

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie civil

Option : Structures

Présenté par : AOUATA Ayoub

BOUROUGAA Farid

**Thème : Détermination de la résistance du béton par
l'essai ultrasonique (Effet de la fréquence)**

Sous la direction de : M^{me} KHALDI NACERA

Juin 2015

Remerciements

Nous tenons à remercier avant tout l'ensemble des personnes qui ont participé au bon déroulement de notre travail, et qui nous ont permis de réaliser ce mémoire.

Nous témoignons donc toute notre reconnaissance :

*À notre encadreur Madame **KHALDI NACERA** qui a consacré son précieux temps pour nous aider à réaliser ce modeste travail et qui s'est toujours rendu disponible pour nous renseigner et a contribué à l'avancement du travail.*

*Nous tenons à remercier aussi: **PF BENOUIS A/HALIM ET Mr: AZZOU REHAILIA** pour leurs aides.*

Nos profonds remerciements à tous les travailleurs du département de génie-civil qui ont su créer une ambiance chaleureuse de camaraderie et de travail,

*Un grand merci à nos très chers collègues **KHAYROU, KAMEL ET WALID.***

Nous remercierons aussi toute personne qui nous a aidé et soutenue, de près ou de loin, pour que ce mémoire aboutisse.

Dédicace

C'est avec une très grande joie et un immense plaisir que je dédie ce modeste travail qui est le fruit de plusieurs années d'étude aux être les plus chers :

***Mes très chers parents** pour leur amour, soutiens et sacrifices,
Que dieu les protèges.*

***A mes frères :** «Wafa et Atef»*

A mes enseignants et professeurs** qui m'ont aidé tout au long de mes études surtout à mon encadreur Mme **Khaldi Nacera

A mes amis d'université Guelma

***A ma classe de promotion d'étude surtout :** «Zaki, Amar et Hamda»*

***A mes amis** que je ne peux pas les citer tous, en même temps je ne peux pas les oublier jamais*

***A tous ceux qui m'ont encouragé :** je dédie ce modeste travail et J'offre cette réussite*

Ayoub

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma petite famille ; mes deux parents, ceux qui m'ont

*Amenés à la vie, et ceux qui m'ont élevés, j'exprime pour eux ma profonde
gratitude et mes sentiments les plus respectueux.*

*Ma sœur, son mari et sa petite «**Rofaida**» mes deux frères et leurs
épouses, et leurs filles «**Joumana et Ranime**»*

A tous les membres de ma grande famille

A tous ceux qui ont participé à ma formation

Au monde du génie-civil

A tous ceux qui me connaissent

FARID

Résumé

L'interprétation des essais non destructifs pour la détermination de la résistance à la compression du béton est généralement basée sur des abaques de corrélations des fabricants du matériel et d'autres corrélations disponibles dans la littérature. Ces corrélations donnent lieu souvent à des confusions quant à la validité et la précision de ces essais.

L'objectif de cette étude est de proposer des corrélations simples entre la résistance à la compression et la vitesse ultrasonique sur des bétons à base de matériaux locaux dans une bande fréquentielle comprise entre 24 et 150 KHz en variant la longueur du parcours et pour deux compositions de béton différentes. Le principe général de mesure consiste à générer et recevoir des ondes à l'aide d'une paire de transducteurs qui ont des fréquences à chaque fois différentes et évaluer la résistance du béton.

Mots clés :

Béton, fréquences, vitesse ultrasonique, composition, résistance.

المخلص

إن تفسير التجارب الغير مدمرة من اجل تحديد مقاومة الضغط على الخرسانة غالبا ما تكون مركزة على منحنيات الارتباط لمصنعي المواد وعلى روابط أخرى موجودة في التجارب السابقة هذه الروابط غالبا ما تنتج عنها ارتباك في صحة ودقة هذه التجارب.

الهدف من هذه الدراسة هو عرض روابط بسيطة تربط بين مقاومة الضغط على الخرسانة وسرعة الموجات فوق الصوتية على الخرسانة المصنعة على أساس مواد محلية في نطاق التردد بين 24 و150 كيلو هرتز مع تغيير طول المسار والاعتماد على تركيبين مختلفتين للخرسانة.

المبدأ العام للقياس هو لتوليد و استقبال الأمواج بواسطة زوج من محولات الطاقة الحاملين لترددات مختلفة للأجل تتبع مقاومة الخرسانة.

الكلمات المفتاحية

- خرسانة - ترددات - سرعة الموجات فوق الصوتية - التركيب - المقاومة

Abstract

The assays interpretation of the non-destructive testing to determine the compressive strength of concrete is usually based on correlations of abacuses of equipment manufacturers and other correlations available in the literature. These relationships often give rise to confusion as to the validity and accuracy of those tests.

The objective of this study is to propose simple correlations between the compressive strength and ultrasonic velocity in concretes using local materials in a frequency band between 24 and 150 kHz by varying the length of the course and for two compositions different concrete

The general measurement principle consists in generate and receive waves with the aid of a pair of transducers which have frequency different each time and evaluate the strength of concrete.

Keywords:

Concrete, frequency, ultrasonic velocity, composition, strength.

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
المخلص	
Abstract	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	
Objectif	

Chapitre I ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Notion Générales	3
I.1.1. Le béton.....	3
I.1.2. Les matériaux inertes (Granulats)	3
• Granularité.....	5
• Dimensions des gravillons	5
• Propreté	5
• Nature et forme	6
I.1.3. Les ciments	6
I.1.4. Eau de gâchage	7
I.1.5. Dosage	7
• Dosage en eau	7
• Dosage des gravillons	8
I.1.6. Adjuvants	9
I.1.7. Porosité	9
I.2. Résistance caractéristique du béton	10
I.2.1. Résistance en compression	10
I.2.2. Résistance en traction	10
I.3. Préparation	11
I.3.1. Moule des éprouvettes	11
I.3.2. Malaxage	11
I.3.3. Coulage	11
I.3.4. Vibration	11
I.3.5. Durcissement	12
I.3.6. Décoffrage	12
I.4. Notions d'excitation et de propagation des sons et des ultrasons ...	12
I.4.1. Le son	12
I.4.2. Vitesse du son	13
I.4.3. Réfraction, réflexion et interférence	14
I.5. Les essais sur le béton durci	16
I.5.1 Essai non destructif	16
I.5.1.1. Définition	16
I.5.1.2. Les différents essais non destructifs	16
• Essais de résistance à la pénétration.....	16
• Essais de rebondissement	17

• Essais d'arrachement	19
• Auscultation dynamique	20
• L'Astrométrie	20
• Contrôle radiographique	20
I.5.2 Essai destructif	21
I.5.2.1 Essais de compression.....	21
I.5.2.2 Essai de traction	22

Chapitre II PRESENTATION DES METHODES UTILISEES

II. Présentation des méthodes utilisées	23
II.1. Essai ultrasonique	23
II.1.1. Objectif de l'essai	23
II.1.2. Equipement nécessaire	23
II.1.2.1. Les différents transducteurs utilisés	24
II.1.3. Type de propagation d'ondes	24
II.1.3.1. Transmission surfacique	24
II.1.3.2. transmission directe	24
II.1.4. Relation entre vitesse de propagation et module d'élasticité	25
II.1.5. Relation vitesse du son- résistance en compression du béton	26
II.1.6. Mesure du temps de propagation et de la longueur de parcours	26
II.2 Essai destructif (essai de compression avec la presse.....)	27
II.2.1 Présentation de la presse utilisée	27

Chapitre III PREPARATION DES EPROUVETTES

III.1 préparation des éprouvettes	29
III.1.1. Matériaux et matériels utilisés	29
III.1.1.1. Matériaux.....	29
III.1.1.2. Matériels	29
III.1.2. Malaxage	30
III.1.3. Essai d'Affaissement.....	31
III.1.4. Coffrage des éprouvettes.....	31
III.1.5. Remplissage de coffrage	31
III.1.6. Démoulage	32
III.2. Composition du béton.....	33
• Composition 1	33
• Composition 2	33

Chapitre IV

ETUDE EXPERIMENTALE

IV.1. Etude expérimentale	69
IV.2. Résultats d'essais sur les éprouvettes	69
IV.3. Interprétation et exploitation des résultats	66
IV.3.1. Etude comparative des résistances de différentes fréquences (Effet de fréquence).....	66
IV.3.2. Etude comparative des vpu de différentes fréquences (Effet de fréquence).....	71
IV.3.3. Etude comparative des résistances de différentes compositions du béton	76
IV.3.3.1. Résistances obtenues par ultrason.....	76
IV.3.3.2. Résistances obtenues par écrasement	85
IV.3.4. Etude comparative des résistances de différentes méthodes	88
IV.3.5. Corrélation entre la vpu et la résistance en compression (effet de la composition)	97
IV.3.6. Corrélation entre la vpu et la résistance en compression (effet du parcours)	106

Conclusion

Bibliographies

Liste des figures

<i>Figure</i>	<i>page</i>
<i>Figure I.1: Courbe granulométrique dans différents cas</i>	5
<i>Figure I.2: Résistance à la compression (RC) en fonction du rapport eau/ciment (E/C)</i>	8
<i>Figure I.3: Appareil de Sonde Windsor</i>	17
<i>Figure I.4: Scléromètre ou marteau de Schmidt</i>	18
<i>Figure I.5: Appareil d'arrachement</i>	19
<i>Figure I.6: Diagramme contrainte déformation sous sollicitation de compression du béton</i>	21
<i>Figure I.7: Essai de compression avec la presse</i>	22
<i>Figure II.1: Appareillage ultrasonique utilisé</i>	23
<i>Figure II.2: Les transducteurs utilisés</i>	24
<i>Figure II.3: Transmission surfacique</i>	24
<i>Figure II.4: Transmission directe</i>	24
<i>Figure II.5: Mesure du temps de propagation et de la longueur de parcours</i>	26
<i>Figure II.6: Machine d'écrasement (la presse) utilisée</i>	27
<i>Figure III.1: Coffrage utilisé</i>	30
<i>Figure III.2: Malaxage de béton</i>	30
<i>Figure III.3: Essaie d'affaissement</i>	31
<i>Figure III.4: Dimensions d'éprouvettes testées</i>	32
<i>Figure IV.1 : Transmission directe</i>	35
<i>Figure IV.2 : Evolution de la résistance en fonction de l'âge (effet de la fréquence)</i>	68
<i>Figure IV.3 : Evolution de la vpu en fonction de l'âge (effet de la fréquence)</i>	73

Figure IV.4 : <i>Variation de la résistance en fonction de l'âge du béton pour chaque fréquence (effet de la composition)</i>	79
Figure IV.5 : <i>Les Courbes de la variation de la résistance en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées</i>	89
Figure IV.6 : <i>Les Courbes de la variation de la résistance en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées</i>	91
Figure IV.7 : <i>Les Courbes de la variation de la résistance en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées</i>	93
Figure IV.8 : <i>Les Courbes de la variation de la résistance en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées</i>	95
Figure IV.9 : <i>Les Courbes de la corrélation entre la vpu et la résistance en compression de la fréquence 24KHz</i>	98
Figure IV.10 : <i>Les Courbes de la corrélation entre la vpu et la résistance en compression de la fréquence 54KHz</i>	100
Figure IV.11 : <i>Les Courbes de la corrélation entre la vpu et la résistance en compression de la fréquence 150KHz</i>	102
Figure IV.12 : <i>Les Courbes de la corrélation entre la vpu et la résistance en compression de la fréquence de la pointe</i>	104
Figure IV.13 : <i>Relations vpu-résistances pour différentes fréquence pour le parcours de 2,5cm</i>	107
Figure IV.14 : <i>Relations vpu-résistances pour différentes fréquence pour le parcours de 7 cm</i>	109
Figure IV.15 : <i>Relations vpu-résistances pour différentes fréquence pour le parcours de 16 cm</i>	111

Liste des tableaux

<i>Tableau</i>	<i>page</i>
Tableau I.1: Familles des granulats	4
Tableau II.1: Qualité du béton en fonction de la vitesse de propagation des impulsions.....	25
Tableau III.1: Les normes	34
Tableau IV.1: Résultats d'essais	35
Tableau IV.2: Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différentes fréquences utilisées	66
Tableau IV.3: Variation de la vpu (m/s) en fonction de l'âge du béton selon les différentes fréquences utilisées	71
Tableau IV.4: Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton pour chaque fréquence pour les deux compositions (par ultrasons)	76
Tableau IV.5: Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton pour chaque fréquence pour les deux compositions (par la presse)	85
Tableau IV.6: Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées	88
Tableau IV.7 : Relations entre les vpu et les résistances en compression en fonction de l'âge du béton pour les deux compositions	97
Tableau IV.8 : Corrélation entre les vpu et les résistances en compression	106

Introduction

Depuis quelques années, l'utilisation des méthodes non destructives sur béton a progressé d'une manière importante, elles sont économiques et pratiques, ces méthodes peuvent évaluer la résistance, détecter les hétérogénéités ou zones de faiblesses du béton etc.

Ces techniques de contrôle non destructif (CND), sont susceptibles de fournir à moindre coût des informations utiles pour l'évaluation de l'état des ouvrages. Cependant elles se heurtent à de nombreuses difficultés :

- Les mesures de CND sont sensibles à de multiples paramètres, ce qui peut conduire à de grosses difficultés d'interprétation et à de fortes incertitudes lors d'une évaluation quantifiée. Un enjeu est donc de disposer de procédures robustes d'acquisition de données et d'inversion, permettant d'évaluer la précision des estimations ;

- La stratégie d'acquisition des données (quelles techniques ? où ? en combien de points ? quelle fréquence ?) doit être adaptée au contexte, et l'on ne dispose pas aujourd'hui de recommandations permettant de définir des stratégies optimales.

- Les techniques de CND donnent accès le plus souvent à des grandeurs physiques, corrélées mais parfois éloignées des grandeurs (dimensions, propriétés mécaniques) qu'attend l'ingénieur. Il est donc nécessaire de disposer de modèles d'inversion des grandeurs mesurées vers les grandeurs recherchées. De nombreuses techniques ont été développées dans ce but, les plus utilisées étant celle de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques v_{pu} .

Le principe de cette 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. Et à partir de cette vitesse on déduit la résistance à la compression qui sera comparé avec celle obtenue par écrasement.

Objectif :

L'objectif de cette étude est d'améliorer la compréhension de la propagation et l'utilisation des ondes dans les structures en béton et de proposer des corrélations simples entre la résistance à la compression et la vitesse ultrasonique sur des bétons à base de matériaux locaux dans une bande fréquentielle comprise entre 24 et 150 KHz en variant la longueur du parcours et pour deux compositions de béton différentes. Le principe général de mesure consiste à générer et recevoir des ondes de surfaces à l'aide d'une paire de transducteurs qui ont des fréquences à chaque fois différentes et évaluer la résistance du béton.

Organisation du mémoire :

Le mémoire est structuré en 4 chapitres :

On commence par la présentation de l'introduction et l'objectif de l'étude

Le premier chapitre inclut une revue bibliographique, qui comporte des généralités sur le béton, la notion du son et sa propagation

Le second chapitre présente les différentes méthodes utilisées

Le troisième chapitre porte sur les matériaux et leurs caractéristiques avec une description détaillée des dimensions des éprouvettes et les compositions utilisées

Le quatrième chapitre est une présentation et interprétation des résultats obtenus.

Enfin, le mémoire est terminé par une conclusion générale, ainsi que quelques perspectives.

I. NOTION GENERALES

I.1.1 Le béton :

Le béton est un mélange de constituants minéraux actifs (comme le ciment) ou non actif (les granulats), d'eau et d'air, dont les proportions varient selon de nombreux paramètres. [NET1]

Le principe est de créer un béton plein à partir d'un squelette granulaire le plus compact possible et d'un dosage en ciment et en eau au minimum compatible avec la résistance et l'ouvrabilité.

La matière de béton est aujourd'hui composée avec des adjuvants qui en modifient les caractéristiques à l'état frais ou durci.

I.1.2 Les matériaux inertes (Granulats) : [NET2]

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes :

- Fillers
- Sablons
- Sables
- Graves
- Gravillons
- Ballast
- Enrochements

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en termes de résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés physico-chimiques. Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés).

La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis.

Le granulat est désigné par le couple d/D avec :

d: dimension inférieure du granulat

D: dimension supérieure du granulat

Les granulats les plus utilisés		
Familles	Dimensions	Caractéristique
Fillers	0/D	D < 2 mm avec au moins 85 % de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	d = 0 et D ≤ 4 mm
Graves	0/D	D ≥ 6,3 mm
Gravillons	d/D	d ≥ 2 mm et D ≤ 63 mm
Ballasts	d/D	d = 31,5 mm et D = 50 ou 63 mm

Tableau I.1 : Familles des granulats

- **Granularité :**

Un granulat est défini par sa courbe granulométrique. Pour la confection d'un béton de haute qualité, il faut que les sables aient une granularité continue, et que leurs courbes granulométrique soient à l'intérieure d'un fuseau définissant la granularité admissible des sables.

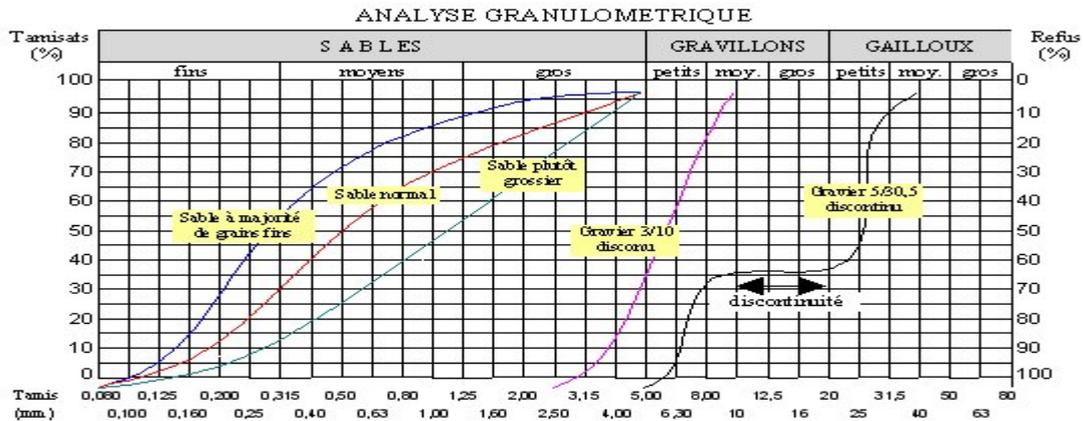


Figure. I.1 : Courbe granulométrique dans différents cas

- **Dimensions des gravillons : [NET3]**

La dimension maximale doit être en rapport avec les dimensions de la pièce, de plus un granulat doit pouvoir se placer entre une armature et le coffrage et passer entre les armatures. Il y a toujours intérêt à utiliser des granulats de dimensions maximales élevées, compte tenu des dimensions de pièce à bétonner, des formes du coffrage, de la densité du ferrailage etc.. car pour un même dosage de ciment un béton présente une compacité et une résistance d'autant plus élevée que la dimension des granulats est plus importante, sans exagération bien sur, sino la mise en œuvre du béton devient difficile.

- **Propreté :**

- Les granulats employés doivent être propre et exempts de toutes matières étrangères, telles que : charbon, gypse, débris de bois, feuilles mortes etc.
- Les gravies doivent être exempts de gangue argileuse ou terreuse adhérente. Les sables doivent être exempts de fines argileuses et satisfaire à l'essai dit « Equivalent de sable, ES ».
- Les impuretés peuvent être nuisibles, soit qu'elles risquent d'altérer le béton ou les armatures, soit qu'elles nuisent à l'adhérence entre ciment et granulats.

- Il est nécessaire de dépoussiérer les granulats issus des produits de concassage, car la farine contenue dans ces poussières, extrêmement fine (<0.1 mm) absorbe de grandes quantités d'eau de gâchage, ce qui conduit à diminuer les résistances du béton.

- **Nature et forme :**

On doit utiliser des sables et graviers naturels, soit des produits de concassage de roches appropriées, il faut éviter d'utiliser des roches trop friables ou trop tendres ou se décomposant à l'air ou par hydratation. Dans le choix de la nature des granulats, on cherche une dureté satisfaisante-qui conditionne celle du béton-, et une adhérence suffisante de la pâte de ciment qui est également indispensable à la résistance.

Pour ce qui est de la forme, il faut éviter d'employer des graviers en forme de plats ou d'aiguilles, qui conduisent à de bétons peu maniables, manquant de compacité et présentant au décoffrage des surfaces défectueuses.

I.1.3. Les ciments :

Les ciments utilisés en béton armé doivent avoir les qualités suivantes :

- Résistance mécanique élevées et principalement les résistances initiales.
- Retrait de durcissement pas trop élevé pour diminuer les contraintes parasites initiales.
- Onctuosité de la pâte à l'eau pour permettre une mise en œuvre correcte et facile dans les moules ferrailés.

Les ciments les plus utilisés sont :

- Le **CPA**, ciment portland artificiel, surtout celui de la classe 325(résistance à la compression exprimée en bars à 28 jours, mesurée sur éprouvette normalisée en mortier de (16×32) cm), il existe aussi les classes 400 et 500.
- Les ciments portland avec constituants secondaires, laitiers, cendres, pouzzolanes etc.
- Les ciments spéciaux tels que les ciments sulfatées ou alumineux.

Le choix du ciment, la classe et la qualité est fonction de la nature de l'ouvrage à construire, de sa destination, et des diverses qualités requises, en tenant compte des conditions climatiques et locales : temps chaud ou froid, présence d'eau agressive etc. Pour les ouvrages courants en béton armé on peut employer un ciment **CPA** de classe 325.

I.1.4. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage doit être propre et ne pas contenir plus de 5 grammes par litre de matières en suspension (vases, limons etc.) ou plus de 3.5 grammes par litre de matières et sel solubles (sulfates, acides, corrosifs, matières organiques...).

I.1.5. Dosage :

Le dosage minimal en ciment est relatif aux contraintes environnementales qui imposent de classer l'ouvrage à construire selon les critères suivants :

- Données géographiques (plaine, montagne, bord de mer, continent)
- Exposition aux intempéries d'après valeurs météorologiques
 - Avec gel modéré ou sévère
 - Avec sels de déverglaçage ou non
 - Avec eaux agressives ou non (chlorures, sulfates, acides...).

Ce dosage est adapté au type d'ouvrage à construire ainsi qu'à sa méthode de fabrication : on distingue les ouvrages d'infrastructures, ancrés dans le sol ou contre terre, des ouvrages en élévation. On distingue également les bétons coulés in-situ des bétons coulés en usine (bétons préfabriqués). On distinguera enfin les bétons fabriqués sur chantier des bétons fabriqués en centrale.

Le dosage minimal en ciment est par ailleurs lié au dosage en granulat, à la dimension de «D» et à leur nature minéralogique ; des additions minérales potentiellement actifs peuvent être ajoutées au ciment (cendres volantes, laitiers, calcaires..) ou comme complément d'éléments fins au béton (fumées de silice). Le choix et le dosage en ciment peuvent être guidés également par des considérations esthétiques ou plastiques. [NET4]

- **Dosage en eau :**

La quantité d'eau contenue dans un mètre cube de béton sert pour la moitié à peu près à l'hydratation et à la prise du ciment, tandis que l'autre moitié, sous forme d'eau de mouillage et interstitielle confère au béton ses qualités de plasticité et d'ouvrabilité, que l'on vérifie par des mesures d'affaissement au cône d'Abrams, une partie de l'eau pouvant être absorbée par les granulats plus au moins poreux.

En général, il faut compter en eau de 8 à 9 % du poids des matières sèches ciment compris, compte tenu de l'humidité probable des matériaux, environ 170 à 190 litres/ m³ de béton mis en œuvre. Cela s'exprime par le rapport « **E/C** » qui doit varier entre « $0.35 \leq \mathbf{E/C} \leq 0.6$ » en masse, cela dépendra de la consistance désirée et des conditions de mise en œuvre.

Si on observe la courbe donnant les variations de la résistance de compression en fonction du rapport **E/C**, on constate bien qu'au-delà d'une valeur optimale du rapport, la résistance décroît, mais ce qu'il faut remarquer c'est que si on est en dessous de la valeur optimale la résistance décroît plus rapidement.

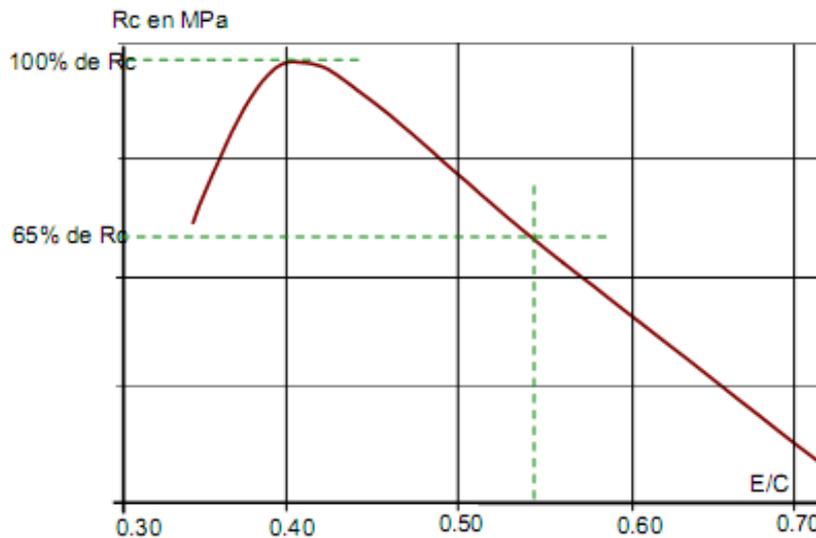


Figure I.2 : résistance à la compression (RC) en fonction du rapport eau/ciment (E/C)

- **Dosage des gravillons :**

La granulométrie du mélange sable et gravier est déterminée de façon une compacité élevée, compacité avec les conditions de mise en œuvre.

