

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

**UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU**



**FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION**

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

## **MEMOIRE DE MASTER RECHERCHE**

*Spécialité : Génie Civil*

*Option : Structures*

**Thème**

# **Analyse Expérimentale de la Dégradation d'un Elément en Béton en service**

*Promoteur :*

**M' H.DEHMOUS**

*Réalisé par :*

**Melle CHIBANI Ferroudja**  
**Melle HADDOUM Saida**

**- Promotion 2017/2018-**

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

**UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU**



**FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION**

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

## **MEMOIRE DE MASTER RECHERCHE**

*Spécialité : Génie Civil*

*Option : Structures*

**Thème**

# **Analyse Expérimentale de la Dégradation d'un Elément en Béton en service**

*Réalisé par :*

*Melle CHIBANI Ferroudja*

*Melle HADDOUM Saida*

*Devant Le Jury :*

*MM. HANNACHI*

*Président*

*Professeur à U.M.M.T.O*

*MM. MEHADDANE*

*Examineur*

*Professeur à U.M.M.T.O*

**- Promotion 2017/2018-**

# Remerciements

*Nous tenons à exprimer notre gratitude vis-à-vis des différents acteurs qui nous ont aidés de loin ou de près à la réalisation de cette mémoire, et qui méritent ici d'être remerciés. À cet effet, il nous est tout naturel d'exprimer notre reconnaissance à notre promoteur, monsieur DEHMOUS Hocine, non seulement pour son soutien pédagogique, et financier mais aussi pour la confiance qu'il nous a accordée tout au long du projet*

*Au personnel du laboratoire de l'université de Mouloud MAMMERRI TIZI OUZOU qui nous ont facilité la tâche et ont contribué à la réalisation de nos essais; plus particulièrement Melle BABACI Amina, Madame BENAHMED Fadhila et Monsieur BOUHRAOUA.*

*Nous remercions aussi les enseignants et les employés du Département Génie Civil de l'Université de MOULOUD MAMMERRI de TIZI OUZOU.*

*Ainsi que les étudiants de la promotion M2 2018, option STRUCTURE.*



## *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A la femme la plus chère au monde pour moi, celle qui m'a donné la vie, ma mère Djouhra. Ma moindre réussite est le fruit de son sacrifice.*

*Merci pour tous les dévouements à tes enfants pour qu'ils puissent grandir en prospérité. Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de l'âge, de la santé, de la vie, au bien-être de tes enfants. Merci tout simplement d'être ...ma mère.*

*A mon frère Younes, qui n'a jamais cessé de m'encourager et croire en mes capacités.*

*A mes deux adorables sœurs. Taous et Nassima, elles m'ont toujours soutenu dans mes durs moments, qui ne m'ont jamais laissé tomber.*

*A mon ami Rafik qui a été toujours à mes côtés et qui m'a beaucoup aidé avec ses conseil qui m'ont été précieux.*

*Je dédie aussi ce travail à ma défunte grand-mère Daouia, dont j'aurais souhaité sa présence.*

*A Ouahid l'époux de ma sœur Nassima.*

*A mes nièces Aya, Imane, et Alicia et mes neveux Aimou et Axsil.*

*Saida*



## *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A mes très chers parents, ma mère Chabha et mon père Iddir, qui ont toujours sus me soutenir durant tous le long de mes études.*

*Merci pour tous les dévouements à vos enfants pour qu'ils puissent grandir en prospérité. Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de l'âge, de la santé, de la vie, au bien-être de vos enfants. Merci tout simplement d'être ...mes parents.*

*A mon grand-père maternel Mokrane, qui a toujours sus m'encourager.  
A mes adorables sœurs Kahina, chafea et Laitmas, qui ont pus être à mes cotés.*

*A mes très chères sœurs Miassa et Samira et leurs époux, Ramdhan et Amar, qui ont toujours crus en mes capacités.*

*A mon ami Khelifa qui a toujours été à mon cotés et qui n'a jamais cessé de m'encourager.*

*A mes neveux Lahlou et Ilyes et à ma petite nièce Ilynas.*

*A tous mes amis qui ont toujours été disponible.*

*Ferroudja*

## Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur les pathologies du béton.....</b>	<b>3</b>
<b>I. Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>II. Les principales causes des pathologies du béton .....</b>	<b>4</b>
<b>II.1. Les causes dues à la mauvaise conception : .....</b>	<b>4</b>
<b>II.2. Les causes mécaniques et physiques : .....</b>	<b>6</b>
<b>II.3. Les causes chimiques : .....</b>	<b>7</b>
<b>II.4. Les causes physico-chimiques : .....</b>	<b>9</b>
<b>III. Les différents types de pathologies.....</b>	<b>13</b>
<b>III.1. Fissure : .....</b>	<b>13</b>
<b>III.2. Lézardes : .....</b>	<b>14</b>
<b>III.3.Faiénçage : .....</b>	<b>15</b>
<b>III.4.Lichen : .....</b>	<b>15</b>
<b>III.5. Le ressuage: .....</b>	<b>16</b>
<b>Chapitre II : Présentation du protocole expérimental .....</b>	<b>17</b>
<b>I. Introduction.....</b>	<b>18</b>
<b>II. Présentation des matériaux .....</b>	<b>18</b>
<b>II.1. Caractéristique du ciment : .....</b>	<b>18</b>
<b>II.2. Caractérisation des granulats : .....</b>	<b>18</b>
<b>III. Présentation des appareils .....</b>	<b>26</b>
<b>III.1. Ultrason : .....</b>	<b>26</b>
<b>III.2. La machine assistée par ordinateur flexion 3 points “IBERTEST” :.....</b>	<b>31</b>
<b>IV. Mise en place des éprouvettes .....</b>	<b>32</b>
<b>V. Caractérisation .....</b>	<b>33</b>
<b>VI. Présentation du cycle .....</b>	<b>36</b>

<b>Chapitre III : Résultats et interprétations .....</b>	<b>41</b>
<b>I. Introduction.....</b>	<b>42</b>
<b>II. RESULTATS .....</b>	<b>42</b>
<b>II.1. Ultrason : .....</b>	<b>42</b>
<b>II.2. Chargement : .....</b>	<b>42</b>
<b>II.3. Masses :.....</b>	<b>42</b>
<b>III. INTERPRETATIONS.....</b>	<b>43</b>
<b>III.1. vitesses d'ondes ultrasoniques: .....</b>	<b>43</b>
<b>III.2. Courbes chargement-courses (flèche): .....</b>	<b>46</b>
<b>III.3. Masses : .....</b>	<b>51</b>
<b>II.4. Estimation du Module de Young : .....</b>	<b>51</b>
<b>III.5. Corrélation qualitative courbe ultrason-courbe chargement (flèche): .....</b>	<b>54</b>
<b>IV. Conclusion .....</b>	<b>62</b>
<b>Conclusion générale et perspectives .....</b>	<b>63</b>
<b>Les références bibliographiques .....</b>	<b>66</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>67</b>

# Introduction générale

Le béton est un matériau de construction dont les origines remontent à l'aube de la civilisation européenne : il y'a plus de mille ans, les romains utilisaient comme liants la chaux vive, obtenue par le chauffage du calcaire. C'est grâce aux travaux de Smeaton, Vicat, Aspin, et Lambot, que la société moderne a connue un nouveau matériau de construction économique, maniable, et résistant bien à la compression. Ce matériau a permis aux ingénieurs et architectes de libérer les formes et d'échapper aux restrictions imposées par la pierre.

Malgré sa longue histoire, Le béton fait encore aujourd'hui l'objet de nombreuses études. Il est un matériau dont le comportement est complexe, notamment dans le cas de sollicitations extrêmes et dans différentes conditions climatiques. Actuellement, de nombreux travaux sont en cours pour caractériser le comportement du béton hors conditions standards, comme par exemple, dans un milieu agressive d'un point de vue chimique ou thermique.

Le béton est un matériau utilisé dans la réalisation des constructions et structure traditionnelles et préfabriquées (ouvrages d'art et des bâtiments), donc il est important de prendre toutes les précautions nécessaires afin de prévenir sa dégradation avant terme, ainsi assurer la sauvegarde des constructions futures. [1]

Le travail présenté dans le cadre de cette étude s'inscrit dans cette logique. Pour répondre à la problématique posée au part avant, notre travail sera organisé autour de trois chapitres :

Le chapitre 1 sera consacré à l'énumération des nombreuses pathologies des bétons et leurs causes qui écourtent la durée de vie des bâtiments et des ouvrages d'art.

Ensuite, dans le chapitre 2, sera présenté le protocole expérimental.

Le chapitre 3 sera consacré à l'interprétation des résultats obtenus.

Et enfin une conclusion générale qui va reprendre les principaux résultats dégagés lors de cette étude et qui rapporte les intérêts pratiques qui en découlent, et ouvre également à de nouvelles perspectives en terme d'expérimentation.

# **Chapitre I : Généralités sur les pathologies du béton**

## **I. Introduction**

La durabilité d'un ouvrage dépend de nombreux paramètres dont la qualité des conceptions, des matériaux utilisés, de sa réalisation ainsi que des diverses conditions d'usage, d'exploitation et de maintenance. Le béton résiste au temps qu'il fait et au temps qui passe. Mais les ouvrages en béton peuvent nécessiter des opérations de réparation ou de renforcement pour augmenter leur durée d'utilisation ou offrir de nouvelles fonctionnalités.

## **II. Les principales causes des pathologies du béton**

### **II.1. Les causes dues à la mauvaise conception :**

#### **II.1. a. Défauts de malaxage et coulage:**

- Un malaxage trop court ;
- Un déchargement très lent des malaxeurs à tambour non inclinable qui cause la ségrégation.
- Généralement l'équipe sur chantier essaye de couler le béton rapidement, laissant tomber librement le béton surtout lorsqu'on bétonne un élément d'une hauteur importante avec une forte densité de ferrailage, ce qui peut nuire à son homogénéité. [2]

#### **II.1.b. Défauts de coffrage et décoffrage :**

- L'absence d'écarteurs de coffrage peut engendrer.
- une insuffisance d'enrobage.
- Un coffrage qui n'est pas étanche permettant à une partie de ciment de s'échapper.
- Théoriquement, il faut laisser le coffrage le plus longtemps possible, car ils conservent l'humidité nécessaire au mûrissement du béton. Mais en pratique, l'entrepreneur enlève le coffrage le plus rapidement possible pour les employer dans un autre ouvrage. Certains éléments dépendent uniquement des coffrages pour supporter les charges appliquées et leurs propres masses pendant les premiers jours, surtout le cas des éléments soumis à la flexion (les dalles et poutres). Avec un ciment portland normal une période de mûrissement est de l'ordre de 7 jours, une période plus courte se traduit par une résistance et une durabilité amoindrie [2].

### II.1.c. Défauts de vibration :

- Une vibration trop brève ou pas assez puissante peut provoquer des défauts d'homogénéité.
- Vibration trop forte au-dessus des barres de diamètres importants placées trop près de la surface induit la fissuration précoce.
- Une vibration excessive produira une certaine ségrégation dans le mélange particulièrement dans les bétons assez fluides. [ 2]

### II.1.d. Défauts de cure :

- La vitesse d'hydratation étant plus grande durant les premiers jours, c'est à ce moment qu'on a le plus besoin d'un mûrissement (cure) convenable, car l'évaporation de l'eau est très importante si la cure est inadéquate, surtout les éléments minces où la dimension de la surface exposée favorise l'évaporation.
- La température élevée en été influence sur la vitesse d'hydratation du ciment. Plus la température est élevée, plus la durée d'ouvrabilité et le délai de mise en œuvre du béton frais sont courts. Un bétonnage par temps chaud (température extérieure > 35°C), accélère la prise et diminue rapidement la plasticité du béton et accroît la fissuration après la mise en œuvre.
- L'augmentation de la vitesse d'hydratation du ciment, crée des écarts de températures entre le cœur des pièces coulées et leur surface ce qui augmente la fissuration lors du refroidissement.
- Fissures dues au : retrait plastique, retrait du au séchage, différences de température et à la combinaison de ces facteurs.
- L'action de la température sur les matériaux au cours de durcissement (séchage naturel du béton) et les variations de teneur en eau entraînent des variations dimensionnelles anisotropes vraiment importantes, créant des contraintes supérieures à celles dues aux charges d'exploitation, ainsi des fissurations importantes dues au retrait de dessiccation.

- La baisse des résistances pendant la période des grandes chaleurs (juin, juillet, août et septembre), par perte d'affaissement. Cependant le coulage en été est déconseillé car le béton nécessite davantage d'eau de gâchage (E/C élevé) qu'en hiver et l'eau s'évapore rapidement en laissant les pores à l'intérieur du béton entraînant une baisse de résistance.
- Par temps chaud, la température du béton n'est pas la seule cause de l'évaporation de l'eau de gâchage, car le vent a une influence appréciable : plus la vitesse du vent est élevée, plus l'évaporation de l'eau de gâchage est importante.
- Il faut aussi tenir compte de l'humidité relative : plus le taux d'humidité de l'air est bas, plus l'évaporation de l'eau de gâchage est grande. [2]

## **II.2. Les causes mécaniques et physiques :**

### **II.2.a. Abrasion :**

Usure accompagnée d'une perte de matière consécutive au frottement d'un élément par un abrasif ou par le passage répétitif des piétons, véhicules et chariots industriels, etc. [2]

### **II.2.b. Erosion :**

Perte de matière résultant du frottement d'un corps solide et d'un fluide contenant des particules solides en suspension et en mouvement. [2]

### **II.2.c. Cavitation :**

Usure d'une structure hydraulique caractérisée par une perte de masse en présence de bulbes de vapeur qui se forment lors d'un changement brusque de direction d'un écoulement rapide de l'eau. [2]

### **II.2.d. Chocs :**

Le béton éclate sous l'effet de chocs produits par des engins de transport ou de levage, des outils. [2]



**Fig. I. 1. Fracture du tablier sans ruine [2]**

### **II.2.e. Surcharges :**

Il s'agit d'ouvrages ayant supporté des charges trop importantes qui ont entraîné des fissurations et des éclatements du béton. [2]

### **II.2.f. Le feu :**

Les très fortes élévations de température lors d'un incendie par exemple, entraînent un éclatement du béton. [2]

### **II.2.g. Cycle gel/ dégel :**

Après un nombre important de cycles gel/dégel, certains bétons peuvent se déliter en surface et se désagréger. C'est le cas des ouvrages de montagne, des chambres froides. [2]

## **II.3. Les causes chimiques :**

### **II.3.a. Alkali-réaction ou cancer du béton :**

Réaction qui se produit entre la solution interstitielle du béton, riche en alcalin, et certains granulats lorsqu'ils sont placés dans un environnement humide. Des gels gonflants apparaissent en développant des micros faïençages et un éclatement du béton. [2]

### **II.3.b. Réactions sulfatiques :**

Les sulfates proviennent essentiellement du milieu extérieur. Ces ions ne sont pas passifs vis-à-vis de la matrice cimentaire et conduisent à la formation de certains composés chimiques expansifs tels que : L'étringite, le gypse et la thaumasite. Ces composés provoquent le gonflement du béton créant en son sein des tensions qui engendrent des fissurations. [2]

### **II.3.c. corrosion :**

Attaque des matériaux par les agents chimiques. Sur les métaux, la corrosion est une oxydation. [2]

### **II.3.d. L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates:**

Lorsque les eaux de ruissellement ou l'humidité du milieu externe entrent en contact avec la pâte de ciment, elles tendent à lixivier (dissoudre) certains produits à base de calcium (surtout la chaux formée par l'hydratation du ciment). Ce processus peut diminuer les propriétés mécaniques des hydrates ou augmenter la porosité interne [2]

### **II.3.e. Action du gaz carbonique :**

L'atmosphère contient naturellement du dioxyde de carbone  $CO_2$ . La teneur moyenne de l'air en gaz carbonique est de 0,03%, et peut atteindre jusqu'à 0,10%. Cette teneur est fonction de la température, de la pression atmosphérique et de la pollution de l'endroit. Ce gaz carbonique est inerte vis-à-vis des bétons à l'état gazeux, se dissout facilement dans l'eau pour donner un acide faible de formule  $H_2CO_3$ .

