être plus importantes. Néanmoins, la résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté. De plus, la résistance du béton et presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité. [6]

Résistance mécanique

I.7.1.1. Essais destructifs

Les résistances sont mesurées sur des éprouvettes cylindriques, cubiques ou prismatiques, les plus fréquemment utilisés sont les moules cylindriques.

A. Résistance à la compression

Est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton et en béton armé. Le béton est caractérisé par la résistance à la compression R_{c28} mesurée sur des éprouvettes écrasées à 28 jours selon la norme NF EN 12390-4. (Figure05).

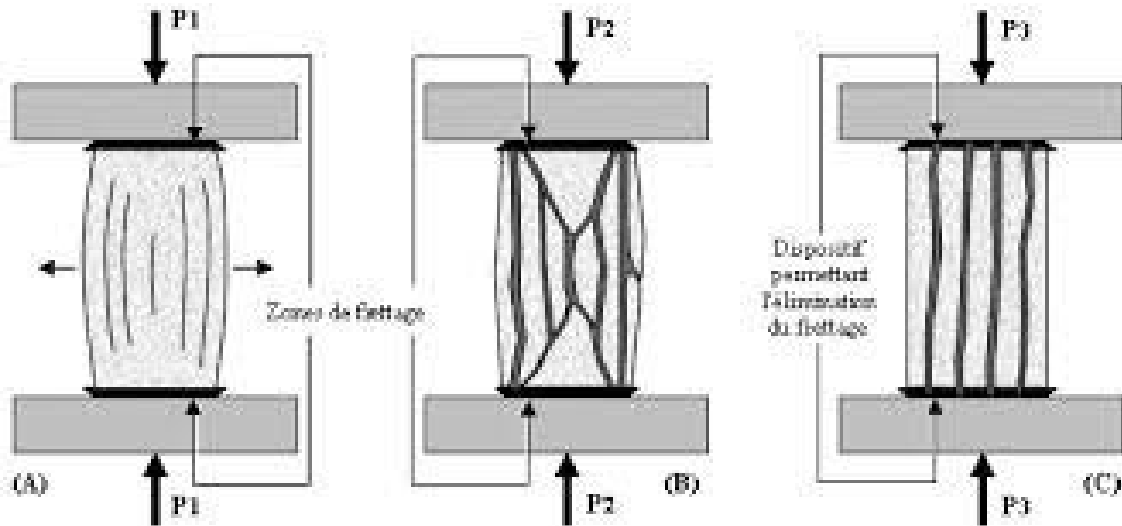


Figure 05 : les essais de la compression. [10]

B. Résistance à la traction

Elle est moins étudiée que la résistance en compression car le béton est conçu essentiellement pour résister à la compression, et son comportement en traction est quasi fragile. Le comportement en traction du béton peut être identifié par l'essai de flexion sur trois points, désignée par $F_{tj 28}$. [10]

Plusieurs essais peuvent être réalisés :

❑ Traction directe

La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques à celle de la résistance en traction par fendage, mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite. [10]

❑ Résistance à la traction par fendage

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé Essai Brésilien. Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera : [10]

$$F_{tj} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

Avec :

j: âge du béton en jour ou moment de l'essai.

Det L=diamètre et longueur du cylindre.

P= charge de rupture.

❑ Résistance à la traction par flexion

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques de côté **a** et de longueur **4a**, reposant sur deux appuis:

- ✓ Soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).
- ✓ Soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges) (**figure06**).

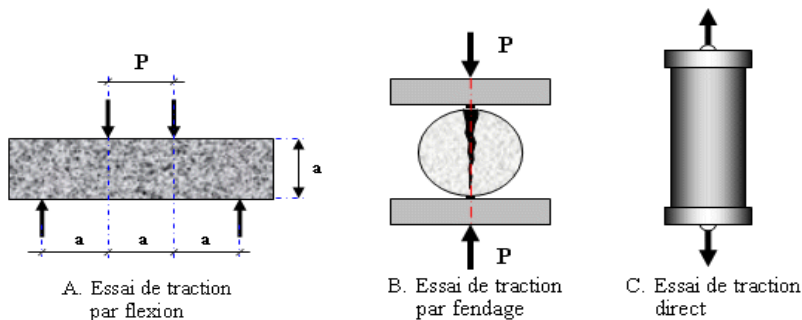


Figure 06 : les essais de traction. [10]

C. Le Carottage

C.1. Généralités

Dans l'Industrie du béton, les essais pour la détermination de la résistance mécanique sont généralement réalisés sur les produits eux-mêmes, voire sur éprouvettes confectionnées lors de la fabrication. Le recours au carottage est assez rare. En fait, il est essentiellement pratiqué dans les cas suivants :

- Soit parce que la structure a subi des dommages par exemple par le feu, surcharges, Fatigue et/ou a été dans un environnement agressif...etc.

➤ Soit parce que les résultats obtenus lors des épreuves de contrôle de fabrication ne sont pas conformes et qu'il est nécessaire de procéder à des investigations complémentaires pour décider des actions à entreprendre.

Avant extraction, les implications possibles du carottage sur les structures doivent être considérées. Les emplacements choisis devront être dénués d'armatures métalliques ou ne présenter que peu d'armatures.

Les carottes seront de préférence prélevées à une distance des joints ou des arêtes suffisante pour ne pas rendre disgracieux ou impossible le ragréage des « trous ».

En règle générale, l'extraction est réalisée par :

- ✓ un carottage vertical pour les dalles, les tabliers de ponts, les semelles et éventuellement pour les poutres de faible hauteur. - un carottage horizontal dans l'âme des poutres de grande hauteur, dans le tiers central des poteaux, des murs, des piédroits...etc. [11]



Figure 07 : carottage vertical [11]



Figure 08: carottage horizontal [11]

C.2. Principe

Les carottes extraites au moyen d'un carottier sont soigneusement examinées, leurs extrémités sont préparées par rectification ou par surfaçage, puis testées en compression.

C.3. Définitions

Carottage: C'est le découpage des échantillons de béton ou carottes, d'une structure, à l'aide d'une machine, ou carotteuse dont la partie active est le carottier.

Carottier : Il est constitué d'un tube mince, muni à une extrémité d'une couronne diamantée [12]. La dépouille interne correspond à la différence entre les diamètres intérieurs de la couronne diamantée et du tube. La différence entre les diamètres extérieurs est la dépouille externe.

Éprouvette carottée : C'est la partie de la carotte, obtenue après élimination des extrémités et destinée aux essais de résistances mécaniques et autres mesures.

Résistance «vraie» : Cette résistance intègre : la qualité propre du béton et des déficiences éventuelles dans une mise en œuvre et/ou une cure insuffisante.

Élancement : L'élancement d'une éprouvette carottée est le rapport entre sa longueur et son diamètre.

Voilage : Déplacement circonférentiel de l'outil dans une section donnée.

Battement : Déplacement de l'outil suivant une direction parallèle à son axe.

C.4 Facteurs influent la résistance des carottes

◆ Teneur en eau

La teneur en eau de la carotte aura une influence sur la résistance mesurée. Ainsi, la résistance d'une carotte saturée en eau est de 10 % à 15 % inférieure à celle d'une carotte comparable sèche.

◆ Conditions de conservation

Les conditions de conservation auront une influence sur la résistance mesurée. La résistance augmente avec la maturité.

◆ **Porosité :** Une porosité accrue fait diminuer la résistance. Environ 1 % de porosité réduit la résistance de 5% à 88%.

Sens par rapport au coulage : Selon les stabilités du béton frais, il est possible que la résistance mesurée d'une carotte prélevée verticalement dans le sens du coulage

soit plus grande que la résistance d'une carotte prélevée horizontalement dans le même béton. Cette différence peut varier entre 0% et 8%

◆ Variables d'essai

• Diamètre des carottes

Le diamètre des carottes influence la résistance mesurée et la variabilité de la résistance. Lorsque le diamètre diminue pour la même longueur de carotte, la variabilité de la résistance augmente et on peut prévoir que le niveau de résistance change à mesure que le diamètre diminue.

La variabilité de la résistance mesurée augmente lorsque le rapport du diamètre sur la classe granulaire maximale décroît.

• Rapport longueur/diamètre

Le rapport longueur/diamètre a une influence sur la résistance mesurée (voir essai de compression)

• Planéité des surfaces finales : Les écarts de planéité diminuent la résistance mesurée.

[12]



Figure 09: les carottes

I.7.1.2. Essais non destructifs

Les essais non destructifs sont des essais qui permettent d'évaluer la résistance d'un béton sans que l'on soit obligé d'aller jusqu'à la rupture des éprouvettes. C'est un avantage indéniable lorsque l'on est appelé à établir un diagnostic des ouvrages ou les éprouvettes font défaut. [12]

A. Essai par scléromètre

Introduction

L'augmentation de la dureté du béton avec l'âge a conduit au développement de méthodes d'essai pour mesurer sa résistance à la compression. Ces méthodes reposent sur deux principes physiques : l'indentation et le rebondissement

Les méthodes reposant sur l'indentation consistent à appliquer une charge à la surface du béton à l'aide d'un indenter qui peut prendre plusieurs formes géométriques suivant la méthode d'essai. Pendant l'indentation le matériau se déforme de manière lasto-plastique ; la déformation plus ou moins prononcée suivant le matériau : pour le béton c'est un enfoncement et donc l'essai consiste à mesurer la largeur et la profondeur de l'enfoncement dû à l'impact.

Les méthodes d'indentation ont vu le jour en Allemagne en 1934 Introduits dans les standards allemands en 1935 [Boundy 1964] puis elles ont été utilisées en Angleterre et en URSS sous trois formes différentes:

- ◆ Testing pistol by Williams
- ◆ Spring hammer by Frank
- ◆ Pendulum hammer by Einbeck

Les méthodes basées sur le principe du rebondissement consistent à projeter une masselotte par un ressort contre la surface du béton et mesurer ensuite l'indice de rebondissement sur une échelle graduée.[12]

Historique

De nos jours, la méthode la plus largement utilisée pour mesurer la dureté superficielle du béton est le scléromètre de Schmidt (Schmidt reboundhammer), Szallagy K., 2013) A l'origine développée en 1905 par l'ingénieur Swiss Ernest Schmidt et présentée à la swiss fédéral testing and experimental Institute of Zurich; l'appareil sera développée ensuite en intégrant une échelle graduée pour lire directement l'indice de rebondissement (Schmidt, 1950 1951 1954), et en utilisant un seul ressort au lieu de deux pour plus de simplicité et de pratique Greene. 1954. Anderson et al. 1955].

Introduit et développé par Procce SA, fondée en 1954 : plusieurs centaines de milliers d'exemplaires de l'original Schmidt reboundhammer ont été fabriqués et utilisés de par le monde [Baumann, 2006].