Plusieurs méthodes existent à cet effet, on peut citer :

- La méthode de Bolomey.
- La méthode d'Abrams.
- La méthode Vallette.
- La méthode de Faury.
- La méthode de Dreux-Gouris

I.1.6. Adjuvants :

Les adjuvants sont de plus en plus utilisés. Ils modifient en les améliorant les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés (en faible proportion : < 5 % du poids de ciment).

I.1.7 Porosité :

La porosité du béton est le degré de remplissage de son volume par les pores. Ainsi, c'est aussi le paramètre de premier ordre qui caractérise la texture du béton ; ce n'est évidemment pas le seul paramètre, mais c'est celui qu'il faut fixer avant d'étudier tous les autres. Il conditionne presque toutes les propriétés du béton et, en premier lieu, sa résistance mécanique.

La porosité d'un matériau peut être caractérisée par : [C.Y]

- La densité
- Le pourcentage volumique des pores.
- La taille moyenne des pores.
- La distribution dimensionnelle des pores.
- La surface développée des pores

I.2 Résistance caractéristique du béton :

I.2.1 Résistance en compression :

Cette résistance (f_{cj} en MPa) est obtenus par un grand nombre d'essai de compression jusqu'à rupture sur une éprouvette normalisée 16 cm × 32 cm (environ 200 cm²) cylindrique.

On admette pour $j < 28$ la résistance f_{cj} de béton non traité thermiquement les lois suivante [6] :

$$f_{cj} = (j / (4.76 + 0.83 j)) f_{c_{28}} \text{ pour } f_{c_{28}} < 40 \text{MPa.}$$

$$f_{cj} = (j / (1.40 + 0.95 j)) f_{c_{28}} \text{ pour } f_{c_{28}} > 40 \text{MPa.}$$

$$f_{cj} = f_{c_{28}} \text{ Pour } j > 28$$

Relation entre la résistance et le module élastique : [J-p M]

$$E_s = 11000 \sqrt[3]{f_{c_{ij}}}$$

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{c_{ij}}}$$

I.2.2 Résistance en traction :

La résistance à la traction du béton à j jour notée f_{tj} est conventionnellement définie par la relation :

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj}$$

Dans la quelle f_{tj} et f_{cj} sont exprimée en MPa ou (N/mm²) cette formule est valable pou les valeurs de $f_{cj} < 60$ MPa [B-W] -[B-Z]:

I.3 Préparation : [NET5]

I.3.1 Moule des éprouvettes :

Les moules pour les éprouvettes d'essais doivent être fabriqués en matières suffisamment rigides pour ne pas subir aucune déformation durant la confection des éprouvettes et non absorbante. Les type de moules sont : cylindrique, prismatique ou cubique.

I.3.2 Malaxage :

On mélange les composants à la main, à la pelle, ou au moyen d'engins mécaniques, tels qu'une bétonnière. Pour des grands travaux, le béton est fabriqué dans une centrale qui mélange automatiquement les constituants selon une composition programmée à l'avance. La production peut atteindre plus de 300 m³/h.

L'objectif est de mélanger suffisamment les composants pour obtenir une pâte homogène, au sein de laquelle les éléments les plus fins, Sable et ciment, comblent les vides laissés par l'agglomération des granulats. On doit également envelopper complètement les graviers pour obtenir, une fois sec, un matériau reconstitué d'une roche.

I.3.3 Coulage :

Le béton peut être transporté jusqu'au chantier par des toupies, bétonnières montées sur camion. Une pompe à béton achemine le matériau en hauteur ou sur des sites difficilement accessibles aux camions. Sur les gros chantiers, le pompage du béton permet des cadences beaucoup plus importantes que si l'on emploie des bennes amenées par grue sur le lieu du coulage.

Le béton peut également être projeté au moyen de compresseurs pneumatiques. Ce matériau, qui ne nécessite pas de coffrage, est utilisé lors de la construction de piscines, ou pour conforter des talus de terre instables risquant de s'écrouler.

I.3.4 Vibration :

Une fois coulé dans un coffrage, le béton est vibré à l'aide d'aiguilles ou par des vibreurs électriques montés directement sur le coffrage. L'air expulsé durant cette phase provient des cavités entre les graviers, qui se remplissent de la pâte fine de ciment et de sable. La vibration permet un mélange efficace et améliore le durcissement.

I.3.5 Durcissement :

La température ambiante a une grande influence sur le durcissement, ou prise, du béton. Par temps de gel, il peut être nécessaire de chauffer l'eau, parfois même les agrégats, avant de malaxer et de couvrir le matériau pour retenir la chaleur dégagée par les réactions exothermiques lors de la prise du ciment. Par temps très chaud, au contraire, on doit arroser le béton et le garder à l'ombre, afin que l'eau nécessaire à la prise ne s'évapore pas et provoque un retrait, c'est-à-dire une diminution de volume de la pièce. Ce phénomène engendre des fissures dans le béton. Plus le béton est maintenu humide sur une longue période, plus sa résistance sera importante. La prise a lieu en quelques heures.

I.3.6 Décoffrage :

Pour les pièces préfabriquées et les éléments non porteurs, il est possible de décoffrer quelques heures seulement après le coulage.

En général, par temps doux, on coule le béton le soir pour le décoffrer le lendemain matin. Les éléments porteurs, comme les poutres ou les planchers, doivent rester plusieurs jours dans leur coffrage : le béton doit durcir suffisamment pour supporter leur propre poids, ainsi que les charges qui y seront appliquées

I.4 Notions d'excitation et de propagation des sons et des ultrasons :

I.4.1 Le son :

Le son est une sensation auditive due à une vibration acoustique. Chez l'homme, la sensibilité au son, ou audition, correspond aux vibrations qui atteignent l'oreille interne et dont les fréquences sont comprises entre 15 Hz et 20 000 Hz. L'unité de fréquence du son, l'hertz (Hz), représente un cycle par seconde.

Le terme de son est parfois restreint aux ondes acoustiques qui se propagent dans l'air, mais les physiciens actuels en étendent la portée aux vibrations similaires qui se produisent dans les milieux liquides et solides. Les sons de fréquence supérieure à 20 000 Hz sont appelés ultrasons.

D'une manière générale, une onde peut se propager transversalement ou longitudinalement dans un milieu. Dans les deux cas, seule la quantité d'énergie véhiculée par l'onde se déplace, tandis que le milieu demeure pratiquement inchangé.

Un exemple simple d'onde transversale se présente lorsqu'on secoue l'extrémité libre d'une corde attachée à un poteau. Une onde va parcourir la corde jusqu'au poteau, avant de se réfléchir et de revenir à son point de départ. Chaque portion de la corde se sera déplacée transversalement et à tour de rôle, de haut en bas et de bas en haut. Ce type de déplacement d'onde s'appelle onde transversale.

Un autre exemple d'onde transversale est celui de la pierre qu'on jette dans l'eau. À partir du point d'impact vont se former des séries de vaguelettes. Un bouchon flottant placé près du point d'impact va monter et descendre, perpendiculairement à la direction de la propagation de l'onde. En revanche, le bouchon ne subira pas ou peu de déplacement longitudinal.

Un exemple typique d'onde longitudinale est celui de l'onde acoustique. Les molécules d'air qui constituent le support du son, se déplacent d'avant en arrière, parallèlement à la direction du déplacement de l'onde. On peut par conséquent considérer une onde acoustique comme une suite périodique de compression et de dilatation de l'air. Au passage de l'onde, chaque molécule transmet une certaine quantité d'énergie aux molécules voisines, tout en conservant plus ou moins sa position initiale.

Les sons sont classifiés en quatre catégories, selon leur fréquence:

- Infrasons : 0-20 Hertz
- Sons audibles : 20 Hz-20 KHz
- Ultrasons : 20 KHz-1 GHz
- Hyper sons : >1GHz

En médecine les fréquences utilisées se situent entre 2 et 20 MHz

I 4.2. Vitesse du son :

La fréquence d'une onde acoustique correspond à une mesure du nombre d'ondes qui passent par seconde en un point donné. La distance entre deux sommets successifs de cette onde s'appelle la longueur d'onde. Le produit de cette longueur d'onde par la fréquence est égal à la vitesse de propagation de l'onde, qui est la même pour tous les sons se propageant dans le même milieu à température constante.

La vitesse de propagation du son dans l'air sec à une température de 0 °C est de 331,6 m/s. Lorsque la température s'élève, la vitesse du son augmente également. Ainsi, à 20 °C, la vitesse du son est de 344 m/s. En revanche, une modification de la pression dans un milieu de densité constante n'a pratiquement pas d'influence sur la vitesse du son.

Lorsque le son se propage dans un gaz, sa vitesse dépend de la densité de ce gaz. Cela peut se comprendre facilement : si les molécules du gaz sont lourdes, elles se déplacent moins facilement, si bien que le son se propagera plus lentement dans un tel milieu. Par conséquent, plus le gaz est dense, plus la vitesse du son dans ce gaz est faible. Le son se propage donc plus rapidement dans de l'air humide que dans de l'air sec, puisque l'air humide contient un plus grand nombre de molécules légères.

En général, le son se propage plus rapidement dans les liquides et dans les solides que dans les gaz. On montre que la vitesse du son est proportionnelle à la racine carrée du module d'élasticité du milieu. C'est pourquoi le son se déplace très rapidement dans l'acier qui est très élastique : sa vitesse est de presque 5 km/s. Dans le cas du cuivre, la vitesse du son est de 3 353 m/s à la température ordinaire, mais décroît lorsque la température augmente, parce que l'élasticité du cuivre diminue. En revanche, la vitesse du son dans l'eau, qui est de 1 525 m/s à la température ordinaire, augmente lorsque la température s'élève.

I.4.3 Réfraction, réflexion et interférence :

Le son se propage en ligne droite lorsqu'il traverse un milieu ayant une densité uniforme. Cependant, comme la lumière, le son est sujet à la réfraction dès qu'il pénètre dans un nouveau milieu. La réfraction se traduit par un changement de la direction initiale des ondes.

Lorsque le son passe d'un milieu dans un autre, il a tendance à revenir vers celui dans lequel il se propage plus lentement. Dans les régions polaires, par exemple, où l'air situé à hauteur d'homme est plus chaud que celui situé au niveau du sol, une onde acoustique pénétrant dans cette zone plus chaude, sera détournée vers le sol, où sa vitesse de propagation est plus faible.

La réfraction des ondes acoustiques explique également la bonne ou mauvaise réception d'un son se propageant dans le vent. En effet, la vitesse du vent est généralement plus faible au niveau du sol qu'à une hauteur de quelques mètres. Par conséquent, une onde acoustique portée par le vent va se réfracter vers le sol, zone dans laquelle l'onde se propage plus lentement. Il sera donc possible pour un être humain de percevoir cette vibration acoustique.

En revanche, une onde acoustique se déplaçant contre le vent va se réfracter vers le haut, donc à une hauteur empêchant toute réception possible du son pour un individu.

À l'instar de la lumière, l'onde acoustique peut également subir une réflexion ou une diffraction. La réflexion d'un son correspond au phénomène de l'écho. En acoustique, on utilise beaucoup la réflexion pour amplifier ou pour capter des sons. Par exemple, le mode de fonctionnement du sonar se base sur la réflexion des sons se propageant dans l'eau.

Une autre application de la réflexion sonore est le mégaphone, sorte de tube en forme d'entonnoir, qui réfléchit les ondes acoustiques vers l'intérieur, provoquant ainsi la focalisation du son émis.

Le conduit auditif de l'oreille fonctionne exactement suivant le dispositif inverse, en focalisant les ondes acoustiques grâce à la partie évasée de l'oreille qui est pointée vers la source sonore.

Le son est également soumis aux interférences. Si un son émis par une source emprunte deux chemins différents (un chemin direct et un chemin réfléchi) pour parvenir à une source réceptrice, les deux sons créés vont alors se superposer. S'ils sont en phase, leur combinaison aboutira à un son plus fort. En revanche, s'ils sont en déphasage, le son perçu sera moins puissant que celui obtenu sans interférence. Des sons de fréquences différentes peuvent également interférer : on obtient alors des distorsions complexes.

I.5 LES ESSAIS SUR LE BETON DURCI :

I.5.1 Essai non destructif :

I.5.1.1 Définition :

Représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments, ouvrages d'Art ou de Génie civil, 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.

Ces techniques peuvent être également d'un grand secours lorsque l'on se trouve face à l'expertise de l'état général d'un grand nombre de bâtiments fortement sollicités, comme c'est le cas du séisme par exemple. [NET6]

I.5.1.2 Les différents essais non destructifs : [C.Y]-[N.Z]

A. Essais de résistance à la pénétration :

La sonde de Windsor est généralement reconnue comme le meilleur moyen pour Exécuter l'essai de résistance à la pénétration.

L'équipement comprend un pistolet à poudre, Des sondes en alliage durci, des cartouches chargées, une jauge de profondeur pour mesurer la Pénétration des sondes et d'autres accessoires connexes.

Une sonde de 6.5 mm de diamètre et De 8.0 cm de longueur est enfoncée dans le béton au moyen d'une charge de poudre de Précision. La profondeur de la pénétration fournit une indication de la résistance Du béton à la compression.

Quoique des tableaux d'étalonnage soient fournis par le fabricant, L'instrument doit être étalonné selon le type de béton et le type et la grosseur des granulats utilisés.

Limites et avantages :

Cette méthode donne des résultats variables, et il ne faut pas s'attendre à obtenir des mesures précises de la résistance du béton. Cet essai a toutefois l'avantage de fournir un moyen rapide de contrôler la qualité et la maturation du Béton coulé sur place. Il fournit aussi un moyen d'évaluer le développement de la résistance par la cure. Cet essai est essentiellement non destructif puisqu'il peut être effectué sur place sur le béton et les éléments de charpente, et qu'il ne nécessite qu'un rebouchage mineur des trous sur les faces qui ont subi l'essai.



Figure I.3 : Appareil de Sonde Windsor

B. Essais de rebondissement :

L'essai au marteau est destiné à mesurer la dureté superficielle du béton et il existe une corrélation empirique entre la résistance et l'indice sclérométrique. Le marteau de Schmidt est le seul instrument connu qui utilise le principe du rebondissement pour les essais sur le béton.

Ce marteau a une masse approximative de 1.8 kg et convient aux essais en laboratoire comme aux essais sur le chantier. Une masse commandée par un ressort se déplace sur un plongeur dans un tube de protection. La masse est projetée contre la surface de béton par le ressort, et l'indice sclérométrique est mesuré sur une échelle.

La surface sur laquelle L'essai est effectué peut être horizontale, verticale ou à tout autre angle, mais l'appareil doit être étalonné à la position où il sera utilisé.



Figure I.4 : Scléromètre ou marteau de Schmidt

Limites et avantages :

Le marteau de Schmidt est une méthode peu coûteuse, simple et Rapide pour connaître la résistance du béton, mais une précision entre ± 15 et $\pm 20\%$ n'est Possible qu'avec des éprouvettes qui ont été coulées et soumises à un traitement de cure et à Des essais dans les conditions pour lesquelles les courbes d'étalonnage ont été établies.

Les Résultats sont influencés par des facteurs tels que l'égalité de la surface, la grosseur et la forme De l'éprouvette, le degré d'humidité du béton, le type de ciment et des gros granulats et enfin le degré de carbonatation de la surface.

C. Essais d'arrachement :

Un essai d'arrachement permet de mesurer, à l'aide d'un instrument spécial, la force Nécessaire pour extraire du béton une tige d'acier spécialement profilée et dont l'extrémité Élargie a été noyée dans le béton à une profondeur de 7.6 cm. Le béton est soumis Simultanément à un effort de traction et de cisaillement, mais la force nécessaire pour Provoquer l'arrachement peut être fonction de sa résistance à la compression.

L'essai D'arrachement permet ainsi de mesurer quantitativement la résistance du béton coulé sur place Lorsque des corrélations appropriées ont été effectuées. On a constaté que dans un grand Nombre de cas, la résistance à l'arrachement a un coefficient de variation comparable à celui de la résistance à la compression.



Figure I.5: Appareil d'arrachement

Limites et avantages :

Quoique les essais d'arrachement ne permettent pas de mesurer la Résistance intérieure du béton de masse, ils fournissent des indications sur la maturation et le Développement de la résistance dans une partie représentative du béton de masse. De tels Essais ont l'avantage de donner une mesure quantitative de la résistance du béton coulé sur Place.

Le principal inconvénient de ces essais est qu'ils exigent une préparation, et que L'ensemble nécessaire à l'arrachement doit être mis en place dans le coffrage avant que le béton Ne soit coulé. L'arrachement cause bien sûr quelques dommages mineurs. Cet essai peut Toutefois être non destructif si l'application de la force minimale d'arrachement est arrêtée Avant la

rupture, mais il faut s'assurer qu'une résistance minimale a été atteinte. Ces Renseignements sont d'une grande valeur pour savoir à quel moment les coffrages peuvent être enlevés sans danger.

D. Auscultation dynamique :

La méthode qui consiste à mesurer la vitesse de propagation des impulsions Ultrasoniques est actuellement la seule du genre qui permette d'effectuer des essais de Résistance sur le béton coulé sur place. Cette méthode permet de mesurer le temps de propagation d'une impulsion ultrasonique traversant le béton.

Les principales caractéristiques De tous les appareils disponibles sur le marché sont très semblables. Ces appareils Comprennent un générateur et un récepteur d'impulsions. Les impulsions sont produites par Des cristaux piézo-électriques à excitation par choc. Des cristaux semblables sont utilisés dans Le récepteur. Le temps de propagation de l'impulsion dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

E. La Astrométrie :

L'astrométrie consiste, à partir du suivi de la température au sein de l'ouvrage, à déterminer Par calcul (au jeune âge) le degré d'avancement des réactions d'hydratation correspondant au Durcissement du béton. Le concept de « maturité » permet de traduire l'état de mûrissement du Béton, donc son niveau de durcissement. Il intègre les effets couplés de la température et du Temps sur la cinétique de mûrissement du béton.

F. Contrôle radiographique :

L'intensité d'un faisceau de rayons X ou gamma subit une perte d'intensité en passant à travers Un matériau. Ce phénomène est dû à l'absorption ou la diffusion des rayons X ou gamma par L'objet exposé. La quantité de rayonnement perdu dépend de la qualité du rayonnement, la Densité du matériau et l'épaisseur traversée. Le faisceau de rayonnement, qui se dégage du Matériau, est généralement utilisé pour exposer un film de rayonnement sensible pour que les Différentes intensités de rayonnement soient révélées en densités différentes sur le film.

I.5.2 Essai destructif : [M.B]

I.5.2.1 Essais de compression - Norme NF EN 12390-4 :

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou une carotte à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression.

A partir d'une courbe contrainte-déformation d'un essai de compression (Figure I.6). On peut tirer les grandeurs suivantes :

- Le module de Young instantané $E_{i,j} \approx 30\,000$ MPa.
- La déformation maximale à la rupture $\approx 2\text{‰} = 2 \cdot 10^{-3}$

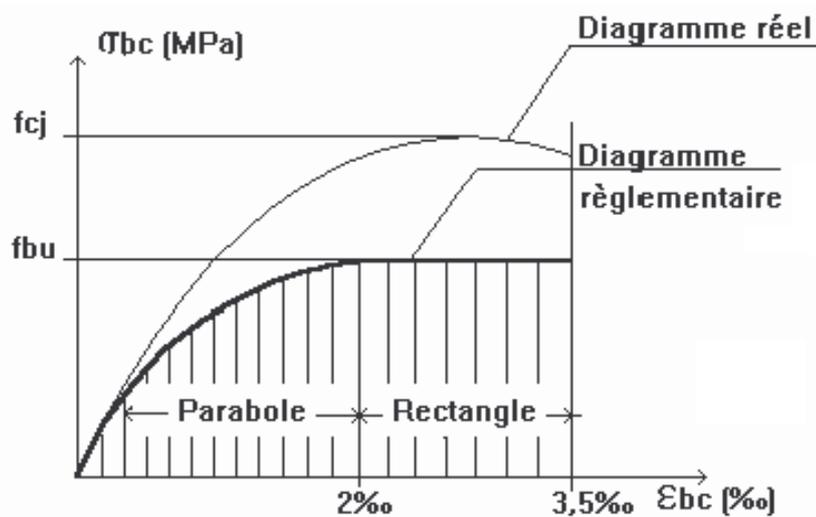


Figure I.6 : Diagramme contrainte déformation sous sollicitation de compression du béton

Σ_{bc} : Contrainte de compression dans le béton.

ϵ_{bc} : Déformation unitaire du béton.

f_{cj} : Résistance caractéristique à la compression à j jours.

f_{bu} : Résistance conventionnelle ultime à la compression.



Figure I.7 : Essai de compression avec la presse

I.5.2.2 Essai de traction : [M.A]

Le béton a un très bon comportement en compression mais résiste très mal aux efforts de traction. C'est pour cette raison que l'on ajoute des aciers dans les zones de béton tendue. En première approximation on peut considérer que le rapport entre la résistance en compression du béton d'un béton courant σ et sa résistance à la traction σ_t est de 10 à 12.

La résistance en traction du béton s'obtient par :

- Des essais de traction directe
- Des essais de fendage
- Des essais de flexion trois points
- Des essais de flexion à l'appareil Simrup

II. PRESENTATION DES METHODES UTILISEES

II.1 Essai ultrasonique :

II.1.1 Objectif de l'essai :

Le principe de la méthode des ultra-sons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasonique traversant le béton d'un ouvrage. Sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage. [G.D] [J.F]

II.1.2 Equipement nécessaire : [R.D] [R.L]

Un générateur d'impulsions électriques équipé d'un émetteur. D'un récepteur et d'un dispositif de chronométrage permettent de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre le départ de l'impulsion générée par l'émetteur et la détection de son arrivée par le récepteur.



Figure II.1: Appareillage ultrasonique utilisé

II.1.2.1 Les différents transducteurs utilisés :

Dans notre mémoire on a utilisé des transducteurs avec 4 fréquences différentes :

- 24 KHz
- 54KHz
- 150Kz
- De pointe



Figure II.2: Les transducteurs utilisés

II.1.3 Type de propagation d'ondes :

Dans notre mémoire On a basé sur deux méthodes de mesure :

II.1.3.1 Transmission surfacique :

On pose le transducteur l'un près de l'autre

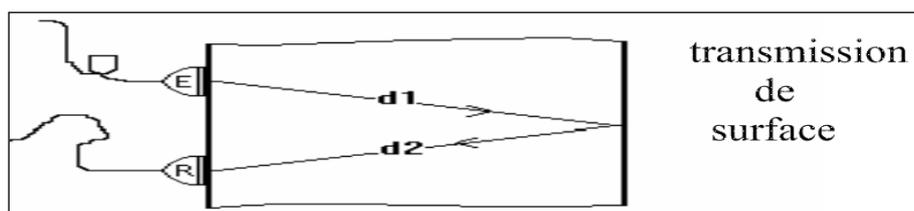


Figure II.3: Transmission surfacique

II.1.3.2 transmission directe : on pose les transducteurs l'un en face de l'autre

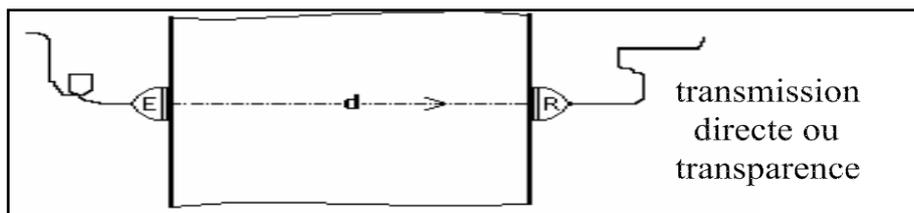


Figure II.4: Transmission directe

L'essai ultrasonique peut être effectué sur des éprouvettes de laboratoires, comme sur des ouvrages en béton terminés. Cependant certains paramètres peuvent influencer la prise de mesure :

- Le parcours doit être, de préférence, d'au moins de 30 centimètre de façon à prévenir toute erreur occasionnée par l'hétérogénéité du béton ;

Des travaux effectués montrent qu'il y a une relation directe entre la vitesse de propagation des ondes dans un béton et sa qualité. **Le Tableau II.1** donne un classement :

Qualité du béton	Vitesse de propagation (m/s)
Excellente	Supérieur à 4200
Bonne	3700-4200
Douteuse	3200-3700
Mauvaise	2500-3200
Très mauvaise	Inférieure à 2500

Tableau II.1 : Qualité du béton en fonction de la vitesse de propagation des impulsions

II.1.4 Relation entre vitesse de propagation et module d'élasticité :

A partir de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques, il est possible de calculer le module d'élasticité dynamique (E_d) l'expression suivante :

$$E_d = V^2 \gamma (1+\nu) (1-2\nu) / (1-\nu)$$

Dans laquelle :

V : La vitesse des ondes, exprimée en Km/s ;

γ : La masse volumique du béton exprimé en Kg/m³ ;

ν : Coefficient de poisson du béton, dont la valeur est de 0.15 pour un béton de haute résistance et de 0.3 pour un béton de faible résistance.

E_d : Module d'élasticité dynamique, exprimé en MPa.

II.1.5 Relation vitesse du son- résistance en compression du béton :

D'une façon générale, la résistance augmente avec la vitesse de propagation des impulsions. Mais il n'existe pas encore de relation unique valable pour tous les bétons.

En effet pour un béton très haute résistance, la vitesse du son n'augmente plus au-delà de 35 MPa environ car elle est principalement fonction de la compacité du béton, étant donné qu'un béton de classe supérieure à 35 MPa est pratiquement toujours très compact.