Cette réaction irréversible précipite l'hydroxyde de calcium sous forme de sel insoluble. Le béton se carbonate et son pH diminue pour atteindre une valeur de 9. Dès que le front de carbonatation, parti du parement extérieur, atteint les armatures, celles-ci sont dépassivées du fait de l'abaissement du pH. L'oxyde protecteur disparaît et est remplacé par de nouveaux sels appelés rouille, dont le volume est 6 fois supérieur à celui de l'acier, d'où gonflement des armatures et éclatement du béton.

La valeur admise pour la profondeur de carbonatation est de 1 cm en 8 à 15 ans et 2 cm en 20 à 30 ans.

La résistance propre du béton n'est pas affectée par la carbonatation, seule, les armatures sont exposées au risque de corrosion. [3]



**Fig. I. 2. Rupture d'une canalisation survenue suite à la carbonatation des armatures [3]**

## **II.4. Les causes physico-chimiques :**

### **II.4.a. Retraits**

Le symptôme caractéristique de l'action du retrait sur un ouvrage est la fissuration qui peut être soit orientée, soit multidirectionnelle. Les différents types de fissures de retrait sont classés chronologiquement suivant leur ordre d'apparition :

- Fissures apparaissant une ou deux heures après le bétonnage et parfois visibles à travers l'eau de ressuage (encore appelées cassures de béton frais). Ces fissures sont provoquées par le tassement du béton frais dans les coffrages et le ressuage qui l'accompagne, ou par une sédimentation du béton résultant d'un défaut de compacité et provoquant un gradient vertical de l'ensemble des caractéristiques physiques et mécaniques. Elles sont relativement profondes et ouvertes (de l'ordre du millimètre), endommagent les surfaces horizontales et reproduisent souvent le tracé de la nappe supérieure de ferrailage (surtout lorsque les vibreurs ont touché les armatures). Elles s'accompagnent souvent de déflexions locales du béton au milieu des mailles du ferrailage.

- Fissures apparaissant juste après le décoffrage. Ces fissures affectent aussi bien les surfaces horizontales que les parements verticaux. Elles forment un maillage de quelques décimètres de côté reproduisant ou non le ferrailage sous-jacent et sont généralement fines et peu profondes lorsqu'elles sont occasionnées par le retrait

d'auto-dessiccation. Elles sont plus ouvertes lorsque le retrait thermique en est la cause, et peuvent même être traversantes dans le cas de pièces massives lorsque le ciment utilisé a une chaleur d'hydratation particulièrement élevée (la répartition non-linéaire de la température au sein d'une même pièce en béton provoquant des gradients thermiques dans l'épaisseur des parois ou des écarts de température entre les parties minces et épaisses, et donc des contraintes internes de retrait thermique).

- Fissures apparaissant plusieurs jours ou plusieurs mois après le décoffrage. Ces fissures présentent un faciès analogue aux fissures précédentes, et sont créées par le retrait de dessiccation encore appelé retrait à long terme. Ce retrait résulte du départ de l'eau en excès dans le béton en raison de la mise en équilibre hygrométrique de la structure en béton avec son milieu extérieur. La mise en équilibre dépend de l'épaisseur des pièces et nécessite de nombreuses années voire plusieurs décennies pour des tabliers de ponts.

Le phasage de bétonnage, l'existence de joints verticaux régulièrement espacés ou de supports horizontaux suffisamment lubrifiés, la qualité de la cure (toujours nécessaire), la conception du ferrailage de peau destiné à répartir la fissuration de retrait, la température et l'humidité relative du milieu environnant, le choix de la composition du béton (E/C, chaleur d'hydratation du ciment, adjuvants, ... ) sont autant de facteurs qui interviennent dans le développement de fissures de retrait. [4]

#### **II.4.b. Action des chlorures**

Les chlorures s'introduisent dans le béton, soit par le biais de ses constituants au moment de sa confection, soit ultérieurement, s'il est exposé à une atmosphère maritime ou en présence de sels de déverglaçage ou de déneigement. [4]



**Fig. I.3. Poutre située en bord de mer sous de l'agression des chlorures [3]**

## **II.4.c. Action des eaux :**

### **III.4.c.1 Action des eaux naturelles**

L'agressivité des eaux naturelles dépend de trois paramètres qui sont le pH, la dureté et la teneur en dioxyde de carbone agressif.

- le pH d'une eau indique son caractère acide ou basique. L'eau est acide lorsqu'elle renferme du dioxyde de carbone libre, des acides minéraux ou des sels d'acides forts et de bases faibles ; elle est basique si elle contient des carbonates, des bicarbonates et des hydroxydes.
- la dureté de l'eau, ou titre hydrotimétrique (TH), est théoriquement égale à la somme des concentrations en cations métalliques (à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène), mais, en pratique, elle est surtout due aux ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ .

Fréquemment, la dureté est définie par le titre alcalimétrique complet (TAC) qui est égal à la somme des concentrations en alcalis libres  $[\text{OH}^-]$ , carbonates  $[\text{CO}_3^{--}]$  et bicarbonates  $[\text{HCO}_3^{--}]$ .

- La teneur en dioxyde de carbone agressif, capable de dissoudre le calcaire, est établie en faisant le bilan des différents états du  $\text{CO}_2$  dissous dans l'eau:

$$\text{CO}_2\text{agressif} = \text{CO}_2\text{total dissous} - \text{CO}_2\text{équilibrant} - \text{CO}_2\text{lié}, [3]$$

### II.4.c.2. Action des eaux pures et eaux douces

Le contact avec les eaux douces (faiblement chargées en sels minéraux), dans les réservoirs, par exemple, ou les aéroréfrigérants (par ruissellement) se traduit par une élimination de la phase liante par dissolution progressive, et apparition du squelette granulaire. Les eaux pures et certaines eaux douces peu minéralisées (TAC < 1 méq/l, CO<sub>2</sub> agressif compris entre 15 et 30 mg/l et pH compris entre 5,5 et 6,5) sont classées dans la catégorie des environnements faiblement agressifs.

La dégradation débute par une dissolution de la portlandite puis, lorsque la portlandite a été dissoute, ce sont les silicates et les aluminates, moins solubles, qui sont attaquées. Elle se traduit par une érosion progressive de la surface dans les cas d'un contact superficiel de l'eau, mais elle peut entraîner un lessivage important du béton à cœur dans le cas de la pénétration d'eau sous l'effet d'un gradient de pression hydraulique (cas des barrages et des tunnels). Cependant, dans le cas où le renouvellement d'eau est limité, un processus de dissolution-précipitation est observé: ce processus entraîne la précipitation de carbonates au contact de la chaux non lessivée et accroît momentanément la compacité du béton. [3]



Fig. I. 4. Lixiviation de surface par les eaux douces [3]

### II.4.c.3. Action des eaux de mer

L'eau de mer est probablement un des milieux les plus agressifs qui soit pour le béton. Son attaque est le résultat de réaction plus au moins simultanées entre les sulfates, les chlorures et les constituants du ciment (C3A et Ca(OH)<sub>2</sub>). Les sels de magnésium (MgCl<sub>2</sub> et MgSO<sub>4</sub>) sont les plus agressifs. La substitution Mg<sup>++</sup> → Ca<sup>++</sup> se fait aisément dans la portlandite,

mais aussi dans les C-S-H qui se transforment progressivement en M-S-H, silicate de magnésium sans propriétés liantes [3]



**Fig. I.5. Fissuration d'une poutre en béton exposée aux eaux de mer [4]**

### **III. Les différents types de pathologies**

#### **III.1. Fissure :**

Fente visible affectant la surface d'une maçonnerie, d'un dallage, d'un appareil sanitaire, etc. Par convention, la fissure a entre 0.2 et 2mm de largeur; au-dessous il s'agit d'un faïencage ou d'un simple fil; au-dessus, la fissure est une lézarde. Dans leur majorité, les fissures n'ont qu'un inconvénient esthétique: fissure de retrait, ou de mouvement différentiel à la jonction de deux matériaux. Les fissures sont graves si elles portent atteinte à l'imperméabilité des parois (fissures Pénétrantes laissant passer l'eau de pluie à travers un mur exposé); plus graves encore sont les fissures traduisant un affaissement des fondations, ou des mouvements du sol. est important avant tout de souligner qu'il est impossible aujourd'hui d'éviter la fissuration du béton armé, que ce soit lors de la mise en œuvre, due par exemple au retrait de dessiccation ou sur le béton durci, dû au vieillissement du matériau. [4]



**Fig. I.6. Fissure d'un mur en béton [4]**

### **III.2. Lézardes :**

Les lézardes dans les briques et dans les joints de mortier sont causées par le tassement du sol sous une construction. Le sol peut être un "terrain rempli" où les vides ont été obturés sans qu'on laisse le remblayage se fouler convenablement. La glaise sous la fondation a pu sécher et rétrécir ou, peut-être, s'est déplacée sous l'effet d'une inondation. Le drainage ou l'imperméabilisation font peut-être défaut, ou la fondation a été érigée au-dessus de la ligne de gel. Le sol sous les maisons construites sur une colline se déplace quelquefois vers le bas de la pente. Le pourrissement et le séchage du bois peuvent occasionner des déplacements de terrain et les racines de gros arbres déplacer ou éventrer une fondation. Peu importe la cause, les lézardes causées par affaissement et qui ne sont pas réparées à temps se détériorent rapidement. [4]



**Fig. I. 7. Lézarde [4]**

### III.3.Faièncage :

Le phénomène de faièncage se manifeste à la surface du béton et affecte son apparence. Il est reconnaissable à la formation sur la dalle de fissures très minces, dont la dimension moyenne varie de 10 mm à 40 mm. Ces fissures se présentent en réseau x plus ou moins hexagonaux. Elles se développent rapidement, pouvant atteindre une profondeur de 3 mm, et apparaissent dans les jours suivant la finition du béton. Souvent, le faièncage est seulement visible lorsque la surface est mouillée et commence à sécher. Problème d'ordre esthétique, le faièncage affecte rarement la durabilité de la surface ou la résistance de la dalle de béton. [4]



**Fig. I. 8. Phénomène de faièncage [4]**

### III.4.Lichen :

Lichen est un champignon qui grandit avec les algues et se propage sur la roche, des arbres, béton et autres surfaces solides pour créer une substance de la croûte comme. Lichen est plus fréquent dans les climats humides et à proximité des plans d'eau, comme les lacs, les rivières, les ruisseaux ou des étangs. Nettoyage lichen hors du béton peut être un défi, mais il est possible de supprimer certains articles de la quincaillerie jumelé avec un nettoyage agressif. [4]



**Fig. I. 9. Lichen sur la structure [4]**

### **III.5. Le ressuage:**

Le ressuage est un type spécial de ségrégation où les particules solides ont un mouvement général inverse à celui du liquide. En fait, pendant la période dormante du béton, les particules solides qui sont plus denses que l'eau sédimentent. L'eau est ainsi chassée vers le haut dans le cas décoffrages imperméables.

Le ressuage est, avec la ségrégation, l'une des deux manifestations de la dégradation de l'homogénéité d'un béton frais. Dans le cas de la ségrégation, les grains présentent au cours du temps un mouvement relatif entre eux. Certains (les plus denses ou les plus volumineux) tombent alors que les autres (les fins ou ceux ayant une masse volumique réduite) remontent vers la surface

Le ressuage se présente sous sa forme normale ou localisée, une pellicule d'eau claire apparaît à la surface du matériau. Cette pellicule d'eau a, bien entendu, des conséquences sur la qualité du béton, qui peuvent être positives ou négatives selon la caractéristique considérée. Dans une optique d'amélioration constante de la qualité des bétons, la connaissance des causes du ressuage ainsi que de ces effets est primordiale. [4]

# **Chapitre II : Présentation du protocole expérimental**

## I. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter le protocole expérimental mis en place pour analyser la dégradation de nos éprouvettes en béton.

## II. Présentation des matériaux

### II.1. Caractéristiques du ciment :

La référence du ciment utilisé lors de la confection des éprouvettes est : CEM II/B 42.5 N NA 442. [5]

### II.2. Caractérisation des granulats :

Les granulats utilisés dans la formulation du béton sont des granulats concassés extraient d'une carrière, et leurs classes sont les suivants :

-Sable 0/3

-Gravier 3/8

-Gravier 8/15.

#### II.2.1 Equivalent de sable :

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propriété d'un sable ou d'un grave. Il est très important surtout pour les sols grenus de grains de diamètre inférieur à 0,5 mm. Il est noté par **ES** et il est exprimé en pourcentage (%).

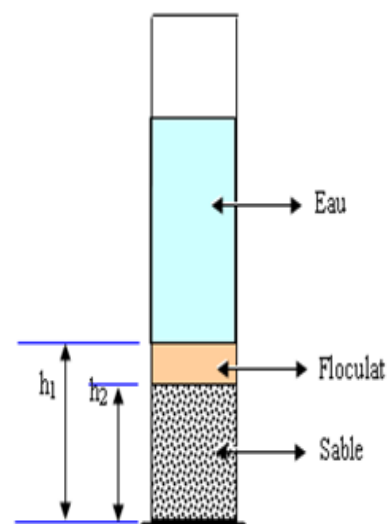


Fig. II. 1. Equivalent de sable

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une quantité d'eau dans une éprouvette graduée et agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable (séparer les fines particules contenues dans le sol) ; et ça se fait à l'aide d'un agitateur manuel durant 90 cycles par seconde.

- **Manipulation :**

**Mode opératoire :**

- Verser une quantité d'eau dans une éprouvette gradué jusqu'au premier trait.
- Peser une masse de sable de carrière sec  $M = 120\text{gr}$ , et la verser soigneusement à l'aide d'un entonnoir dans l'éprouvette qui contient de l'eau.
- Remuer bien l'éprouvette pour éliminer les bulles d'air en s'assurant que tous l'échantillon est bien mouillé.
- Boucher l'éprouvette avec un bouchon en caoutchouc, puis la fixer sur l'agitateur manuel.
- Faire tourner la manivelle qui fait 90 cycles par seconde pendant 30 secondes.
- Retirer l'éprouvette, enlever le couvercle, puis rajouter de l'eau jusqu'au deuxième trait.
- Placer l'éprouvette verticalement et laisser reposer pendant 20mn.
- Faire descendre lentement le long de l'éprouvette et l'immobiliser au contact du sable.
- Puis mesurer les hauteurs  $h_1$ ,  $h_2$ .

**Remarque :**

$h_1$  : hauteur du sable propre et du flocculat (cm).

$h_2$  : hauteur du sable propre (cm).