Il s'agit sans aucun doute de l'appareil de mesure NDT le plus couramment utilisé pour évaluer rapidement l'état d'une structure en béton. Au fil des années, son application s'est étendue aux tests de roches et aux tests de dureté de bobines de papier. PROCEQ fabrique aussi un plus large éventail de marteaux pour s'adapter pratiquement à toutes les applications des essais in situ - y compris l'original Schmidt marteau de type Not L , le type enregistrement NR et LR, types numérique ND CLD DIGI-SCHMIDT Le dernier modèle PROCEO Silver Schmidt- un instrument fabriqué en Suisse - offre des avantages sans précédent aux utilisateurs. Le nouvel instrument dispose d'une facilité d'utilisation inégalée : facilité de lecture de l'indice de rebondissement et une précision supérieure, ainsi qu'une plage de mesure étendue. Un certain nombre d'avantages ont été intégrés, comme la correction automatique des relevés basés sur la direction de l'impact - éliminant le besoin de se référer aux courbes de conversion de direction de l'impact.

A.3. Appareillage

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



Figure 10: les scléromètres

Méthodologie

1- Préparation de la surface

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas de nids de gravier, des écaillages, de texture grossière, de porosité élevée ou d'armatures affleurantes. La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée. [13]

2. Points de mesures

a) mesures sur ouvrage

La surface testée est divisée en zones d'au moins 400 cm ($25 * 25$ cm). La tige de percussion du scléromètre étant perpendiculaire à la surface essayée, on prend 27 mesures sur chaque zone d'essai. La distance entre 2 points de mesure est d'au moins 30 mm et aucun point ne doit se situer à moins de 30 mm de l'un des bords de la surface testée. [14]

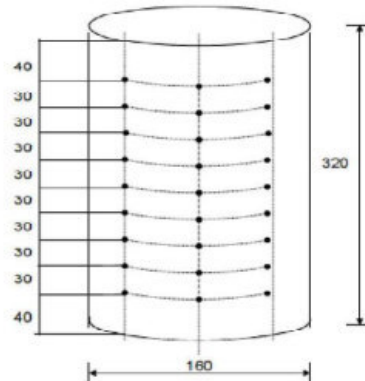


Figure 11: Points De Mesures Pour Un Panneau (Exemple Dalle $3 \times 3 \text{m}^2$). [14]

b) Mesures sur éprouvette $16 * 32$

Les éprouvettes préalablement rectifiées conformément aux prescriptions de la norme **NFP 18-416**, sont maintenues entre les plateaux d'une presse sous une contrainte de 0.5 MPa. Le scléromètre étant placé perpendiculairement à l'axe de l'éprouvette, on relève 27 mesures réparties sur 3 génératrices en 27 points distincts et distants entre eux de 30 mm. Aucune mesure ne doit être située à moins de 40 mm des faces planes de l'éprouvette. [14]

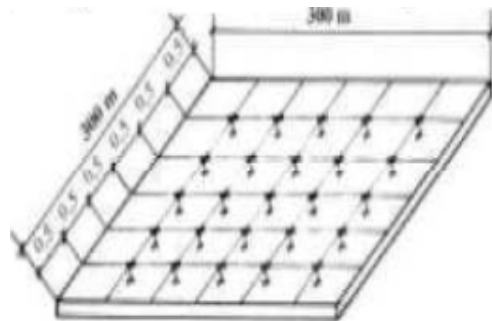


Figure 12: grille de mesure sur éprouvette. [14]

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

Méthodes de mesure de l'Indice de rebondissement

L'indice de rebondissement est la mesure enregistrée sur une échelle gradue ce fixe par rapport au bâti de l'appareil de scléromètre, après la projection d'une masselotte chargée par ressort sur une tige métallique en contact avec la surface du béton. Cette mesure est fonction de l'angle d'inclinaison de l'appareil par rapport à l'horizontal. [13]

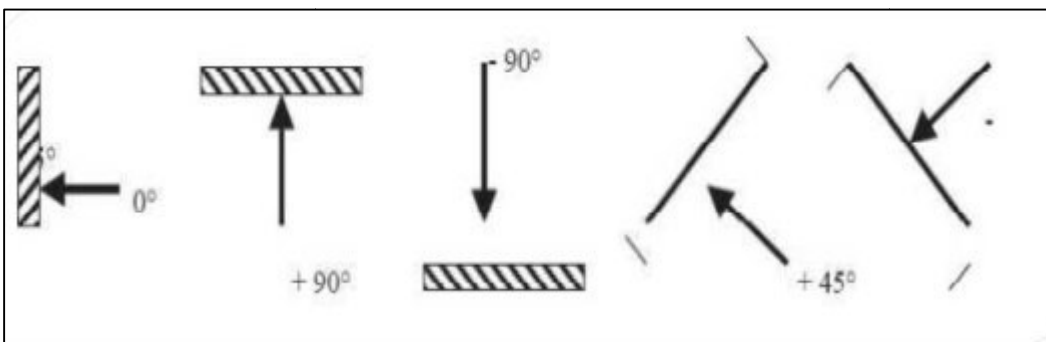


Figure 13: inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter. [13]

Le scléromètre doit être contrôlé par des essais d'étalonnage, car les constantes des ressorts changent après plusieurs utilisations. [13]

Deux cas peuvent se présenter:

- $28 \leq I \leq 32$ le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant.
- $I < 28$ ou $I > 32$ l'appareil est défectueux ; il sera procédé au nettoyage de l'appareil pour refaire une nouvelle fois la mesure de l.

Facteurs influençant l'essai au scléromètre [13]

Malgré que l'essai du scléromètre soit d'un usage simple, rapide et peu couteux pour le contrôle du béton il a certains inconvénients et présente certaines limites qui peuvent affecter considérablement sa fiabilité. L'essai est donc affecté par différents facteurs dont les plus intéressants sont les suivants :

↳ Texture de la surface

La texture de la surface est d'une grande importance quant à la précision des résultats L'indice de rebondissement se trouve diminué par la rugosité de la surface, des

chercheurs comme Kolek et Greene (Kolek 1958 et Grenne 1954) ont recommandé de polir les surfaces avant l'essai.

↳ **Dimension, forme et rigidité de l'élément à tester**

Pour des éléments de petites dimensions (poutrelle, éprouvette), tout mouvement de l'élément entraîne une diminution de la valeur de l'indice de rebondissement. Pour y remédier, l'élément à tester doit être rigidement maintenu.

↳ **Age de l'élément à tester**

Zoldners et Victor (Zolners 1957 et Victor 1963) ont démontré que pour des résistances égales; des valeurs plus élevées de l'indice de rebondissement sont obtenus pour un béton de 7 jours que pour un béton de 28 jours.

↳ **Humidité extérieure et intérieure du béton**

Le degré de saturation du béton a un effet décisif sur la valeur de l'indice de rebondissement Zoldners et Victor Zolners 1957 et Victor 1963 ont montré que les essais sur des éprouvettes de béton à l'état saturé ont donné des valeurs de l'indice de rebondissement 5 points en moins que lorsque les éprouvettes ont été testées à l'état sec.

↳ **Type des granulats**

Klieger et al. (Klicger et al. 1954) Ont démontré que pour des valeurs de la résistance à la compression égales, le béton fabriqué avec des granulats concassés donne des valeurs de l'indice de rebondissement de 7 points inférieures que pour un béton fabriqué avec des granulats naturels.

↳ **Type de ciment**

D'après (Kolek 1969), le béton fabriqué avec un ciment alumineux a une valeur de la résistance à la compression 100% supérieure par rapport un béton fabriqué avec un ciment ordinaire, ce qui conduit nécessairement à des valeurs élevées de l'indice de rebondissement

↳ **Carbonatation de la surface du béton**

La surface de carbonatation affecte sérieusement les essais au scléromètre. Dans des vieux bétons, l'épaisseur de la surface de carbonatation peut atteindre quelques millimètres, dans ce cas les valeurs de l'indice de rebondissement peuvent être 50% supérieures que pour une surface de béton sans carbonatation.

B. Les ultrasons

B.1. Introduction

Cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée.

Ultrason c'est un essai non destructif très important qui nous permet de détecter à la fois plusieurs caractéristiques du béton durci, tels que : le degré de compacité, l'homogénéité, la résistance à la compression, le taux de fissuration, ...etc. [15]

B.2. Historique

Les méthodes acoustiques sont avec l'inspection visuelle, les plus anciennes formes du contrôle non destructif. Le son est un moyen de détecter la présence des vides, fissures ou d'éliminations en 1920, le scientifique russe Sergei Y. Sokolov de l'institut électrotechnique de Leningrad, en ce qui était l'URSS s'est proposé d'abord d'utiliser la vitesse de l'onde ultrasonique (UPV) pour trouver les défauts dans les objets métalliques. Cependant on n'est qu'en 1942 qu'un réel progrès a été réalisé par Firestone à l'université de Michigan et indépendamment par Sproule en Angleterre [NDT ressources center].

Après la seconde guerre mondiale, s'en est suivie une rapide évolution dans l'instrumentation du contrôle non destructif ; l'objectif principal étant la détection des defaults. En réponse à ce besoin des techniques de plus en plus sophistiquées utilisant les ultrasons; courant de Foucault, radiographie... sont apparues. C'est au début des années 1970 avec l'amélioration de la technologie, l'apparition de la mécanique de rupture et le développement de nouvelles lois pour prédire le taux d'évolution des fissures dans le béton sous chargement cyclique (fatigue) qu'un réel et majeur changement se produit dans le domaine du NDT.

L'essai ultrasonique peut être effectué sur des éprouvettes de laboratoire comme sur des ouvrages en béton terminé. [12]



Figure 14: Essai Ultrasons

✓ La vitesse de l'impulsion V est donnée par la relation:

$$V = \frac{L}{t}$$

B.3. Principe

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

- Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques excitation par choc des cristaux semblables sont utilisées dans le récepteur JONS.R ET FACAOARU (1969).
- La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 HZ, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques[13]

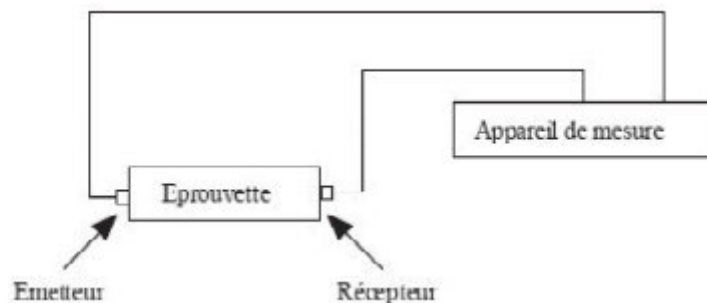


Figure 15: appareil de mesure. [13]

B.4. Appareillage

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.

- Il existe deux sortes d'appareils électroniques de mesure du temps :
- ❖ Un oscilloscope sur lequel le premier front de l'impulsion est visualisé par rapport une échelle de temps appropriée.
- ❖ Un compteur avec affichage numérique direct.