Pour les bétons courants, on pourra admettre que la résistance et le module d'élasticité dynamique sont liés par relation :

$$\text{Résistance} = 16,7 \text{ Exp}^{E_d / 122500}$$

En conclusion, les essais d'auscultation dynamique sont très efficaces pour le contrôle de la qualité du béton, et particulièrement pour évaluer l'homogénéité et détecter les fissures ou les imperfections intérieures. Ce pendant leur utilisation pour une évaluation de la résistance reste tributaire de beaucoup de paramètres, et estime que l'écart entre résistance réelle et résistance estimée par cette technique est de l'ordre de 40%, ce qui tout même assez considérable.

II.1.6 Mesure du temps de propagation et de la longueur de parcours :

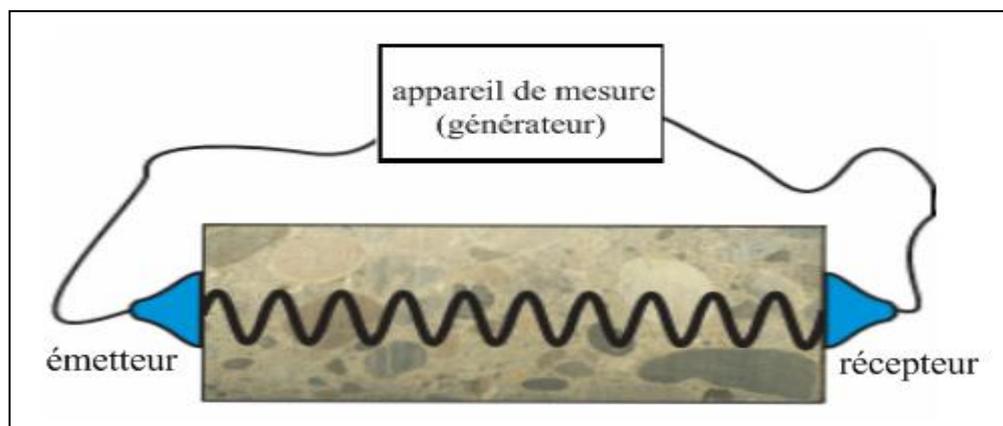


Figure II.5 : Mesure du temps de propagation et de la longueur de parcours

II.2 Essai destructif (essai de compression avec la presse « NF P 18-406 ») :

II.2.1 Présentation de la presse utilisée :

L'essai a été effectué sur une presse hydraulique de type **CONTROLAB**, asservie en charge. L'éprouvette en béton [1], placées entre les plateaux d'une presse. Elles sont placées de telle façon que l'axe des sections de compression soit centré sur la rotule du plateau supérieur, et la charge appliquée doit croître (une vitesse de montée en charge constante de 0.5 MPa par seconde \pm 0.2 MPa par seconde). [F.G]

Pendant l'essai, l'éprouvette est chargée jusqu'à la rupture. La force exercée par la presse est mesurée à partir de la pression du circuit hydraulique par un capteur de force, relié à ce même appareil. [H.R]



Figure II.6 : machine d'écrasement (la presse) utilisée

Les dimensions des éprouvettes testées sont:

- 10x10x2.5 cm³.
- 10x10x7 cm³.
- 10x10x16 cm³.
- 10x10x100 cm³.

Expression des résultats :

La charge maximale F (ou charge d'écrasement) est enregistrée au cours de l'essai et la résistance (R) est calculée par la formule :

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

Avec une section $S=100 \text{ cm}^2$ pour toutes les éprouvettes cubiques sur les quelles on a fait les calculs.

Où :

F : est la charge maximale en KN.

S : est la surface de compression de l'éprouvette.

R : est la résistance à la compression exprimée en MPa.

Remarque :

L'essai lui-même doit être conduit rigoureusement pour obtenir de bons résultats. Il faut donc en particulier : **[N.K]**

- Un bon centrage de l'éprouvette
- Une vitesse de chargement donnée
- La transcription immédiate des résultats et de tout renseignement utile

III.1 Préparation des éprouvettes :

III.1.1 Matériaux et matériels utilisés :

III.1.1.1 Matériaux :

Ciment : ciment portland composé CPJ-CEM /42.5R

Sable : le sable utilisé est le sable des dunes de Tébessa

Gravier : gravier 5/15 et 15/25 de la carrière de Bendjerah Guelma

Eau de gâchage : l'eau de robinet du laboratoire pédagogique de génie civil

III.1.1.2 Matériels :

- ✓ Coffrage en bois
- ✓ Bétonnière fixée
- ✓ Une balance électrique pour pesage des agrégats
- ✓ Une brouette
- ✓ Une pelle
- ✓ Un tamis
- ✓ Silicone pour éliminer les vides entre les parois de coffrage

Pour la préparation des éprouvettes, nous avons procédé de la façon suivante :

- 1- Huiler les moules.
- 2- Vérifier le serrage des moules.
- 3- Préparer un mélange homogène du béton (ciment sable et gravier), bien déterminé, avec un rapport E/C bien précis, puis poser le béton frais dans le récipient.
- 4- Remplir les moules par le béton frais avec la pelle métallique.
- 5- Vibrer le béton.
- 6- Une fois le moule est rempli, araser la surface à l'aide d'un réglet.
- 7- Décoffrer le moule après 24 heures.



Figure III.1 : Coffrage utilisé

III.1.2 Malaxage :

Le malaxage se fait au niveau du laboratoire dans une bétonnière fixée, le volume du béton doit être compris entre la moitié et le tiers du volume total de la cuve.



Figure III.2 : Malaxage de béton

III.1.3 Essai d’Affaissement :

Nous avons réalisé un essai d’affaissement qui a donné un affaissement de **10 cm** donc notre béton est ferme.



Figure III.3 : Essai d’affaissement

III.1.4 Coffrage des éprouvettes :

Le coffrage est un coffrage en bois avec les dimensions de 10x10x100cm.

III.1.5 Remplissage de coffrage :

Pour faciliter le démoulage, on a enduit les parois latérales de coffrage avec une légère couche de graisse (la graisse utilisée ne doit pas être réactive au liant)

Introduire le béton dans le coffrage avec une pelle et on accompagne l’introduction par un mouvement de répartition et de vibration pour répartir bien les grains.

III.1.6 Démoulage :

Le démoulage s'effectue après 24 heures [N.K]



Figure III.4 : Dimensions d'éprouvettes testées

III. 2 Composition du béton :

Nous avons travaillé avec deux compositions qui sont :

❖ **Composition 1** : Les dosages en matériaux secs :

Sable de mer : 400 Kg/m³

Gravier 5/15 : 400 Kg/m³

Gravier 15/25 : 400 Kg/m³

Ciment : 350 Kg/m³

Eau de gâchage : 170 Kg/m³

Ce qui donne une masse volumique de 1720 Kg/m³.

❖ **Composition 2** : Les dosages en matériaux secs :

Sable de mer : 500 Kg/m³

Gravier 5/15 : 928 Kg/m³

Gravier 15/25 : 232Kg/m³

Ciment : 440 Kg/m³

Eau de gâchage : 220 Kg/m³

Ce qui donne une masse volumique de 2320Kg/m³

- les éprouvettes ont été conservées à la température et à l'humidité relative ambiante au niveau du laboratoire pédagogique de GC.
- Nous avons fait deux coulages du béton avec les deux compositions dans les quatre types d'éprouvettes.
- Le rapport E/C dans le béton utilisé est : $E/C = 0.49$

 L'ensemble des essais ont été réalisés selon les normes suivantes :

Tableau III.1 : Les normes

Le béton frais	Moules et éprouvettes : NF-P 18-401 et 402 SIA 162 et SIA 262
Essai sur béton	Essai de compression : NF-P 18-406 Essai sclérométrique : NF-P 18-417 Essai d'auscultation dynamique : NF-P 18-418

IV. 1 Etude expérimentale

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats obtenus durant les expériences faites au niveau du laboratoire pédagogique de génie civil et le laboratoire national de l'habitat et de la construction qui situ à Belkheir Guelma sur des éprouvettes de différentes dimensions (2.5cm / 7cm / 16cm et 1m) et en fonction de l'âge avec deux compositions et deux méthodes. Au cours de notre expérience nous avons réalisé deux essais qui sont les suivants :

- Essai ultrasonique (non destructif)
- Essai de compression (destructif)

IV. 2 Résultats d'essais sur les éprouvettes

Les résultats des essais expérimentaux effectués sont présentés dans l'ordre suivant :

- Détermination de la résistance en compression par l'essai non destructif par la détermination des vitesses de propagation d'ondes ultrasoniques de quatre fréquences différentes.
- Comparaison des résistances obtenues pour chaque fréquence pour les deux compositions
- Détermination de la résistance en compression par l'essai destructif (presse)

Ces propriétés sont déterminées pour différents âges du béton.

Ces résultats sont regroupés dans les tableaux qui suivent :

Tableaux IV.1 : Résultats d'essais

Composition N° 01 : 350 Kg/m³

Essai N° 01 : éprouvette (10×10x2.5)

◆ Appareil à ultrason :

Le type de la propagation utilisé est la transmission directe



Figure IV.1: Transmission directe

❖ Fréquence 24 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,471	10,12	9946,06	18,11
2	2,344	10,67	8949,95	17,97
3	2,326	10,75	8813,02	17,95
4	2,401	10,41	9390,52	18,03
5	2,405	10,40	9421,84	18,04
6	2,419	10,33	9531,85	18,05
	Moyenne E_D (MPa)		9342,21 \pm 566.32	
	Moyenne R (MPa)			18,02 \pm 0.08

* Age : 14 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,655	9,42	11482,45	18,34
2	2,591	9,65	10935,54	18,26
5	2,703	9,25	11901,38	18,40
6	2,75	9,09	12318,87	18,47
	Moyenne E_D (MPa)		11659,56 \pm 691.6	
	Moyenne R (MPa)			18,37 \pm 0.11

* Age : 28 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,084	8,11	15492,95	18,95
2	3,035	8,24	15004,54	18,88
	Moyenne E_D (MPa)		15248,75 \pm 244.21	
	Moyenne R (MPa)			18,91 \pm 0.04

❖ Fréquence 54 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V (Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,721	9,19	12060,42	18,43
2	2,695	9,28	11831,04	18,39
3	2,635	9,49	11310,11	18,32
4	2,678	9,34	11682,25	18,37
5	2,719	9,19	12042,70	18,43
6	2,704	9,25	11910,19	18,41
	Moyenne E_D (MPa)		11806,12±375.15	
	Moyenne R (MPa)			18,39±0.055

* Age : 14 jours

Eprou	V (Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,81	8,90	12862,28	18,55
2	2,71	9,23	11963,11	18,41
5	2,75	9,09	12318,87	18,47
6	2,745	9,11	12274,11	18,46
	Moyenne E_D (MPa)		12354,59±449.58	
	Moyenne R (MPa)			18,47±0.07

* Age : 28 jours

Eprou	V (Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,435	7,28	19220,24	19,54
2	3,524	7,09	20229,13	19,70
	Moyenne E_D (MPa)		19724,69±504.44	
	Moyenne R (MPa)			19,62±0.08

❖ Fréquence 150 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,489	10,04	10091,49	18,13
2	2,478	10,09	10002,49	18,12
3	2,504	9,98	10213,49	18,15
4	2,512	9,95	10278,85	18,16
5	2,521	9,92	10352,64	18,17
6	2,39	10,46	9304,67	18,02
	Moyenne E_D (MPa)		10040,60±523.99	
	Moyenne R (MPa)			18,13±0.075

* Age : 14 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,714	9,21	11998,45	18,42
2	2,712	9,22	11980,77	18,42
5	2,693	9,28	11813,49	18,39
6	2,67	9,36	11612,56	18,36
	Moyenne E_D (MPa)		11851,32±192.94	
	Moyenne R (MPa)			18,40±0.03

* Age : 28 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,25	7,69	17205,69	19,22
2	3,267	7,65	17386,16	19,25
	Moyenne E_D (MPa)		17295,93±90.23	
	Moyenne R (MPa)			19,23±0.015

❖ Fréquence De Pointe

* Age : 07 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	0,958	26,10	1494,98	16,91
2	1,003	24,93	1638,73	16,92
3	0,935	26,74	1424,06	16,90
4	0,94	26,60	1439,33	16,90
5	0,968	25,83	1526,36	16,91
6	0,932	26,82	1414,94	16,89
	Moyenne E_D (MPa)		1489,73±111.89	
	Moyenne R (MPa)			16,90±0.015

* Age : 14 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	0,965	25,91	1516,91	16,91
2	0,952	26,26	1476,32	16,90
5	0,938	26,65	1433,21	16,90
6	0,945	26,46	1454,69	16,90
	Moyenne E_D (MPa)		1470,28±41.85	
	Moyenne R (MPa)			16,90±0.005

* Age : 28 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	1,125	22,22	2061,63	16,98
2	1,095	22,83	1953,14	16,97
	Moyenne E_D (MPa)		2007,38±54.24	
	Moyenne R (MPa)			16,98±0.005

Exemple de calcul :

$$V = 2655 \text{ m/s} \approx 2.655 \text{ Km/s.}$$

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

$$L = 0.025 \text{ m} \Rightarrow T = 9.42 \mu\text{s} = 9.42 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Estimation du module élastique dynamique E_D

$$E_d = V^2 \gamma \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}$$

$$\nu = 0.15, \gamma = 1720 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow E_D = 11482.45 \text{ MPa.}$$

$$R = 16.7 \text{ Exp.} \frac{E_d}{122500} \Rightarrow R = 18.34 \text{ MPa}$$

♦ La presse :*** Age : 07 jours**

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	160.11	16,01
02	150.52	15,05
Moyenne		15.53 ± 0.48

*** Age : 14 jours**

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
03	222.87	22,28
04	214.26	21,42
Moyenne		21.85 ± 0.43

*** Age : 28 jours**

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
05	288.34	28,83
06	275.83	27,58
Moyenne		28.21 ± 0.625

Essai N° 02 : éprouvette (10×10×7)

◆ Appareil à ultrason :

❖ Fréquence 24 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,667	26,25	11586,48	18,36
2	2,536	27,60	10476,20	18,19
3	2,811	24,90	12871,44	18,55
4	2,791	25,08	12688,93	18,52
5	2,712	25,81	11980,77	18,42
6	2,767	25,30	12471,64	18,49
	Moyenne E_D (MPa)		12012,58±1197.62	
	Moyenne R (MPa)			18,42±0.18

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,968	23,58	14349,38	18,78
2	2,987	23,43	14533,69	18,80
3	3,058	22,89	15232,82	18,91
4	3,047	22,97	15123,43	18,89
	Moyenne E_D (MPa)		14809,83±441.72	
	Moyenne R (MPa)			18,85±0.065

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	3,325	21,05	18008,96	19,34
4	3,347	20,91	18248,07	19,38
	Moyenne E_D (MPa)		18128,51±119.55	
	Moyenne R (MPa)			19,36±0.02

❖ Fréquence 54 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,39	20,65	18719,95	19,46
2	3,37	20,77	18499,72	19,42
3	3,45	20,29	19388,47	19,56
4	3,41	20,53	18941,49	19,49
5	3,42	20,47	19052,75	19,51
6	3,44	20,35	19276,24	19,55
	Moyenne E_D (MPa)		18979,77±444.37	
	Moyenne R (MPa)			19,50±0.07

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,802	18,41	23546,68	20,24
2	3,783	18,50	23311,92	20,20
3	3,854	18,16	24195,18	20,35
4	3,769	18,57	23139,70	20,17
	Moyenne E_D (MPa)		23548,37±527.74	
	Moyenne R (MPa)			20,24±0.09

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	4,085	17,14	27182,51	20,85
4	4,143	16,90	27959,88	20,98
	Moyenne E_D (MPa)		27571,19±388.68	
	Moyenne R (MPa)			20,92±0.065

❖ Fréquence 150 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,022	23,16	14876,28	18,86
2	2,927	23,92	13955,67	18,72
3	3,17	22,08	16369,07	19,09
4	2,982	23,47	14485,07	18,80
5	2,937	23,83	14051,20	18,73
6	3,088	22,67	15533,17	18,96
	Moyenne E_D (MPa)		14878,41±1206.7	
	Moyenne R (MPa)			18,86±0.185

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,325	21,05	18008,96	19,34
2	3,257	21,49	17279,89	19,23
3	3,316	21,11	17911,60	19,33
4	3,398	20,60	18808,41	19,47
	Moyenne E_D (MPa)		18002,22±764.26	
	Moyenne R (MPa)			19,34±0.12

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	3,865	18,11	24333,49	20,37
4	3,798	18,43	23497,16	20,23
	Moyenne E_D (MPa)		23915,32±418.16	
	Moyenne R (MPa)			20,30±0.07

❖ Fréquence De Pointe

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	ED (MPa)	R (MPa)
1	1,677	41,74	4581,12	17,34
2	1,622	43,16	4285,56	17,29
3	1,74	40,23	4931,78	17,39
4	1,653	42,35	4450,93	17,32
5	1,674	41,82	4564,74	17,33
6	1,691	41,40	4657,93	17,35
	Moyenne ED (MPa)		4578,68±323.11	
	Moyenne R (MPa)			17,34±0.05

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	ED (MPa)	R (MPa)
1	1,687	41,49	4635,92	17,34
2	1,654	42,32	4456,32	17,32
3	1,707	41,01	4746,49	17,36
4	1,667	41,99	4526,65	17,33
	Moyenne ED (MPa)		4591,34±145.08	
	Moyenne R (MPa)			17,34±0.02

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	ED (MPa)	R (MPa)
3	1,77	39,55	5103,31	17,41
4	1,79	39,11	5219,29	17,43
	Moyenne ED (MPa)		5161,30±57.99	
	Moyenne R (MPa)			17,42±0.01

◆ La presse :

* Age : 07 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	123.63	12,36
02	112.44	11,24
	Moyenne	11.8 ± 0.56

* Age : 14 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	171.36	17,13
02	159.47	15,94
	Moyenne	16.54 ± 0.6

* Age : 28 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	237.56	23,75
02	226.34	22,63
	Moyenne	23.19 ± 0.56

Essai N° 03 : éprouvette (10×10×16)**◆ Appareil à ultrason :**❖ **Fréquence 24 KHz*** **Age : 07 jours**

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E_D (MPa)	R (MPa)
1	3,015	53,07	14807,44	18,85
2	3,143	50,91	16091,41	19,04
3	3,058	52,32	15232,82	18,91
4	3,077	52,00	15422,70	18,94
5	3,128	51,15	15938,19	19,02
6	3,048	52,49	15133,36	18,90
	Moyenne E_D (MPa)		15437,65±641.98	
	Moyenne R (MPa)			18,94±0.095

* **Age : 14 jours**

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E_D (MPa)	R (MPa)
1	3,354	47,70	18324,47	19,39
2	3,318	48,22	17933,22	19,33
5	3,302	48,46	17760,68	19,31
6	3,295	48,56	17685,46	19,29
	Moyenne E_D (MPa)		17925,96±319.50	
	Moyenne R (MPa)			19,33±0.05

* **Age : 28 jours**

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E_D (MPa)	R (MPa)
5	3,736	42,83	22736,27	20,11
6	3,714	43,08	22469,28	20,06
	Moyenne E_D (MPa)		22602,77±133.49	
	Moyenne R (MPa)			20,08±0.025

❖ Fréquence 54 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,652	43,81	21725,36	19,94
2	3,568	44,84	20737,44	19,78
3	3,547	45,11	20494,05	19,74
4	3,643	43,92	21618,41	19,92
5	3,574	44,77	20807,24	19,79
6	3,541	45,18	20424,77	19,73
	Moyenne E_D (MPa)		20967,88±650.29	
	Moyenne R (MPa)			19,82±0.105

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	4,012	41,52	24195,18	20,35
2	3,958	40,42	25518,61	20,57
5	3,976	40,24	25751,24	20,61
6	3,982	40,18	25829,02	20,62
	Moyenne E_D (MPa)		25323,51±816.92	
	Moyenne R (MPa)			20,54±0.135

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	4,354	36,75	30880,35	21,49
6	4,396	36,40	31478,99	21,59
	Moyenne E_D (MPa)		31179,67±297.82	
	Moyenne R (MPa)			21,54±0.05

❖ Fréquence 150 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,447	46,42	19354,77	19,56
2	3,249	49,25	17195,10	19,22
3	3,316	48,25	17911,60	19,33
4	3,249	49,25	17195,10	19,22
5	3,31	48,34	17846,84	19,32
6	3,316	48,25	17911,60	19,33
	Moyenne E_D (MPa)		17902,50±1079.83	
	Moyenne R (MPa)			19,33±0.17

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,658	43,74	21796,80	19,95
2	3,674	43,55	21987,90	19,98
5	3,586	44,62	20947,20	19,81
6	3,692	43,34	22203,88	20,02
	Moyenne E_D (MPa)		21733,94±628.34	
	Moyenne R (MPa)			19,94±0.105

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	4,084	39,18	27169,20	20,85
6	4,133	38,71	27825,07	20,96
	Moyenne E_D (MPa)		27497,13±327.93	
	Moyenne R (MPa)			20,90±0.055

❖ Fréquence De Pointe

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,382	67,17	9242,49	18,01
2	2,37	67,51	9149,60	18,00
3	2,31	69,26	8692,19	17,93
4	2,299	69,60	8609,61	17,92
5	2,265	70,64	8356,83	17,88
6	2,27	70,48	8393,77	17,88
	Moyenne E_D (MPa)		8740,75±442.83	
	Moyenne R (MPa)			17,94±0.065

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,354	67,97	9026,48	17,98
2	2,412	66,33	9476,76	18,04
5	2,354	67,97	9026,48	17,98
6	2,368	67,57	9134,16	17,99
	Moyenne E_D (MPa)		9165,97±225.14	
	Moyenne R (MPa)			18,00±0.03

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	2,45	65,31	9777,72	18,09
6	2,44	65,57	9698,06	18,08
	Moyenne E_D (MPa)		9737,89±39.83	
	Moyenne R (MPa)			18,08±0.005

♦ La presse :

* Age : 07 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	103.49	10,34
02	905.5	9,05
Moyenne		9.7 ± 0.65

* Age : 14 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	139.21	13,92
02	147.33	14,73
Moyenne		14.33 ± 0.041

* Age : 28 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	214.75	21,47
02	227.14	22,71
Moyenne		22.09 ± 0.62

Composition N° 02 :**Essai N° 01 : éprouvette (10×10×2.5)****♦ Appareil à ultrason :**❖ **Fréquence 24 KHz*** **Age : 07 jours**

Eprou	V (Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,498	10,01	13710,39	18,68
2	2,412	10,36	12782,61	18,54
3	2,398	10,43	12634,65	18,51
4	2,445	10,22	13134,78	18,59
5	2,473	10,11	13437,34	18,64
6	2,43	10,29	12974,11	18,57
	Moyenne E_D (MPa)		13112,31±537.87	
	Moyenne R (MPa)			18,59±0.085

* **Age : 14 jours**

Eprou	V (Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	2,633	1,14	15232,34	18,91
4	2,647	1,51	15394,76	18,94
5	2,705	1,85	16076,80	19,04
6	2,78	2,16	16980,66	19,18
	Moyenne E_D (MPa)		15921,14±874.16	
	Moyenne R (MPa)			19,02±0.135

* **Age : 28 jours**

Eprou	V (Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	3,165	7,90	22009,61	19,99
6	3,137	7,97	21621,91	19,92
	Moyenne E_D (MPa)		21815,76±193.85	
	Moyenne R (MPa)			19,96±0.035

❖ Fréquence 54 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,78	8,99	16980,66	19,18
2	2,753	9,08	16652,42	19,13
3	2,79	8,96	17103,04	19,20
4	2,754	9,08	16664,52	19,13
5	2,768	9,03	16834,38	19,16
6	2,748	9,10	16591,99	19,12
	Moyenne E_D (MPa)		16804,50±255.52	
	Moyenne R (MPa)			19,16±0.04

* Age : 14 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	2,85	1,05	17846,57	19,32
4	2,763	1,45	16773,62	19,15
5	2,784	1,80	17029,56	19,19
6	2,733	2,20	16411,35	19,09
	Moyenne E_D (MPa)		17015,27±717.61	
	Moyenne R (MPa)			19,19±0.115

* Age : 28 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	3,624	6,90	28856,34	21,14
6	3,687	6,78	29868,35	21,31
	Moyenne E_D (MPa)		29362,35±506.00	
	Moyenne R (MPa)			21,22±0.085

❖ Fréquence 150 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,586	9,67	14693,39	18,83
2	2,574	9,71	14557,34	18,81
3	2,586	9,67	14693,39	18,83
4	2,632	9,50	15220,77	18,91
5	2,647	9,44	15394,76	18,94
6	2,598	9,62	14830,07	18,85
	Moyenne E_D (MPa)		14898,29±418.71	
	Moyenne R (MPa)			18,86±0.065

* Age : 14 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	2,81	1,07	17349,13	19,24
4	2,774	1,44	16907,44	19,17
5	2,745	1,82	16555,78	19,12
6	2,714	2,21	16183,95	19,06
	Moyenne E_D (MPa)		16749,07±582.6	
	Moyenne R (MPa)			19,15±0.09

* Age : 28 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	3,362	7,44	24834,78	20,45
6	3,425	7,30	25774,25	20,61
	Moyenne E_D (MPa)		25304,52±469.73	
	Moyenne R (MPa)			20,53±0.08

❖ Fréquence De Pointe

* Age : 07 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	0,93	26,88	1900,34	16,96
2	0,94	26,60	1941,43	16,97
3	0,935	26,74	1920,83	16,96
4	0,904	27,65	1795,57	16,95
5	0,906	27,59	1803,52	16,95
6	0,935	26,74	1920,83	16,96
	Moyenne E_D (MPa)		1880,42±72.93	
	Moyenne R (MPa)			16,96±0.01