**Résultats et calculs :**

D'après l'essai effectué, les résultats sont les suivants :

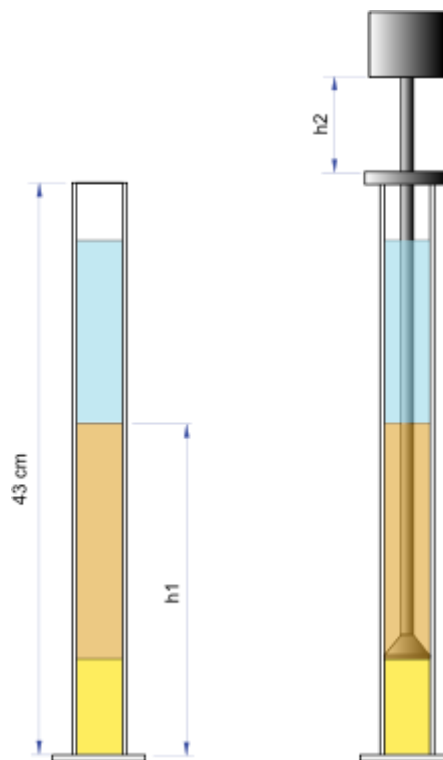
$$h_1 = 10.4\text{cm}$$

$$h_2 = 8.5\text{cm}$$

L'équivalent de sable s'obtient par l'équation suivante :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

$$ES = \frac{8.6}{10.4} * 100 = 82\%$$



Avec : ES : l'équivalent de sable (%).

$h_1$  : hauteur du sable propre et du flocculat (cm).

$h_2$  : hauteur du sable propre (cm).

Les préconisations en matière de propreté pour les sables utilisés dans les bétons sont les suivantes :

**Tab. II. 1. Définition de la nature et de la qualité du sable en fonction de ES**

<b>ES</b>	<b>Nature et qualité du sable</b>
<b>ES &lt; 60</b>	Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
<b>60 ≤ ES &lt; 70</b>	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
<b>70 ≤ ES &lt; 80</b>	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.
<b>ES &gt; 80</b>	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**Commentaire :**

**ES=82% >80%**

**Donc**

-Le sable très propre

-L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

-Plus l'équivalent de sable est proche de 100% plus le sable est propre plus il est bon pour les constructions de génie civil.

### II.2.2. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique est une étude qui permet de déterminer les diamètres et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

- **Module de finesse :**

Le module de finesse est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables.

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions des mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

- **Manipulation :**

#### **Remarque :**

La quantité de matériau à utiliser pour l'analyse granulométrique doit être assez grande pour que le matériau soit représentatif de l'ensemble, mais aussi assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable pour que les tamis ne soient pas saturés. Au laboratoire, l'échantillon doit être séché à l'étuve à 105°C, ou bien mélanger puis étaler sur un bac pour le faire sécher à l'air libre.

Pour le sable, la masse est de  $M=1000\text{gr}$

Pour le gravier 3/8, la masse est de  $M=1500\text{gr}$

Pour le gravier 8/15, la masse est de  $M=3000\text{gr}$

#### **Mode opératoire :**

-Emboîter les uns sur les autres les tamis ayant un maillage carré, de dimension d'ouvertures d'ordre croissant avec le fond étanche. Tel que pour :

Le sable, les tamis sont (0.08 0.160 0.315 0.63 1.25 2 3.15 5).

Le gravier 3/8, les tamis sont (2 3.15 4 5 6.3 8 10).

Le gravier 8/15, les tamis sont (6.3 8 10 12.5 16 20).

-Verser lentement la masse de l'échantillon sur la partie supérieure des tamis, -Fermer la colonne de tamis avec un couvercle pour éviter toute perte de matériaux pendant l'opération de tamisage.

-Mettre le tamiseur en marche pendant 4 à 5 minutes.



**Fig. II. 2. La tamiseuse**

-Prendre les masse present au niveau des différents tamis ; appelée aussi refus cumulé, et les pesés, une fois l'opération de tamisage terminée.



**Fig. II. 3. Peser des refus cumulé**

-Le refus cumulé a la base (fond) de la colonne de tamis est appelé tamisât et il sera aussi pesé.

**Remarque :**

-Les masses des différents refus et tamisât sont rapportés à la masse initiale du matériau, et la perte éventuelle de ce dernier pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% de la masse de l'échantillon.

Le même mode opératoire sera effectué pour le sable et les graviers.

**Résultats et calculs :**

- **Pour le sable :**

Les résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon de sable de masse  $M=1000\text{gr}$  sont données dans le tableau suivant :

**Tab. II. 2. Les résultats de l'analyse granulométrique pour le sable**

<b>Dimensions des tamis (mm)</b>	<b>Refus (Kg)</b>	<b>Refus cumulé (Kg)</b>	<b>Refus cumulés (%)</b>	<b>Tamisât cumulés (%)</b>
<b>5</b>	0.005	0.005	0.5	99.5
<b>3.15</b>	0.110	0.115	11.5	88.5
<b>2</b>	0.110	0.225	22.5	77.5
<b>1.25</b>	0.320	0.545	54.5	45.5
<b>0.63</b>	0.190	0.735	73.5	26.5
<b>0.315</b>	0.100	0.835	83.5	16.5
<b>0.16</b>	0.070	0.905	90.5	9.5
<b>0.08</b>	0.065	0.970	97	3
<b>Fond</b>	0.020	0.990	99	1

Les pourcentages des tamisât cumulés ou des refus cumulés vont être représentés sous forme d'une courbe granulométrique continue en fonction des diamètres d'ouverture des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique (pour les deux sable).

Le module de finesse est calculé avec l'équation suivante :

$$M_F = \frac{\sum(\text{refus cumulés sur les tamis } 0,16;0,315;0,63;1,25;2,5;5\text{mm})}{100}$$

$$M_F = \frac{(0.5+22.5+54.5+73.5+83.5+90.5)}{100} = 3.25\%$$

Déduit la nature du granulat si le module de finesse est introduit dans les intervalles suivants :

**Pour  $2.2 < M_F < 2.8$  : bon sable à Béton** de bonne résistance avec risque ségrégation limités.

**Pour  $1.8 < M_F < 2.2$  :** le sable a **une majorité d'éléments fins**, le béton formulé avec ses sables nécessite un dosage en eau élevé.

**Pour  $2.8 < M_F < 3.2$  :** le sable manque d'éléments fins (grossier) et le béton formulé avec ses sables perd en ouvrabilité.

**Commentaire :**

On a :  $M_F = 3.25 > 3.2$ .

- **Pour le gravier 3/8**

Les résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon de gravier de masse  $M = 1.5 \text{Kg}$  sont données dans le tableau suivant :

**Tab. II. 3. Les résultats de l'analyse granulométrique pour le gravier 3/8**

<b>Dimensions des tamis (mm)</b>	<b>Refus (gr)</b>	<b>Refus cumulé (gr)</b>	<b>Refus cumulés (%)</b>	<b>Tamisât cumulés (%)</b>
<b>10</b>	0	0	0	100
<b>8</b>	0.005	0.005	0.33	99.67
<b>6.3</b>	0.06	0.065	4.33	95.67
<b>5</b>	0.540	0.605	40.33	59.67
<b>4</b>	0.380	0.985	65.67	34.33
<b>3.15</b>	0.330	1.315	87.67	12.33
<b>2</b>	0.090	1.405	93.67	6.33
<b>fond</b>	0.095	1.500	100	0

- Pour le gravier 3/8

Les résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon de gravier de masse M=3Kg sont données dans le tableau suivant :

Tab. II. 4. Les résultats de l'analyse granulométrique pour le gravier 8/15

Dimensions des tamis (mm)	Refus (gr)	Refus cumulé (gr)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
20	0	0	0	100
16	0.100	0.100	3.33	96.67
12.5	0.455	0.555	18.5	81.5
10	0.720	1.275	42.5	57.5
8	0.610	1.885	62.83	37.17
6.3	0.245	2.13	71	29
fond	0.870	3.000	100	0

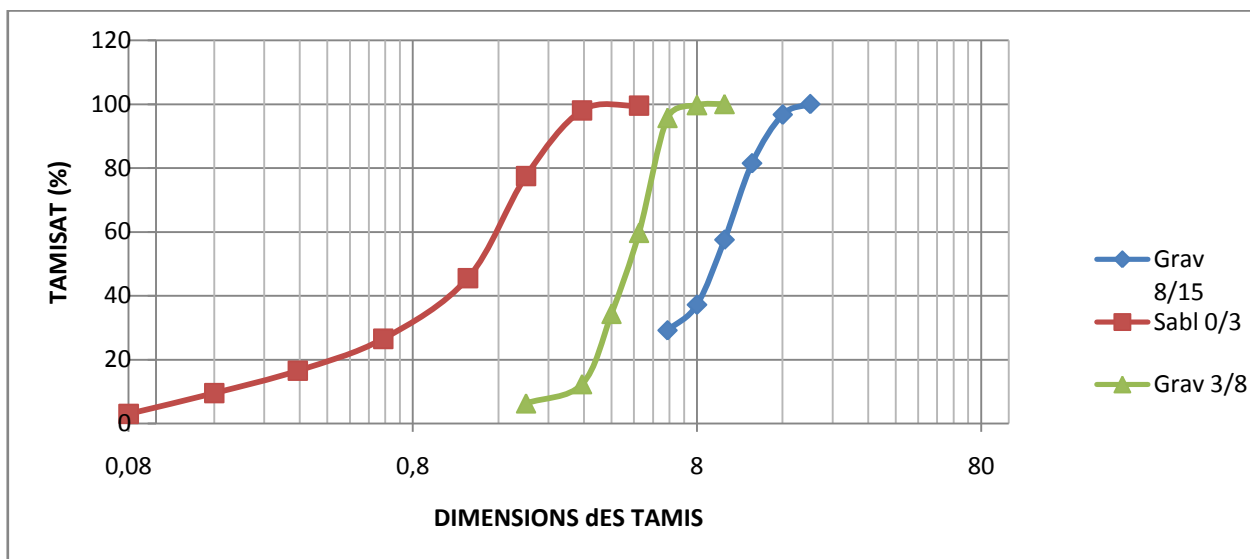


Fig. II. 4. Les courbes de l'analyse granulométrique des granulats des différents granulats

❖ La formulation:

La formulation du béton utilisée pour la confection des éprouvettes (10\*10\*40) est une formulation classique. Les quantités utilisées pour 1m<sup>3</sup> de béton sont les suivantes :

-Le ciment : 350 Kg/m<sup>3</sup>

-Le sable 0/3 : 621 Kg/m<sup>3</sup>

-Le gravier 3/8 :  $370 \text{ Kg/m}^3$

-Le gravier 8/15 :  $850 \text{ Kg/m}^3$

-L'eau :  $182 \text{ Kg/m}^3$

### III. Présentation des appareils

#### III.1. Ultrason :

L'appareil de test ultrasonique Pundit Lab est un appareil d'acquisition de données et d'analyse de signal. Il utilise le principe de temps de transit pour les mesures de profondeur de fissure et la vitesse de surface et la longueur de trajet dans les structures de béton.

- Logiciel Pundit link fournis
- Mesure du temps de transit:  $0,1 - 9999 \mu\text{s}$  avec intervalle automatique
- Résolution :  $0,1 \mu\text{s}$
- Bande passante du récepteur :  $20 \text{ kHz} - 500 \text{ kHz}$  [6]



Fig. II. 5. L'appareil de test ultrasonique Pundit Lab [6]

- **Principe :**

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

Cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes à travers un élément en béton par différentes mesures. La méthode de mesure utilisée dans cet essai est la mesure en transparence (directe).

L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation. L'étalonnage consiste à vérifier le temps de propagation à travers la tige étalon dont le temps est connu à l'avance.

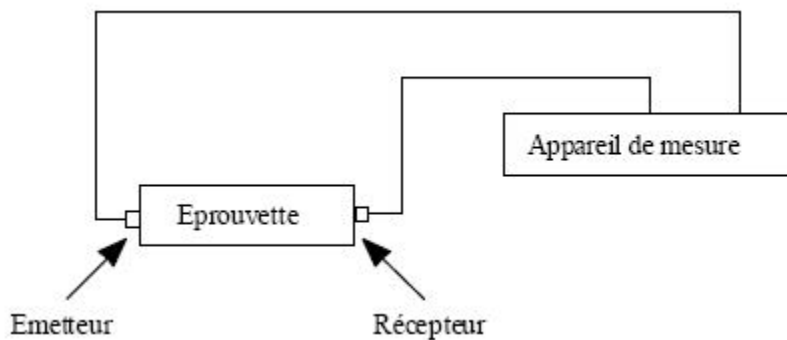


Fig. II. 6. Schéma de la mesure directe de l'ultrason [7]

- **Les méthodes de mesures :**

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester :

- **Mesure en Transparence (directe):**

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester.

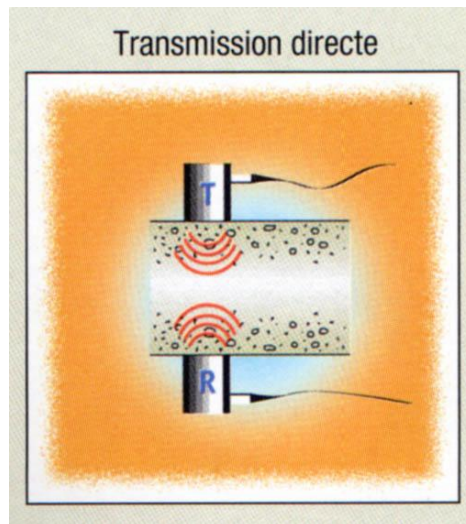


Fig. II. 7. Mesure en transparence (directe) [7]

▪ **Mesure en surface (indirecte) :**

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

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

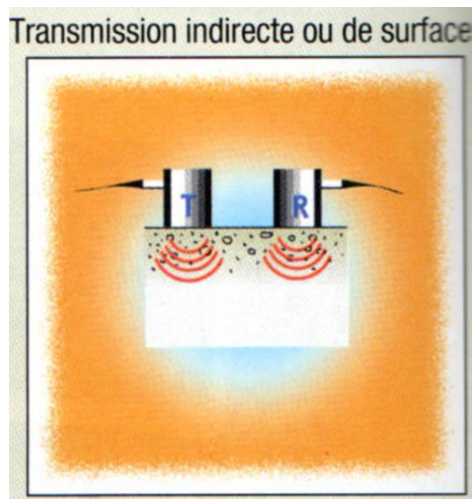


Fig. II. 8. Mesure en surface (indirecte) [7]

▪ **Mesure semi-directe :**

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure où les deux autres manières ne sont pas utilisables. [5]

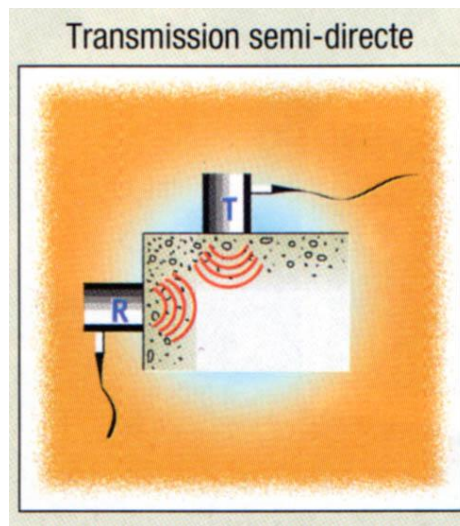


Fig. II. 9. Mesure semi-directe [7]

- **Les avantages :**

- C'est une méthode idéale pour déterminer l'homogénéité du béton.
- L'essai peut être utilisé autant sur les ouvrages complétés que sur ceux en construction.
- La mesure des ondes sonores présente l'énorme avantage de donner des informations sur l'intérieur d'un élément de béton. Selon Chung et Law (1983) l'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour détecter la fissuration (mais les fissures parallèles au déplacement de l'onde), les vides, les détériorations dues au gel ou de feu et l'uniformité du béton dans des éléments semblables. L'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour suivre les changements microstructuraux dans un élément par exemple à la suite de cycles répétés de gel/dégel.
- Elvery et Ibrahim (1976) et pendant leurs études sur la relation de la vitesse et la résistance dans plusieurs âges ont montrés que l'essai peut aussi être utilisé pour évaluer la résistance du béton à très jeune âge, à partir de trois heures et plus, ce qui peut être intéressant dans le domaine de la préfabrication du béton ou comme outil de décision pour déterminer le moment adéquat des opérations de décoffrage.