Dispositif expérimental utilisé dans notre cas : Pundit Lab: Ecran Matrice passive OLED 79 x 21 mm. et Résolution 0,1 μ s

- Transmetteur Impulsion d'excitation optimisée 125 V, 250 V, 350 V, 500 V, AUTO
- Bande passante 20 kHz – 500 kHz.
- Batterie 4 x AA (> 20 heures en utilisation continue).
- PC 5v, < 500 mA directement par câble USB, Dimensions 172 x 55 x 220 mm et Poids 1,3 kg (avec les batteries)



Figure 16: appareil de mesure.

Tableau 03 : Qualité du béton en fonction de la vitesse de propagation des impulsions.

Qualité du béton	Vitesse de propagation (m/s)		
Excellente	Supérieure	à	4575
Bonne	3660	à	4575
Douteuse	3050	à	3660
Mauvaise	2135	à	3600
Très mauvaise	Inferieure	à	2135

B.5. Mode Opératoire

a) Travaux préparatoires

- ◆ Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé.
- ◆ Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériaux d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol. [13]

b) Points de mesures

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, etc.) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5m. Le cas des petits éléments (poteaux, poutres, etc.), les mesures se font en six points. [13]

c) Distances minimales entre points de mesures

On recommande une distance minimale de parcours de 400 mm pour les mesures en surface. [15]

d) Étalonnage de l'appareil

L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation. L'étalonnage consiste à vérifier le temps de propagation à travers la tige étalon dont le temps est connu à l'avance. Il faut ajuster l'ultrason dans le cas où le temps mesuré ne correspond pas à celui marqué sur la tige étalon. [13]

e) Manières de mesure

Il existe 3 méthodes pour conduire l'essai ultrasonique :

1) mesures en transparence (directe)

Des ondes sonores longitudinales à travers un élément. L'émetteur et le récepteur sont placés sur les deux faces opposées de l'élément à ausculter. C'est la méthode la plus employée car il y a un maximum d'énergie de l'impulsion est transmise puis reçue donc c'est la méthode la plus satisfaisante. Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. [13]

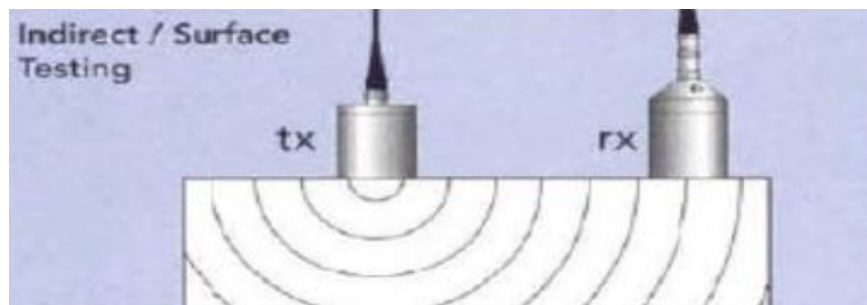


Figure 17: Méthode en transparence (directe). [13]

2) mesures en surface (indirecte)

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur.

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant. [13]



Figure 18: Méthode en surface (indirecte). [13]

3) la mesure en semi-directe

L'émetteur et le récepteur sur deux faces perpendiculaires. On a recours à cette méthode lorsque l'ensemble de la structure n'est pas accessible. La distance séparant

les 2 transducteurs ne doit pas être trop grande pour que l'onde ne s'atténue pas trop ce qui ne pas faciliter la détection du signal de l'impulsion.

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure ou on ne peut pas utiliser les 2 autres manières. [13]

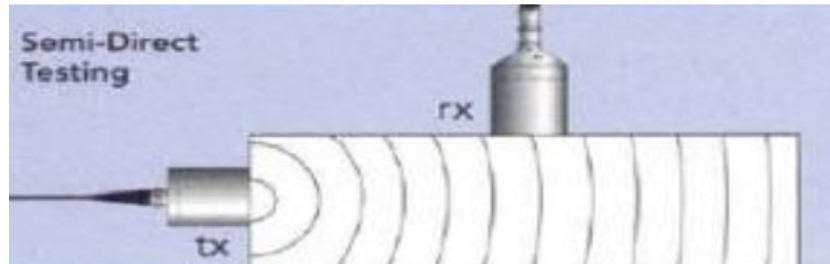


Figure 19: Méthode semi-directe. [13]

B.6. Facteurs affectant la vitesse de propagation

Plusieurs facteurs peuvent affecter la vitesse de propagation qu'ils soient liés aux propriétés du béton ou autres. [13]

□ Dimension et type des granulats, granulométrie, teneur :

Plusieurs chercheurs ont montré que la vitesse d'impulsion est très affectée par le type et la teneur en granulats. Jones 18 a rapporté que pour une même composition de béton et une même résistance à la compression, le béton composé avec de granulats arrondis a la plus faible vitesse de propagation, les granulats concassés par contre donnent une valeur plus élevée de la vitesse de propagation. Des résultats de recherches additionnels [Jones 1962, Bullock 1959 and Kaplan 1959) ont montré que pour la même valeur de résistance à la compression, les bétons ayant les plus grandes teneurs en granulats donnent les valeurs les plus élevées de la vitesse de propagation.

□ Type de ciment

Le type de ciment n'a pas d'influence directe sur la vitesse de propagation [Jones 1954). Le taux d'hydratation diffère d'un ciment à un autre et ceci influence la vitesse de propagation comme le degré d'hydratation augmente, le module d'élasticité augmente aussi, ainsi que la vitesse de propagation.

□ Le rapport au ciment

Kaplan [Kaplan 1959] dans son travail de recherches, a démontré que lorsque le rapport elle augmente, la résistance du béton à la compression et la valeur de la vitesse de la propagation correspondante diminue en supposant la même composition de béton.

❑ Les adjuvants

Les entraîneurs d'air n'ont pas vraiment une influence sur la relation entre la vitesse de propagation et la résistance à la compression du béton [Jones 1954]. D'autres adjuvants vont influencer approximativement la vitesse de propagation de la même manière que le taux d'hydratation. L'addition du chlorure de calcium par exemple réduit le temps de durcissement du béton et fait augmenter la valeur de la vitesse de propagation.

❑ L'âge du béton

Le phénomène est similaire à celui du développement de la résistance à la compression du béton. Jones [18] a montré que la vitesse de propagation augmente très rapidement au début puis se stabilise. La vitesse de propagation atteint plus vite sa valeur maximale que la résistance. Il conclue que les erreurs expérimentales font qu'il est impossible d'évaluer avec précision la valeur de la résistance à la compression avec précision.

❑ Positionnement du transducteur

La nature du contact du transducteur par rapport à la surface de l'élément à tester à une grande influence sur la valeur des vitesses de propagation: un contact impropre peut mener à des lectures erronées de la vitesse de propagation.

❑ Température du béton

Au-delà de l'intervalle des températures comprises entre 5 à 20°C : l'influence de la température est très important [Jones et al. 1969] des rectifications doivent être faites comme cela est recommandé dans les normes BS 1881 Part 203, 1986.

❑ L'humidité et condition de cure du béton

La valeur de la vitesse de propagation pour un béton saturé est plus élevée que pour un béton qui durcit à l'air. Néanmoins l'influence de l'humidité est moins importante sur les bétons à haute résistances que pour les bétons avec des résistances normales.

❑ Distance entre les transducteurs

Théoriquement la distance de trajet de l'onde et sa fréquence ne doivent pas le temps de propagation, donc pas d'effet sur la vitesse de propagation du fait de la nature de non homogénéité du béton [Jones. 1962]. RILEM 24 [RILEM. 1972] recommande les distances optimales entre transducteurs suivantes :

- 100 mm-pour un béton dont la plus grande dimension des granulats est 30 MM.
- 150 mm- Pour un béton dont la plus grande dimension des granulats est 45 MM.

□ Niveau de contrainte

La valeur de la vitesse de propagation n'est généralement pas affectée par le niveau de contraintes que subit l'élément à tester, seulement quand le béton est sujet à de très grandes contraintes avec des cycles répétés, des fissures se développent ce qui va réduire la valeur de la vitesse de propagation.

□ Présence de barres de renfort

L'un des facteurs les plus importants influençant la vitesse d'impulsion est la présence de barres de renfort. La vitesse de propagation de l'acier est 1.4 à 1.7 fois celle du plein béton. Alors il est préférable quand il est possible, d'éviter de tester à l'endroit de présence des barres de renfort. Lorsque ceci est inévitable il faut alors corriger en affectant de facteurs de correction, qui sont recommandés par la RILEM 23 [RILEM. 1972) et les British standards.

I.8 Conclusion

D'après toute la littérature mentionnée ci-dessus on arrive aux conclusions suivantes:

- ❖ La vitesse de propagation des ultrasons (UPV) montre la compacité du béton et ne varie pas avec le temps.
- ❖ L'indice Reboundhammer est en rapport avec la résistance du liant ou la cohésion du béton durci. Cette caractéristique prend des valeurs de plus en plus grandes avec l'âge du béton.
- ❖ Il est évident qu'une de ces caractéristiques isolée ne permet pas de déterminer la résistance du béton *in situ*. Pour l'obtenir il est nécessaire de connaître ces deux grandeurs qui se complètent d'une certaine manière.

Les deux techniques ont été bien évidemment utilisées dans notre étude.

A decorative frame with a double-line border and ornate, curved corners, enclosing the chapter title.

Chapitre II

Partie expérimentale

II.Objectif de la partie pratique

Le but de notre travail est le contrôle destructif et non destructif de béton sur des éprouvettes normalisées (15*15*15) cm^3 , et des blocs (50/50/30) cm^3 par prélèvement des carottes. Dans cette partie nous exposons les différentes étapes que nous avons suivies pour réaliser ce travail.

Nous avons étudié 8 formulations de béton, quatre formulations sont réalisées avec des granulats 3/8 et 8/15 ($D_{max}=15mm$) et quatre formulations sont réalisées avec des granulats 3/8, 8/15 et 15/25 ($D_{max}=25mm$) en variant le dosage en ciment (350/370/420/480) kg/m^3 et le rapport E/C(0.35/0.37/0.40/0.45)

- 32 éprouvettes cubiques pour l'essai de compression.

- 8 blocs et trois éprouvettes cylindriques par carottage pour chaque bloc (totales= 24 éprouvettes cylindriques pour l'essai de compression).

Donc on a réparti notre travail à 4 étapes

Première étape : Caractérisation de toutes les matières utilisées à savoir : Le sable (Boussaâda), les graviers (Bouzegza), le ciment (CEM II/42.5N Sour el Ghoulane) et le super plastifiant

Deuxième étape : Formulation des bétons selon la méthode de DREUX GORISSE.

Troisième étape : Présentation des résultats expérimentaux ainsi que la méthodologie de prélèvement des carottes.

Finalement, une étude comparative entre les essais destructifs et non destructifs a été faite, puis on a terminé par une conclusion générale et des recommandations.