* Age : 14 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	0,93	1,08	1900,34	16,96
2	0,94	2,13	1941,43	16,97
5	0,906	5,52	1803,52	16,95
6	0,935	6,42	1920,83	16,96
	Moyenne E_D (MPa)		1891,53±58.655	
	Moyenne R (MPa)			16,96±0.01

* Age : 28 jours

Eprou	V (Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	1,225	20,41	3297,14	17,16
6	1,305	19,16	3741,85	17,22
	Moyenne E_D (MPa)		3519,49±222.35	
	Moyenne R (MPa)			17,19±0.03

♦ La presse :

* Age : 07 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	193.75	19,37
02	181.77	18,17
	Moyenne	18.77 ± 0.6

* Age : 14 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	240.85	24,08
02	253.56	25,35
	Moyenne	24.72 ± 0.64

* Age : 28 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	308.71	30,87
02	320.33	32,03
	Moyenne	31.45 ± 0.58

Essai N° 02 : éprouvette (10×10x7)**◆ Appareil à ultrason :**❖ **Fréquence 24 KHz*** **Age : 07 jours**

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,879	24,31	18211,61	19,38
2	2,811	24,90	17361,48	19,24
3	2,925	23,93	18798,22	19,47
4	2,884	24,27	18274,92	19,39
5	2,823	24,80	17510,02	19,27
6	2,786	25,13	17054,04	19,19
	Moyenne E_D (MPa)		17868,38±872.09	
	Moyenne R (MPa)			19,32±0.14

* **Age : 14 jours**

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	3,214	21,78	22696,38	20,10
4	3,238	21,62	23036,61	20,16
5	3,175	22,05	22148,91	20,01
6	3,169	22,09	22065,28	20,00
	Moyenne E_D (MPa)		22486,80±485.66	
	Moyenne R (MPa)			20,07±0.075

* **Age : 28 jours**

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	3,568	19,62	27971,43	20,98
6	3,598	19,46	28443,78	21,06
	Moyenne E_D (MPa)		28207,60±236.17	
	Moyenne R (MPa)			21,02±0.04

❖ Fréquence 54 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,547	19,73	27643,14	20,93
2	3,489	20,06	26746,50	20,77
3	3,578	19,56	28128,44	21,01
4	3,493	20,04	26807,86	20,79
5	3,562	19,65	27877,43	20,97
6	3,541	19,77	27549,69	20,91
	Moyenne E_D (MPa)		27458,84±690.97	
	Moyenne R (MPa)			20,90±0.12

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	4,013	17,44	35383,70	22,29
4	3,987	17,56	34926,69	22,21
5	4,085	17,14	36664,78	22,53
6	3,934	17,79	34004,29	22,04
	Moyenne E_D (MPa)		35244,86±1330.24	
	Moyenne R (MPa)			22,27±0.245

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	4,324	16,19	41080,56	23,35
6	4,387	15,96	42286,35	23,58
	Moyenne E_D (MPa)		41683,45±602.89	
	Moyenne R (MPa)			23,47±0.115

❖ Fréquence 150 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,214	21,78	22696,38	20,10
2	3,176	22,04	22162,87	20,01
3	3,245	21,57	23136,32	20,17
4	3,168	22,10	22051,36	19,99
5	3,178	22,03	22190,79	20,02
6	3,162	22,14	21967,91	19,98
	Moyenne E_D (MPa)		22367,60±584.20	
	Moyenne R (MPa)			20,05±0.095

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	3,623	19,32	28840,42	21,13
4	3,587	19,51	28270,12	21,03
5	3,568	19,62	27971,43	20,98
6	3,541	19,77	27549,69	20,91
	Moyenne E_D (MPa)		28157,92±645.36	
	Moyenne R (MPa)			21,02±0.11

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	3,924	17,84	33831,63	22,01
6	4,012	17,45	35366,07	22,29
	Moyenne E_D (MPa)		34598,85±767.22	
	Moyenne R (MPa)			22,15±0.14

❖ Fréquence De Pointe

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	1,75	40,00	6728,85	17,64
2	1,64	42,68	5909,53	17,53
3	1,73	40,46	6575,93	17,62
4	1,67	41,92	6127,71	17,56
5	1,68	41,67	6201,31	17,57
6	1,71	40,94	6424,76	17,60
	Moyenne E_D (MPa)		6328,01±409.66	
	Moyenne R (MPa)			17,59±0.055

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	1,71	40,94	6424,76	17,60
4	1,682	41,62	6216,08	17,57
5	1,69	41,42	6275,36	17,58
6	1,72	40,70	6500,13	17,61
	Moyenne E_D (MPa)		6354,08±142,03	
	Moyenne R (MPa)			17,57±0,02

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (μ s)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	1,75	40,00	6728,85	17,64
6	1,79	39,11	7039,97	17,69
	Moyenne E_D (MPa)		6884,41±155.56	
	Moyenne R (MPa)			17,67±0.025

♦ La presse :

* Age : 07 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	159.86	15,98
02	148.74	14,87
	Moyenne	15.43 ± 0.55

* Age : 14 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	213.54	21,35
02	224.37	22,43
	Moyenne	21.89 ± 0.54

* Age : 28 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	276.51	27,65
02	284.5	28,45
	Moyenne	28.05 ± 0.4

Essai N° 03 : éprouvette (10×10×16)**◆ Appareil à ultrason :**❖ **Fréquence 24 KHz*** **Age : 07 jours**

Eprou	V (Km/s)	T (µs)	E_D (MPa)	R (MPa)
1	3,214	49,78	22696,38	20,10
2	3,235	49,46	22993,95	20,15
3	3,197	50,05	22456,92	20,06
4	3,232	49,50	22951,32	20,14
5	3,247	49,28	23164,85	20,18
6	3,158	50,66	21912,36	19,97
	Moyenne E_D (MPa)		22695,96±626.24	
	Moyenne R (MPa)			20,10±0.105

* **Age : 14 jours**

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E_D (MPa)	R (MPa)
3	3,421	46,77	25714,09	20,60
4	3,408	46,95	25519,03	20,57
5	3,392	47,17	25279,97	20,53
6	3,385	47,27	25175,74	20,51
	Moyenne E_D (MPa)		25422,21±269.17	
	Moyenne R (MPa)			20,55±0.045

* **Age : 28 jours**

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E_D (MPa)	R (MPa)
5	3,958	40,42	34420,45	22,12
6	3,922	40,80	33797,15	22,01
	Moyenne E_D (MPa)		34108,80±311.65	
	Moyenne R (MPa)			22,06±0.055

❖ Fréquence 54 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V (Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	3,789	42,23	31543,81	21,60
2	3,725	42,95	30487,20	21,42
3	3,746	42,71	30831,91	21,48
4	3,835	41,72	32314,37	21,74
5	3,687	43,40	29868,35	21,31
6	3,768	42,46	31195,12	21,54
	Moyenne E_D (MPa)		31040,13±1223.01	
	Moyenne R (MPa)			21,52±0.215

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	4,235	37,78	39406,85	23,04
4	4,311	37,11	40833,91	23,31
5	4,184	38,24	38463,45	22,86
6	4,193	38,16	38629,11	22,89
	Moyenne E_D (MPa)		39333,33±1185.23	
	Moyenne R (MPa)			23,02±0.225

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	4,622	34,62	46938,03	24,50
6	4,587	34,88	46229,84	24,36
	Moyenne E_D (MPa)		46583,93±354.09	
	Moyenne R (MPa)			24,43±0.07

❖ Fréquence 150 KHz

* Age : 07 jours

Eprou	V (Km/s)	T (µs)	Ed (MPa)	R (MPa)
1	3,498	45,74	26884,66	20,80
2	3,421	46,77	25714,09	20,60
3	3,542	45,17	27565,26	20,91
4	3,396	47,11	25339,63	20,54
5	3,437	46,55	25955,18	20,64
6	3,387	47,24	25205,50	20,52
	Moyenne Ed (MPa)		26110,72±1179.88	
	Moyenne R (MPa)			20,67±0.195

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	Ed (MPa)	R (MPa)
1	3,784	42,28	31460,61	21,59
2	3,752	42,64	30930,76	21,50
5	3,711	43,12	30258,46	21,38
6	3,769	42,45	31211,68	21,55
	Moyenne Ed (MPa)		30965.38±847.52	
	Moyenne R (MPa)			21,50±0.15

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	Ed (MPa)	R (MPa)
5	4,203	38,07	38813,58	22,93
6	4,286	37,33	40361,68	23,22
	Moyenne Ed (MPa)		39587,63±774.05	
	Moyenne R (MPa)			23,07±0.145

❖ Fréquence De Pointe

* Age : 07 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
1	2,59	61,78	14738,88	18,84
2	2,4	66,67	12655,74	18,52
3	2,54	62,99	14175,30	18,75
4	2,45	65,31	13188,55	18,60
5	2,43	65,84	12974,11	18,57
6	2,52	63,49	13952,95	18,71
	Moyenne E_D (MPa)		13614,25±1041.57	
	Moyenne R (MPa)			18,66±0.16

* Age : 14 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
3	2,63	60,84	15197,65	18,91
4	2,61	61,30	14967,39	18,87
5	2,59	61,78	14738,88	18,84
6	2,55	62,75	14287,14	18,77
	Moyenne E_D (MPa)		14797,76±455.25	
	Moyenne R (MPa)			18,84±0.07

* Age : 28 jours

Eprou	V(Km/s)	T (µs)	E _D (MPa)	R (MPa)
5	2,88	55,56	18224,26	19,38
6	2,86	55,94	17972,02	19,34
	Moyenne E_D (MPa)		18098,14±126.12	
	Moyenne R (MPa)			19,36±0.02

♦ La presse :

* Age : 07 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	141.12	14,11
02	132.34	13,23
	Moyenne	13.67 ± 0.44

* Age : 14 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	190.25	19,02
02	179.53	17,95
	Moyenne	18.49 ± 0.53

* Age : 28 jours

Eprouvettes	Charge (KN)	Résistance (MPa)
01	253.05	25,3
02	264.71	26,47
	Moyenne	25.89 ± 0.59

IV.3 Interprétation et exploitation des résultats

IV.3.1 Etude comparative des résistances de différentes fréquences (Effet de fréquence)

Dans cette partie de travail on s'intéresse à la comparaison des résistances du béton dans différents âges pour les trois types d'éprouvettes (2.5 cm / 7 cm / 16 cm) déterminées avec les quatre fréquences utilisées (24KHz / 54 KHz / 150 KHz / De Pointe)

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux qui suivent et représentés sur les figures (IV.4 jusqu'à IV.8).

Tableaux IV.2 : Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différentes fréquences utilisées

❖ Composition N° 01 : 350 Kg/m³

► L'éprouvette 2.5 cm (10×10×2.5)

Temps (jours) / Fréquence	7	14	28
24 KHz	18,02	18,37	18,91
54 KHz	18,39	18,47	19,62
150 KHz	18,13	18,40	19,23
De Pointe	16,90	16,90	16,97

► L'éprouvette 7 cm (10×10×7)

Temps (jours) / Fréquence	7	14	28
24 KHz	18,42	18,85	19,36
54 KHz	19,50	20,24	20,91
150 KHz	18,86	19,34	20,30
De Pointe	17,34	17,34	17,42

► L'éprouvette 16 cm (10×10×16)

Temps (jours) / Fréquence	7	14	28
24 KHz	18,94	19,33	20,08
54 KHz	19,82	20,62	21,54
150 KHz	19,33	19,94	20,90
De Pointe	17,93	17,99	18,08

❖ *Composition N° 02 : 440 Kg/m³*► *L'éprouvette 2.5 cm (10×10×2.5)*

Temps (jours) \ Fréquence	7	14	28
24 KHz	18,59	19,02	19,95
54 KHz	19,15	19,19	21,22
150 KHz	18,86	19,15	20,53
De Pointe	16,96	16,96	17,18

► *L'éprouvette 7 cm (10×10×7)*

Temps (jours) \ Fréquence	7	14	28
24 KHz	19,32	20,06	21,02
54 KHz	20,90	22,27	23,47
150 KHz	20,04	21,01	22,15
De Pointe	17,58	17,59	17,66

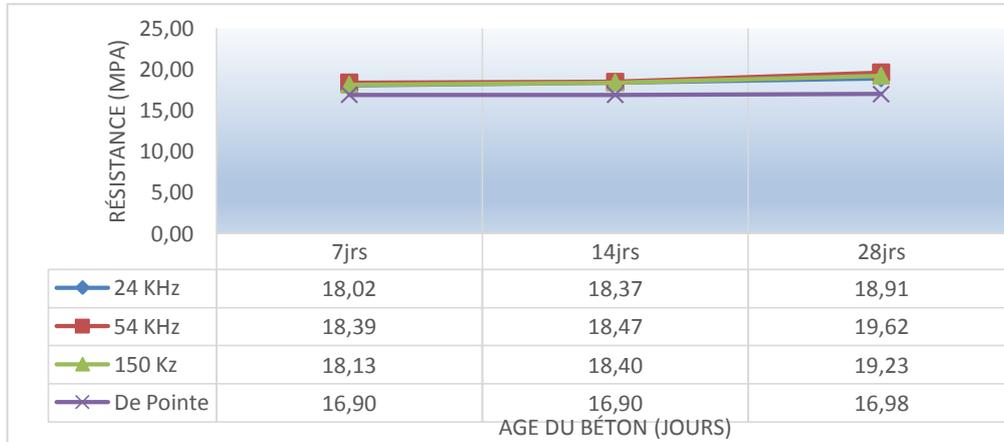
► *L'éprouvette 16 cm (10×10×16)*

Temps (jours) \ Fréquence	7	14	28
24 KHz	20,10	20,55	22,06
54 KHz	21,52	23,02	24,43
150 KHz	20,67	21,50	23,07
De Pointe	18,66	18,84	19,36

Figure IV.2 : Evolution de la résistance en fonction de l'âge (effet de la fréquence)

❖ **Les courbes de la composition N° 01 :**

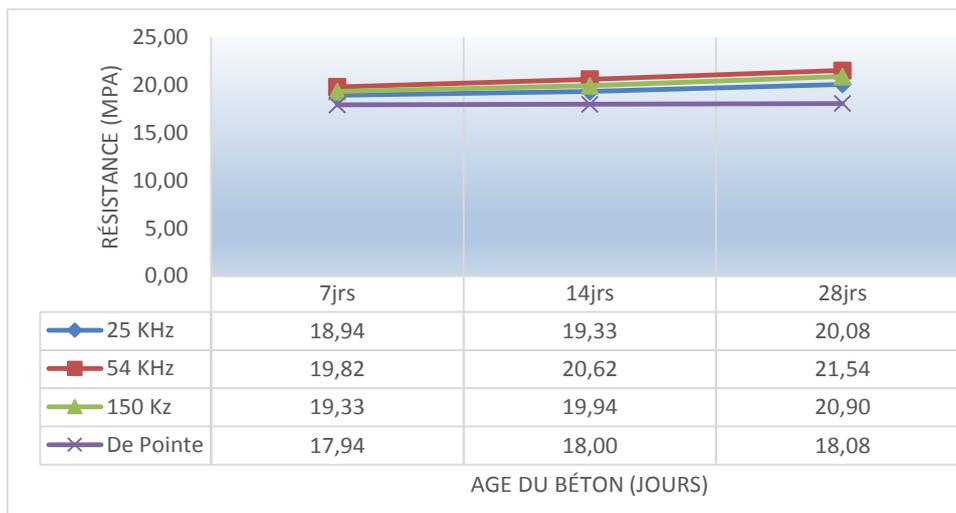
► **Courbe d'éprouvette 2.5 cm (10×10x2.5)**



► **Courbe d'éprouvette 7 cm (10×10x7)**

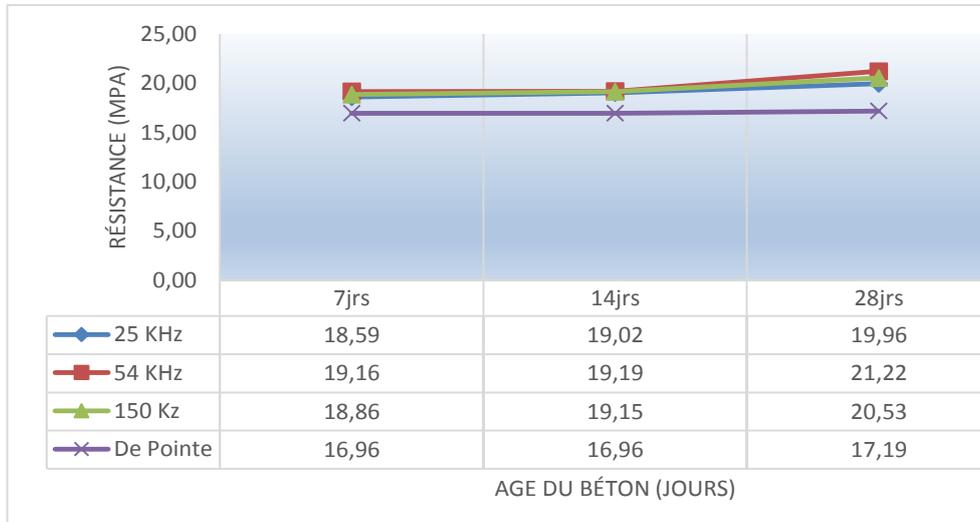


► **Courbe d'éprouvette 16 cm (10×10x16)**

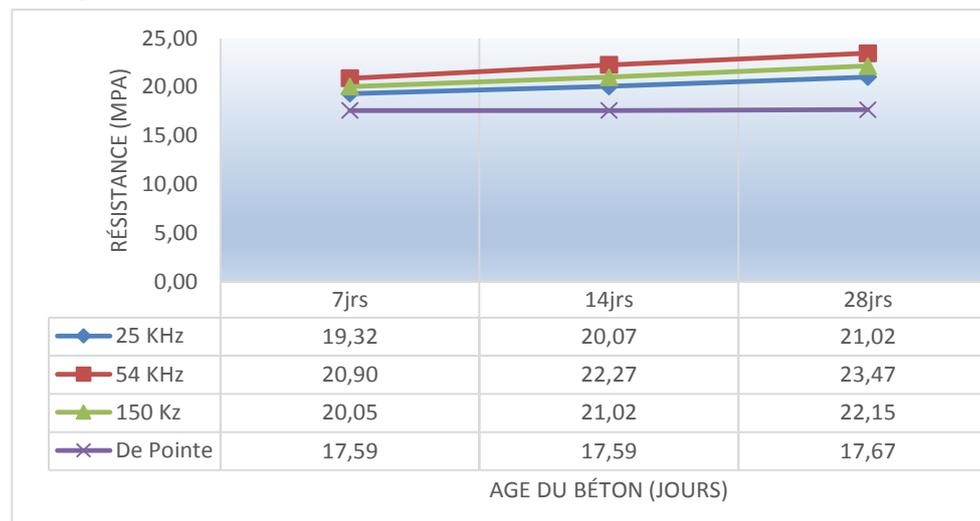


❖ *Les courbes de la composition N° 02 :*

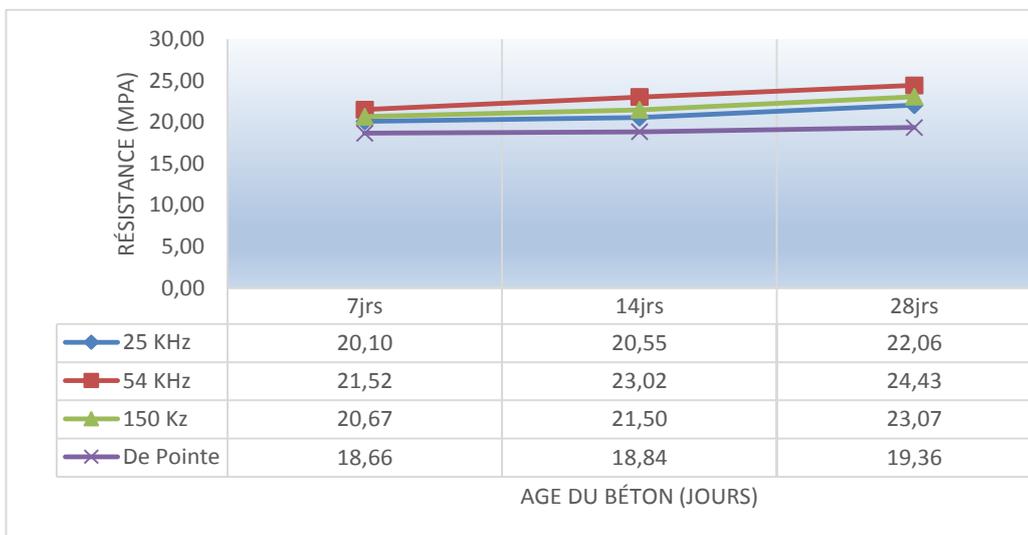
► *Courbe d'éprouvette 2.5 cm (10×10x2.5)*



► *Courbe d'éprouvette 7 cm (10×10x7)*



► *Courbe d'éprouvette 16 cm (10×10x16)*



Commentaire :

L'étude expérimentale a concerné l'étude de l'effet de la variation des fréquences des transducteurs sur l'évolution de la vitesse de propagation des ondes en mode direct.

- Les essais ont été conduits en procédant à la variation de la composition de béton et à la variation du parcours de transmission.
- On remarque à partir des résultats obtenues que les résistances déterminées en fonction des ultrasons évoluent au cours de l'augmentation de l'âge des bétons, les augmentations les plus faibles (5%) sont obtenues pour les fréquences de 24 KHz et pour un parcours de transmission de 2.5 cm (la longueur de ce parcours est non conforme aux normes en vigueur)
- Les augmentations les plus importantes (13%) sont obtenues pour les fréquences de 54 KHz et pour un parcours de 16 cm

IV.3.2 Etude comparative des vpu de différentes fréquences (Effet de fréquence)

Dans cette partie de travail on s'intéresse à la comparaison des vpu du béton dans différents âges pour les trois types d'éprouvettes (2.5 cm / 7 cm / 16 cm) déterminées avec les quatre fréquences utilisées (24KHz / 54 KHz / 150 KHz / De Pointe)

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux qui suivent et représentés sur les figures (IV.4 jusqu'à IV.8).