- **Les inconvénients :**

-Ces essais ne sont toutefois pas aussi efficaces pour évaluer la résistance à cause du grand nombre de variables influençant la relation entre la résistance et la vitesse de propagation des impulsions.

-La précision des résultats est fonction de la précision de l'étalonnage et de l'uniformité de la composition du béton de l'ouvrage et du béton des éprouvettes utilisées pour l'étalonnage.

-Dans l'essai de propagation des ultrasons la propriété du béton que l'on mesure est affectée par divers facteurs dont l'influence est différente de ce qu'elle est dans la résistance effective du béton.

-L'utilisation de cette méthode, si elle a bénéficié de grandes simplifications n'est donc justifiée que pour les personnes compétentes en matière d'appareillage et de connaissance du matériau de béton et aussi au courant des précautions à prendre.[8]

- **Paramètres influents la vitesse de propagation :**

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le béton résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du module d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton. Par ailleurs, la résistance du béton ne dépend pas nécessairement du dosage en gros granulats ou de leur module d'élasticité. Cependant pour un granulats donné et une composition donnée, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir :

- Le type et Le dosage en ciment
- La nature des granulats
- La granulométrie
- L'humidité du béton
- La maturité du béton
- Les adjuvants [7]

### III.2. La machine assistée par ordinateur flexion 3 points “IBERTEST” :



Fig. II. 10. Appareil à flexion trois points

#### IV. Mise en place des éprouvettes

- Préparer les matériaux nécessaires
- Huiler les moules
- Peser toutes les quantités nécessaires



Fig. II. 11. Les quantités de matériaux nécessaires pour le coulage des éprouvettes

- Mettre les quantités de gravier (3/8 et 8/15), le sable et le ciment dans le malaxeur
- Mélanger a sec pendant 30 secondes
- Rajouter ensuite l'eau de gâchage progressivement en mélangeant
- S'assurer que toutes les particules de ciment soient humidifiées



Fig. II. 12. : Malaxage des matériaux à sec et avec l'ajout de l'eau

- Mettre les moules sur la table vibrante et les remplir de béton
- Allumer la table vibrante pendant 30 secondes en de reprise
- Araser à la surface et bien lisser la face externe de l'éprouvette



**Fig. II. 13. Coffrage des éprouvettes**

- Laisser le béton durcir pendant 24 heures pour décoffrer
- Laisser les éprouvettes à l'air libre jusqu'à ce que le béton atteigne 28 jours



**Fig. II. 14. Les 21 éprouvettes issues des 3 coulages à l'air libre**

## V. Caractérisation

A 28 jours, les éprouvettes sont soumises à un essai non destructif CND ; c'est-à-dire à l'ultrason, puis à l'essai de flexion afin de déterminer la capacité portante des éprouvettes.

Dans le tableau ci-dessous nous présentons les résultats des mesures des vitesses de propagation des ultrasons et la charge limite en flexion 3 points des différentes éprouvettes testées pour la caractérisation du béton confectionnés.

Tab. II.5 : Mesure ultrason et charge limite en flexion trois points

Eprouvettes	Ultrason à 28 j		F [KN]	F <sub>mov</sub> [KN]	F <sub>max</sub> [KN]
<b>T5</b>	<b>A</b>	4274	8.36	7.412	<b>6.376</b>
	<b>B</b>	4464			
	<b>C</b>	4405			
	<b>D</b>	4405			
	<b>E</b>	4525			
<b>T6</b>	<b>A</b>	4237	6.52		
	<b>B</b>	4269			
	<b>C</b>	4484			
	<b>D</b>	4587			
	<b>E</b>	4608			
<b>T7</b>	<b>A</b>	4175	7.356		
	<b>B</b>	4329			
	<b>C</b>	4525			
	<b>D</b>	4348			
	<b>E</b>	4425			
<b>T12</b>	<b>A</b>	4224	5.14		
	<b>B</b>	4234			
	<b>C</b>	4608			
	<b>D</b>	4484			
	<b>E</b>	4464			
<b>T13</b>	<b>A</b>	4357	8.35		
	<b>B</b>	4362			
	<b>C</b>	4608			
	<b>D</b>	4484			
	<b>E</b>	4608			
<b>T14</b>	<b>A</b>	4343	5.00		
	<b>B</b>	4162			
	<b>C</b>	4608			
	<b>D</b>	4545			
	<b>E</b>	4694			
<b>T15</b>	<b>A</b>	4283	5.58		
	<b>B</b>	4357			
	<b>C</b>	4608			
	<b>D</b>	4831			
	<b>E</b>	4608			
<b>T16</b>	<b>A</b>	4474	5.73		
	<b>B</b>	4499			
	<b>C</b>	4902			
	<b>D</b>	4717			
	<b>E</b>	4785			
<b>T17</b>	<b>A</b>	4376	5.32		
	<b>B</b>	4435			
	<b>C</b>	4608			
	<b>D</b>	4717			
	<b>E</b>	4878			

L'objectif de ce tableau est d'indiquer l'ordre de grandeur des vitesses ultrason des éprouvettes testées. Ajouter à cela, ce tableau indique la charge limite en flexion 3 points de ces éprouvettes témoins.

Les courbes des écrasements effectués pour les neuf éprouvettes sont les suivantes :

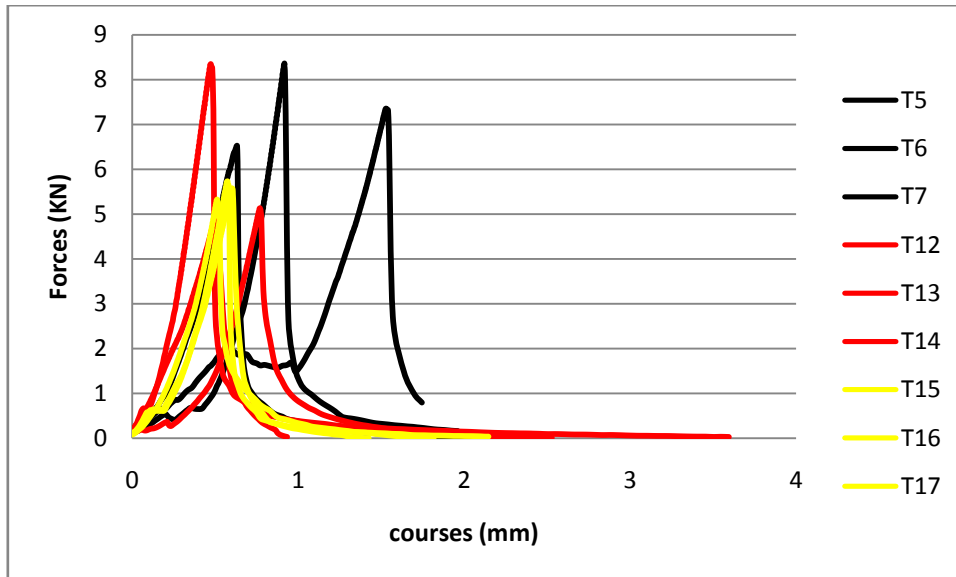


Fig. II. 15. Courbes d'écrasement des 9 éprouvette en flexion trois points

#### ❖ Détermination des forces à appliquer :

La force moyenne retrouvée est de ;  $F_{\max}=6.376\text{KN}$ , il reste a déterminer les forces a utiliser pour le chargement.

-Tous d'abord la force moyenne sera divisé par un coefficient de sécurité qui est de **1.4**, tel

$$\text{que : } F_{\max} = \frac{6.376}{1.4} = 4.5543\text{KN}$$

-Le cycle accéléré est basé aussi sur la variation des forces de chargement, c'est-à-dire,

$0.5 F_{\max}$  et  $0.7 F_{\max}$ , ce qui donne :

$$0.5 F_{\max} = 2.28 \approx 2.30\text{KN}$$

$$0.7 F_{\max} = 3.19 \approx 3.20\text{KN}$$

-Les différentes forces de chargement à utiliser sont :

$$F_1 = 2.30\text{KN} \text{ et } F_2 = 3.20\text{KN}$$

## VI. Présentation du cycle

Le cycle commence après que le béton a atteint l'âge de 28 jours comme suit :

- Peser toutes les éprouvettes à l'aide d'une balance



Fig. II. 16. La pesé des éprouvettes avant le début des cycles

- prendre 3 éprouvettes de chaque coulage et les soumettre à l'essai de flexion 3 points afin de déterminer la force maximum qu'elles peuvent supporter (t5, t6, t7, t12, t13, t14, t15, t16, t17) donc il restera 12 éprouvettes



Fig. II. 17. Les éprouvettes soumises a l'essai de flexion trois points

- Après la détermination de  $F_{max}$  elle sera multiplier fois 0.5 et 0.7 afin de soumettre les éprouvettes à ces valeur et pour éviter que celles-ci se rompt pendant le chargement. Tel que :
  - $0.5F_{max}=2.3KN$
  - $0.7F_{max}=3.2KN$
- Préparer deux milieu ; un milieu d'eau douce et un milieu d'eau salé



**Fig. II. 18. Les milieux d'eau douce et d'eau salée**

- Prendre de chaque coulage une éprouvette et former quatre groupes afin de les mettre dans différent milieu et les charger de différentes charges comme suit :
  - Les éprouvettes (t1, t8, t19) : soumises à 2.3KN et mises dans le milieu d'eau douce
  - Les éprouvettes (t2, t10, t20) : soumises à 3.2KN et mises dans le milieu d'eau douce
  - Les éprouvettes (t3, t9, t18) : soumises à 2.3KN et mises dans le milieu d'eau salé
  - Les éprouvettes (t4, t11, t21) : soumises à 3.2KN et mises dans le milieu d'eau salé
- Mettre chaque groupes d'éprouvette dans sont milieu pendant 24 heures



**Fig. II. 19. Mise des éprouvettes dans leurs milieux appropriés**

- Les enlever de l'eau et les laisser sécher environ 24 heures à l'air libre.



**Fig. II. 20. Séchage à l'air libre des éprouvettes**

- Mettre les éprouvettes dans l'étuve pendant 12 heures à une température de 60°C



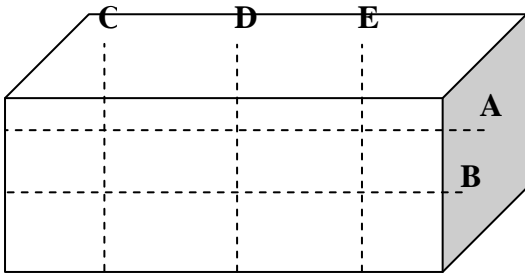
**Fig. II. 21. Mise à l'étuve des éprouvettes pour le séchage**

- Procéder à la peser de toutes les éprouvettes pour évaluer la variation de la masse
- Soumettre le lendemain chaque éprouvette à son chargement défini précédemment ; essai de flexion trois points



**Fig. II. 22. Soumission des éprouvettes au chargement par flexion trois points**

- Soumettre toutes les éprouvettes à l'essai non destructif direct ; ultrason ; qui mesure la vitesse de propagation de l'onde dans le béton dans le sens longitudinal (2 points ; au milieu A et à l'extrémité B) et les sens transversal (3 points ; au milieu D et aux deux extrémités C et E)



**Fig. II. 23. Mesure des vitesses de propagation en différents points**

- Ensuite laisser les éprouvettes à l'air libre jusqu'au lendemain pour refaire le même cycle.



**Fig. II. 24. Séchage des éprouvettes à l'air libre**

# **Chapitre III : Résultats et interprétations**

## I. Introduction

Ce chapitre est consacré aux résultats du comportement d'une poutre en béton soumise à une dégradation accélérée.

L'étude expérimentale consiste à effectuer des mesures des vitesses de propagation à l'aide de l'ultrason et à l'essai de chargement en flexion trois points.

## II. RESULTATS

### II.1. Ultrason :

Les tableaux récapitulatifs des mesures à l'ultrason sur les éprouvettes en béton soumises à un cycle d'endommagement sont présentés en annexe 1.

### II.2. Chargement :

Les tableaux récapitulatifs des essais de chargement sont présentés en annexe 2.

### II.3. Masses :

- ❖ Résultats des masses des éprouvettes sur tableau

**Tab. III. 1. Résultats des mesures des masses**

	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T9</b>	<b>T19</b>	<b>T21</b>
<b>28 jours</b>	9002	9032	9036.5	9051.5	9042
<b>Cycle 1</b>	9157.5	9192	9224.5	9197.5	9229.5
<b>Cycle 2</b>	9079	9163	9209.5	9159.5	9215.5
<b>Cycle 3</b>	9039.5	9147	9182	9130	9206
<b>Cycle 4</b>	9037.5	9145.5	9179.5	9128.5	9205.5
<b>Cycle 5</b>	8978.5	9183	9213.5	9150	9230
<b>Cycle 6</b>	9245	9325	9351	9289.5	9351
<b>Cycle 7</b>	9084.5	9208.5	9246.5	9170	9268.5
<b>Cycle 8</b>		9231	9271.5		
<b>Cycle 9</b>		9226	9263.5		

### III. INTERPRETATIONS

Avant d’entamer l’interprétation des résultats, il y’a lieu d’indiquer que :

- Durant tous les cycles du chargement les éprouvettes T2, T19, et T21 n’atteignent pas un âge de 90 jours.
- Les éprouvettes T3 et T9 atteignent un âge de 90 jours après le neuvième cycle.