2.1. Caractéristique des constituants du béton

Dans cette partie, on traite la détermination des caractéristique des entrants dans la composition du béton, la connaissance de leurs caractéristique est obligatoire et intéressante à toute recherche et étude sur béton, puisque chacune peut influencer sur les résultats d'étude c'est pour cela qu'on réalise l'analyse de tous les constituant du béton.

2.1.1 Ciment

Le ciment utilise est un ciment compose (CEM II), de classe de résistance 42,5MPa il provient de la cimenterie de Sour el ghozlene. On a réalisé tous les essais physique pour en savoir une idée le béton que nous allons confectionner.

A. Essais chimique

La composition chimique du ciment est donnée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 04 : Analyse chimique du ciment

Eliment	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CAO	MGO	SO ₃	K ₂ O	NA ₂ O	CL	CA0 _L	PAF
%	22,34	5,13	3,78	66,7	0,47	2,04	0,15	0,15	0,006	0,75	3,4

B. Essais physique :

Tableau 05 : Essais physique du ciment

N°	Caractéristique	Résultats
01	Consistance normale	26,4%
002	Prise : -début de prise -fin de prise	2 ^h 45 mn 3 ^h 55 mn
03	La masse spécifique	3.10+0.01 g/cm ³
04	SSB	3645 cm ² /g
05	Expansion	1.00 mm

Les valeurs des résultats obtenus sont compatibles avec les exigences des normes correspondes.

C. Essais mécanique

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau 06 : Résistance à la compression et à la flexion du ciment

Essais	2 jours	7 jours	28 jours
Résistance à la compression (MPa)	20	40	52 ,5
Résistance à la flexion(MPa)	6	10	15

2.1.2. Granulats

A. Caractéristique géométriques des granulats

Analyse granulométrique par tamisage (NF P 186560)

Sable 0/ 1

Le sable utilisé est le sable de Boussaâda.

Tableau 07 : Analyse granulométrique du sable 0/1 de Boussaâda

Tamis (mm)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Passant cumulé (%)
0,5	0	0	100
0,25	19	6,3	93,6
0,125	288	96	4
0,063	298	99,33	0,66
F-T	298	99,33	0,66

Sable 0/4

Le sable utilisé est le sable de bouzegueza

Tableau 08 : Analyse granulométrique du sable0/4 de bouzegueza

Tamis (mm)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Passant (%)
5	0	0	100
4	25	3 ,62	96,4
2	245	35,5	64,5
1	419	60,72	39,28
0 ,5	518	75	25
0 ,25	578	83,8	16,2
0,125	614	89	11
0,063	630	91,3	8,7
F-T	630	91,3	8,7

Sable corrigé

Selon la loi D'Abram :

$$M_f=2,8 \quad MF(0/1)=1,02 \quad MF(0/3)=3,48$$

$$\%S1=(M_f - MF(0/1)) / (MF(0/3) - (MF(0/1))) = (2,89 - 1,02) / (3,48 - 1,02) = 76\%$$

$$\%S2=100 - S1 = 100 - 76 = 23\%$$

$$\text{Sable corrigé} = 76\%S1 + 23\% S2 = 100\%S$$

Tableau 9 : Analyse granulométrique du sable corrigé.

Tamis (mm)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Sable corrigé
5	630	93.14	6,86
4	613	90.61	9,39
2	447	66.1	33,9
1	390	57.7	42,3
0,5	318	47	53
0,25	185	27.3	72,7
0,125	21	3.1	96,9
0,063	0	0	100

Gravier 3/8

Ils proviennent de la carrière de BOUZEGUEZA.

Tableau 10 : Analyse granulométrique du gravier 3/8

Tamis (mm)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Passant (%)
8	0	0	100
63	102,15	11,35	88,65
5	464	51,61	48,39
4	584	64,96	35,03
2	836	92,99	7,001
1	875	97,33	2,67
0,5	880	97,88	2,12
0,25	882	98,11	1,9
0,125	884	98,33	1,66
0,063	866	98,55	1,45
F-T	887	98,66	0,66

Gravier 8/15

Ils proviennent de la carrière de BOUZEGUEZA,

Tableau 11 : Analyse granulométrique du gravier 8/15

Tamis (mm)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Passant (%)
16	0	3,43	100
14	96	3,45	96,6
12,5	1147	41	59
10	2057	73,5	26,6
5	2284	99,5	0,5
4	3785	99,53	0,46
0,063	2787	99,6	0,4
F-T	2787	99,6	0

Gravier 15/25

Ils proviennent de la carrière de BOUZEGUEZA.

Tableau 12 : Analyse granulométrique du gravier 15/25

Tamis (mm)	refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Passant (%)
25	94	0	100
20	4022	55,9	44,1
16	6903	95,87	4,125
12,5	7148	99,28	0,72
0,063	7197	99,96	0,04
FT	7197	100	0

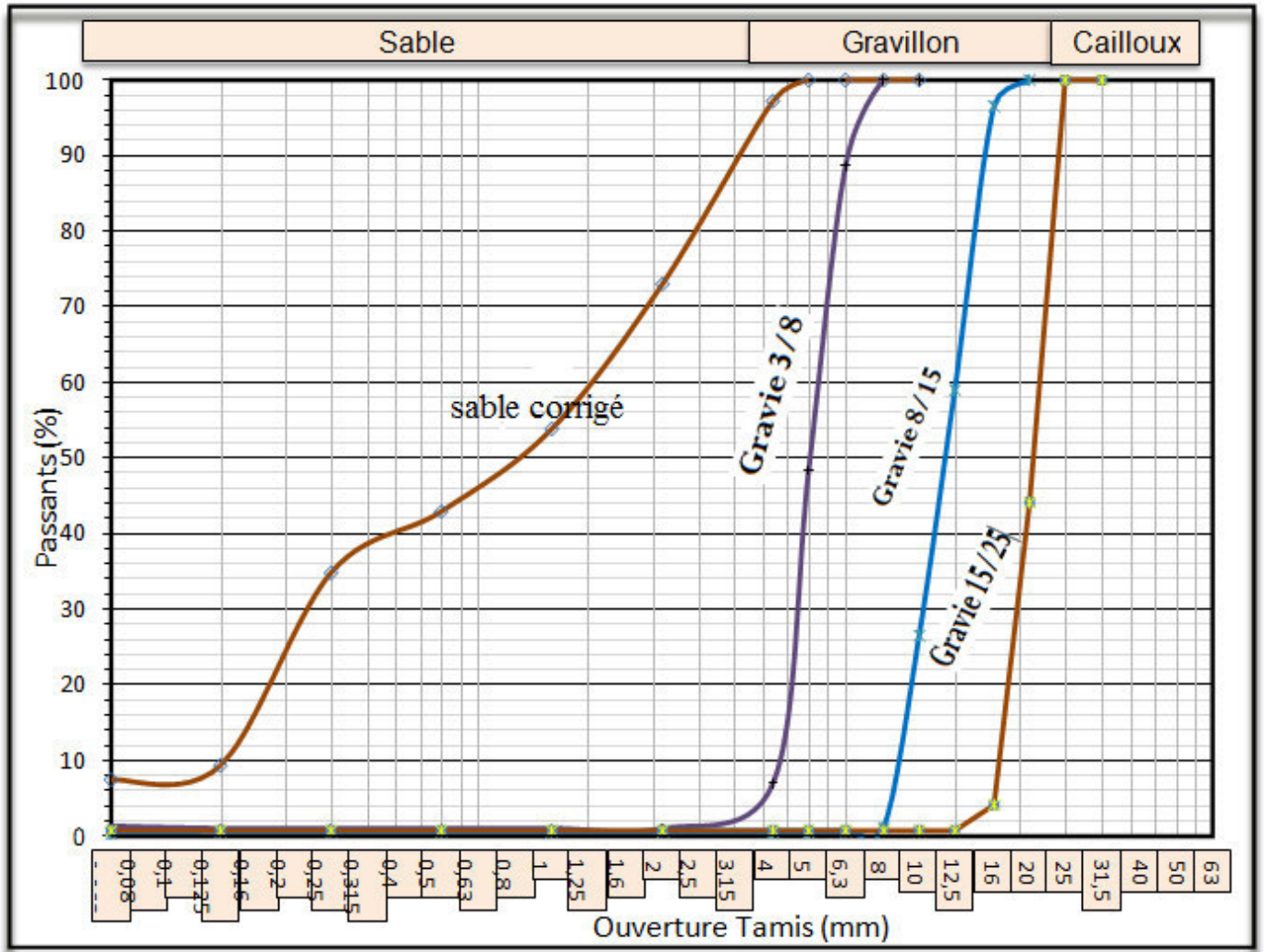


Figure 20 : Courbes d'analyse granulométrique des granulats (Méthode Dreux – Gorisse).

On remarque que les courbes granulométriques des sables et graviers 3/8 et 8/15 et 15/25 présentant une granulométrie continue.

B. caractéristiques physico-chimiques

Les Propriétés physico-chimiques des granulats sont données dans le tableau ci-dessous

Tableau 13 : Propriétés physico-chimiques des granulats.

Granulats	Densité apparente	Densité absolue	Absorption d'eau	Valeur de bleu MB
Sable 0/1	1,52t/m ³	2,64t/m ³	0,25%	0,84 g/kg
Sable 0/3	1.57t/m ³	2.72t/m ³	0.15%	0.74g/kg
Gravie 3/8	1,15t/m ³	2,75t/m ³	/	/
Gravie 8/15	1,15t/m ³	2,75t/m ³	/	/
Gravie 15/25	1,15t/m ³	2,75t/m ³	/	/

2.1.3. 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.

2.1.4 Adjuvant

L'adjuvant utilisé est SUPERIOR RM34 S12 est un super plastifiant à très hautes performances, pour l'élévation des résistances initiales et finales qu'il confère au béton, ainsi que l'ouvrabilité et son maintien, dans le temps. Sa conception basée sur des poly carboxylates modifiés, est le résultat de longues recherches en laboratoire et sur chantier, pour des solutions multiples.

2.2. Formulation du béton

Le béton à examiner a été confectionné avec deux types de formulations selon la méthode de Dreux- Gorisse [3] pour chaque type de ciment utilisé. La composition des différents bétons.

Étudiés (8 formulations) à base des différents dosages de ciment et de différents rapports E/C et différent Dmax est résumée Dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 14 : Formulation des différents bétons étudiés avec Dmax 15.

	composition du béton							
FORMULATION	Dmax 15							
	sable 0/1	sable 0/3	G 3/8	G8/15	G/S	Eau	Ciment	E/C
F01	170	700	260	710	1,11	165	350	0,47
F02	170	681	250	731	1,15	168	370	0,45
F03	126	730	231	738	1,13	170	420	0,40
F04	133	663	282	675	1,20	175	450	0,39

Tableau 15 : Formulation des différents bétons étudiés avec Dmax 25.

	composition du béton								
FORMULATION	Dmax 25								
	sable 0/1	sable 0/3	G 3/8	G8/15	G15/25	G/S	Eau	Ciment	E/C
F05	178	713	226	414	361	1,12	165	350	0,47
F06	170	681	206	394	437	1,22	168	370	0,45
F07	126	730	181	384	404	1,13	170	420	0,40
F08	133	663	282	295	380	1,20	175	450	0,39

Remarque

Pour chaque formulation de béton le pourcentage de l'adjuvant est de 1% de poids de ciment.