Tableaux IV.3: Variation de la vpu (m/s) en fonction de l'âge du béton selon les différentes fréquences utilisées

❖ Composition N° 01 : 350 Kg/m³

► L'éprouvette 2.5 cm (10×10×2.5)

Temps (jours) / Fréquence	7	14	28
24 KHz	2394	2675	3060
54 KHz	2692	2754	3479
150 KHz	2482	2697	3259
De Pointe	956	950	1110

► L'éprouvette 7 cm (10×10×7)

Temps (jours) / Fréquence	7	14	28
24 KHz	2714	3015	3336
54 KHz	3413	3802	4114
150 KHz	3021	3324	3832
De Pointe	1676	1679	1780

► L'éprouvette 16 cm (10×10×16)

Temps (jours) / Fréquence	7	14	28
24 KHz	3078	3317	3725
54 KHz	3587	3942	4375
150 KHz	3315	3653	4109
De Pointe	2316	2372	2445

❖ *Composition N° 02 : 440 Kg/m³*► *L'éprouvette 2.5 cm (10×10×2.5)*

Temps (jours) \ Fréquence	7	14	28
24 KHz	2443	2691	3151
54 KHz	2765	2782	3655
150 KHz	2604	2761	3394
De Pointe	925	928	1265

► *L'éprouvette 7 cm (10×10×7)*

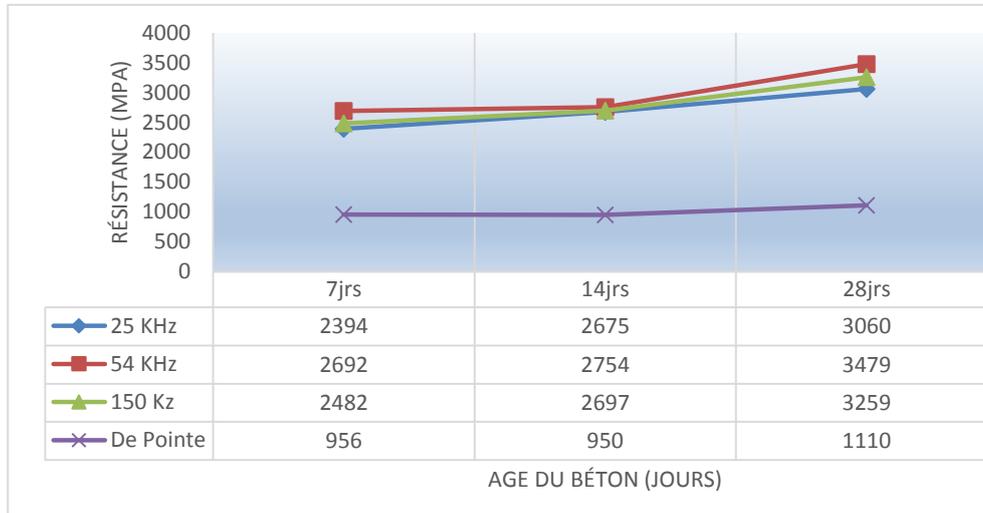
Temps (jours) \ Fréquence	7	14	28
24 KHz	2851	3199	3583
54 KHz	3535	4005	4355
150 KHz	3191	3580	3968
De Pointe	1697	1701	1770

► *L'éprouvette 16 cm (10×10×16)*

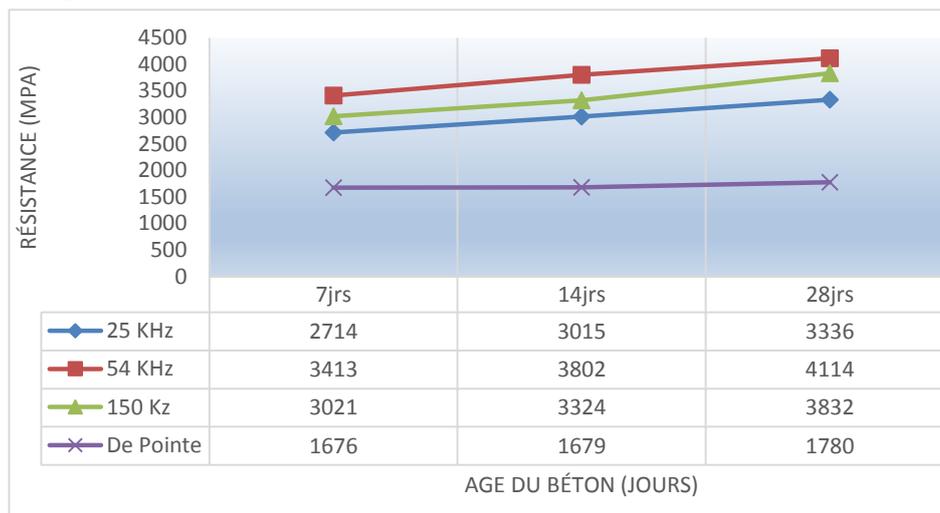
Temps (jours) \ Fréquence	7	14	28
24 KHz	3214	3402	3940
54 KHz	3758	4231	4604
150 KHz	3447	3754	4245
De Pointe	2488	2595	2870

Figure IV.3 : Evolution de la vpu en fonction de l'âge (effet de la fréquence)
 ❖ **Les courbes de la composition N° 01 :**

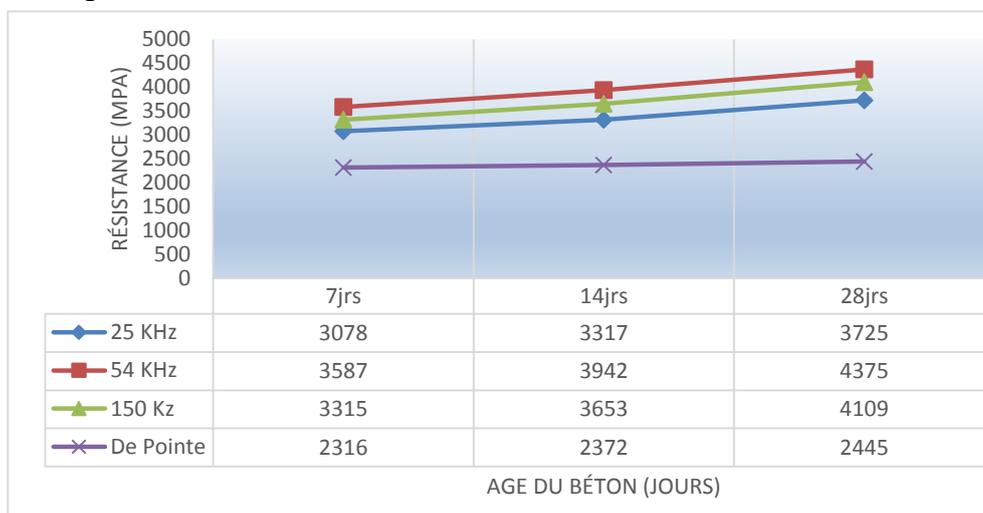
► **Courbe d'éprouvette 2.5 cm (10×10x2.5)**



► **Courbe d'éprouvette 7 cm (10×10x7)**

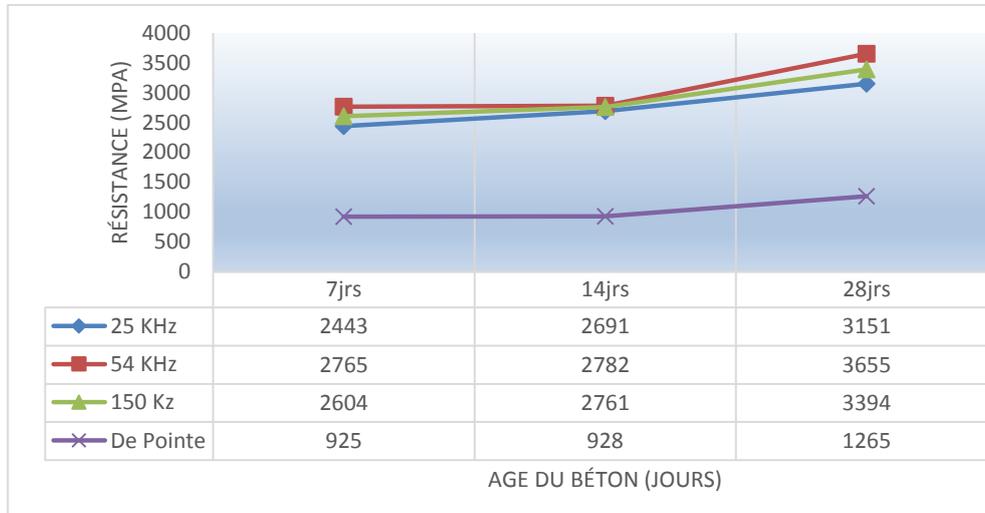


► **Courbe d'éprouvette 16 cm (10×10x16)**

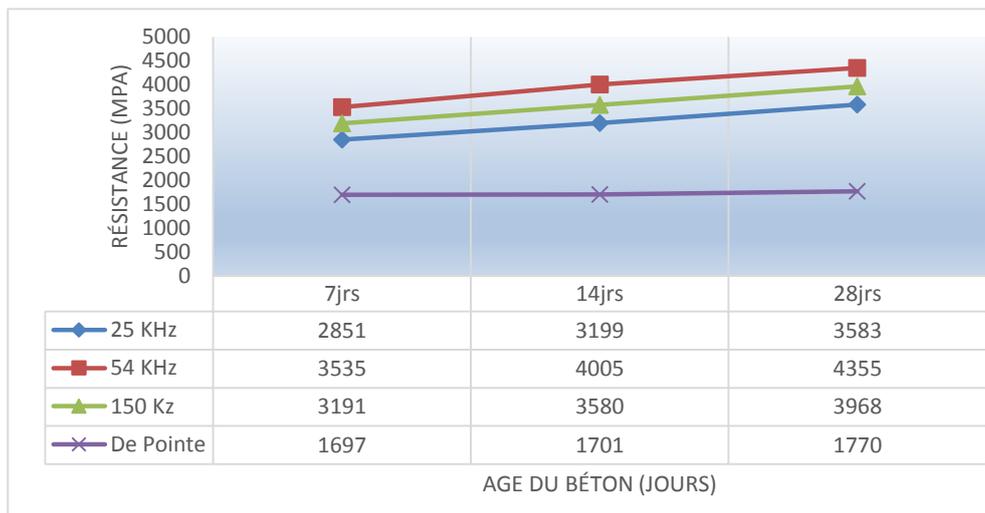


❖ *Les courbes de la composition N° 02 :*

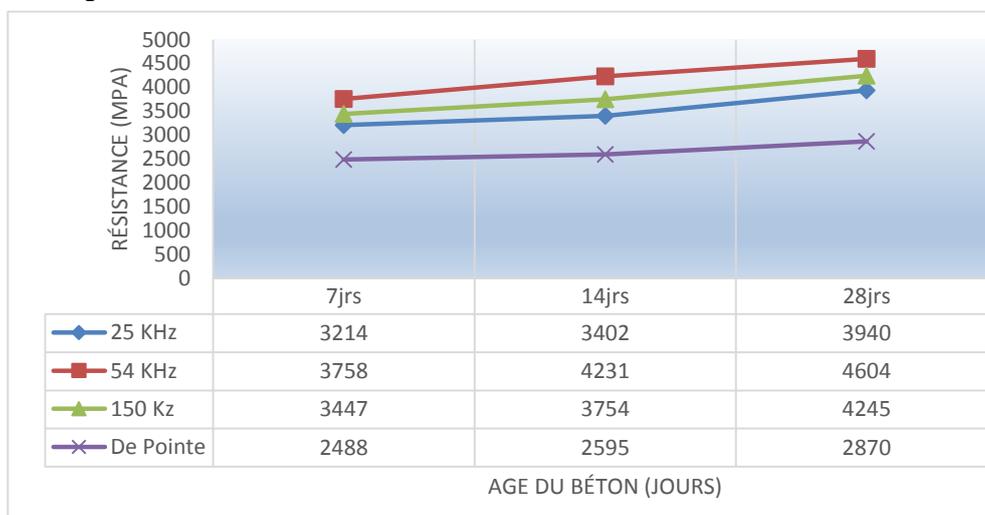
► *Courbe d'éprouvette 2.5 cm (10×10x2.5)*



► *Courbe d'éprouvette 7 cm (10×10x7)*



► *Courbe d'éprouvette 16 cm (10×10x16)*



Commentaire :

- Les résultats obtenus montrent l'effet de la fréquence sur la propagation des ondes, on observe, pour toutes les configurations, une augmentation des vitesses passant de la fréquence 24 KHz à 54KHz, puis une rechute lors de l'utilisation de la fréquence de 150 KHz.

- Les augmentations varient de 1% à 10 % pour le passage de 24 KHz à 54KHz, et les rechutes de 5 % à plus de 9 % donc la fréquence conduisant à la meilleur vitesse (donc à la meilleur résistance) est celle de 54 KHz, cette fréquence est la plus fréquemment utilisée.

IV.3.3 Etude comparative des résistances de différentes compositions du béton

IV.3.3.1 Résistances obtenues par ultrason :

Dans cette partie de travail on c'est intéressé à la comparaison des résistances du béton obtenues pour chaque fréquence pour les deux compositions du béton (350 Kg/m³ et 440 Kg/m³) en fonction de l'âge du durcissement 7, 14, 28 jours.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux qui suivent et représentés sur les figures (IV.9 jusqu'à IV.11).

Tableaux IV.4 : Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton pour chaque fréquence pour les deux compositions (par ultrasons).

* L'éprouvette (10×10×2.5)

► Fréquence 24 KHz

Temps (jours)	7	14	28
Composition			
N° 01	18.02	18.37	18.91
N° 02	18.59	19.02	19.96

► Fréquence 54 KHz

Temps (jours)	7	14	28
Composition			
N° 01	18.39	18.47	19.62
N° 02	19.16	19.19	21.22

► Fréquence 150 KHz

Temps (jours)	7	14	28
Composition			
N° 01	18.13	18.40	19.23
N° 02	18.86	19.15	20.53

► **Fréquence de Pointe**

Temps (jours) / Composition	7	14	28
N° 01	16.90	16.90	16.98
N° 02	16.96	16.96	17.19

* *L'éprouvette (10×10x7)*► **Fréquence 24 KHz**

Temps (jours) / Composition	7	14	28
N° 01	18.42	18.85	19.36
N° 02	19.32	20.07	21.02

► **Fréquence 54 KHz**

Temps (jours) / Composition	7	14	28
N° 01	19.50	20.24	20.92
N° 02	20.90	22.27	23.47

► **Fréquence 150 KHz**

Temps (jours) / Composition	7	14	28
N° 01	18.86	19.34	20.30
N° 02	20.05	21.02	22.15

► **Fréquence de Pointe**

Temps (jours) / Composition	7	14	28
N° 01	17.34	17.34	17.42
N° 02	17.59	17.59	17.67

* *L'éprouvette (10×10×16)*► **Fréquence 24 KHz**

Temps (jours) \ Composition	7	14	28
N° 01	18.94	19.33	20.08
N° 02	20.10	20.55	22.06

► **Fréquence 54 KHz**

Temps (jours) \ Composition	7	14	28
N° 01	19.82	20.54	21.54
N° 02	21.52	23.02	24.43

► **Fréquence 150 KHz**

Temps (jours) \ Composition	7	14	28
N° 01	19.33	20.34	20.90
N° 02	20.67	21.50	23.07

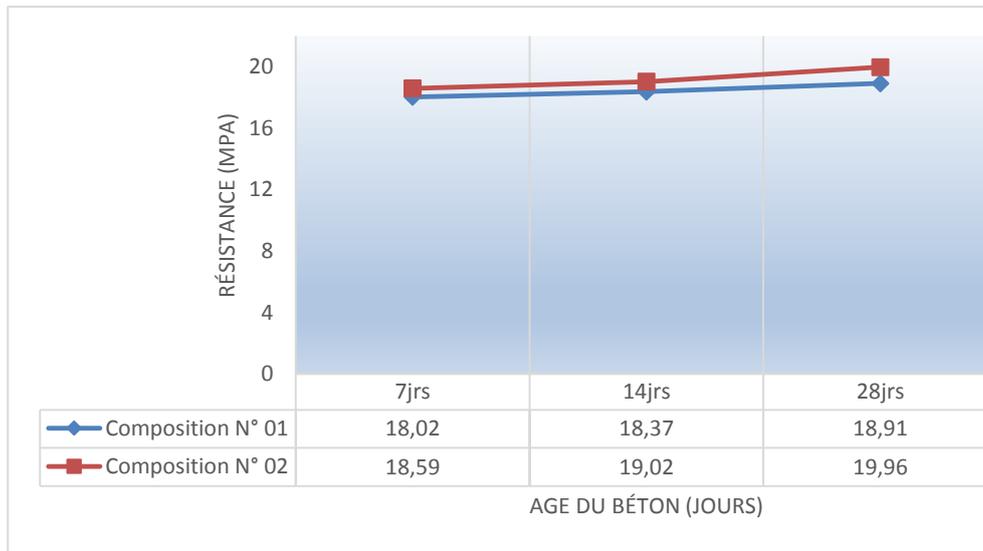
► **Fréquence de Pointe**

Temps (jours) \ Composition	7	14	28
N° 01	17.94	18.00	18.08
N° 02	18.66	18.84	19.36

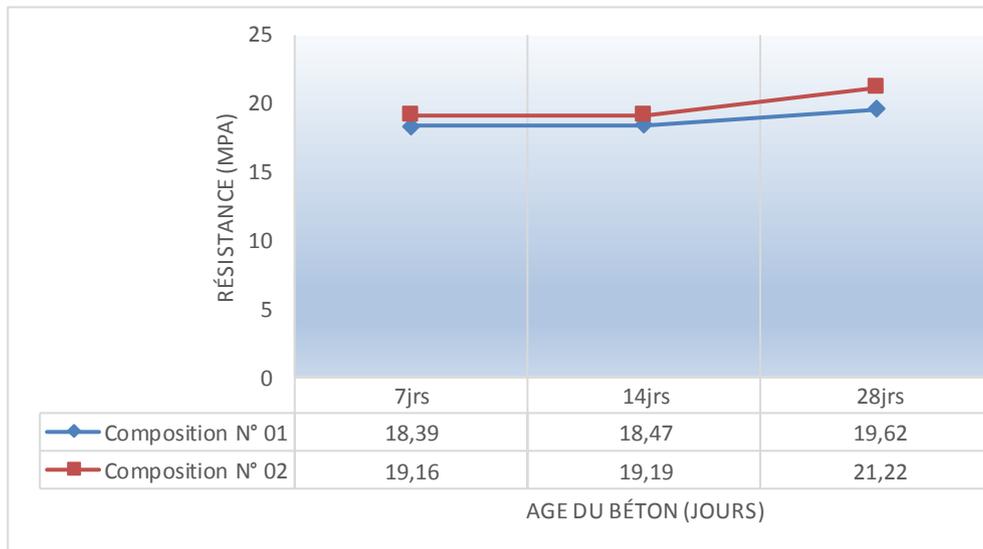
Figure IV.4 : Variation de la résistance en fonction de l'âge du béton pour chaque fréquence (effet de la composition).