#### III.1. vitesses d’ondes ultrasoniques:

- L’éprouvette T2: sollicitée à 70% de  $F_{max}$

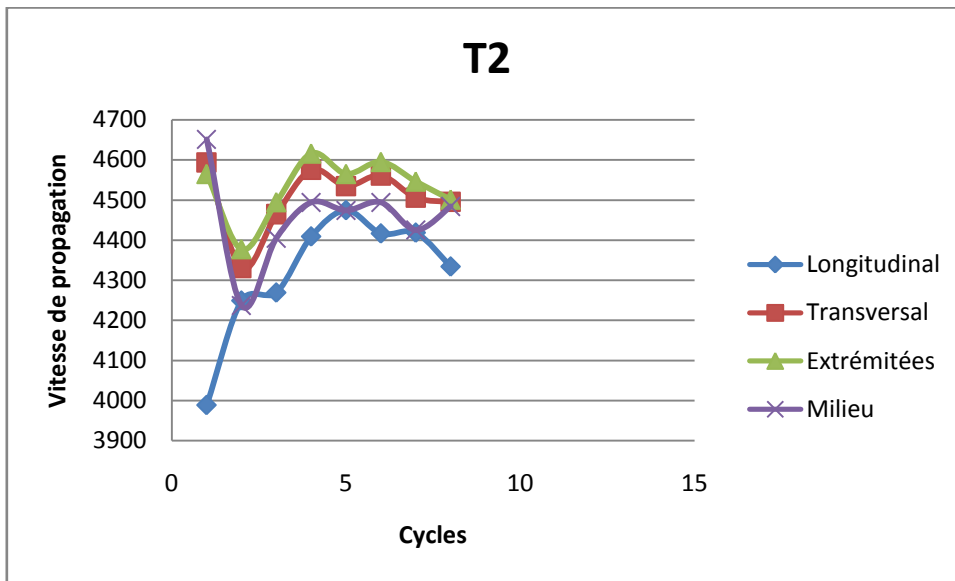


Fig. III. 1. Courbe des vitesses de propagation des ondes de l’éprouvette T2

- L’éprouvette T3 : sollicitée à 50% de  $F_{max}$

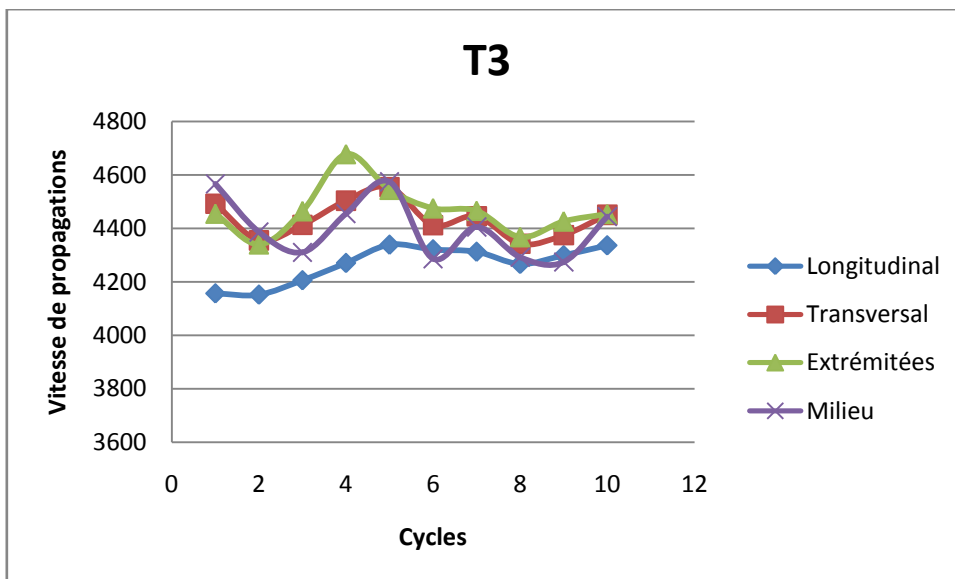


Fig. III. 2. Courbe des vitesses de propagation des ondes de l’éprouvette T3

- **L'éprouvette T19** : sollicitée à 50% de  $F_{max}$

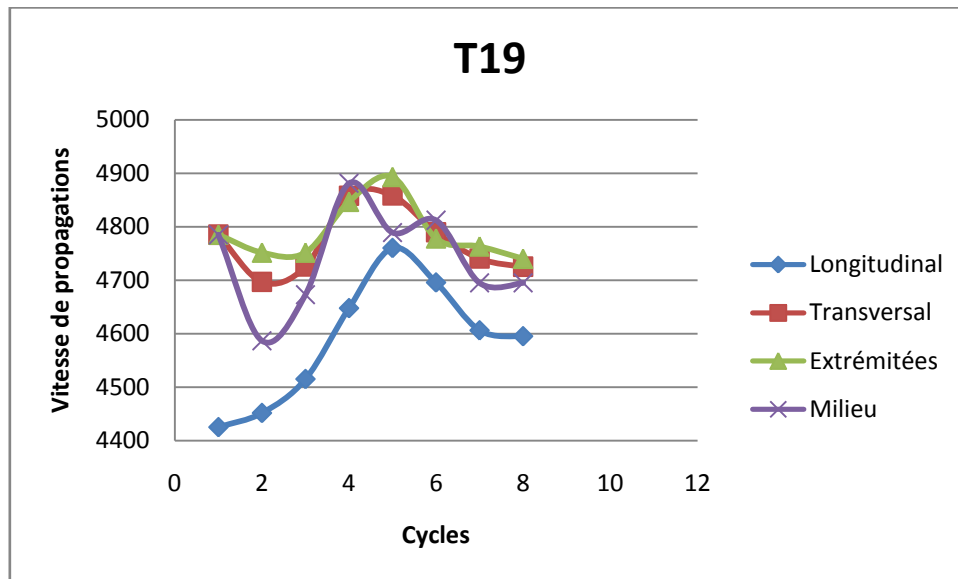


Fig. III. 3. Courbe des vitesses de propagation des ondes de l'éprouvette T19

- **Observations :**

- L'allure des courbes est presque la même dans les trois éprouvettes T2, T3, et T19.
- Diminution de la vitesse de propagation des ondes à partir de cycle zéro jusqu'au premier cycle pour les mesures transversales.
- Augmentation des vitesses de propagations des ondes à partir de cycle zéro jusqu'au premier cycle pour les mesures longitudinales.
- A partir du 2<sup>ème</sup> cycle la vitesse de propagation de l'onde augmente jusqu'au 7<sup>ème</sup> cycle.
- A partir du 7<sup>ème</sup> cycle les vitesses commencent à diminuer.

- **Explications possibles :**

- L'ultrason dépend de l'humidité et de la densité du matériau.
- L'augmentation de la vitesse de propagation est due à la possibilité de présence d'eau à l'intérieur des éprouvettes ; puisque l'humidité facilite la propagation des ondes.
- Cette augmentation est peut-être aussi due à l'âge du béton ; c'est-à-dire avant 90 jours ; le béton n'a pas atteint son durcissement total. Lors de son immersion dans l'eau les particules de ciment s'hydratent ce qui donne une meilleure liaison entre les constituants du béton ; la pâte de ciment et les granulats.
- La diminution de la vitesse de propagation représente une indication d'une possibilité de fissuration (l'onde se propage dans le vide).

- L'éprouvette T9 : sollicitée à 50% de  $F_{max}$

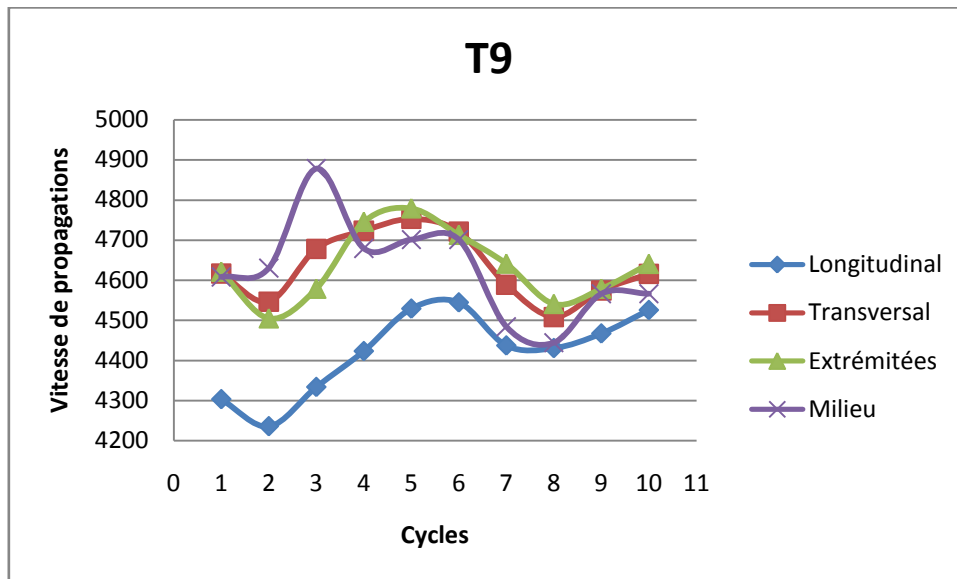


Fig. III. 4. Courbe des vitesses de propagation des ondes de l'éprouvette T9

- L'éprouvette T21: sollicitée à 70% de  $F_{max}$

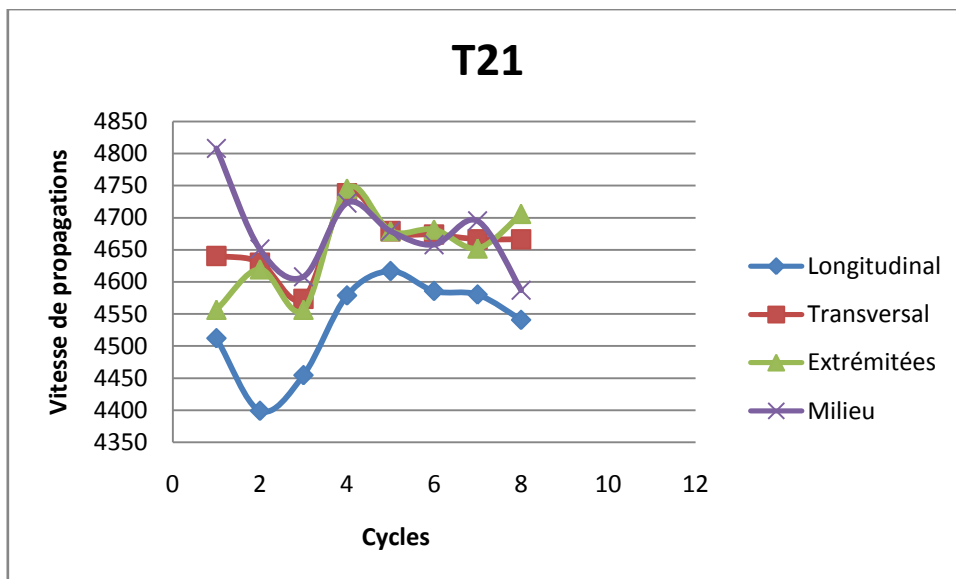


Fig. III. 5. Courbe des vitesses de propagation des ondes de l'éprouvette T21

- Observations :

- L'allure des courbes est presque le même dans les deux éprouvettes T9 et T21.
- Diminution de la vitesse de propagation des ondes à partir de cycle zéro jusqu'au premier cycle pour les mesures transversales et longitudinales
- A partir du 2<sup>ème</sup> cycle la vitesse de propagation de l'onde augmente jusqu'au 7<sup>ème</sup> cycle.
- A partir du 7<sup>ème</sup> cycle les vitesses commencent à diminuer.

- **Explications possibles :**

Mêmes commentaires que pour les éprouvettes précédentes.

### III.2. Courbes chargement-courses (flèche):

- **Eprouvette T2 :** sollicitée à 70% de  $F_{max}$

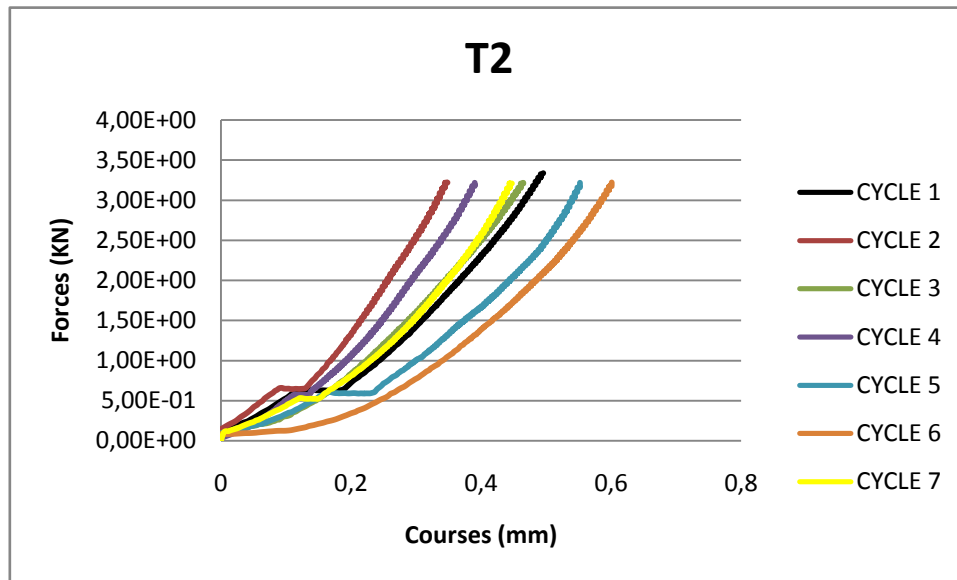


Fig. III. 6. Courbe des forces-déplacement de l'éprouvette T2

- **Observations :**

-l'allure des courbes forces-déplacements est presque linéaire

-Les courbes des différents cycles sont espacées entre-elles.

-Les déplacements de la courbe du 6<sup>ème</sup> cycle sont plus importants que ceux des autres courbes et ceci avec la même force qui est de 70% de la force maximum.

-Les courbes des autres cycles sont en dessous de la courbe du cycle 2.

-Apparition d'un palier dans la plus part des courbes ; c'est -à-dire avec la même force la course augmente.

- **Explications :**

-L'espacement des courbes entres-elles indique que le chargement de 70% de  $F_{max}$  a pour résultat la dégradation de l'éprouvette.

-La dégradation de la poutre en béton commence à partir du 2<sup>ème</sup> cycle ; pour la même force les déplacements sont plus importants.

-Le palier présent dans les cycles est dû éventuellement à l'apparition de fissure au niveau de cette poutre.

- **Eprouvette T3** : sollicitée à 50% de  $F_{\max}$

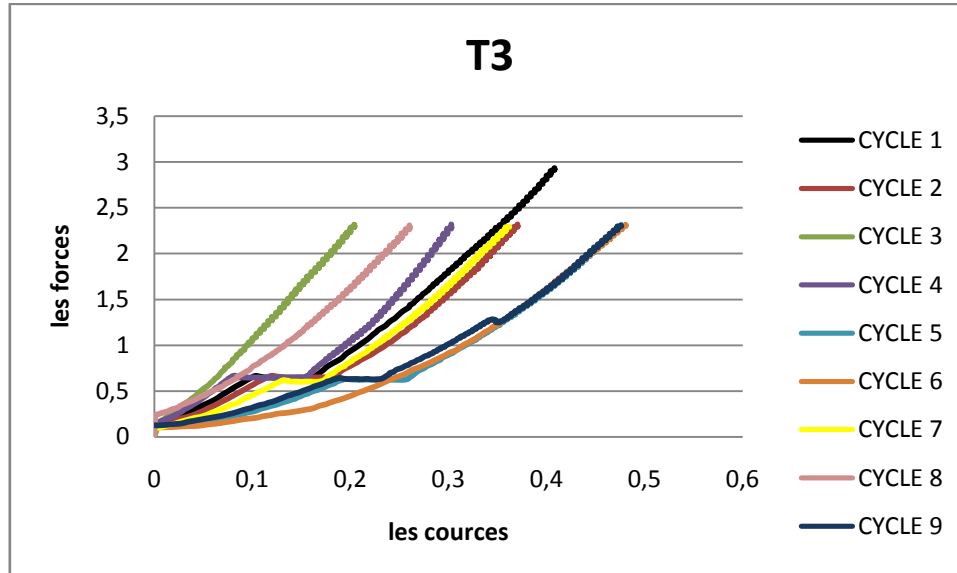


Fig. III. 7. Courbe des forces-déplacement de l'éprouvette T3

- **Observations :**

- l'allure des courbes forces-déplacements est presque linéaire.
- Les déplacements de la courbe du 10<sup>ème</sup> cycle sont plus importants que ceux des autres courbes et ceci avec la même force qui représente 50% de la force maximum, le même cas avec le 6<sup>ème</sup> cycle.
- La majorité des courbes des cycles sont en dessous de la courbe du 4<sup>ème</sup> cycle.
- Sauf pour les courbes des cycles 3, 8 et 9 ou les déplacements sont minimum.

- **Explications :**

- Les déplacements de la courbe des cycles 10 et 6 sont plus importants car la poutre a subit une dégradation.
- Les courbes des cycles 3, 8 et 9 ne commence pas par zéro car le point d'appuis de la machine est collé à la poutre et ainsi la machine à appliqué une force initiale.
- La dégradation de la poutre en béton commence à partir du cycle 4 ; avec la même force les déplacements sont plus importants.