2.3. Procédure d'essais

Après les formules, tous les mélanges ont été gâchés dans un malaxeur de béton à axe vertical et à cuve fixe d'une capacité de 45 litres

Les constituants ont été introduits dans l'ordre suivant: graviers, sables et ciment. Après un malaxage à sec de l'ordre

D'une minute, l'eau de gâchage est ajoutée après quelque seconde on ajoute l'adjuvant et le malaxage se poursuit pendant au moins deux minutes pour obtenir un mélange homogène.



Figure 21 : Malaxeur de béton

2.4. Environnement de conservation

Les différents types de bétons sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Après la confection, toutes les éprouvettes et les blocs ont été couverts afin d'éviter les risques d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection Les éprouvettes et les blocs ont été démoulés et conservés selon deux modes différents :

Les éprouvettes conserver dans l'eau et les blocs conserver dans l'air libre Les éprouvettes Ont été séché à l'atmosphère de laboratoire pendant 24 heures avant l'âge d'essai.



Figure 22 : des éprouvettes et les blocs

2.5 Propriétés des bétons

Après la formulation des bétons nous parvenant à étudier ces propriétés a l'état frais et durcis en effectuant une série d'essais suivants:

A. Etat frais

Juste après chaque malaxage l'ouvrabilité a été mesurée selon la norme NF EN12350-2.

Tableau 16 : Classe de consistance des bétons.

Classe	Affaissement (mm)
S1	10 à 40
S2	50 à 90
S3	100 à 150
S4	160 à 210
S5	≥ 220



Figure 23: Affaissement au cône d'Abrams

B. Etat durci

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

Cette partie est basée sur le côté expérimental comprenant des essais non destructifs : (scléromètre, ultrason) sur des blocs et sur des éprouvettes cubiques et des essais destructifs (compression) sur des éprouvettes cubiques coulées au même moment que les 8 blocs ainsi que sur des carottes prélevées sur ces bloc.

Il est important de signaler que les essais sont réalisés suivant les normes européennes respectives :

EN – 12504-4 / NA 5027 Ultrason.

EN -12504-2...Scléromètre.

EN-12504-1Carottes-prélèvements, examens des essais en compression.

EN-206-1.....Essais mécaniques sur éprouvettes et carottes et suivant les instructions des fabricants des différents équipements d'essais.

B.1 Les méthodes non destructives

B.1.1 Essai ultrason

Essais d'ultrason sur les éprouvettes cubique normalisées et des blocs

Mode opératoire

-Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé

-Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériaux d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol. (**Dans notre étude c'était de la graisse**).

-la manière de mesure de nos éprouvettes et les blocs est la mesure en transparence (directe).



Figure 24: Pratique de l'essai aux ultrasons sur une éprouvette un bloc de béton.

B.1.2 Essai scléromètres**Mode opératoire****Préparation de la surface**

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas des nids de gravier, des écaillages, une texture grossière, une porosité élevée.

La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée.

- Placer la sonde à l'endroit de la mesure.
- L'essai s'effectue avec l'appareil placé en position perpendiculaire à une surface lisse.
- Amener la tige au contact du béton et presser l'appareil dans le sens de l'effort exercé.
- Mesurer le rebondissement de la masselotte en observant la nouvelle position prise par l'index devant l'échelle graduée.
- Effectuer au moins 10 mesures successives dans la même zone. La surface de cette zone est équivalente à celle d'un carré d'environ 25 cm de côté. Au cours de ces mesures, il convient de ne pas effectuer l'essai à moins de 3 à 4 cm des bords de l'élément testé.
- Les mesures au scléromètre ne peuvent être effectuées qu'après 48h de la sortie des éprouvettes de leur ambiance de conservation.

Il est à noter que pour notre cas l'orientation du scléromètre était perpendiculaire à l'éprouvette $\alpha = 0^\circ$.



Figure 25: Pratique de l'essai au scléromètre sur une éprouvette et un bloc de béton.

B.2 Méthodes destructives

B.2.1 Essais de compression

Essai de compression sur les éprouvettes cubiques normalisées ($15 \times 15 \times 15$) cm^3 :

La résistance maximale en compression RC (MPa) est l'une des propriétés les plus importantes du béton. L'évaluation de la résistance à la compression est réalisée sur un béton de 28 jours par un test de compression uni-axial. Les éprouvettes cubiques sont préparées pour passer dans la presse pour être écrasées.

Mode opératoire

- Faire le surfaçage au mortier de soufre.
- Positionnement des éprouvettes sur la machine d'essai.
- Les plateaux de la machine d'essai doivent être nettoyés.
- L'éprouvette est placée sur la machine d'essai avec une erreur de positionnement inférieure à 1% de son diamètre.
- La vitesse de montée en charge est comprise entre 0,4 et 0,8 MPa /s.
- La résistance obtenue doit être enregistrée.



Figure 26 : Essai de compression

Carottage

La méthodologie de prélèvement des carottes pour les blocs

- Repérer la zone dans laquelle doit se faire le sondage.
- Implanter le point de sondage.
- Choisir le diamètre du carottier
- Fixer la colonne au support Perçage du support.
- mise en place d'une goupille dans le trou préalablement réalisé.
- vissage d'une tige filetée dans la goupille
- . - positionnement de la colonne sur la tige filetée.
- serrage au boulon.
- Accrocher la carotteuse à la colonne.
- Relier la bombonne d'eau à la carotteuse.
- Mettre sous pression l'eau.
- Ouvrir l'arrivée d'eau.

- Démarrer la machine.
- Carotter à la vitesse préconisée.



Figure 27: Mise en place d'un carottier à la surface d'un bloc en béton.



Figure 28 : Essai de compression sur les carottes.

A decorative frame with a double-line border and ornate, curved corners, enclosing the chapter title.

Chapitre III

Résultats et discussions

3.1. Résultats et discussions

3.1.1. État frais

Les résultats de cône d'abrams sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Résultats d'Affaissement au cône d'Abrams.

Formulations	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08
Dmax (mm)	15				25			
Affaissement (cm)	19	19	22	19	18.5	21	24	22

Interprétation de résultats

Pour notre étude la classe d'affaissement est S4 et S5 selon la norme NF EN 206-1 est donné dans le tableau **classe de consistance des bétons**.

3.1.2. État durci

Les résultats de la masse volumique du béton à 28j sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 18 : La masse volumique du béton a 28 jours.

	Formulation	Masse volumique (kg/m ³)
D_{max 15}	F01	2355
	F02	2370
	F03	2415
	F04	2378
D_{max 25}	F05	2407
	F06	2426
	F07	2415
	F08	2378

A. Non destructif

A.1. Ultrason

A.1.1 Cas des éprouvettes cubiques

Les résultats obtenue sur des éprouvettes de dimension 15*15*15 cm³ mentionnés au tableau suivant :

Tableau 19 : Résultats de vitesse ultrason (m/s) pour les éprouvettes cubique.

Dmax 15								
Formulations	F01		F02		F03		F04	
	cube 1	cube 2	cube 1	cube 2	cube 1	cube 2	cube 1	cube 2
1	5116	4983	5190	5190	5137	5263	5319	5338
2	5137	5034	5172	5190	5172	5263	5319	5357
Moyenne	5126,5	5008,5	5181	5190	5154,5	5263	5319	5347,5
Moyenne 1 et 2	5067,5		5185,5		5208,75		5333,25	
Dmax25								
Formulations	F05		F06		F07		F08	
	cube 1	cube 2	cube 1	cube 2	cube 1	cube 2	cube 1	cube 2
1	5319	5300	5396	5300	5396	5282	5396	5396
2	5208	5338	5300	5300	5380	5284	5400	5396
Moyenne	5263,5	5319	5348	5300	5388	5283	5398	5396
Moyenne 1 et 2	5291,25		5324		5335,5		5397	

A.1.2 Cas des blocs

Les résultats obtenue sur des blocs en béton de dimension 50*30*30 cm³ mentionnés au tableau suivant :

Tableau 20 : Résultats de vitesse ultrason (m/s) pour les blocs

Dmax 15				
Formulations	F01	F02	F03	F04
N°	bloc 01	bloc 02	bloc 03	bloc 04
1	4798	4668	5020	5005
2	4831	4618	4921	5065
3	4857	4834	4662	4913
4	4803	4753	4514	5080
Moyenne	4822,25	4718,25	4779,25	5015,75
Dmax 25				
formulations	F05	F06	F07	F08
N°	bloc 05	bloc 06	bloc 07	bloc 08
1	4757	4840	5301	5088
2	5000	5000	5284	5111
3	4985	5023	5295	5000
4	4985	5107	5204	5183
Moyenne	4931,75	4992,5	5271	5095,5

Remarque :

Les vitesses ultrasoniques obtenues est supérieur à 4500 (m/s) : donc la qualité de notre béton est Excellente en comparaison avec les spécifications des bétons de gammes ordinaires.

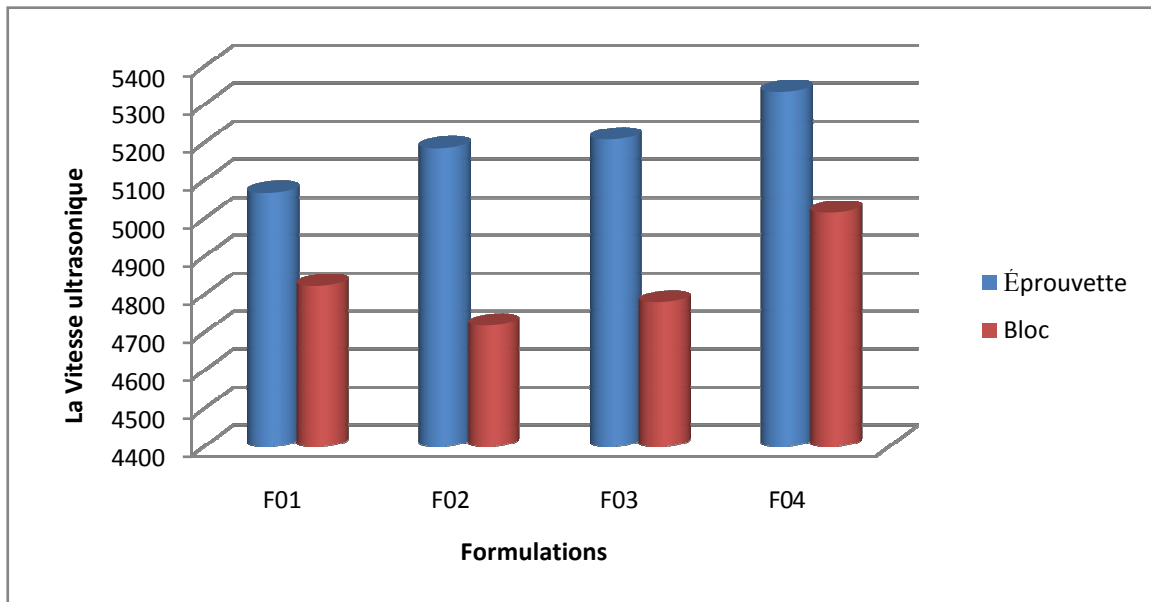


Figure 29 : Comparaison entre les blocs et les éprouvettes selon la vitesse ultrasonique (m/s) avec Dmax 15