✱ *Les courbes d'éprouvette (10×10×2.5)*

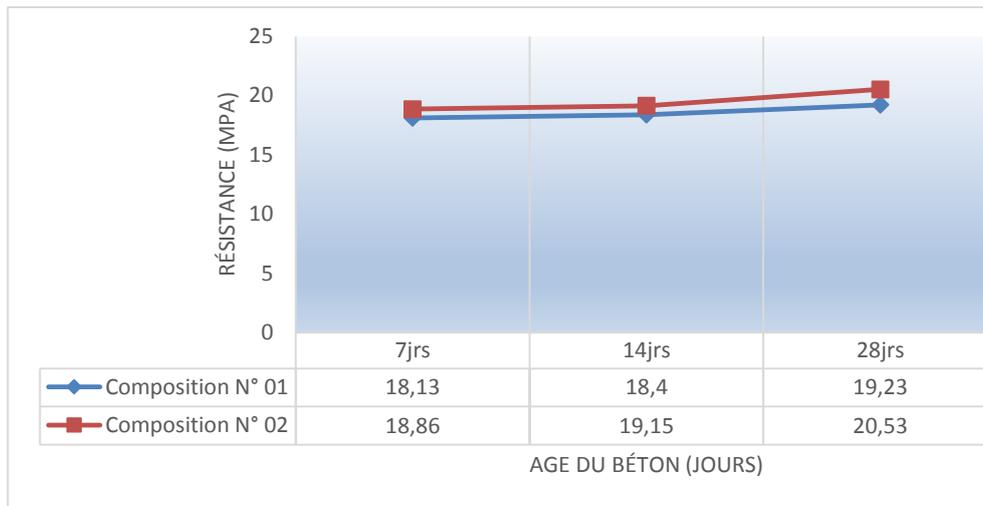
► **Fréquence 24 KHz**



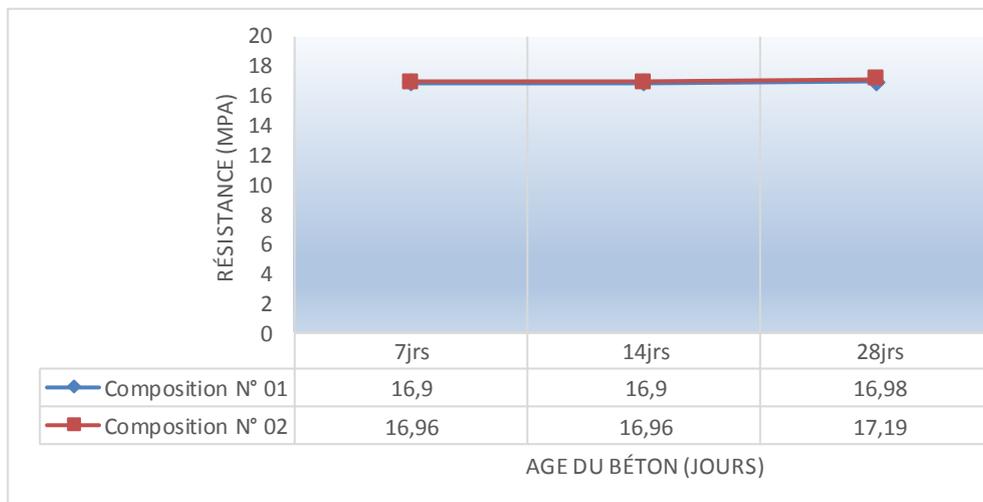
► **Fréquence 54 KHz**



► Fréquence 150 KHz

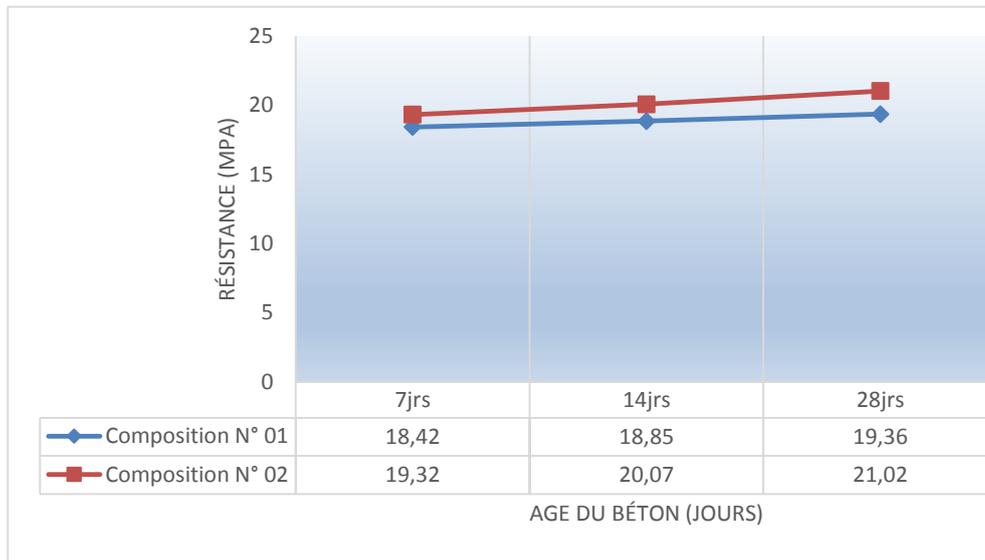


► Fréquence de pointe

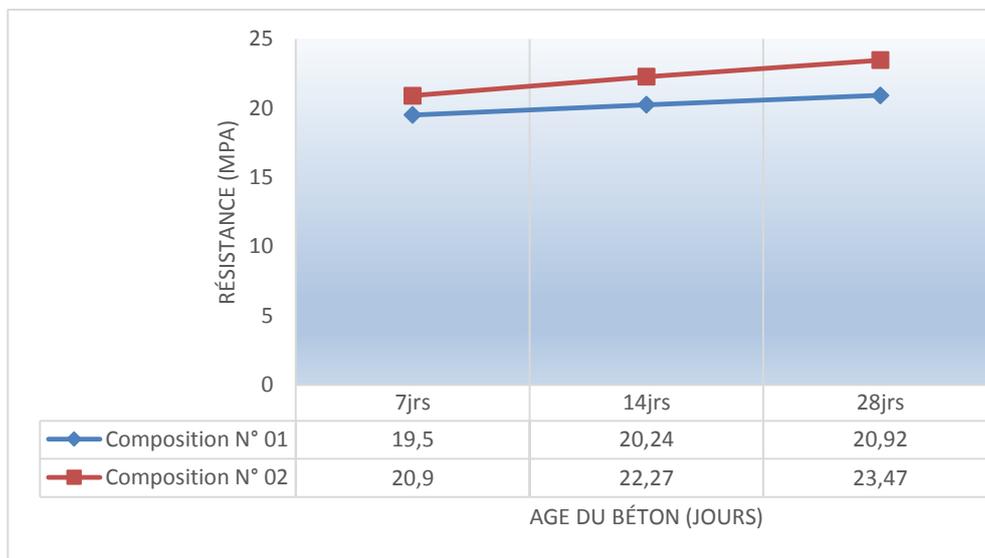


✱ *Les courbes d'éprouvette (10×10x7)*

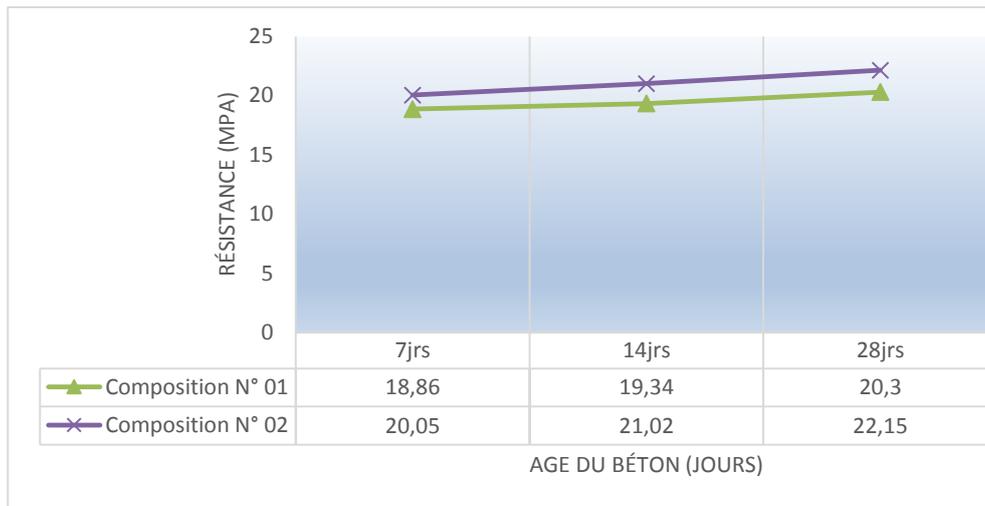
► **Fréquence 24 KHz**



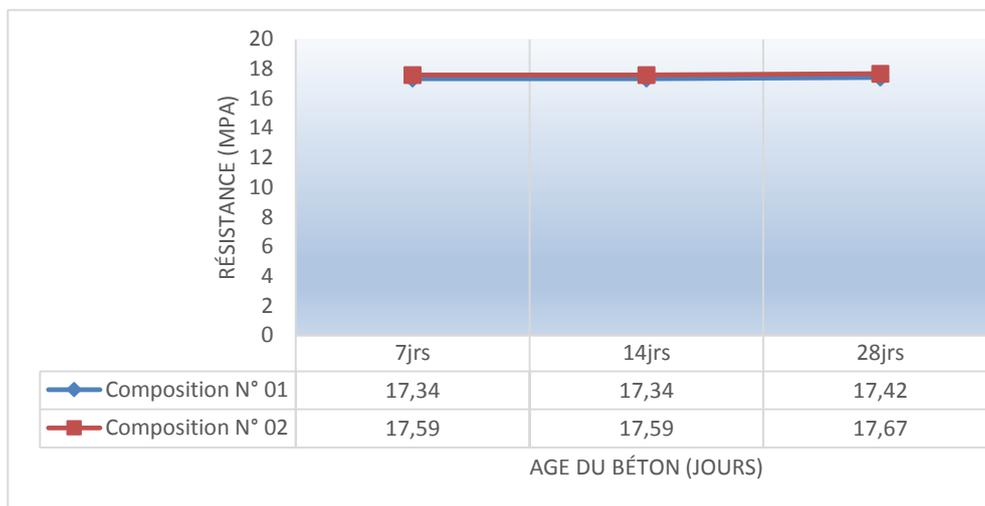
► **Fréquence 54 KHz**



► **Fréquence 150 KHz**

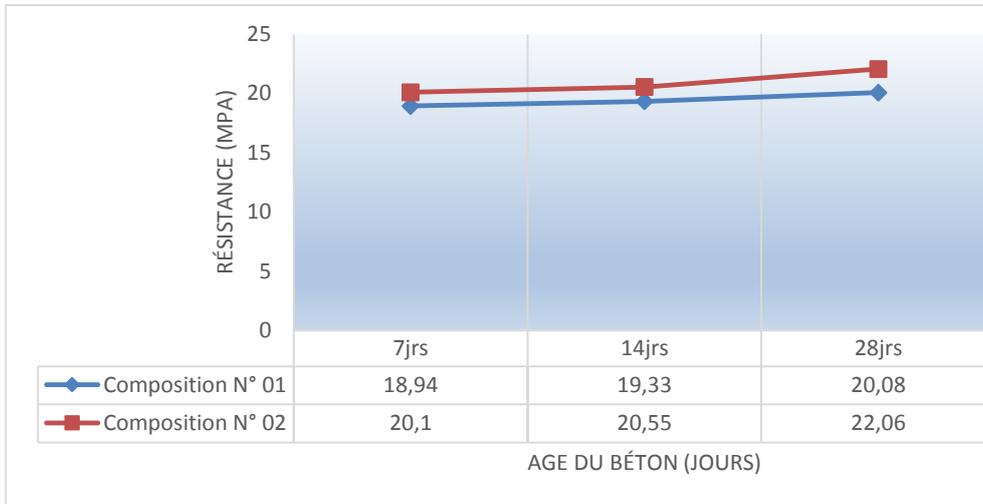


► **Fréquence de pointe**

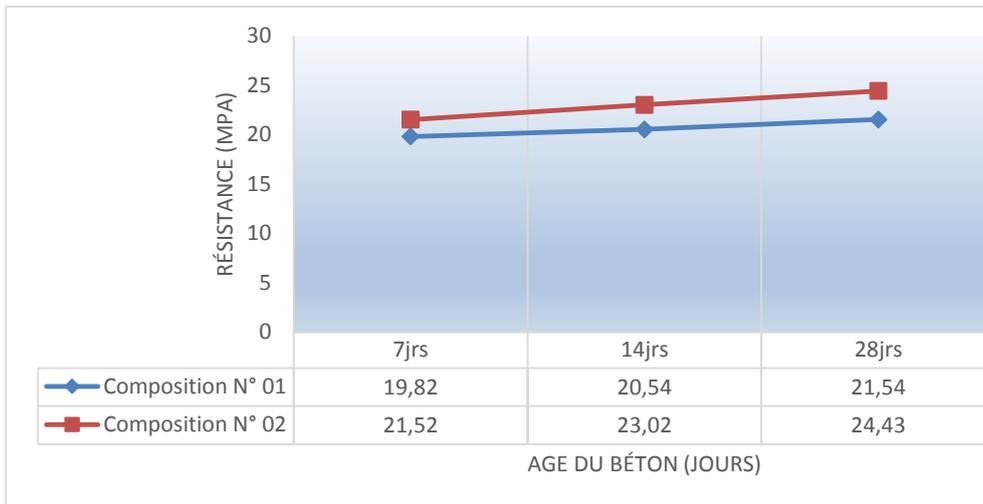


✱ *Les courbes d'éprouvette (10×10x16)*

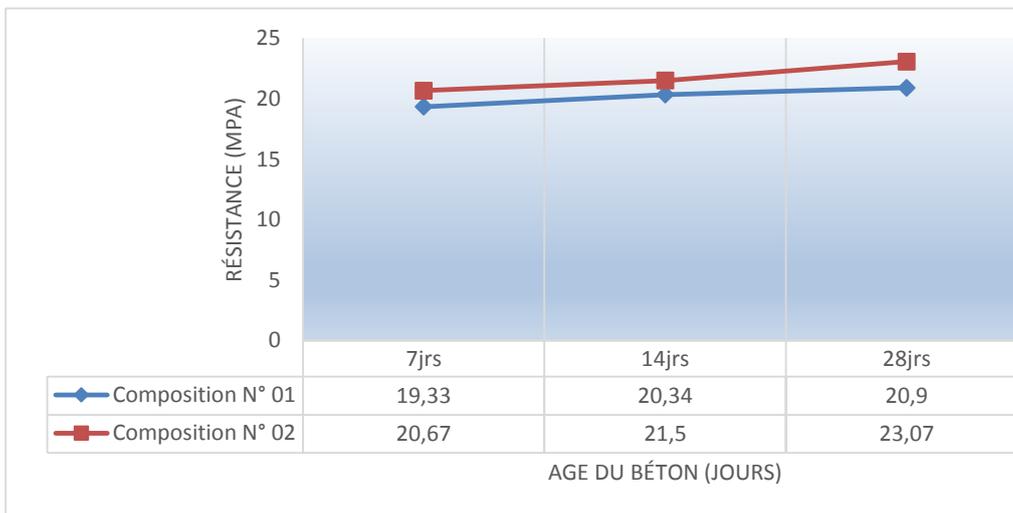
► **Fréquence 24 KHz**



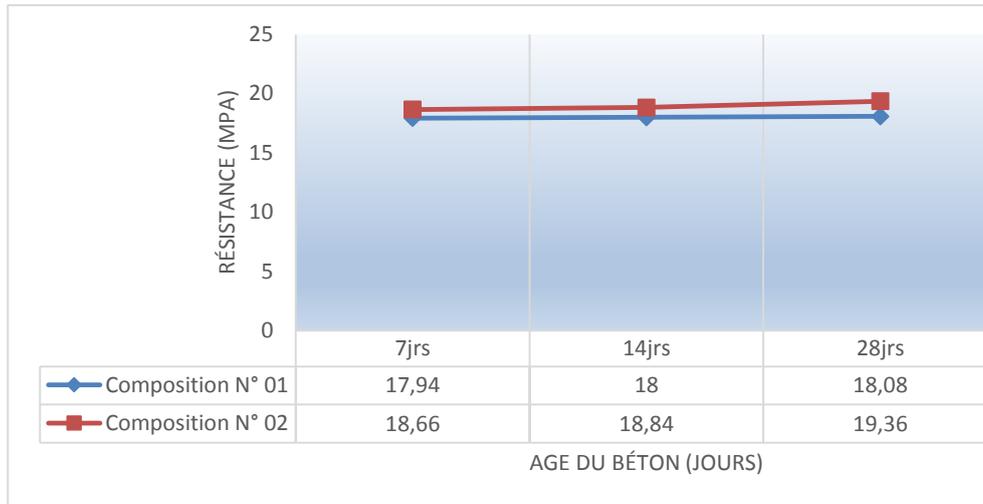
► **Fréquence 54 KHz**



► **Fréquence 150 KHz**



► **Fréquence de pointe**



Commentaire :

La composition du béton joue un rôle dans la transmission des ultrasons. Il est connu que la vitesse augmente en fonction de la densité c'est ce qu'on remarque dans les résultats des vitesses et résistances des deux compositions.

En ce qui concerne les vitesses, le fait de passer d'un dosage de 350 Kg /m³ à 440Kg/m³ fait augmenter la vitesse respectivement de 3%, 4%, et 8 % à 7j, 14 et 28j pour le parcours de 2,5 cm (fréquence 54 KHz) et de 7% ;10% et 12% à 7j, 14 et 28j pour le parcours de 7 cm (fréquence 54 KHz), et enfin 8%, 12% et 13% 7j, 14 et 28j pour le parcours de 16 cm (fréquence 54 KHz)

IV.3.3.2 Résistances obtenues par écrasement :

Dans cette partie de travail on c'est intéressé à la comparaison des résistances du béton obtenues par écrasement pour les deux compositions du béton (350 Kg/m³ et 440 Kg/m³) en fonction de l'âge du durcissement 7, 14, 28 jours et pour chaque fréquence.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux qui suivent et représentés sur les figures (IV.9 jusqu'à IV.11).

Tableaux IV.5 : Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton pour chaque fréquence pour les deux compositions (par la presse).

L'éprouvette (10×10x2.5)

Temps (jours)	7	14	28
Composition			
N° 01	15.53	21.85	28.21
N° 02	18.77	24.72	31.45

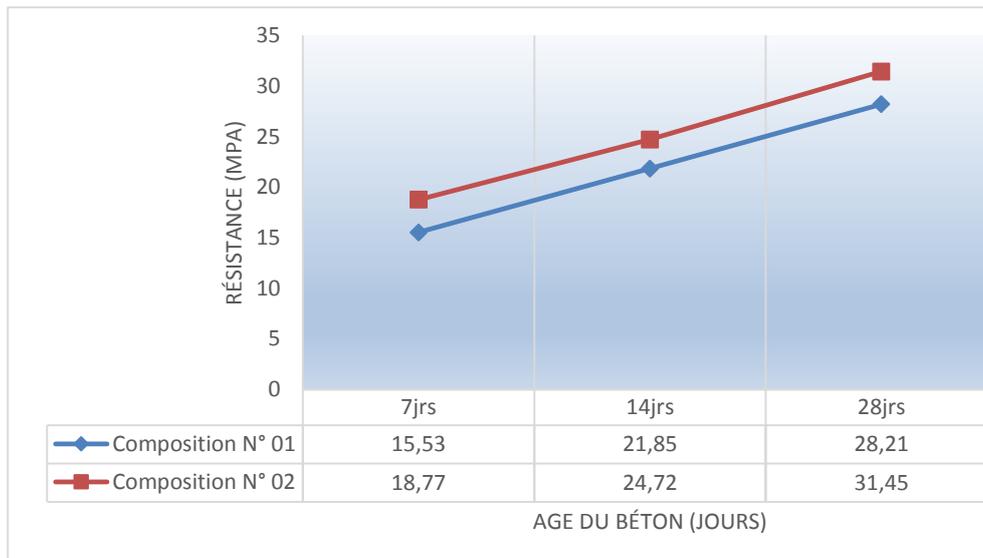
* *L'éprouvette (10×10x7)*

Temps (jours)	7	14	28
Composition			
N° 01	11.8	16.54	23.19
N° 02	15.43	21.89	28.05

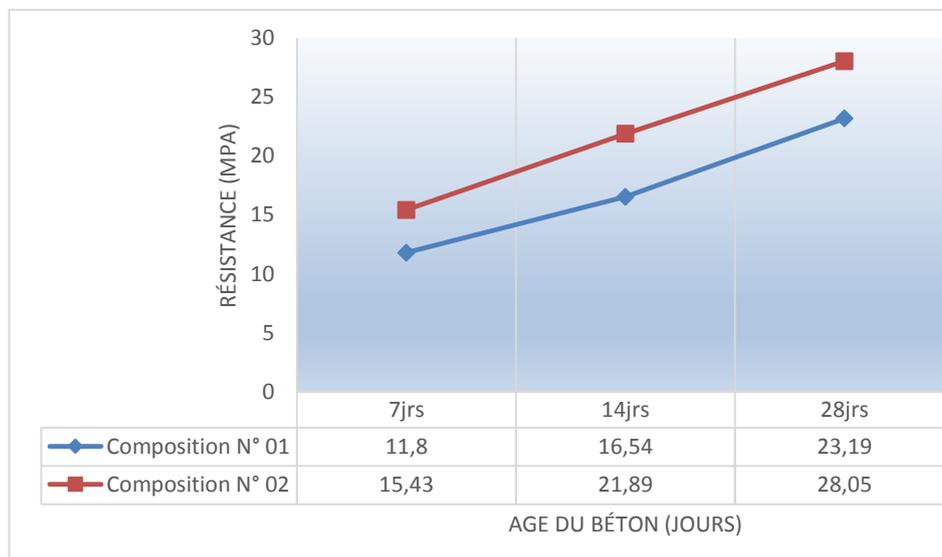
* *L'éprouvette (10×10x16)*

Temps (jours)	7	14	28
Composition			
N° 01	9.7	14.33	22.09
N° 02	13.67	18.49	25.89

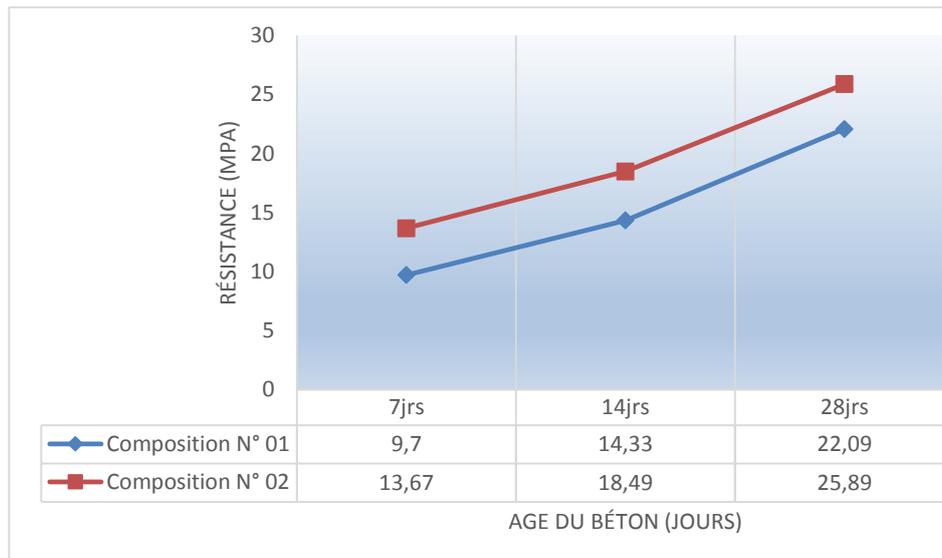
✱ *Les courbes d'éprouvette (10×10x2.5)*



✱ *Les courbes d'éprouvette (10×10x7)*



✱ *Les courbes d'éprouvette (10×10×16)*



Commentaire :

La composition du béton joue un rôle dans la valeur de la résistance à la compression. la résistance augmente en fonction de la densité c'est ce qu'on remarque dans les résultats des deux compositions.

IV.3.4 Etude comparative des résistances de différentes méthodes :

Dans cette partie de travail on s'intéresse à la comparaison des résistances du béton dans différents âges pour les trois types d'éprouvettes (2.5 cm / 7 cm / 16 cm) et les deux compositions déterminées avec les deux méthodes (ultrason et la presse).

Tableaux IV.6: Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées.

➤ **Fréquence 24KHz**

▶ **L'éprouvette (10x10x2.5)**

Temps (jours) / Méthodes	7	14	28
Presse « 1 »	15.53	21.85	28.21
Ultrason « 1 »	18.02	18.37	18.91
Presse « 2 »	18.77	24.72	31.45
Ultrason « 2 »	18.59	19.02	19.96

▶ **L'éprouvette (10x10x7)**

Temps (jours) / Méthodes	7	14	28
Presse « 1 »	11.8	16.54	23.19
Ultrason « 1 »	18.42	18.85	19.36
Presse « 2 »	15.43	21.89	28.05
Ultrason « 2 »	19.32	20.07	21.02

▶ **L'éprouvette (10x10x16)**

Temps (jours) / Méthodes	7	14	28
Presse « 1 »	9.7	14.33	22.09
Ultrason « 1 »	18.94	19.33	20.08
Presse « 2 »	13.67	18.49	25.89
Ultrason « 2 »	20.10	20.55	22.06

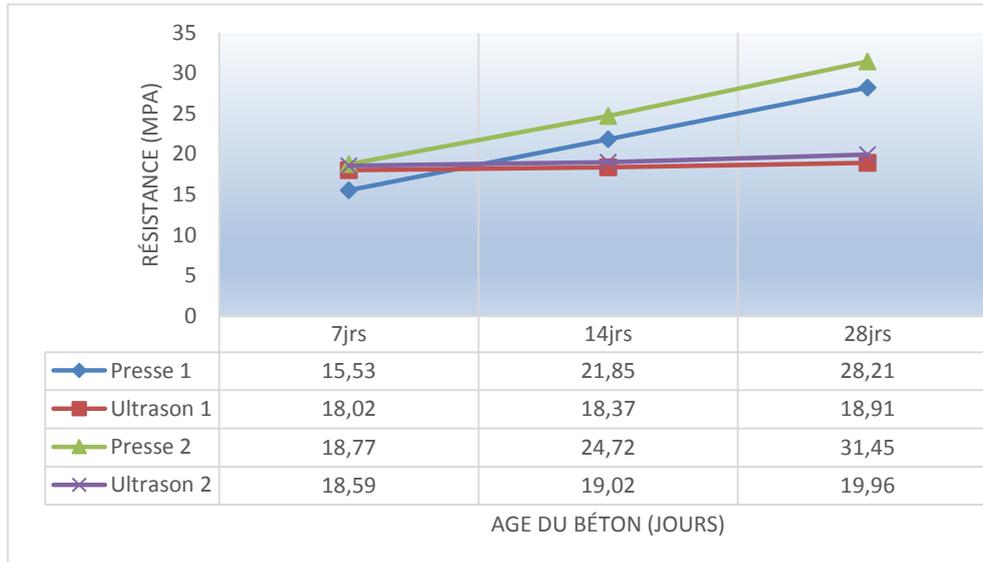
Remarque

« 1 » = composition N° 01

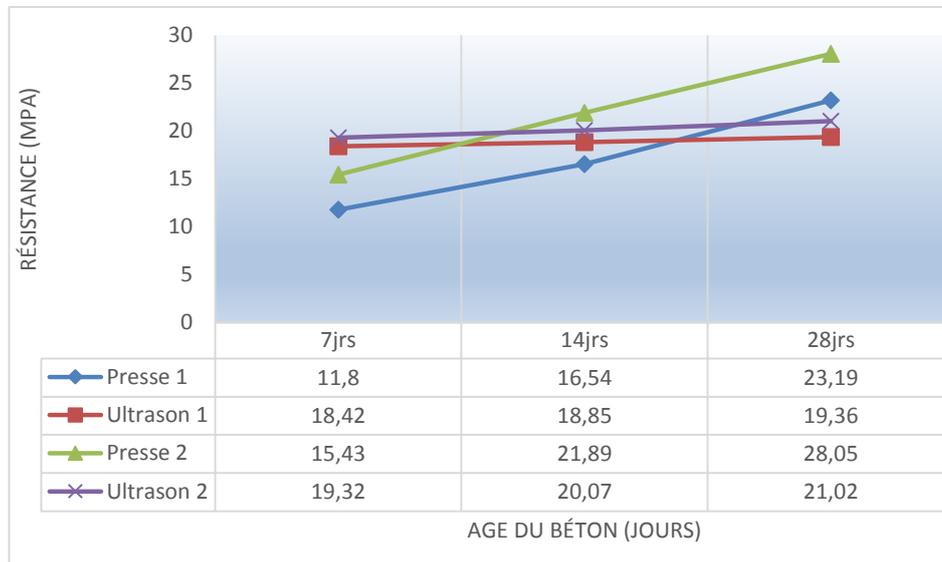
« 2 » = composition N° 02

Figure IV.5 : Les Courbes de la variation de la résistance en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées.

► Courbe d'éprouvette (10x10x2.5)



► Courbe d'éprouvette (10x10x7)



► *Courbe d'éprouvette (10x10x16)*



➤ *Fréquence 54KHz*

► *L'éprouvette (10x10x2.5)*

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Presse « 1 »	15.53	21.85	28.21
Ultrason « 1 »	18.39	18.47	19.62
Presse « 2 »	18.77	24.72	31.45
Ultrason « 2 »	19.16	19.19	21.22

► *L'éprouvette (10x10x7)*

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Presse « 1 »	11.8	16.54	23.19
Ultrason « 1 »	19.50	20.24	20.92
Presse « 2 »	15.43	21.89	28.05
Ultrason « 2 »	20.90	22.27	23.47

► *L'éprouvette (10x10x16)*

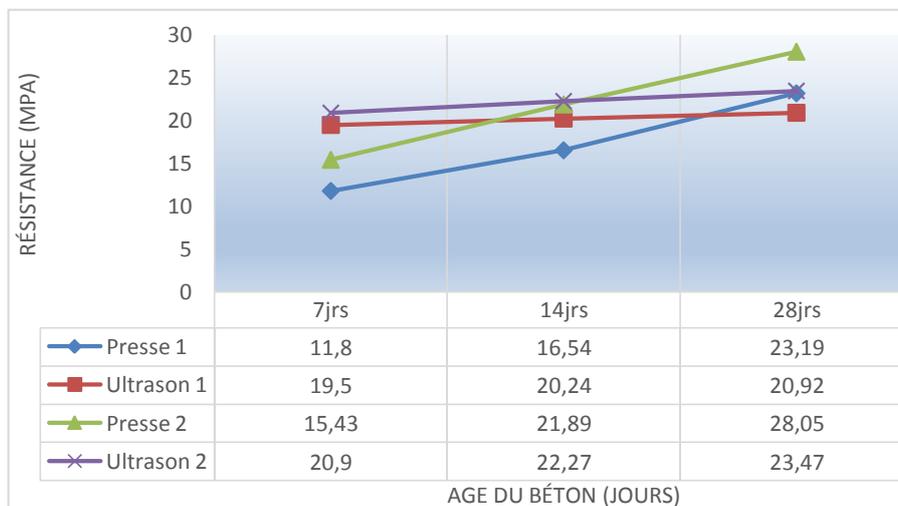
Temps (jours) \ Méthodes	7	14	28
Presse « 1 »	9.7	14.33	22.09
Ultrason « 1 »	19.82	20.54	21.54
Presse « 2 »	13.67	18.49	25.89
Ultrason « 2 »	21.52	23.02	24.43

Figure IV.6 : Les Courbes de la variation de la résistance en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées.

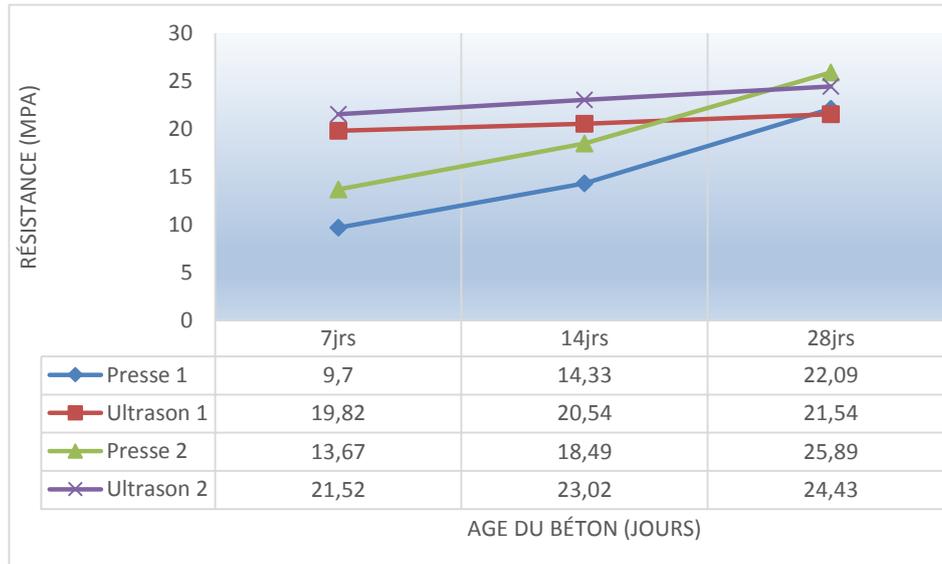
► *Courbe d'éprouvette (10x10x2.5)*



► *Courbe d'éprouvette (10x10x7)*



► *Courbe d'éprouvette (10x10x16)*



➤ *Fréquence 150KHz*

► *L'éprouvette (10x10x2.5)*

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Presse « 1 »	15.53	21.85	28.21
Ultrason « 1 »	18.13	18.40	19.23
Presse « 2 »	18.77	24.72	31.45
Ultrason « 2 »	18.86	19.15	20.53

► *L'éprouvette (10x10x7)*

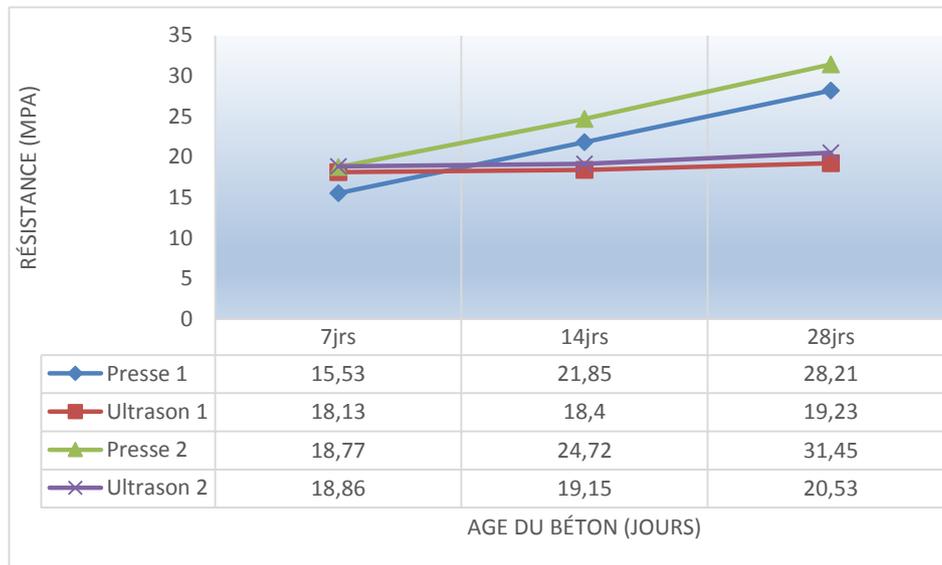
Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Presse « 1 »	11.8	16.54	23.19
Ultrason « 1 »	18.86	19.34	20.30
Presse « 2 »	15.43	21.89	28.05
Ultrason « 2 »	20.05	21.02	22.15

► *L'éprouvette (10x10x16)*

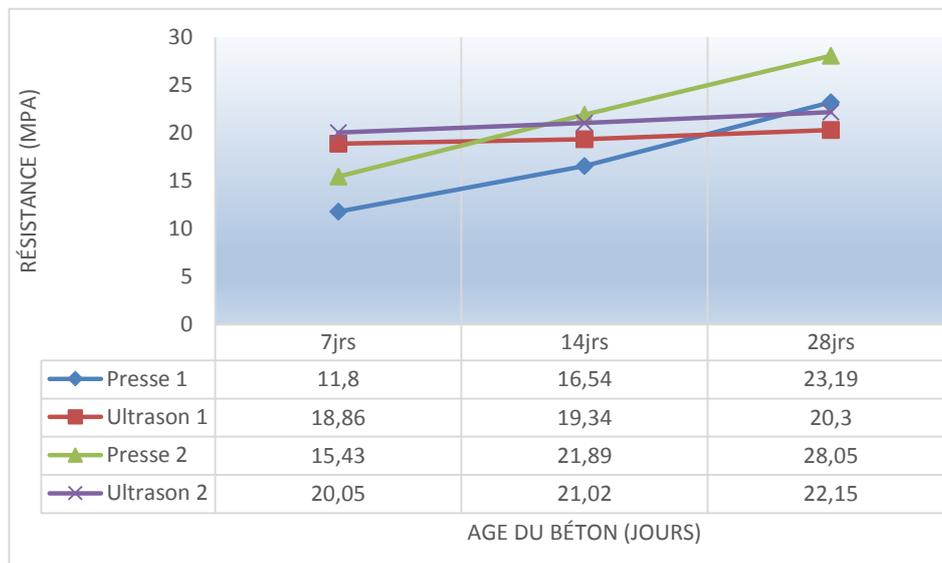
Temps (jours)	7	14	28
Presse « 1 »	9.7	14.33	22.09
Ultrason « 1 »	19.33	20.34	20.90
Presse « 2 »	13.67	18.49	25.89
Ultrason « 2 »	20.67	21.50	23.07

Figure IV.7 : Les Courbes de la variation de la résistance en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées.