- **Eprouvette T9** : sollicitée à 50% de  $F_{max}$

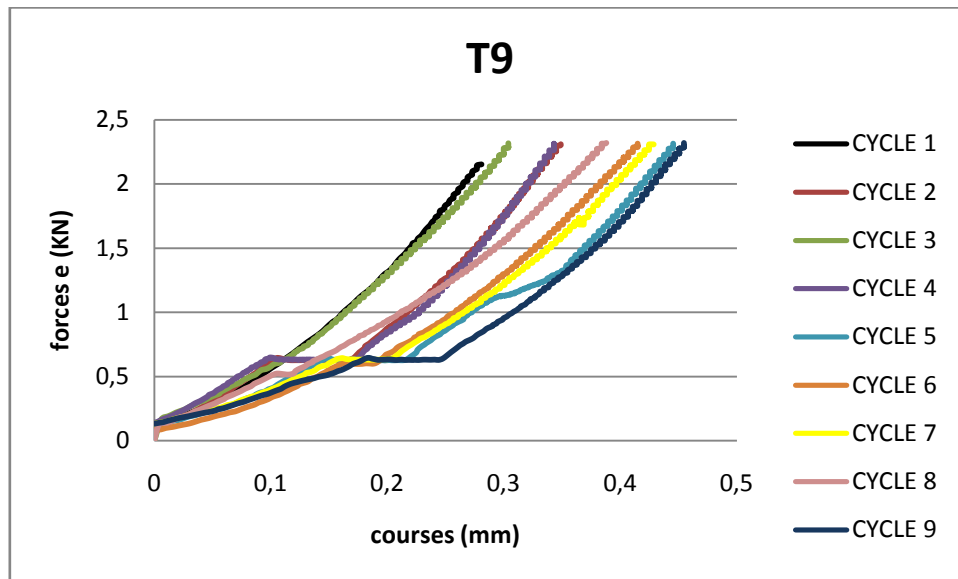


Fig. III. 8. Courbe des forces-déplacement de l'éprouvette T9

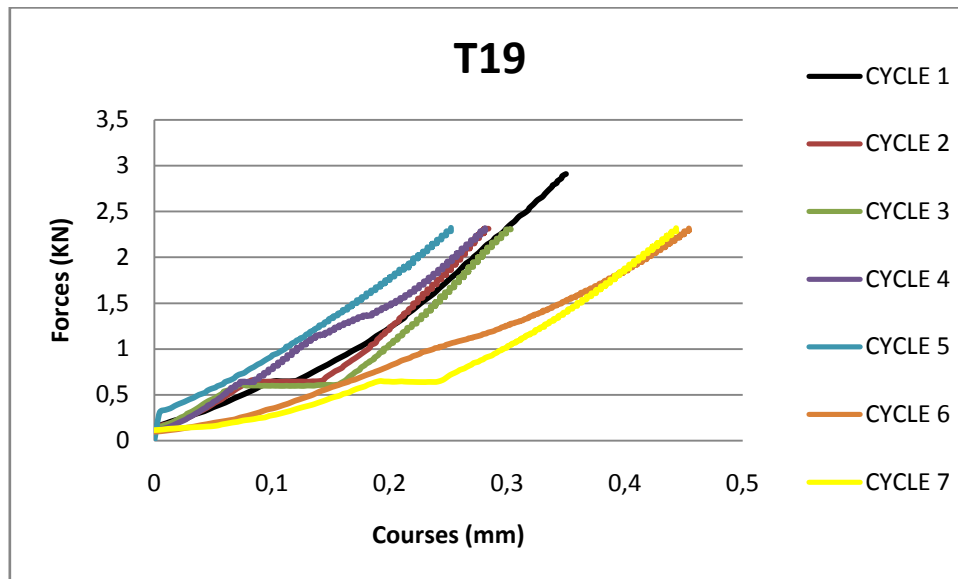
- **Observations :**

- l'allure des courbes forces-déplacements est presque linéaire
- Les déplacements de la courbe du 10<sup>ème</sup> cycle sont plus importants que ceux des autres courbes et ceci avec la même force qui représente 50% de la force maximum.
- Les déplacements du 9<sup>ème</sup> cycle sont moins importants que pour ceux des autres cycles avec la même force
- Pour les courbes de cycle 9 les déplacements sont minimums.
- Les courbes des autres cycles sont en dessous de la courbe du cycle 1.

- **Explications :**

- Les déplacements de la courbe du 10<sup>ème</sup> cycle sont plus importants car la poutre a subi une dégradation suite au cycle de dégradation.
- Les courbes de cycle 9 ne commence pas par zéro car le point d'appuis machine est collé à la poutre et ainsi la machine a appliqué une force initiale (défaut de manipulation).
- La dégradation de la poutre en béton commence à partir du 1<sup>er</sup> cycle ; avec la même force les déplacements sont plus importants.

- **Eprouvette T19** : sollicitée à 50% de  $F_{max}$



**Fig. III. 9. Courbe des forces-déplacement de l'éprouvette T19**

- **Observations :**

-l'allure des courbes forces-déplacements est presque linéaire

-Les déplacements de la courbe du 6<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> cycle sont plus importants que ceux des autres courbes et ceci avec la même force qui est de 50% de la force maximum.

-Les courbes des autres cycles sont en dessous de la courbe du cycle 2.

- **Explications :**

-Les déplacements de la courbe du 6<sup>ème</sup> cycle sont plus importants car la poutre a subi une dégradation suite au cycle.

-La dégradation de la poutre en béton commence à partir du 2<sup>ème</sup> cycle ; avec la même force les déplacements sont plus importants.

- **Eprouvette T21** : sollicitée à 70% de  $F_{max}$

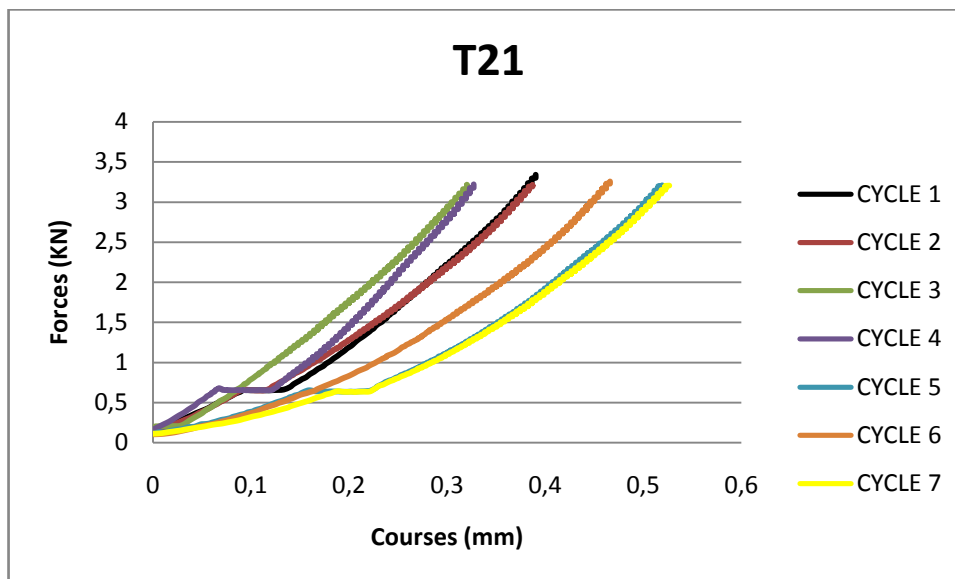


Fig. III. 10. Courbe des forces-déplacement de l'éprouvette T21

- **Observations :**

- l'allure des courbes forces-déplacements est presque linéaire
- Les courbes des différents cycles sont espacées.
- Les déplacements de la courbe du 7<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> cycle sont plus importants que ceux des autres courbes et ceci avec la même force qui représente 70% de la force maximum.
- Les courbes des autres cycles sont en dessous de la courbe du cycle 3.

- **Explications :**

- L'espacement des courbes entres-elles indique que le chargement de 70% de  $F_{max}$  a bien servi pour faire accélérer la dégradation de l'éprouvette.
- La dégradation de la poutre en béton commence à partir du 3<sup>ème</sup> cycle ; avec la même force les déplacements sont plus importants.

### III.3. Masses :

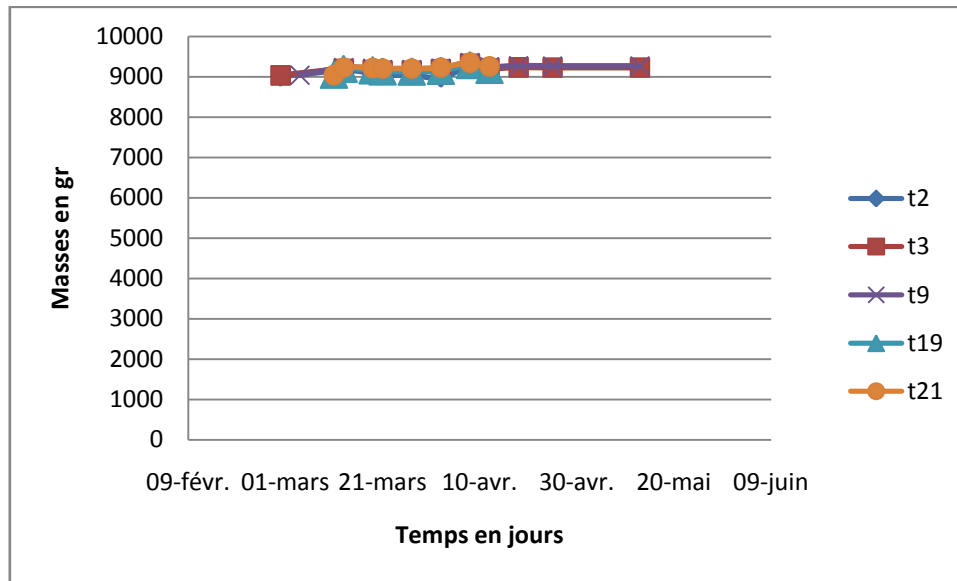


Fig. III. 11. Courbes des masses des éprouvettes en fonction des cycles de chargement

- **Observations :**

-La variation de la masse n'est pas vraiment importante, elle est dans l'ordre de 200gr, puisque les poutres pèsent au alentour de 9kg.

- **Explications :**

La variation de la masse peut-être expliqué par :

- La possibilité de présence d'eau dans les éprouvettes (augmentation)
- Erreur de la balance (augmentation ou diminution)
- Evacuation probable d'eau de l'intérieur des éprouvettes (diminution)

### II.4. Estimation du Module de Young :

En considérant les courbes chargement-courses, nous avons essayé d'estimer le module de Young du matériau testé. Cette estimation est basée sur le calcul théorique de la flèche maximale d'une poutre en flexion trois points.

- **L'éprouvette T2 :**

Le tableau suivant donne les résultats du module de Young de la poutre T2

**Tab. III. 2. Résultats du module de Young pour l'éprouvette T2**

Les cycles	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
E <sub>1</sub> (MPa)	361.5	534.7	232.5	337.6	240.2	140	298.8
E <sub>2</sub> (MPa)	330.6	473.9	353	45.2	271	246	347.2
E <sub>3</sub> (MPa)	405.6	574.3	423.9	503.3	340	314	429.6
<b>E<sub>moyen</sub> (MPa)</b>	<b>365.9</b>	<b>527.6</b>	<b>336.5</b>	<b>418.7</b>	<b>283.9</b>	<b>233.6</b>	<b>358.60</b>

- **L'éprouvette T3 :**

Le tableau suivant donne les résultats du module de Young de la poutre T3

**Tab. III. 3. Résultats du module de Young pour l'éprouvette T3**

cycles	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
E <sub>1</sub> (MPa)	449.8	382.4	717.4	574.5	208.5	159.6	310.8	568	225.1
E <sub>2</sub> (MPa)	383.4	347.6	751.3	420.4	263.4	265.2	357.7	542.6	263.3
E <sub>3</sub> (MPa)	425.6	397.4	757.5	481.2	306.5	306.3	407.3	577.3	307.4
<b>E<sub>moyen</sub> (MPa)</b>	<b>419.5</b>	<b>375.8</b>	<b>742.1</b>	<b>492.2</b>	<b>259.4</b>	<b>243.7</b>	<b>358.6</b>	<b>562.6</b>	<b>265.1</b>

- **L'éprouvette T9 :**

Le tableau suivant donne les résultats du module de Young de la poutre T9

**Tab. III. 4. Résultats du module de Young pour l'éprouvette T9**

Les cycles	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
E <sub>1</sub> (MPa)	377.3	413.1	408.9	465.6	288.3	245.3	271.1	344.1	236.6
E <sub>2</sub> (MPa)	467.4	369.8	455.6	366.3	277.3	312.1	303.8	349.3	1384.8
E <sub>3</sub> (MPa)	513.9	136.0	494.9	427.0	326.6	355.8	343.6	386.5	318.7
<b>E<sub>moyen</sub> (MPa)</b>	<b>452.7</b>	<b>306.1</b>	<b>453.1</b>	<b>419.6</b>	<b>297.3</b>	<b>304.5</b>	<b>306</b>	<b>360</b>	<b>646.7</b>

- **L'éprouvette T19 :**

Le tableau suivant donne les résultats du module de Young de la poutre T19

**Tab. III. 5. Résultats du module de Young pour l'éprouvette T19**

Les cycles	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
E <sub>1</sub> (MPa)	451.1	545.3	603.3	571.4	897.1	252.3	215.8
E <sub>2</sub> (MPa)	454.4	458.1	428.1	497.7	594.7	294.8	284.5
E <sub>3</sub> (MPa)	501.9	524.2	495.6	537.5	608.3	325.4	328.2
<b>E<sub>moyen</sub> (MPa)</b>	<b>469.2</b>	<b>509.1</b>	<b>509.8</b>	<b>535.5</b>	<b>700.0</b>	<b>290.8</b>	<b>276.2</b>

- **L'éprouvette T21 :**

Le tableau suivant donne les résultats du module de Young de la poutre T21

**Tab. III. 6. Résultats du module de Young pour l'éprouvette T21**

Les cycles	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
E <sub>1</sub> (MPa)	504.9	502.7	514.9	736.8	272.8	260.4	223.2
E <sub>2</sub> (MPa)	438.2	450.8	579.8	503.8	291.2	345.4	288.2
E <sub>3</sub> (MPa)	521.2	513.8	635.6	609.6	370.9	419.1	364.6
<b>E<sub>moyen</sub> (MPa)</b>	<b>488.1</b>	<b>489.7</b>	<b>576.7</b>	<b>516.6</b>	<b>311.5</b>	<b>341.6</b>	<b>292.0</b>

### Observation

Nous constatons à travers ces résultats que d'une manière générale, nous avons une augmentation de la valeur de E et au fur à mesure des cycles, nous avons une baisse de E.