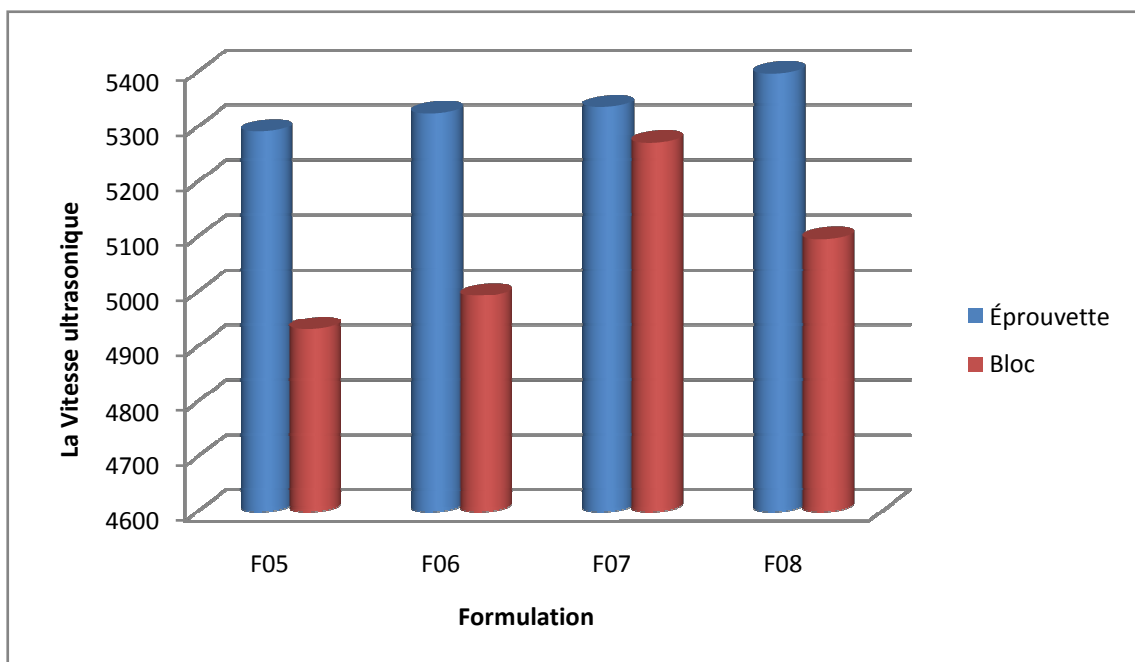


Figure 30 : Comparaison entre les blocs et les éprouvettes selon la vitesse ultrasonique (m/s) avec Dmax 25

Interprétation des résultats

Le contrôle par ultrason est basé essentiellement sur le temps de propagation qui est fortement influencé par les distances des échantillons à tester.

Ce qu'on peut remarquer est :

La diminution de la distance (dimension des éprouvettes) défavorise l'absorption des ondes et provoque l'augmentation de la vitesse de propagation et cette propriété confirme que la vitesse ultrasonique des éprouvettes est plus élevée par rapport la vitesse des blocs.

A.2 Scléromètre

A.2.1 Cas des éprouvettes

Tableau 21 : Résultats de scléromètres obtenus sur éprouvettes cubiques.

	Dmax 15				Dmax 25			
Formulations	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08
Nombre Epreuves	2	2	2	2	2	2	2	2
Médiane	32	35	39	44	35	40	43	40

A.2.2 Cas des blocs :

Tableau 22: Résultats de scléromètres obtenus sur des blocs en béton.

	Dmax 15				Dmax 25			
Formulations	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08
Blocs	bloc	bloc	bloc	bloc	bloc	bloc	bloc	bloc
Médiane	32,5	35,0	39,0	44,0	35,0	40,0	43,0	40,0

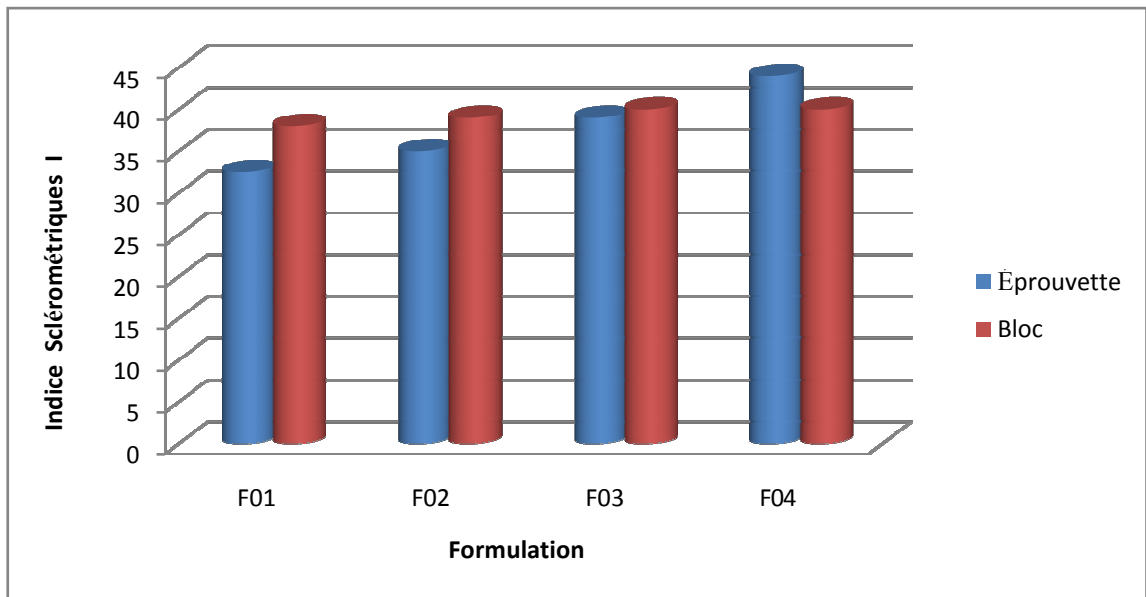


Figure 31 : comparaison entre les blocs et les éprouvettes selon l'indice scléromètre avec Dmax 15.

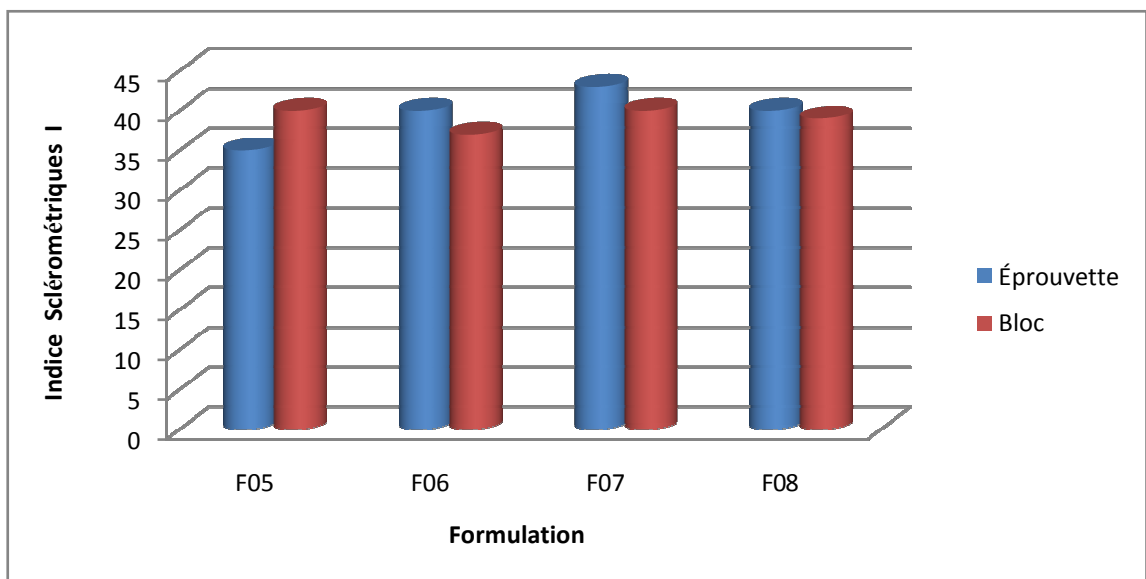


Figure 32 : Comparaison entre les blocs et les éprouvettes selon l'indice scléromètre avec Dmax 25

Interprétation des résultats

Le contrôle par scléromètre basée sur les rebondissements des éprouvettes fixées et des blocs en béton

La plus part des résultats obtenue montre une élévation de la résistance mécanique aux essais effectués sur éprouvettes cubiques a cause de surface nette des parois néanmoins les résultats obtenue sur blocs en béton montre infériorité par rapport à celles des cubes, cela est due à la surface rugueuse et la présence de nids de gravier.

B. Destructif

B.1 Compression des éprouvettes cubique

Tableau 23 : Essai de compression sur éprouvettes cubiques de béton 15X15 X15cm³

Dmax 15						
N°	Date de coulage	Date d'essai	Age en jours	Poids (Kg)	Résistance Compression	
					Charge (KN)	RC(MPA)
F01	13/03/2018	10/04/2018	28	8,2	959,77	46
F02	14/03/2018	11/04/2018	28	8,2	1194,85	53
F03	15/03/2018	12/04/2018	28	8,4	1368,1	60
F04	18/03/2018	15/04/2018	28	8,2	1750 ,98	78
Dmax 25						
F05	19/03/2018	16/04/2018	28	8,1	1192.52	53
F06	20/03/2018	17/04/2018	28	8,3	1286,72	57
F07	21/03/2018	18/04/2018	28	8,4	1546,48	69
F08	22/03/2018	19/04/2018	28	8,2	1512,01	71