► *Courbe d'éprouvette (10x10x2.5)*



► *Courbe d'éprouvette (10x10x7)*



► **Courbe d'éprouvette (10x10x16)**



➤ **Fréquence de pointe**

► **L'éprouvette (10x10x2.5)**

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Presse « 1 »	15.53	21.85	28.21
Ultrason « 1 »	16.90	16.90	16.98
Presse « 2 »	18.77	24.72	31.45
Ultrason « 2 »	16.96	16.96	17.19

► **L'éprouvette (10x10x7)**

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Presse « 1 »	11.8	16.54	23.19
Ultrason « 1 »	17.34	17.34	17.42
Presse « 2 »	15.43	21.89	28.05
Ultrason « 2 »	17.59	17.59	17.67

► **L'éprouvette (10x10x16)**

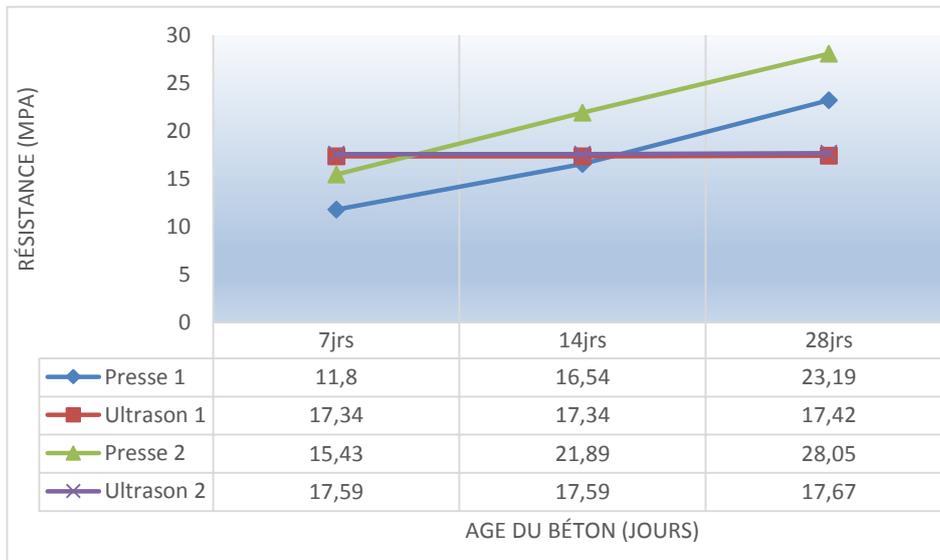
Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Presse « 1 »	9.7	14.33	22.09
Ultrason « 1 »	17.94	18.00	18.08
Presse « 2 »	13.67	18.49	25.89
Ultrason « 2 »	18.66	18.84	19.36

Figure IV.8 : Les Courbes de la variation de la résistance en fonction de l'âge du béton selon les deux compositions pour les deux méthodes utilisées.

► **Courbe d'éprouvette (10x10x2.5)**



► **Courbe d'éprouvette (10x10x7)**



► *Courbe d'éprouvette (10x10x16)*



Commentaire :

On remarque que pour les deux premiers âges (7 et 14 jours) les résistances déterminées les ultrasons sont supérieures à celles déterminées par écrasement. A 28 jours la tendance s'inverse et de manière plus importante.

IV.3.5 Corrélation entre la vpu et la résistance en compression (effet de la composition):

Dans cette partie de travail on essaye de présenter la corrélation entre la vpu et la résistance en compression obtenue par écrasement en fonction de l'âge du béton pour les trois types d'éprouvettes (2.5 cm / 7 cm / 16 cm) et pour les deux compositions.

Tableaux IV.7 : Relations entre les vpu et les résistances en compression en fonction de l'âge du béton pour les deux compositions.

➤ **Fréquence 24 KHz :**

► **L'éprouvette (10x10x2.5)**

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	2394	2675	3060
Résistance « 1 »	15.53	21.85	28.21
Vitesse « 2 »	2443	2691	3151
Résistance « 2 »	18.77	24.72	31.45

► **L'éprouvette (10x10x7)**

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	2714	3015	3336
Résistance « 1 »	11.8	16.54	23.19
Vitesse « 2 »	2851	3199	3583
Résistance « 2 »	15.43	21.89	28.05

► **L'éprouvette (10x10x16)**

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	3078	3317	3725
Résistance « 1 »	9.7	14.33	22.09
Vitesse « 2 »	3214	3402	3940
Résistance « 2 »	13.67	18.49	25.89

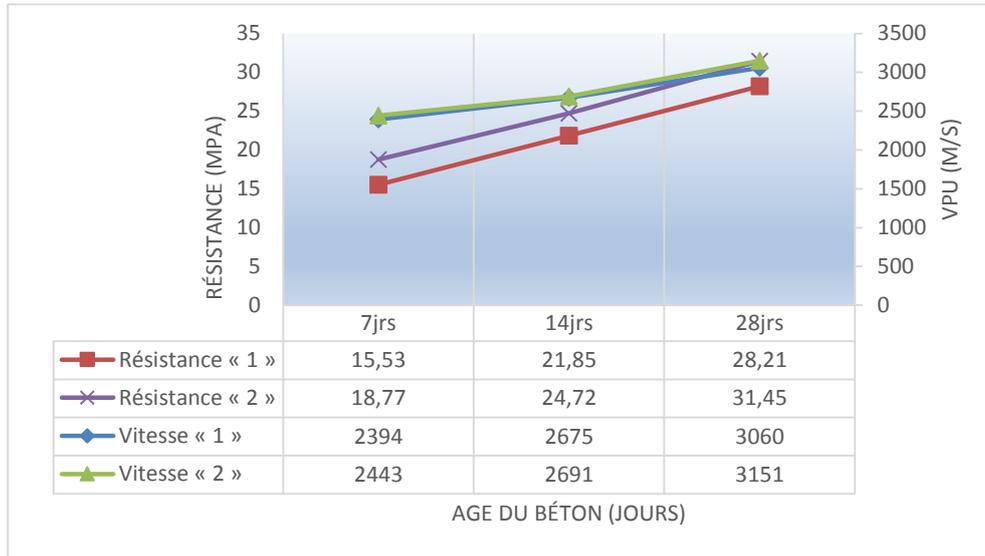
Remarque

Résistance « 1 » = la valeur de résistance de composition N° 01 en MPa

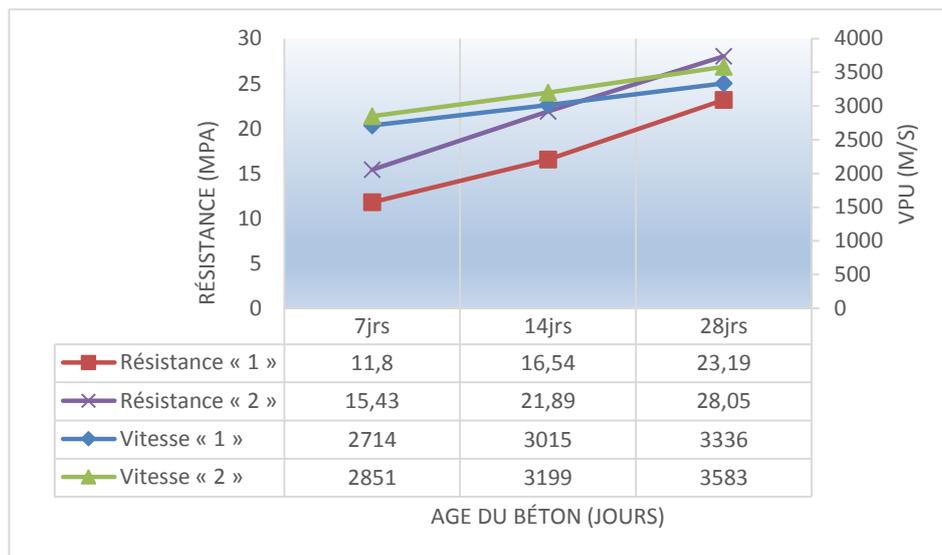
Vitesse « 1 » = La moyenne de la vitesse de composition N° 01 en m/s

Figure IV.9 : Les Courbes de la corrélation entre la vpu et la résistance en compression de la fréquence 24KHz :

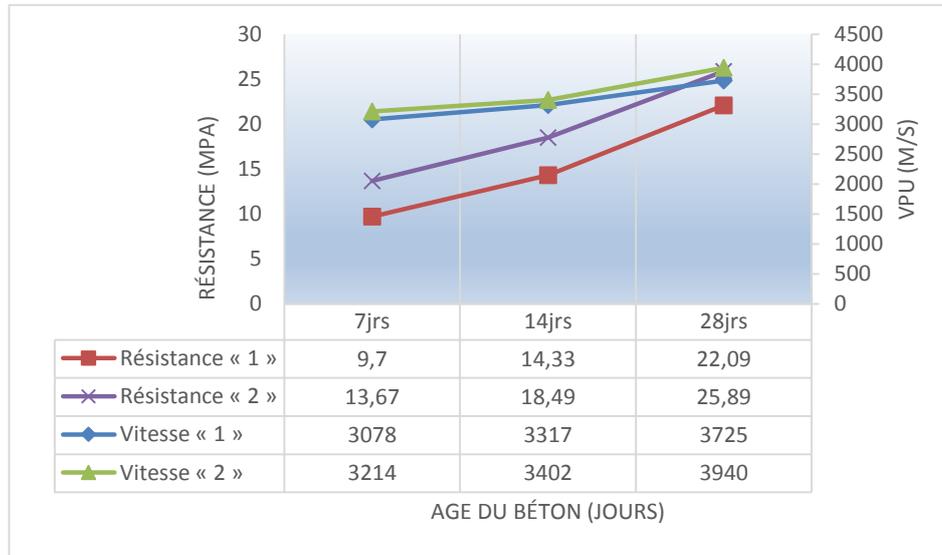
► Courbe d'éprouvette (10x10x2.5)



► Courbe d'éprouvette (10x10x7)



► Courbe d'éprouvette (10x10x16)



➤ Fréquence 54 KHz :

► L'éprouvette (10x10x2.5)

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	2692	2754	3479
Résistance « 1 »	15.53	21.85	28.21
Vitesse « 2 »	2765	2782	3655
Résistance « 2 »	18.77	24.72	31.45

► L'éprouvette (10x10x7)

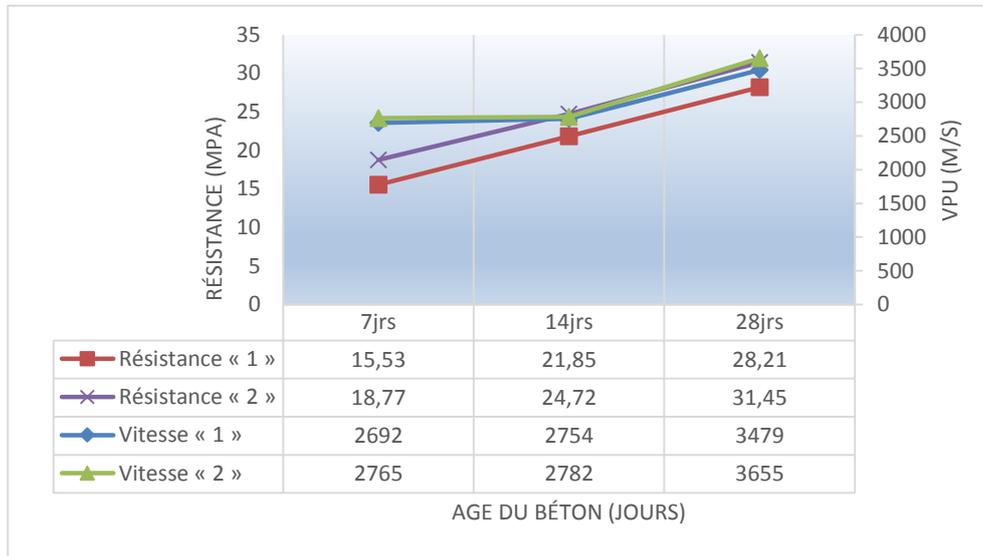
Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	3413	3802	4114
Résistance « 1 »	11.8	16.54	23.19
Vitesse « 2 »	3535	4005	4355
Résistance « 2 »	15.43	21.89	28.05

► *L'éprouvette (10x10x16)*

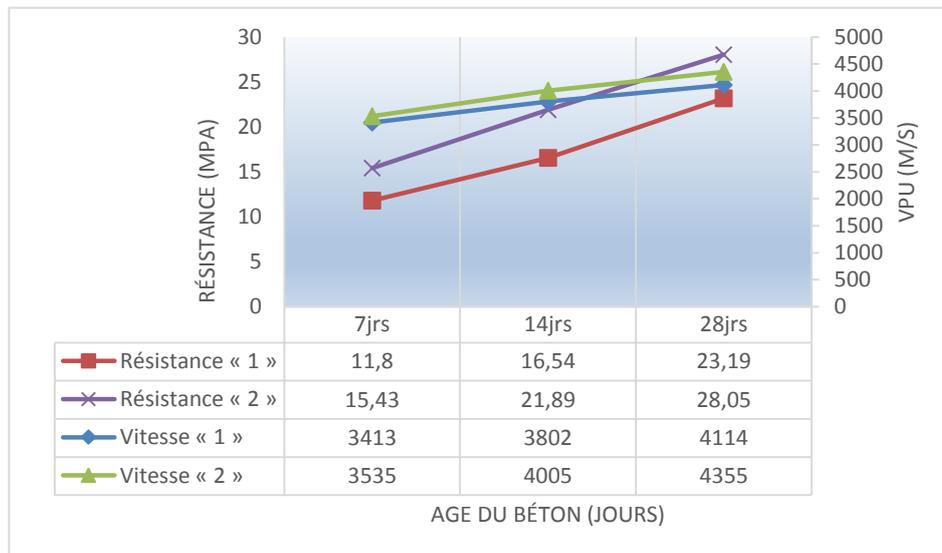
Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	3587	3942	4375
Résistance « 1 »	9.7	14.33	22.09
Vitesse « 2 »	3758	4231	4604
Résistance « 2 »	13.67	18.49	25.89

Figure IV.10 : Les Courbes de la corrélation entre la vpu et la résistance en compression de la fréquence 54KHz :

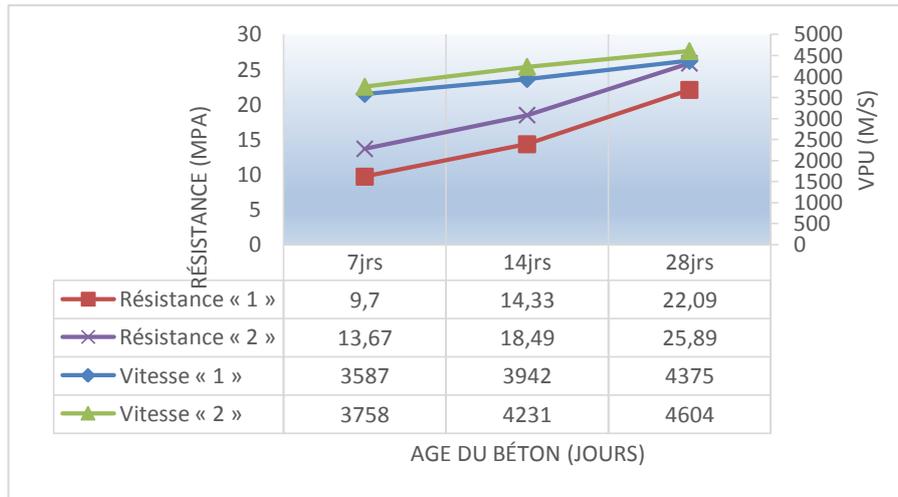
► *Courbe d'éprouvette (10x10x2.5)*



► *Courbe d'éprouvette (10x10x7)*



► *Courbe d'éprouvette (10x10x16)*



➤ *Fréquence 150 KHz :*

► *L'éprouvette (10x10x2.5)*

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	2482	2697	3259
Résistance « 1 »	15.53	21.85	28.21
Vitesse « 2 »	2604	2761	3394
Résistance « 2 »	18.77	24.72	31.45

► *L'éprouvette (10x10x7)*

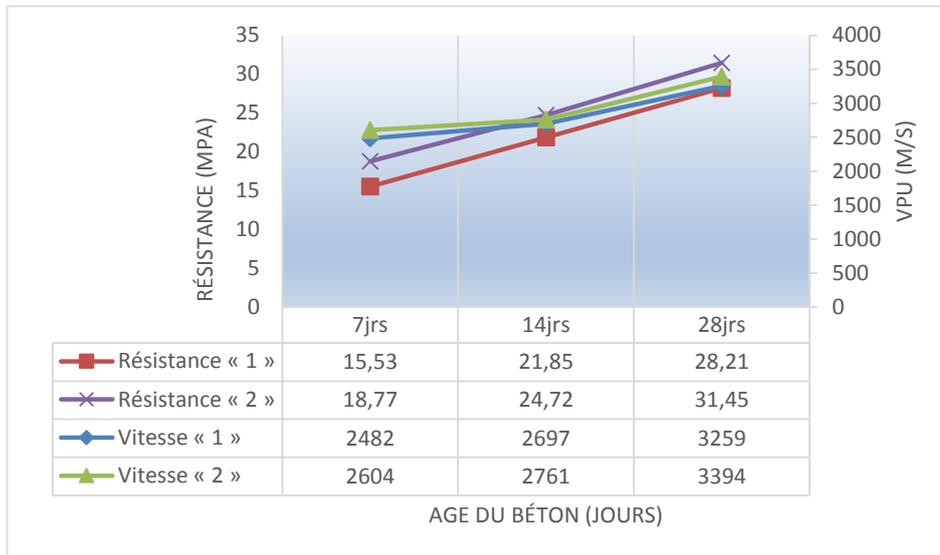
Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	3021	3324	3832
Résistance « 1 »	11.8	16.54	23.19
Vitesse « 2 »	3191	3580	3968
Résistance « 2 »	15.43	21.89	28.05

► *L'éprouvette (10x10x16)*

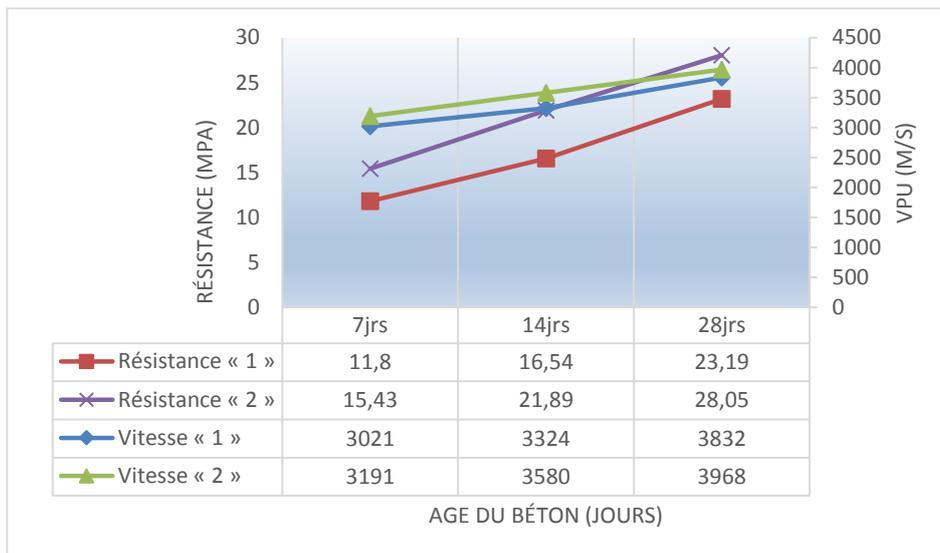
Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	3315	3653	4109
Résistance « 1 »	9.7	14.33	22.09
Vitesse « 2 »	3447	3754	4245
Résistance « 2 »	13.67	18.49	25.89

Figure IV.11 : Les Courbes de la corrélation entre la vpu et la résistance en compression de la fréquence 150KHz :

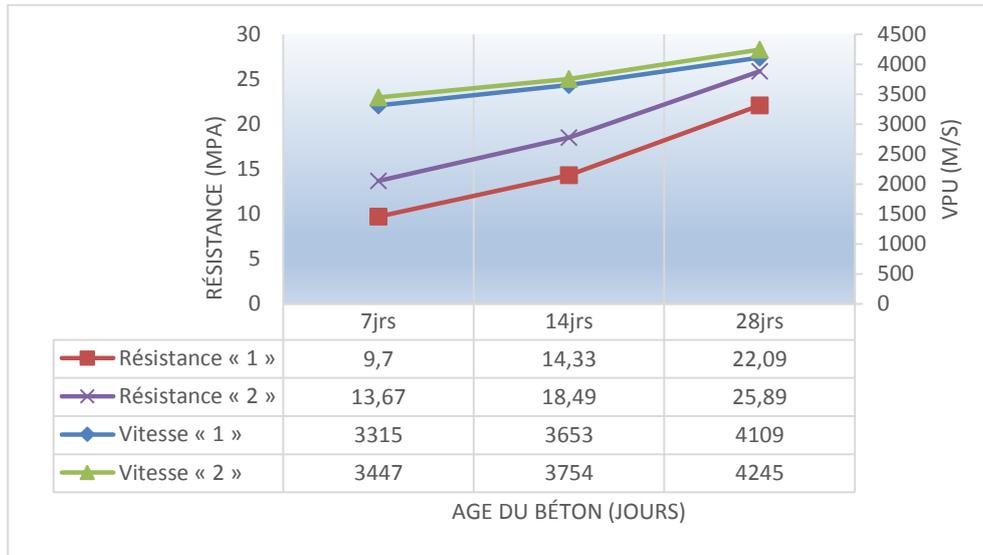
► *Courbe d'éprouvette (10x10x2.5)*



► *Courbe d'éprouvette (10x10x7)*



► *Courbe d'éprouvette (10x10x16)*



➤ *Fréquence de pointe :*

► *L'éprouvette (10x10x2.5)*

Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	956	950	1110
Résistance « 1 »	15.53	21.85	28.21
Vitesse « 2 »	925	928	1265
Résistance « 2 »	18.77	24.72	31.45

► *L'éprouvette (10x10x7)*

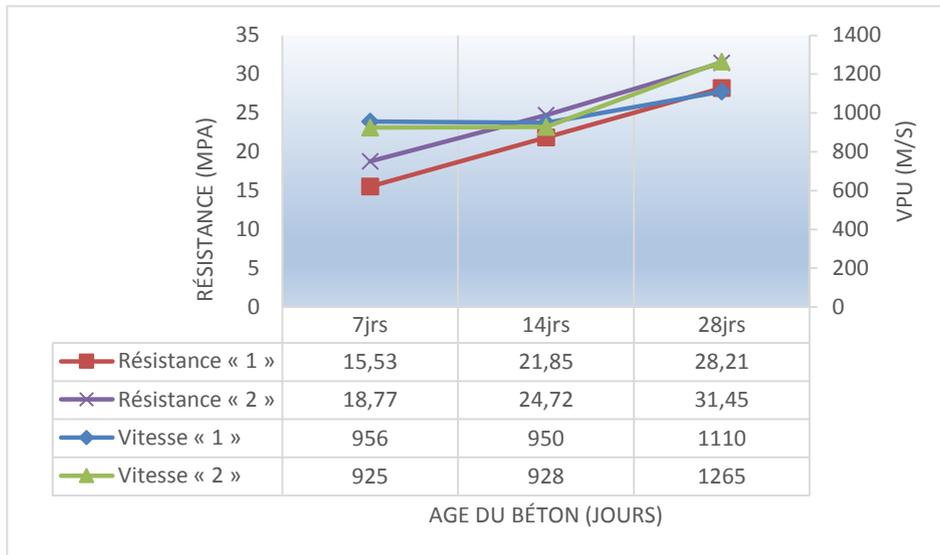
Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	1676	1679	1780
Résistance « 1 »	11.8	16.54	23.19
Vitesse « 2 »	1697	1701	1770
Résistance « 2 »	15.43	21.89	28.05