### III.5. Corrélation qualitative courbe ultrason-courbe chargement (flèche):

L'éprouvette T2 : sollicitée à 70% de Fmax

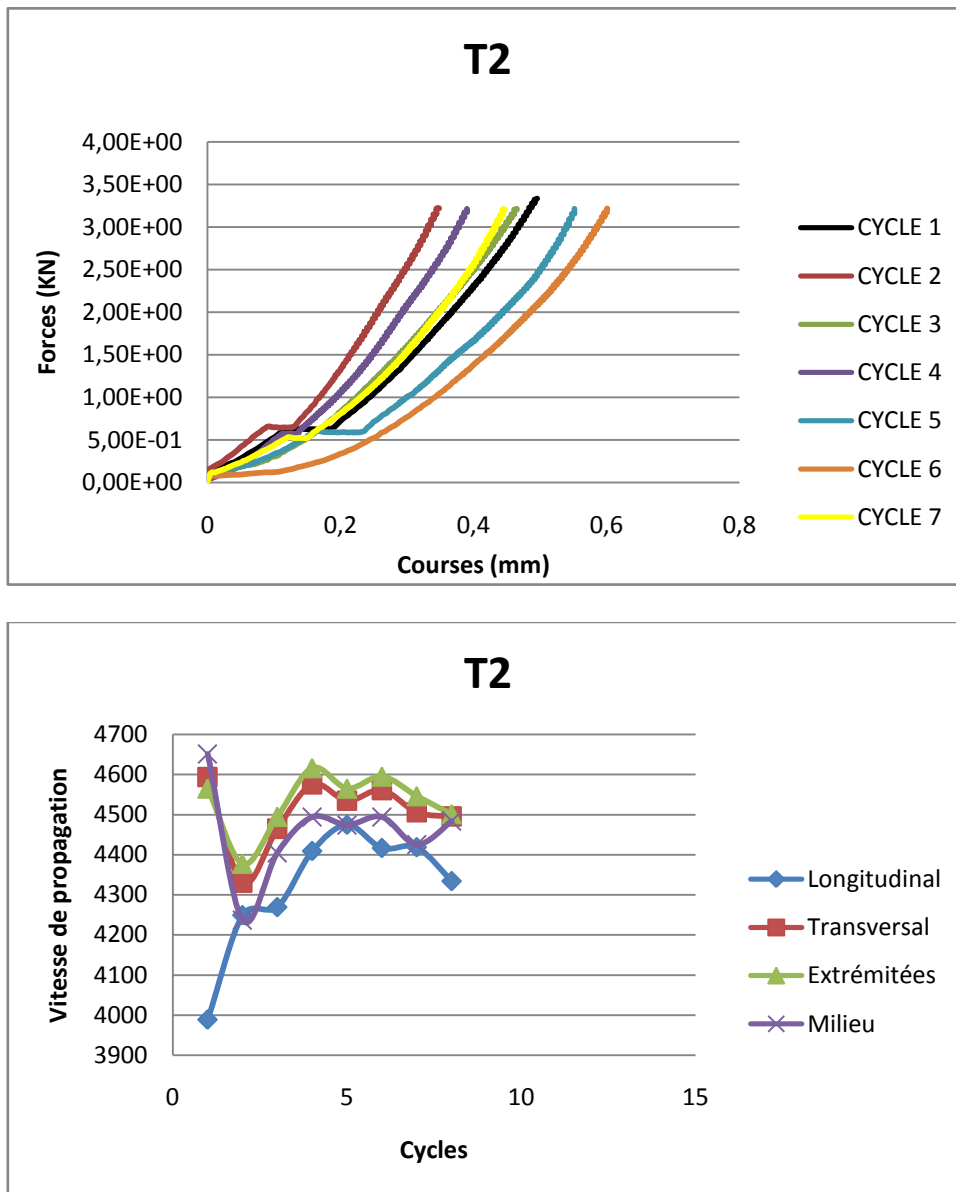


Fig. III. 12. Corrélation entre les l'ultrason et force-déplacement pour l'éprouvette T2

- Du premier cycle au deuxième cycle :

Les résultats des mesures de l'ultrason obtenus indiquent une augmentation dans les vitesses des ondes de propagation dans l'éprouvette ce qui peut être dû à la présence des molécules d'eau et le processus de l'hydratation du ciment, ce qui est le cas dans les résultats du chargement, le premier cycle, les déplacements sont beaucoup plus importants en les comparant au deuxième cycle.

- du deuxième cycle jusqu'au troisième cycle:

Les résultats obtenus dans l'ultrason et dans le chargement ne sont pas les mêmes. Ceux de l'ultrason captent une augmentation dans les vitesses des ondes de propagation et cela est dû à la présence d'eau dans l'éprouvette, pour les résultats du chargement c'est une dégradation.

- Du troisième cycle jusqu'au quatrième cycle :

Les résultats obtenus dans l'ultrason et dans le chargement ne sont pas les mêmes. Ceux de l'ultrason captent une dégradation dans les vitesses des ondes de propagation et cela est dû à la présence d'eau dans l'éprouvette, pour les résultats du chargement c'est une augmentation de la résistance du béton.

- Du quatrième cycle jusqu'au cinquième cycle :

Les deux essais ne mènent pas aux mêmes résultats. Ceux de l'ultrason indiquent une augmentation dans les vitesses de propagation des ondes qui traversent la section de l'éprouvette du béton. Et l'essai du chargement indique une dégradation dans la qualité du béton car pour les mêmes forces, les courses du cinquième cycle sont plus importantes par rapport à ceux du quatrième cycle.

- Du cinquième cycle jusqu'au sixième cycle :

Les deux essais mènent aux mêmes résultats qui sont une dégradation dans la qualité du béton

- Du sixième cycle jusqu'au septième cycle :

Les résultats obtenus dans l'ultrason et dans le chargement ne sont pas les mêmes. Ceux de l'ultrason captent une dégradation dans les vitesses des ondes de propagation et cela est probablement dû à la présence d'eau dans les éprouvettes, pour les résultats du chargement c'est une augmentation de la résistance du béton.

**L'éprouvette T3 : sollicitée à 50% de  $F_{\max}$**

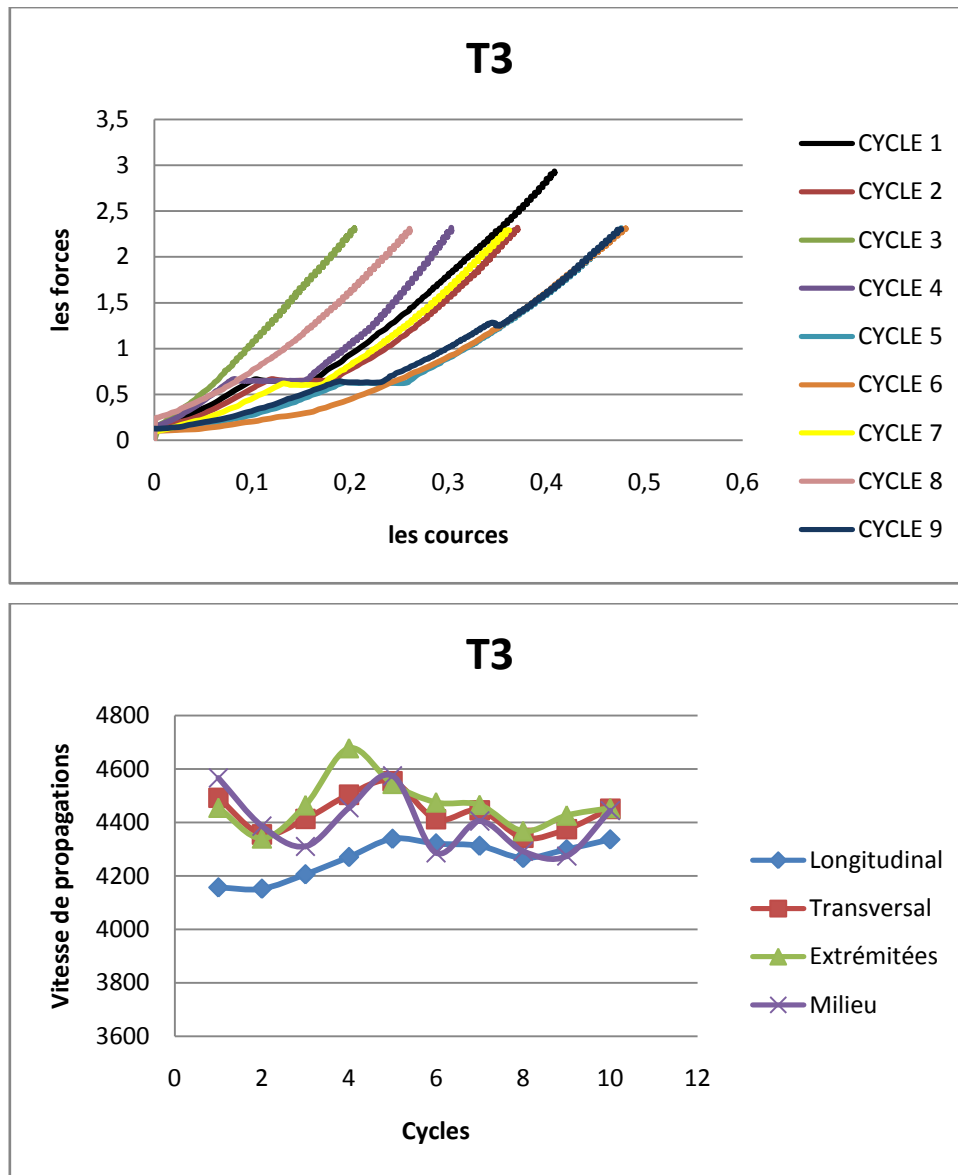


Fig. III. 13. Corrélation entre les l'ultrason et force-déplacement pour l'éprouvette T3

- Du premier cycle au deuxième cycle :

Les résultats des mesures de l'ultrason obtenus indiquent une augmentation dans les vitesses des ondes de propagation dans l'éprouvette, ce qui n'est pas le cas dans les résultats du chargement. Ceci est dû peut être à la présence d'eau dans l'éprouvette, ce qui n'a pas permis à l'ultrason de capter les fissures existantes.

- du deuxième cycle jusqu'au troisième cycle:

Les deux essais mènent au même résultat, à savoir une augmentation dans la qualité du béton.

- du troisième cycle jusqu'au sixième cycle:

Les deux essais mènent au même résultat, qui est une dégradation dans la qualité du béton.

- Du sixième cycle jusqu'au septième cycle :

Les deux essais mènent au même résultat, qui est une augmentation dans la qualité du béton.

- Du septième cycle jusqu'au huitième cycle :

Les résultats des mesures de l'ultrason obtenus indiquent une diminution dans les vitesses des ondes de propagation dans l'éprouvette, ce qui n'est pas le cas dans les résultats du chargement.

- Du huitième cycle jusqu'au neuvième cycle :

Les deux essais indiquent une très grande dégradation de l'éprouvette, un écart important dans les résultats que se soit dans les vitesses de propagation des ondes ou bien les courses enregistrées lors du chargement de la poutre.

### L'éprouvette T9 : sollicitée à 50% de $F_{max}$

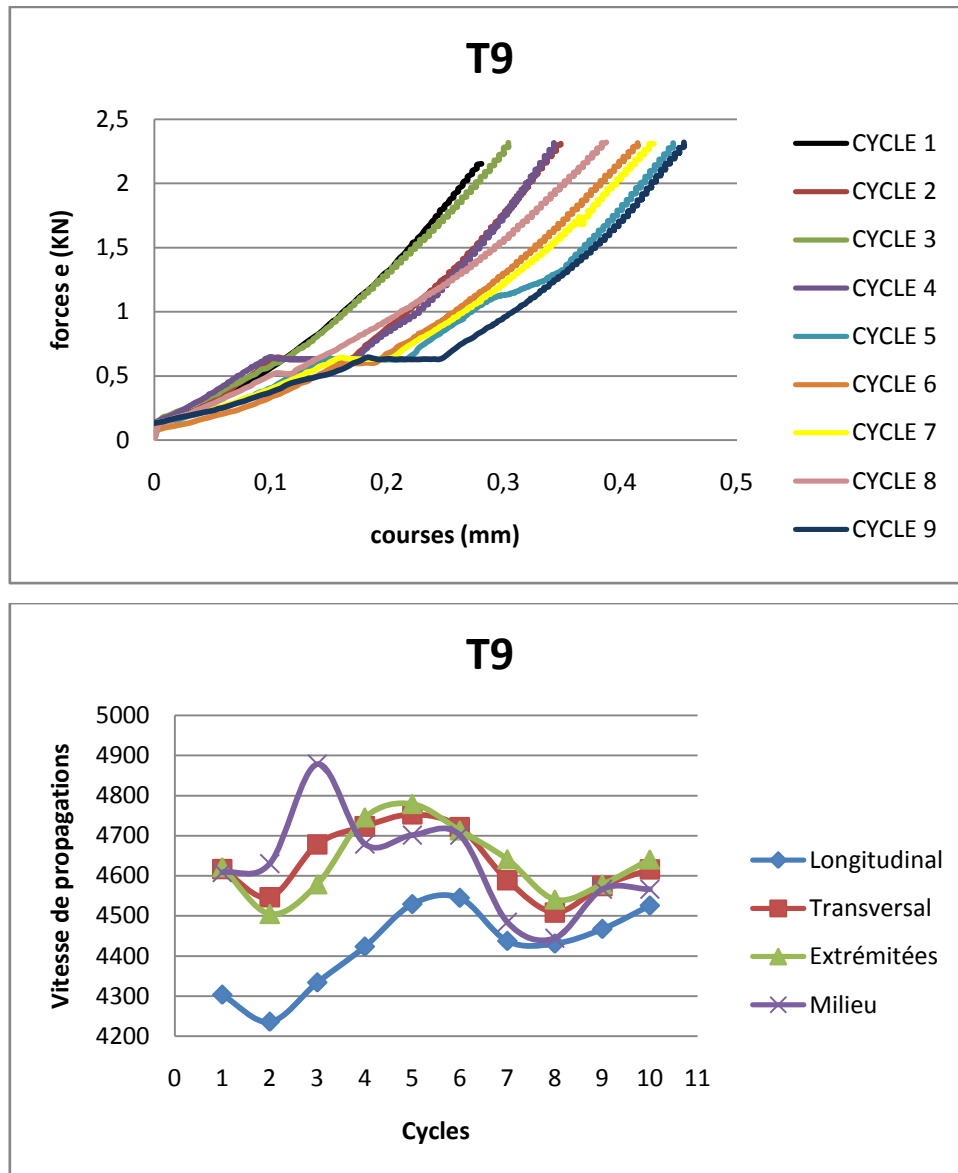


Fig. III. 14. Corrélation entre les ultrasons et force-déplacement pour l'éprouvette T9

- Du premier cycle au deuxième cycle :

Les résultats des mesures de l'ultrason obtenus indiquent une augmentation dans les vitesses des ondes de propagation dans l'éprouvette, ce qui est le cas dans les résultats du chargement, le premier cycle, les déplacements sont beaucoup plus importants en les comparant au deuxième cycle.

- Du deuxième cycle jusqu'au cinquième cycle :

Les résultats de l'ultrason captent une augmentation dans les vitesses de propagation, ce qui n'est pas le cas dans les essais du chargement qui captent une dégradation dans la qualité du béton.