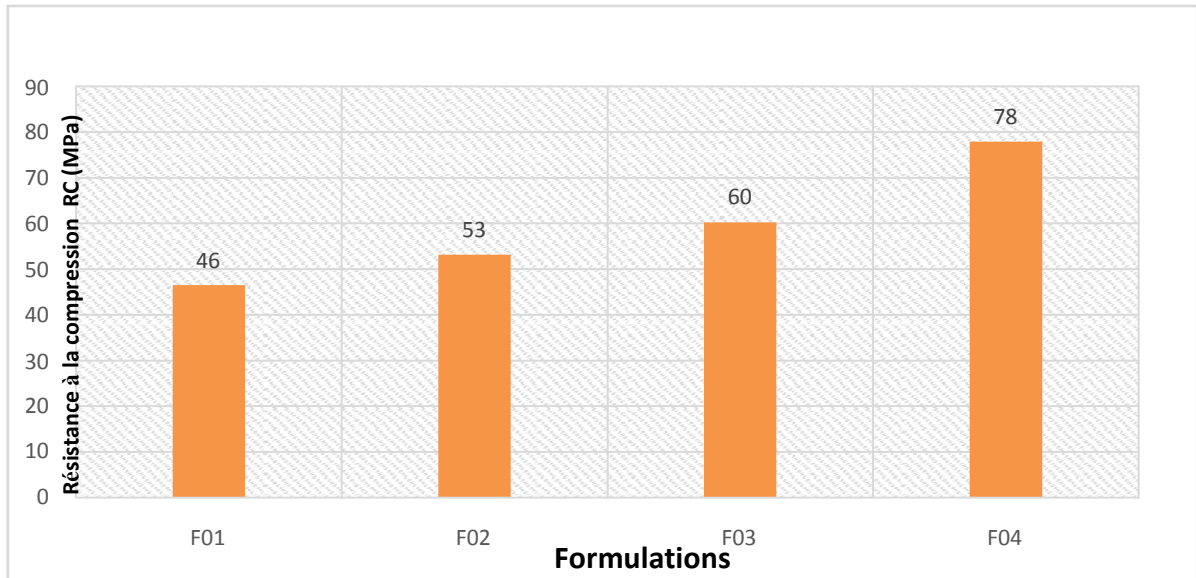


Figure 33 : Résistance mécanique à l'âge de 28 jours des bétons de différentes classes avec Dmax 15

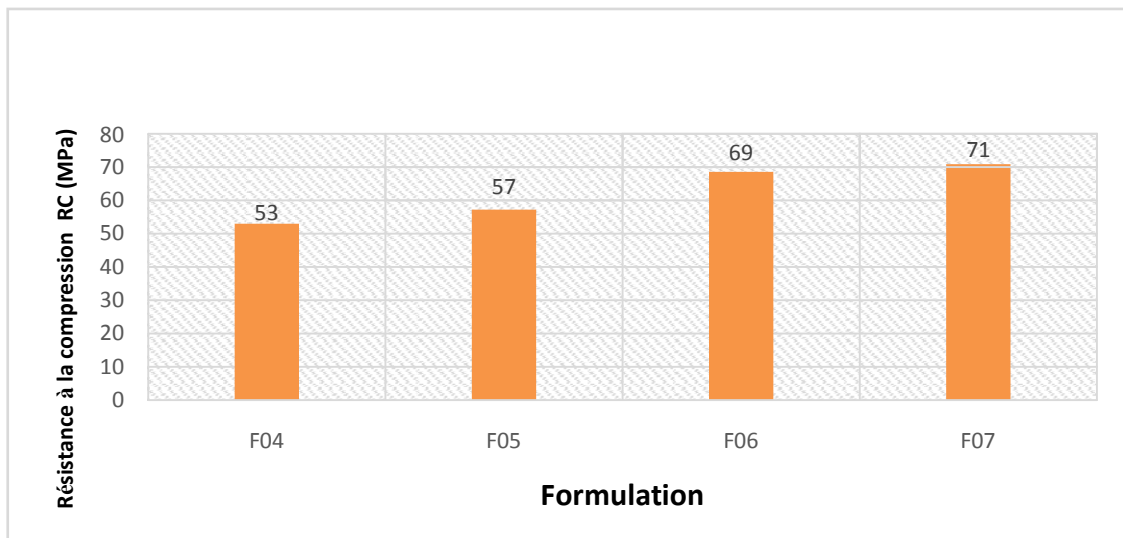


Figure 34 : Résistance mécanique à l'âge de 28 jours des bétons de différentes classes avec Dmax 25

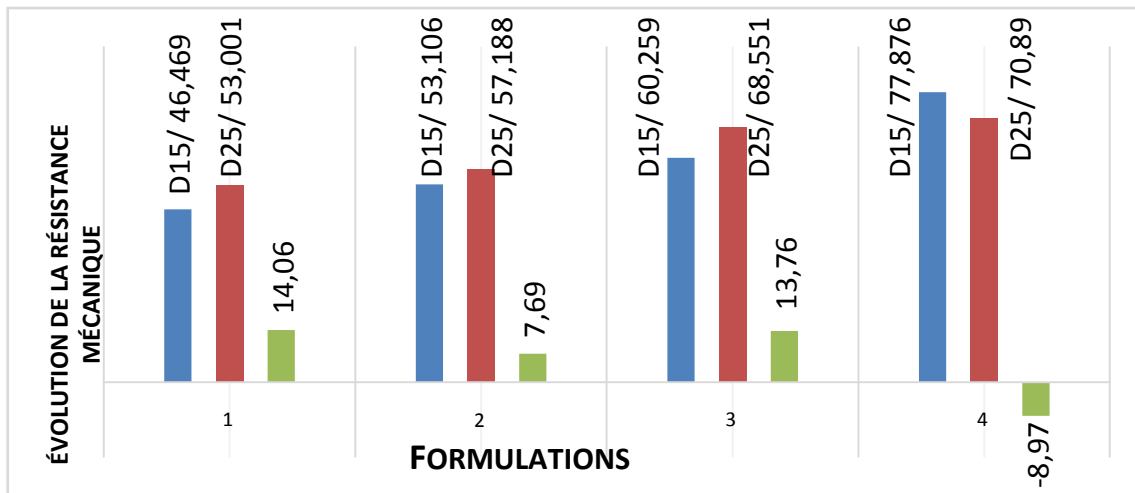


Figure 35 : Gain et la perte à l'âge de 28 jours de la résistance mécanique des bétons de mêmes classes avec Dmax15 et Dmax 25.

Interprétation des résultats

-la résistance mécanique à la compression augmente en parallèle avec l'augmentation du dosage de ciment.

Pour les dosages retenus du ciment la formulation élaborée avec un D_{max} 15 et Dmax 25 atteint leurs classes d'exigence.

Les bétons de classes C25/30, C30/37, C35/45 élaborés avec Dmax 25 montre des résistances supérieurs à celles des bétons élaborés avec Dmax 15.

La présence des gros granulats (le gravier 15/25) augmente la résistance à la compression des bétons étudiés avec les dosages choisis.

Le béton de classe C40/50 élaboré avec Dmax 25 présente une réduction remarquable (9%) de la résistance mécanique par rapport à celle de même classe élaboré avec Dmax 15, cette réduction est causée par le surdosage en ciment qui favorise un enrobage optimal des granulats.

B.2 Carottes

Les résultats des carottes sont indiqués aux tableaux suivant

Tableau 24 : Résultats Essai de compression des Carottage sur bloc avec Dmax 15

Béton avec Dmax 15						
Formulation	Eprouvette	Diamètre (mm)	M (g)	F (KN)	RC (MPa)	Moyenne
F01	1	63*117	881,8	107,78	34	33
	2	63*122	925,2	108,2	34	
	3	63*221	918,4	98,78	31	
F02	1	63*118	891,5	145,54	46	44
	2	63*118	885,6	132,57	42	
	3	63*124	947,4	137,48	43	
F03	1	63*117	900	158,2	50	44
	2	63*119	922	134,3	42	
	3	64*119	913,3	127,51	40	
F04	1	63*117	915,3	164,87	52	51
	2	63*118	919	178,58	56	
	3	63*118	916,6	144,3	45	

Tableau 25 : Résultats Essai de compression des Carottage sur bloc avec Dmax 25

Béton avec Dmax 25						
Formulation	Éprouvette	Diamètre (mm)	M (g)	F (KN)	RC (MPa)	Moyenne
F05	1	63*117	922,6	133,36	42	38
	2	63*117	918,5	117,64	37	
	3	63*128	995,5	119,12	37	
F06	1	63*126	980,4	137,18	43	40
	2	63*122	963,1	112,11	35	
	3	63*123	956,6	135,29	42	
F07	1	63*121	961,4	158,33	49	47
	2	63*131	1021,7	143,37	44	
		63*132	1050	1456,21	47	
F08	1	63*133	1047,4	166,07	52	52
	2	63*132	1020	111,72	-	

Les résultats de carottage montrent une augmentation des valeurs de résistance à la compression en parallèle avec l'augmentation des dosages en ciment.

La comparaison des résistances mécaniques des bétons de même classe avec Dmax différent (Dmax 15 et Dmax 25) par l'essai de carottage ne permet pas de montrer l'influence des gros granulats (le gravier 15/25) entre les différentes classes étudiées et cela est causé par les dimensions des éprouvettes ainsi que la méthode de prélèvement qui nécessite une maîtrise pour obtenir des carottes de bonne dimension et bon état.

3.2 L'essai combiné

La méthode combinée constitue une voie plus fiable pour l'appréciation et la prédiction de la résistance à la compression du béton.

Les résultats de l'essai combiné sont indiqués aux tableaux suivants

$R_{c1} = 9.27 \cdot 10^{-11} \cdot S^{1.4} \cdot V^2$ **RILEM.**

$R_{c2} = 8.06 \cdot 10^{-11} \cdot S^{1.245} \cdot V^{1.85}$ **GASPARIK.**

$R_{c3} = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot S^{1.058} \cdot V^{2.44}$ **DILEO-PASCALE.**

Tableau 26 : Résultats combinée entre scléromètre et ultrason

RC 28j cube	RC1	Erreur	RC2	Erreur	RC3	Erreur
46	57	24%	49	7%	57	24%
53	56	6%	48	9%	56	6%
60	60	0%	51	15%	59	2%
78	68	13%	55	29%	66	15%
53	65	23%	54	2%	64	21%
57	60	5%	50	12%	60	5%
69	77	12%	61	12%	75	9%
71	68	4%	56	21%	67	6%
Moyenne		10.88%		13.38%		11.00 %

Interprétation des résultats

Les résultats obtenus après les calculs selon les trois lois mentionnés sont indiqués dans le tableau 26, leur comparaison avec les résistances mécaniques à la compression sur cube, montrent des valeurs proches. La norme la plus adéquate est celle de RILEM ou on a enregistré une erreur qui varie de 0 à 24% au maximum

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'objectif de ce travail est de comprendre la corrélation entre les essais destructif et non destructif de béton et comment les méthodes non destructives (scléromètre et l'ultrason) peuvent être utilisées afin d'évaluer la résistance à la compression du béton sur site. Huit formulation ont été étudié en variant le diamètre maximal des granulats, E/C et le dosage en ciment.

Les résultats obtenus nous permettent de conclure que :

-La résistance mécanique à la compression augmente en parallèle avec l'augmentation du dosage de ciment.

-Les résultats de carottage montrent une augmentation des valeurs de résistance à la compression en parallèle avec l'augmentation des dosages en ciment.

- Les bétons de classes C25/30, C30/37, C35/45 élaborés avec $D_{max}=25mm$, montrent des résistances supérieurs à celles des bétons élaborés avec $D_{max}=15mm$.