► *L'éprouvette (10x10x16)*

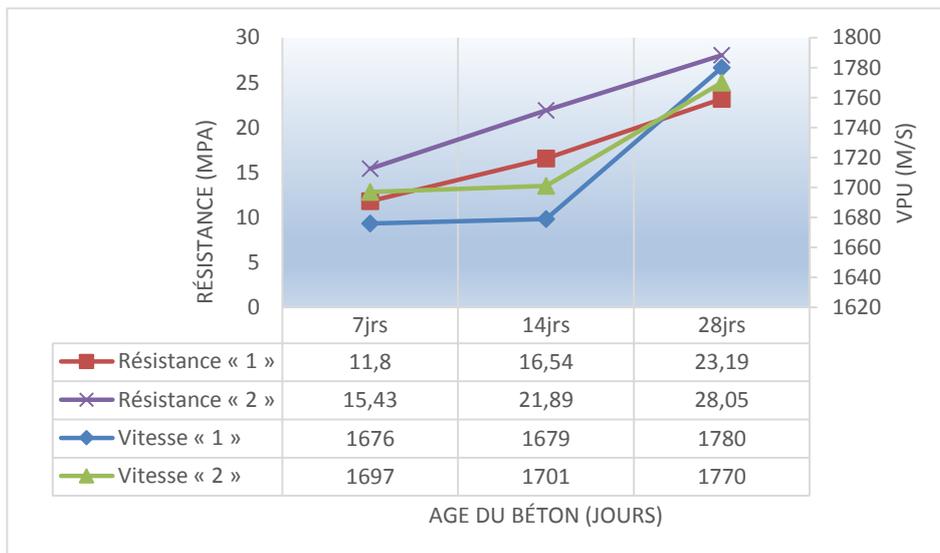
Temps (jours)	7	14	28
Méthodes			
Vitesse « 1 »	2316	2372	2445
Résistance « 1 »	9.7	14.33	22.09
Vitesse « 2 »	2488	2595	2870
Résistance « 2 »	13.67	18.49	25.89

Figure IV.12 : Les Courbes de la corrélation entre la vpu et la résistance en compression de la fréquence de la pointe :

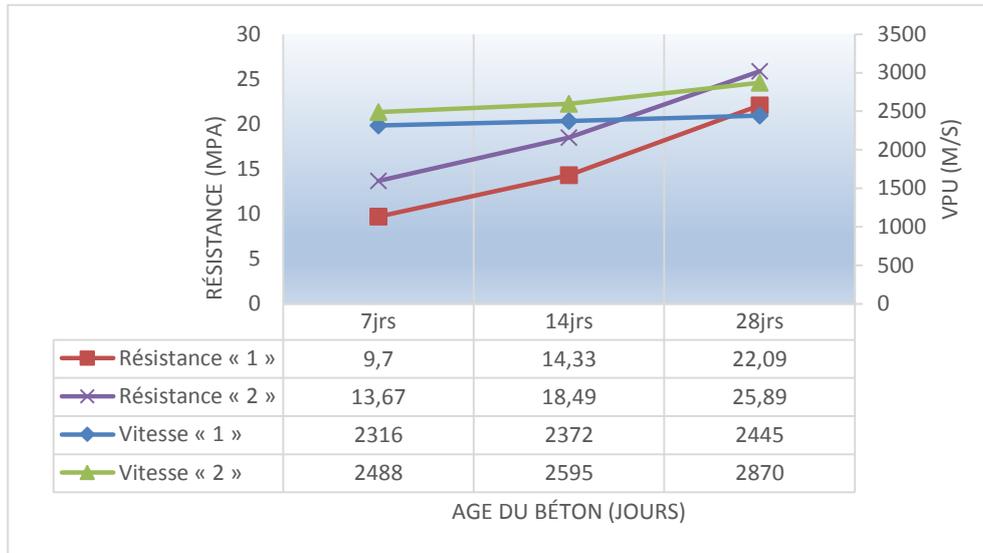
► *Courbe d'éprouvette (10x10x2.5)*



► *Courbe d'éprouvette (10x10x7)*



► *Courbe d'éprouvette (10x10x16)*



Commentaire :

On note que les vitesses évoluant de manière similaire à celle des résistances avec des variations entre les deux compositions proches à 28 jours mais différentes à 7 et 14 jours. A ces deux derniers âges, l'influence de la composition est plus importante dans le cas de la résistance que dans celle des vitesses

IV.3.6 Corrélation entre la vpu et la résistance en compression (effet du parcours)

La fréquence est le nombre de périodes par unité de temps ce qui correspond à l'inverse de la période $f=1/T$ où f est la fréquence en Hertz

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période

Tableaux IV.8 : Corrélation entre les vpu et les résistances en compression

► **Parcours 2.5 cm**

Fréq / V / R		Temps (jours)		
		7	14	28
24Khz	V « 1 »	2394	2675	3060
	V « 2 »	2443	2691	3151
	R « 1 »	18.02	18.37	18.91
	R « 2 »	18.59	19.02	19.96
54Khz	V « 1 »	2692	2754	3479
	V « 2 »	2765	2782	3655
	R « 1 »	18.39	18.47	19.62
	R « 2 »	19.16	19.19	21.22
150Khz	V « 1 »	2482	2697	3259
	V « 2 »	2604	2761	3394
	R « 1 »	18.13	18.40	19.23
	R « 2 »	18.86	19.15	20.53
De pointe	V « 1 »	956	950	1110
	V « 2 »	925	928	1265
	R « 1 »	16.90	16.90	16.98
	R « 2 »	16.96	16.96	17.19

Remarque

$V \ll 1 \gg =$ La moyenne de la vpu de composition N° 01 en m/s

$R \ll 1 \gg =$ la valeur de résistance de composition N° 01 en MPa

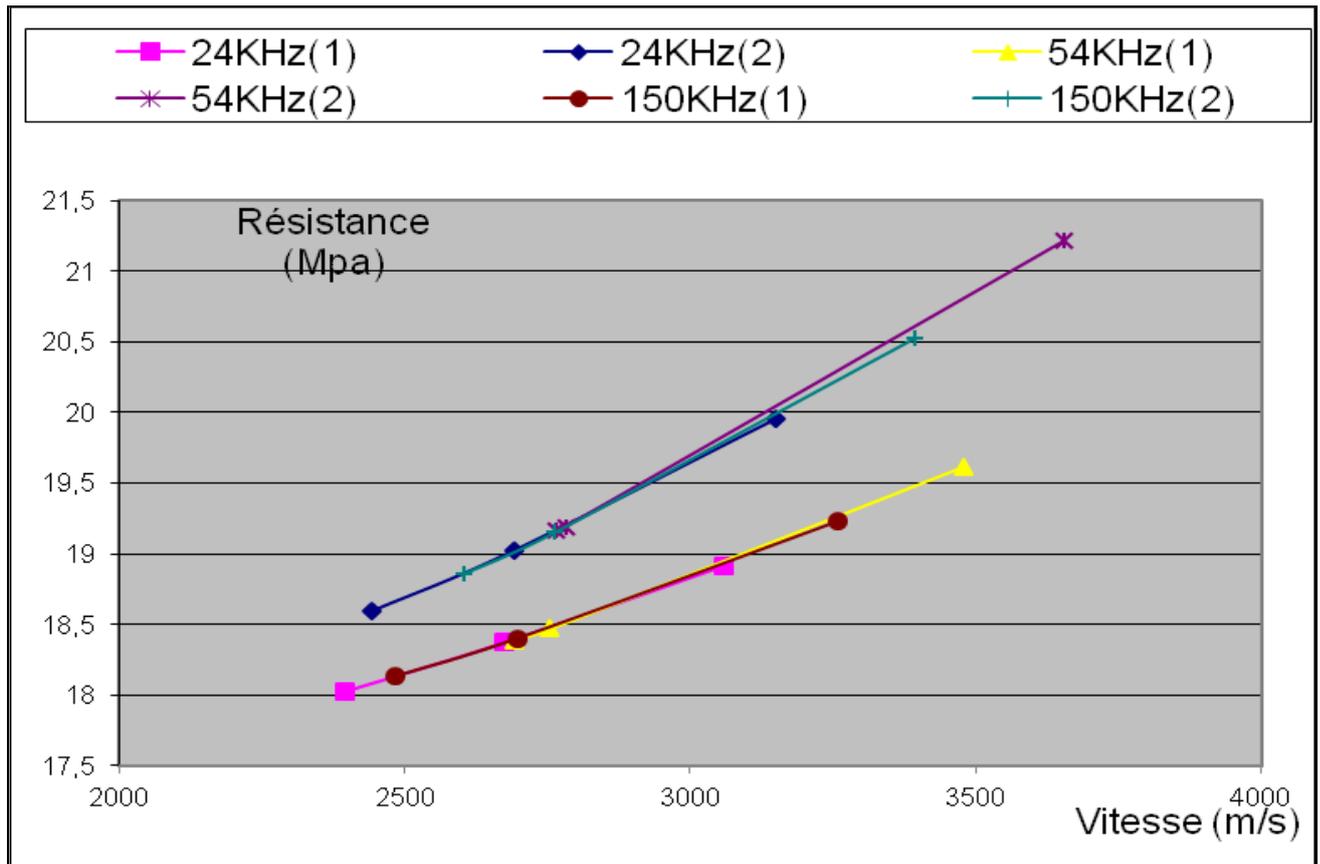


Figure IV.13 : Relations vpu-résistances pour différentes fréquences pour le parcours de 2,5cm

► *Parcours 7 cm*

Fréq / V / R		Temps (jours)		
		7	14	28
24Khz	V « 1 »	2714	3015	3336
	V « 2 »	2851	3199	3583
	R « 1 »	18.42	18.85	19.36
	R « 2 »	19.32	20.07	21.02
54Khz	V « 1 »	3413	3802	4114
	V « 2 »	3535	4005	4355
	R « 1 »	19.50	20.24	20.92
	R « 2 »	20.90	22.27	23.47
150Khz	V « 1 »	3021	3324	3832
	V « 2 »	3191	3580	3968
	R « 1 »	18.86	19.34	20.30
	R « 2 »	20.05	21.02	22.15
De pointe	V « 1 »	1676	1679	1780
	V « 2 »	1697	1701	1770
	R « 1 »	17.34	17.34	17.42
	R « 2 »	17.59	17.59	17.67

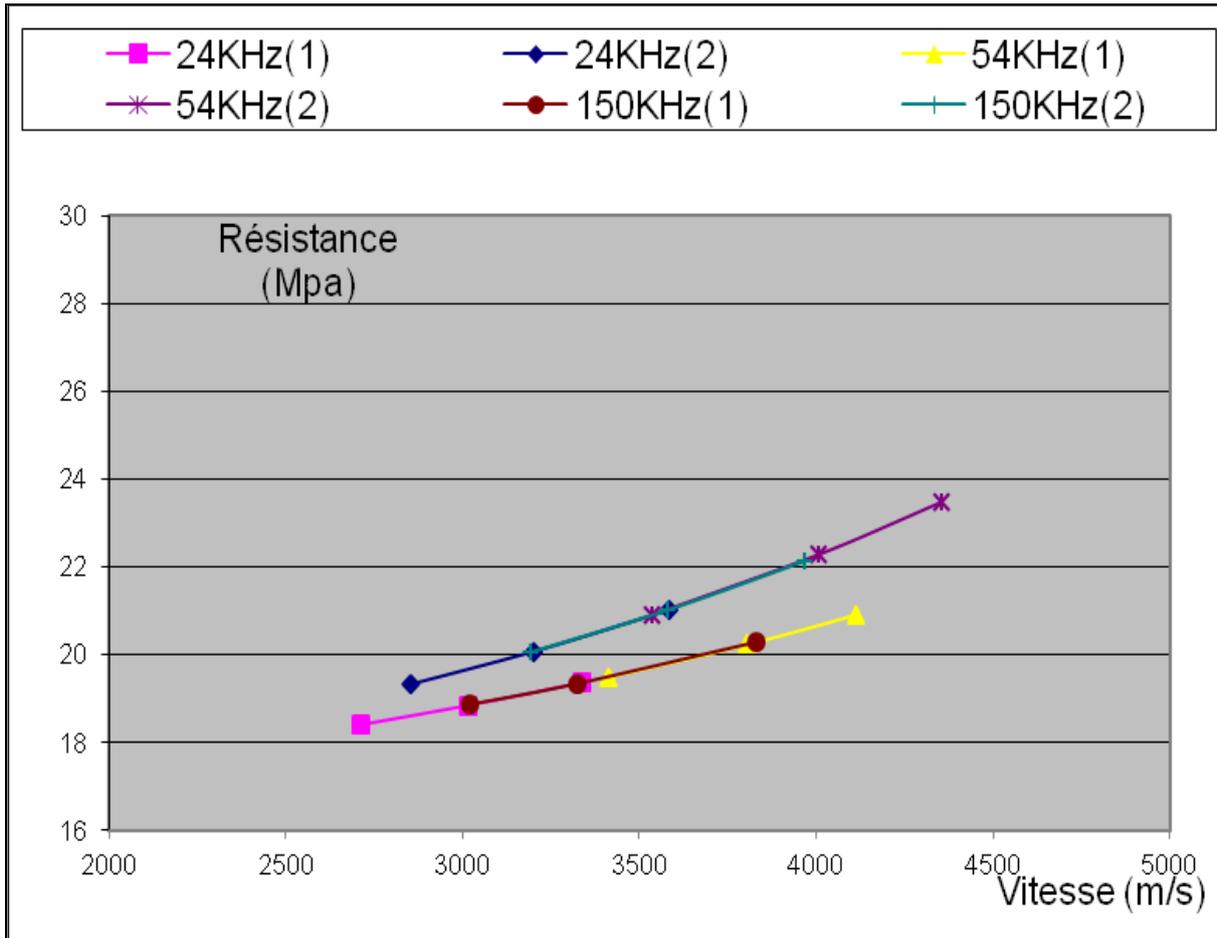


Figure IV.14 : Relations vpu-résistances pour différentes fréquence pour le parcours de 7 cm

► *Parcours 16 cm*

Fréq / V / R		Temps (jours)		
		7	14	28
24Khz	V « 1 »	3078	3317	3725
	V « 2 »	3214	3402	3940
	R « 1 »	18.94	19.33	20.08
	R « 2 »	20.10	20.55	22.06
54Khz	V « 1 »	3587	3942	4375
	V « 2 »	3758	4231	4604
	R « 1 »	19.82	20.54	21.54
	R « 2 »	21.52	23.02	24.43
150Khz	V « 1 »	3315	3653	4109
	V « 2 »	3447	3754	4245
	R « 1 »	19.33	20.34	20.90
	R « 2 »	20.67	21.50	23.07
De pointe	V « 1 »	2316	2372	2445
	V « 2 »	2488	2595	2870
	R « 1 »	17.94	18.00	18.08
	R « 2 »	18.66	18.84	19.36

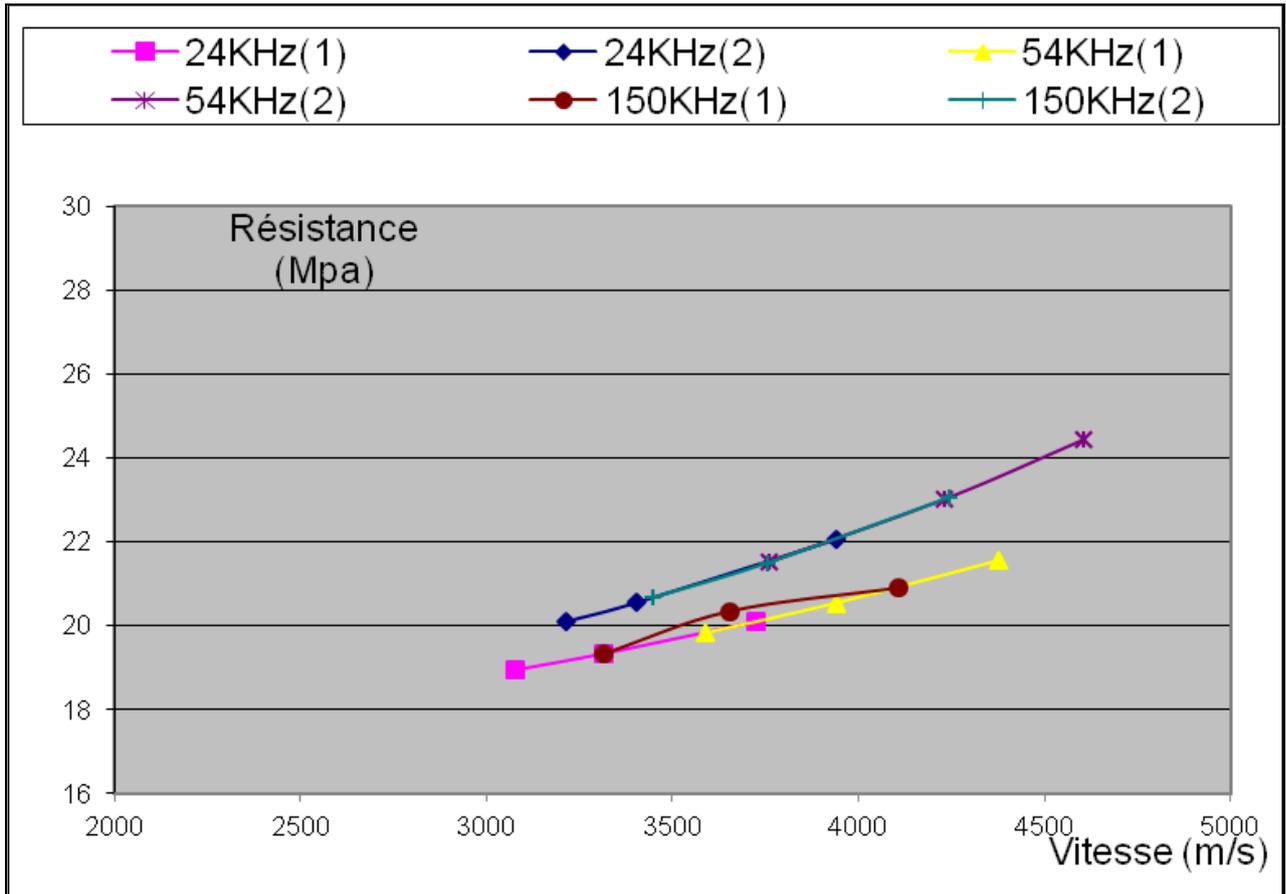


Figure IV.15 : Relations vpu-résistances pour différentes fréquences pour le parcours de 16 cm

Commentaire :

On remarque bien que la vpu est un bon indicateur de l'évolution de la résistance du béton. Cependant, les bétons durcis présentent des vpu plus rapides que les bétons au jeune âge à cause d'une densité plus grande, et plus la longueur d'onde est grande, plus la fréquence est faible. A l'inverse, plus elle est faible, plus la fréquence est élevée.

L'effet du parcours joue aussi un rôle dans l'acquisition des vitesses. On observe que les vitesses augmentent avec l'augmentation du parcours de transmission pour toutes les fréquences et les compositions.

Conclusion

L'étude expérimentale a concerné l'étude de l'effet de la variation des fréquences des transducteurs sur l'évolution de la vitesse de propagation des ondes en mode direct.

- Les essais ont été conduits en procédant à la variation de la composition de béton et à la variation du parcours de transmission.

- On remarque à partir des résultats obtenues que les résistances déterminées en fonction des ultrasons évoluent au cours de l'augmentation de l'âge des bétons, les augmentations les plus faibles sont obtenues pour les fréquences de 24 KHz et pour un parcours de transmission de 2.5 cm.

- Les augmentations les plus importantes sont obtenues pour les fréquences de 54 KHz et pour un parcours de 16 cm

- Les résultats obtenus montrent aussi l'effet de la fréquence sur la propagation des ondes, on observe, pour toutes les configurations, une augmentation des vitesses passant de la fréquence 24 KHz à 54KHz, puis une rechute lors de l'utilisation de la fréquence de 150 KHz.

- Les augmentations varient de 1% à 10 % pour le passage de 24 KHz à 54KHz, et les rechutes de 5 % à plus de 9 % donc la fréquence conduisant à la meilleur vitesse (donc à la meilleur résistance) est celle de 54 KHz, cette fréquence est la plus fréquemment utilisée.

- La composition du béton joue un rôle dans la transmission des ultrasons. Il est connu que la vitesse augmente en fonction de la densité c'est ce qu'on remarque dans les résultats des vitesses et résistances des deux compositions. En ce qui concerne les vitesses, le fait de passer d'un dosage de 350 Kg /m³ à 440Kg/m³ fait augmenter la vitesse respectivement de 3%, 4%, et 8 % à 7j, 14 et 28j pour le parcours de 2,5 cm (fréquence 54 KHz) et de 7% ;10% et 12% à 7j, 14 et 28j pour le parcours de 7 cm (fréquence 54 KHz), et enfin 8%, 12% et 13% 7j, 14 et 28j pour le parcours de 16 cm (fréquence 54 KHz)

- On note que les vitesses évoluant de manière similaire à celle des résistances avec des variations entre les deux compositions proches à 28 jours mais différentes à 7 et 14 jours. A ces deux derniers âges, l'influence de la composition est plus importante dans le cas de la résistance que dans celle des vitesses

- On remarque que pour les deux premiers âges (7 et 14 jours) les résistances déterminées les ultrasons sont supérieures à celles déterminées par écrasement. A 28 jours la tendance s'inverse et de manière plus importante.

- On remarque bien que la vpu est un bon indicateur de l'évolution de la résistance du béton, Cependant, les bétons durcis présentent des vpu plus rapides que les bétons au jeune âge à cause d'une densité plus grande, et plus la longueur d'onde est grande, plus la fréquence est faible. A l'inverse, plus elle est faible, plus la fréquence est élevée

- L'effet du parcours joue aussi un rôle dans l'acquisition des vitesses. On observe que les vitesses augmentent avec l'augmentation du parcours de transmission pour toutes les fréquences et les compositions.

Perspectives

Les perspectives de cette modeste étude expérimentale concernent les aspects suivants :

- ❖ Une étude statistique plus riche (nombre d'éprouvettes testées)
- ❖ Plusieurs compositions S/(S+G), E/C.
- ❖ Variation des granulats (concassés, roulés).
- ❖ Des dosages en ciment plus importants.
- ❖ La détermination des résistances des différents bétons
- ❖ Plusieurs fréquences (élargir la bande fréquentielle)

Bibliographie

- [C.Y] : **Y. Chérait** « Contribution à l'étude et l'optimisation des bétons renforcés de fibres de fontes »-Thèse de doctorat, INSA, Lyon France 1991.

-[J-p M] : **Jean-Pierre Moujin** «béton armé BAEL 91 et DTU associés » Page 75-76

-[B-W] -[B-Z]: **Ben taleb Wahid – Baali Zineb** «étude d'un tan de structure mixte contreventé par voiles » mémoire d'ingénieur. Université de Guelma 2007

-[C.Y]-[N.Z] : **Dr. Cherait Yacine – Mr. Nafa. Z** « éléments de matériaux de construction et essais »

-[M.B] : Mohammed El Amin BOUAKKAZ CARACTERISATION DU BETON PAR LES METHODES NON DESTRUCTIVES – APPLICATION DE LA METHODE DE FREQUENCE DE RESONANCE universite tlemcene

-[M.A] : Mehamedia Ali «Contrôle du béton par des essais non destructifs » mémoire de Mastère Université de Guelma 2010.

-[G.D] [J.F] :**G. Dreux et Jean Festa** «nouveau guide du béton et ces conditions», Editions Eyrolles page271-272

-[R.D] [R.L] : **R.Dupain, R.Lanchon, J-C.Saint.Arroman**, “granulats, sols, ciments et bétons” Editions Casteilla. Page 180-181

-[F.G]: **F. Gorisse** « Essais et contrôle des bétons », Editions Eyrolles, 1978 P 122-125

-[H.R]: **Harbi Radhia** « comportement mécanique et durabilité des mortiers à base de déchet de briques » mémoire de magister en génie civil. Université de Guelma 2009

-[N.K]: **N. Khaldi** « détermination des propriétés des bétons par influence de la composition sur la résistance et le module élastique » mémoire de magister. Université de Guelma 2005.

- [NET] 1: [[http://www.brutdebeton.com/wp-content/uploads/delightful-downloads/2014/07/La_formulation_du_beton %C3%A9ton.pdf](http://www.brutdebeton.com/wp-content/uploads/delightful-downloads/2014/07/La_formulation_du_beton%C3%A9ton.pdf)].
- [NET] 2 : (<http://www.infociments.fr/betons/composition/constituants/granulats>)
- [NET] 3 : <http://www.larefer.org/mat%C3%A9riaux/aide.html>

- [NET] 4 : http://www.brutdebeton.com/wp-content/uploads/delightful-downloads/2014/07/La_formulation_du_b%C3%A9ton.pdf
- [NET] 5 : <http://www.epandt.com/produits.html>

- [NET] 6 : <http://www.lerm.fr/lerm/moyens/equipement/m.equip.mach.essai.site.html>