La présence des gros granulats (le gravier 15/25) augmente la résistance à la compression des bétons étudiés avec les dosages choisis.

Le béton de classe C40/50 élaboré avec $D_{max}=25mm$, présente une réduction remarquable de l'ordre de 9% de la résistance mécanique par rapport à celle de même classe élaboré avec $D_{max}=15mm$.

-La vitesse ultrason augmente en parallèle avec l'augmentation du dosage de ciment.

- La diminution de la distance (dimension des éprouvettes) défavorise l'absorption des ondes et provoque l'augmentation de la vitesse de propagation et cette propriété confirme que la vitesse ultrasonique des éprouvettes est plus élevée par rapport la vitesse des blocs.

Les résultats obtenus par l'essai sclérométrique montrent une élévation de la résistance mécanique pour les essais effectués sur éprouvettes cubiques à cause de la surface nette des parois, néanmoins les résultats obtenus sur les blocs en béton montrent une infériorité par rapport à celles des cubes.

La norme de l'essai combiné de scléromètre et l'ultrason, la plus adéquate est celle de RILEM ou on a enregistré une erreur qui varie de 0 à 24% au maximum.

Références Bibliographiques

1. [1] Livre « **Histoire du béton** (Naissance et développement, de 1818 à nos jours) »**B90A** (Collection technique CIMBETON), Edition Janvier 2009, Paris.
2. [2] Livre «**La durabilité du béton** », AL.STEOPOE 2^{ème} édition 1968.
3. [3] : Livre «**La durabilité des bétons** »**T48** (Collection technique CIMBETON) Novembre 2004, Paris.
4. [4] Livre «**Cas des bétons coulés en place** »**T47** (Collection technique CIMBETON).
5. [5] : Livre génie civile **R. Dupain** «**Granulats, sols, ciments et bétons** » caractérisation des matériaux de génie civil pour les essais de laboratoire : 4^{ème} édition 2009.
6. [6] : Livre «**Nouveau guide du béton et de ses constituants** »8^{ème} édition : **Jean Festa. Georges Dreux**, 1998, 3^{ème} tirage 2007- Paris.
7. [7] : Mémoire fin d'étude « **Formulation et caractérisation des propriétés rhéologiques et physico-mécaniques d'un béton auto plaçant** »2005-2006.
8. [8] : Thèse de doctorat génie civile «**Contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen** », 2009.
9. [9] Mémoire fin d'étude université M'hamed Bougara de BOUMERDES « **Formulation des BAP fibrés par différentes approches** »2011/2012
10. [10] STEVEN H.KOSMATKA BEATRICE KERKHOFF. WILLIAM CPANARESE NORMAND E. MACLEOD et RICHARD J. MC GRATH 2004 (dosage et contrôle des mélanges de béton), 70m Edition canadienne.
11. [11] **BARON, JAQUES et RAMOND SAUTERY** «Le béton hydrauliques : connaissance set pratique, Paris, 1995.
12. [12] **GRONDIN AURELIE** «**Valorisation des granulats recyclés de béton** » « **étude de caractérisation physique et mécanique des bétons de granulats recycles de béton** »mémoire de fin projet de fin d'étude Institut national des sciences applique de Strasbourg 2011
13. [13] Thèse de Doctorat «**La résistance du béton sur site** » 2013.

Références Bibliographiques

14. [14] PDF « **chapitre 3** Essais non destructifs du béton, Partie 1 (Revue Bibliographique).
15. [15] : Document **COSIDER**: « Contrôle » bennayoucef2006@yahoo.fr ». **CNERIB**.

Représentation générale de la société



Le laboratoire central des matériaux représente un centre de contrôle et d'essai des matériaux

Il met en place un réseau de formation et information scientifique et technique dont il coordonne les travaux de réalisation à des fins de respect des normes et règlements en vigueur.

Le Laboratoire organise son fonctionnement en s'appuyant sur un système de management de la qualité, fondé sur une approche par processus, afin d'assurer la réalisation de ses différentes activités dans une organisation d'ensemble cohérente et efficace.

La nécessité de mettre en place un système d'assurance qualité est venue de la volonté des principaux usagers du Laboratoire de pouvoir obtenir des résultats d'essais et d'analyses reconnus pour garantir la qualité des produits et matériaux utilisés pour la réalisation de leurs travaux.

Le système a une double vocation, assurer un niveau de prestation pour les usagers mais également améliorer continuellement celui-ci dans une volonté constante d'apporter le meilleur service.

ANNEX

Activités :

1- Domaine d'activité :

L'activité du laboratoire portera sur le béton hydraulique, le béton bitumineux et la géotechnique

Béton :

Préparation, confection et vérification de formules de mélanges

Surveillance de la mise en place du béton

Contrôle et caractérisation des bétons

Contrôle des ciments, granulats, adjuvants et ajouts

Formulation et mise au point de nouveaux bétons type Béton à haute performance, béton de fibres, béton auto plaçant, etc.

. Essais qualitatifs sur les constituants du béton (propriétés physiques et mécaniques)

Essais destructifs et non destructifs sur ouvrages existants

Suivi des chantiers (contrôle et assistance technique)

Expertise technique sur les structures déjà construites

Détermination des causes de dégradation d'ouvrages en béton

Conseil et assistance technique en réparation (durabilité des constituants, choix technique, etc.)

ANNEX

ANNEX 02

Les différents résultats de scléromètres obtenus sur les éprouvettes cubiques.

nombre d'essai	□ MAX15							
	beton classeC25/30		beton classeC30/37		beton classeC35/45		beton classeC40/50	
	epts01	eptes02	epts01	eptes02	epts01	eptes02	epts01	eptes02
	resultats		resultats		resultats		resultats	
1	32	33	37	36	35	42	42	44
2	35	33	35	38	40	42	47	47
3	32	29	33	40	40	43	45	47
4	32	35	34	34	41	42	42	45
5	32	34	38	40	44	40	47	48
6	26	30	32	33	40	42	47	45
7	28	32	34	36	36	42	43	40
8	27	30	34	34	42	33	46	42
9	30	26	30	34	37	38	43	43
10	28	30	41	36	44	37	46	44
11	28	34	38	34	32	42	47	45
12	27	37	38	34	37	42	43	45
13	32	32	30	40	44	38	46	43
14	30	28	34	34	32	30	47	48
15	26	35	32	34	40	42	43	44
16	28	37	33	34	37	39	40	44
17	26	37	37	40	42	42	45	46
18	34	33	32	34	37	48	44	41
19	36	36	36	34	35	44	44	45
20	33	32	32	36	40	42	44	48
21	34	36	34	32	40	38	46	45
22	36	30	36	39	36	40	40	44
23	33	31	36	38	33	34	43	44
24	35	33	38	36	39	42	47	46
25	32	36	35	38	33	32	46	42
26	28	30	36	42	43	43	41	37
27	35	32	39	38	41	40	44	44
28	30	38	37	36	37	39	46	46
29	36	38	41	37	37	34	46	50
30	35	36	29	34	41	40	40	44
31	30	35	32	38	37	32	43	40
32	32	34	34	41	37	40	44	49
33	32	33	34	36	38	40	44	44
MEDIANE	32	33	34	36	38	40	44	44

ANNEX

D MAX 25							
beton classeC25/30		beton classeC30/37		beton classeC35/45		beton classeC40/50	
epts01	eptes02	epts01	eptes02	epts01	eptes02	epts01	eptes02
resultats	resultats	resultats	resultats	resultats	resultats	resultats	resultats
36	36	40	36	44	42	40	35
36	35	45	38	44	43	35	37
36	34	41	29	42	44	44	38
34	36	44	26	47	42	42	36
39	33	43	40	46	44	42	35
32	36	40	32	45	42	44	41
32	34	40	42	43	43	39	41
28	33	42	40	47	45	40	42
38	31	36	38	44	41	38	42
37	37	35	42	40	41	40	37
32	40	40	40	46	43	38	38
34	34	38	40	44	38	32	42
33	34	42	38	44	40	40	32
34	36	42	42	46	42	40	40
33	38	42	42	46	42	40	39
33	36	42	38	44	38	35	30
39	39	32	44	44	40	35	36
40	38	40	40	46	44	32	38
33	38	40	40	42	40	35	42
20	38	39	45	44	38	32	35
32	36	40	42	44	46	40	46
34	36	36	40	45	43	44	40
34	38	36	45	43	43	43	43
38	38	42	41	44	46	40	48
38	38	37	40	44	42	37	32
38	39	37	43	44	45	47	36
40	39	39	42	38	44	42	41
36	36	34	38	40	42	42	37
34	34	34	44	43	42	40	47
36	40	38	40	43	45	40	40
38	43	40	37	40	43	42	42
32	40	40	38	40	43	44	43
34	36	40	40	44	42	40	40
34	36	40	40	44	42	40	40

ANNEX

Les différents résultats de scléromètres obtenus sur les blocs.

D MAX15								
beton classeC25/30		beton classeC30/37		beton classeC35/45		beton classeC40/50		
bloc 1		bloc 2		bloc 3		bloc 4		
33	34	38	37	38	40	40	38	
36	34	38	40	40	39	42	37	
35	40	40	40	38	38	40	34	
33	40	38	39	38	35	40	34	
36	41	38	40	42	32	38	40	
35	41	38	40	42	40	40	32	
35	37	39	40	44	37	40	40	
34	37	42	36	38	44	42	41	
34	38	38	40	40	45	40	41	
34	40	39	40	40	41	39	44	
38	39	37	41	42	41	42	45	
40	40	40	36	40	42	44	38	
40	38	38	44	44	40	45	40	
38	40	40	44	32	38	44	42	
40	39	38	40	38	39	42	42	
38	39	38	39	40	44	35	44	
40	36	36	39	42	44	36	43	
40	34	32	40	40	41	36	36	
40	38	36	39	39	41	40	36	
36	36	37	38	37	32	40	41	
MEDIANE	38	39		40		40		

D MAX 25							
beton classeC25/30		beton classeC30/37		beton classeC35/45		beton classeC40/50	
bloc 5		bloc 6		bloc 7		bloc 8	
30	38	37	32	40	40	41	37
40	38	40	34	41	38	37	41
38	40	38	34	40	44	42	37
40	41	45	38	40	43	42	40
38	40	38	34	39	43	40	39
38	41	40	34	40	42	40	43
40	42	38	36	42	40	39	40
36	41	39	36	43	40	39	37
42	41	37	40	40	36	43	38
42	36	39	39	42	35	47	37
40	39	35	35	39	40	37	37
40	40	37	34	39	41	38	40
38	40	34	37	40	40	40	34
40	43	40	34	44	40	36	36
38	44	46	40	39	36	40	39
40	42	40	46	38	39	34	46
40	41	40	36	41	44	36	35
38	42	36	32	48	44	39	36
37	42	37	34	48	39	34	37
40	40	40	36	40	40	36	40
40		37		40		39	