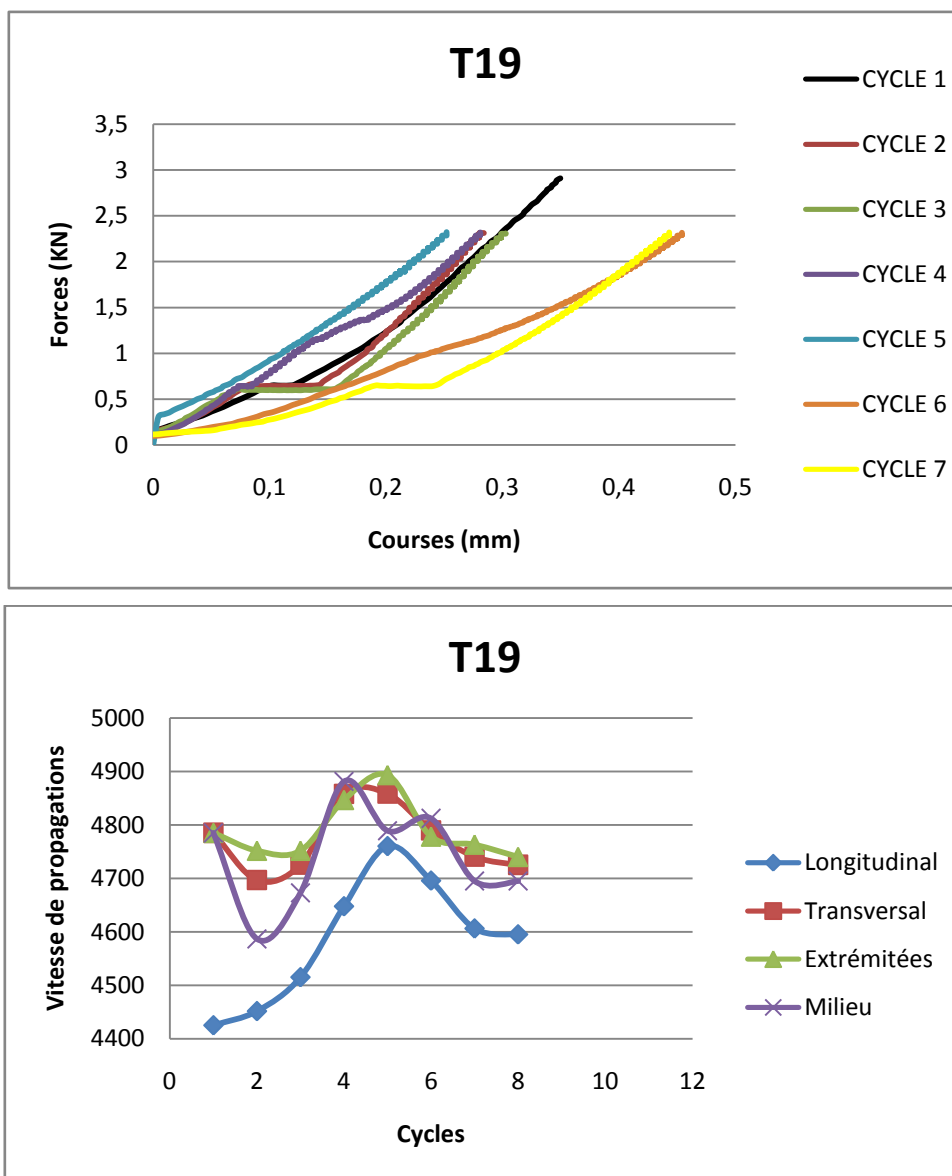
- Du cinquième cycle jusqu'au huitième cycle :

Les résultats de l'ultrason captent une dégradation dans les vitesses de propagation, ce qui n'est pas le cas dans les essais du chargement qui captent une augmentation dans la qualité du béton.

- Du huitième cycle jusqu'au neuvième cycle :

Les résultats des mesures de l'ultrason obtenus indiquent une augmentation dans les vitesses des ondes de propagation dans l'éprouvette, ce qui est le cas dans les résultats du chargement, qui est une dégradation.

**L'éprouvette T19** : sollicitée à 50% de  $F_{max}$



**Fig. III. 15. Corrélation entre les ultrasons et force-déplacement pour l'éprouvette T19**

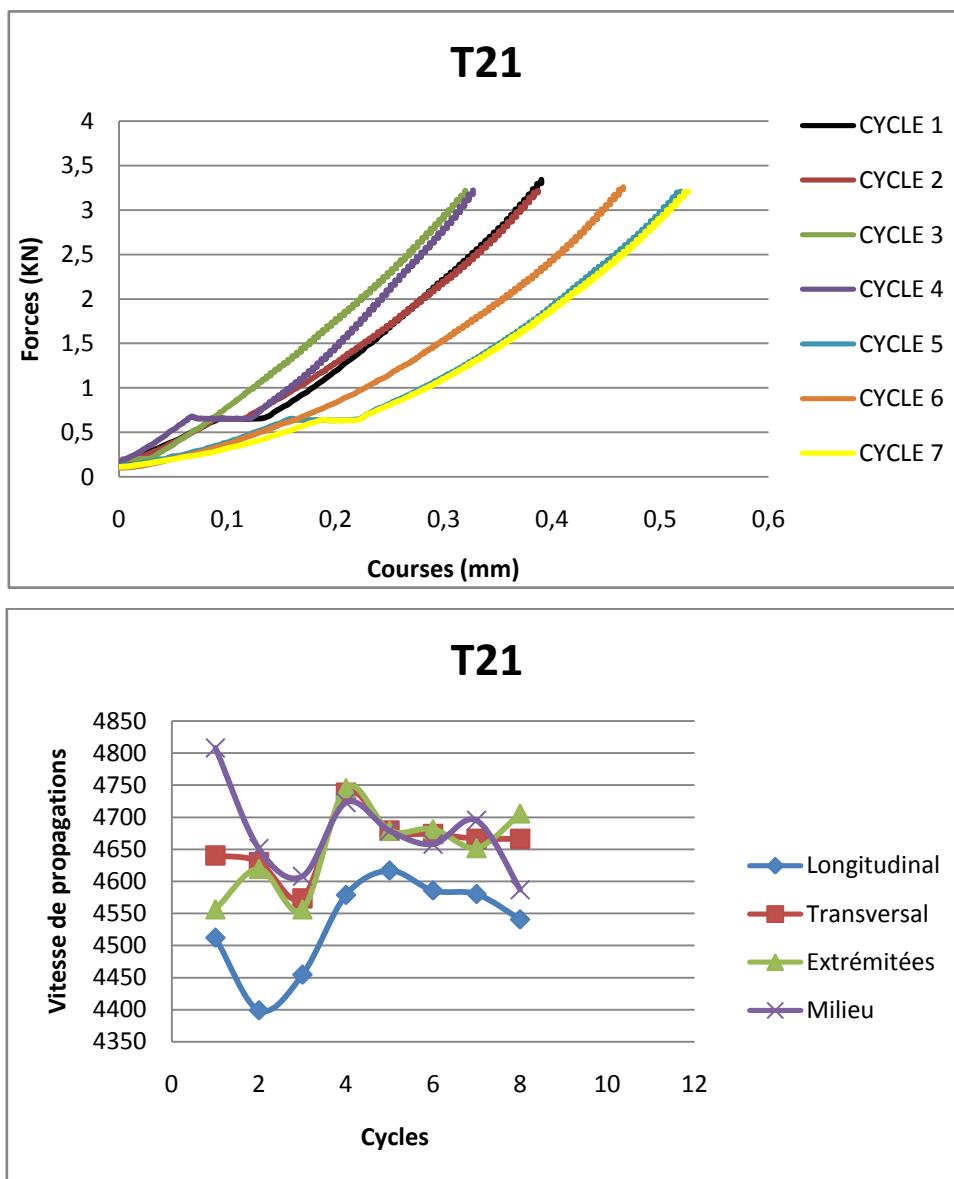
- Du premier cycle jusqu'au quatrième cycle:

Les résultats des mesures de l'ultrason obtenus indiquent une augmentation dans les vitesses des ondes de propagation dans l'éprouvette, mais dans le cas des essais du chargement, il n'y a d'écart important dans les courbes d'un cycle à un autre.

- Du quatrième cycle jusqu'au septième cycle :

Les mesures de l'ultrason marquent une baisse de vitesses de propagation, dans le cas de l'essai du chargement, les courbes se rapprochent entre elles.

**L'éprouvette T21 : sollicitée à 70% de  $F_{max}$**



**Fig. III. 16. Corrélation entre les mesures d'ultrason et force-déplacement pour l'éprouvette T21**

- premier cycle jusqu'au deuxième cycle :

L'essai de l'ultrason marque une dégradation, tandis que les courbes du chargement du premier et le deuxième cycle se confondent.

- Du deuxième jusqu'au troisième cycle :

Les deux essais mènent aux mêmes résultats, une augmentation dans la qualité du béton

- Du troisième cycle jusqu'au sixième cycle :

Les deux essais marquent une dégradation dans le béton.

- Du sixième cycle jusqu'au septième cycle :

Les résultats des mesures de l'ultrason obtenus indiquent une augmentation dans les vitesses des ondes de propagation dans l'éprouvette, ce qui est le cas dans les résultats du chargement, à savoir une dégradation

#### **IV. Conclusion**

A travers les résultats obtenus nous avons essayé de mettre en évidence la dégradation d'un élément en béton suite à un cycle de mouillage, séchage, température, et chargement déchargement

Les résultats ont montrés dans un premier temps une augmentation des propriétés probablement du à l'âge des éprouvettes qui sont inférieur à quatre-vingt-dix jours.

Cependant à partir d'un certain nombre de cycle l'effet de la dégradation apparait à travers les mesures des vitesses d'ondes ultrasoniques et à travers les courbes chargement-flèche.

En effet sur la majorité des cycles, nous avons mis en évidence la corrélation qualitative entre les deux modes de mesures.

# **Conclusion générale et perspectives**

Au début de ce travail, nous nous étions fixés plusieurs objectifs : tout d'abord, nous souhaitons apporter des éléments nouveaux concernant la compréhension du phénomène de la dégradation du béton, en faisant appel dans le premier chapitre à quelques généralités sur les pathologies du béton et les causes de ces dernières.

Nous nous sommes donc logiquement tournés vers l'étude de ce phénomène au laboratoire, en effectuant sur les éprouvettes prismatiques de dimension  $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$  des cycles de dégradation différents. Les cycles commencent après que le béton a atteint l'âge de 28 jours. Le cycle est comme suit : les éprouvettes sont immergées dans deux milieu (un groupe d'éprouvettes dans l'eau douce et un autre dans un milieu d'eau salé) pendant 24h, puis par la suite séchées pendant 24h à l'air libre, passées après à l'étuve pendant 12h à une température égale à  $60^\circ\text{C}$ , et enfin les éprouvettes sont soumises à un chargement de 0.5 et 0.7  $F_{\text{max}}$ .

Cette étude de dégradation des éprouvettes a donné des résultats très intéressants car elle a permis de mettre en évidence la dégradation d'un élément en béton à travers les mesures de l'ultrason, l'allure des courbes force-flèche.

Au terme des essais réalisés, nous pouvons dire :

La variation des masses n'a pas été vraiment importante car nous n'avons pas eu de perte importante de masse. La masse n'est donc pas un moyen concret pour indiquer une dégradation dans le béton.

Concernant l'essai de l'ultrason, les courbes force-flèches les résultats donnés restent des résultats préliminaires. Le fait d'avoir probablement un pourcentage d'humidité dans les éprouvettes peut réorienter complètement les mesures de l'ultrason car les cavités créés par flexion 3 points sont occupées par les particules d'eau, il y a aussi la notion du béton qui continue à durcir et à mieux résister dans le temps jusqu'à ce qu'il atteigne l'âge de quatre-vingt-dix jours, ce qui est le cas de quelques éprouvettes lors de l'essai du chargement.

Nous avons aussi constaté des dégradations plus importantes au niveau des éprouvettes affectées d'un chargement de 70% de  $F_{\text{max}}$ .

En fin des deux essais soit les mesures de l'ultrason et les courbes force-flèche nous avons remarqué l'apparition des dégradations dans les derniers cycles.

Les résultats des expériences nous ont montré que finalement, il était très compliqué de mettre en place ce type d'essais dont l'aspect théorique amont paraissait pourtant assez simple.

Une seule étude ne peut pas être le fruit d'un résultat fiable, c'est par plusieurs essais et expériences que le domaine de la science et de la technologie avance et progressent dans le temps. Pour cela nous allons citer quelques recommandations dont il faudra tenir compte ;

- Il est primordial d'avoir la même qualité du béton pour toutes les éprouvettes.
- Augmenter le temps de séchage des éprouvettes pour éliminer toute présence d'eau.
- Commencer les cycles de dégradation dans les éprouvettes après avoir atteint un âge de quatre-vingt-dix jours.

## Références bibliographiques

1. BEN AMMAR Benkhadda. 2006. Traitement naturel des mortiers et bétons destinés aux structures en béton préfabriqué. Université de BISKRA
2. HOUARA. S, Guettala. A. 2005. Les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages en béton armé. Courrier du Savoir. N°06. pp.109-116.
3. BEDDIAR, Abdelhakim. 2004. Renforcement des Poutres en Béton Armé à l'Aide de Matériaux Composites. BISKRA.
4. ITMAIZEH, Ehab. 2016. PATHOLOGIE DE STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ. Université de Tébessa.
5. [www.scribd.com](http://www.scribd.com)
6. [www.hoskin.qc.ca](http://www.hoskin.qc.ca)
7. ABDELGHANEM, TDIB. 2017. Etude des propriétés mécanique et de durabilité des bétons aux fibres polypropylènes.
8. BELARIBI. 2007. L'évaluation de la qualité du béton de fibres in situ par les essais non destructifs (méthode combinée ultrason et scléromètre).
9. KHAL Nassima. 2016. Utilisation des méthodes non destructives pour la caractérisation des bétons dans un environnement agressif. Université de Tizi Ouzou.

# Annexes

## Annexe 1 : Résultats de l'ultrason

• 1<sup>er</sup> CoulageTab. 1. Résultats de l'ultrason des éprouvettes du 1<sup>er</sup> coulage à différents points

Eprouvettes		à 28 jours	1er cycle	2 <sup>ème</sup> cycle	3 <sup>ème</sup> cycle	4 <sup>ème</sup> cycle	5 <sup>ème</sup> cycle	6 <sup>ème</sup> cycle	7 <sup>ème</sup> cycle	8 <sup>ème</sup> cycle	9 <sup>ème</sup> cycle	10 <sup>ème</sup> cycle	11 <sup>ème</sup> cycle	Observation
<b>T1</b>	<b>A</b>	4326												<b>Rupture à défaut de manipulation</b>
	<b>B</b>	4224												
	<b>C</b>	4367												
	<b>D</b>	4505												
	<b>E</b>	4367												
<b>T2</b>	<b>A</b>	4044	4215	4292	4440	4450	4388	4338	4296					<b>Rupture de l'éprouvette au 7<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	3933	4283	4246	4378	4499	4445	4499	4372					
	<b>C</b>	4545	4444	4484	4658	4616	4616	4505	4673					
	<b>D</b>	4651	4237	4405	4494	4474	4494	4425	4484					
	<b>E</b>	4585	4310	4505	4574	4514	4574	4587	4329					
<b>T3</b>	<b>A</b>	4119	4149	4193	4246	4286	4309	4296	4255	4315	4353			<b>Rupture de l'éprouvette au 9<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	4195	4154	4219	4295	4392	4332	4329	4278	4283	4320			
	<b>C</b>	4505	4405	4464	4397	4574	4435	4545	4329	4367	4444			
	<b>D</b>	4566	4386	4310	4455	4574	4286	4405	4292	4274	4444			
	<b>E</b>	4405	4274	4464	4658	4514	4514	4386	4405	4484	4464			
<b>T4</b>	<b>A</b>	4362	4274	4296	4489									<b>Rupture de l'éprouvette au 3<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	4376	4269	4329	4474									
	<b>C</b>	4425	4367	4310	4474									
	<b>D</b>	4405	4132	4292	4397									
	<b>E</b>	4545	4202	4386	4359									

- 2<sup>ème</sup> Coulage

Tab. 2. Résultats de l'ultrason des éprouvettes du 2<sup>ème</sup> coulage à différents points

Eprouvettes		à 28 jours	1er cycle	2 <sup>ème</sup> cycle	3 <sup>ème</sup> cycle	4 <sup>ème</sup> cycle	5 <sup>ème</sup> cycle	6 <sup>ème</sup> cycle	7 <sup>ème</sup> cycle	8 <sup>ème</sup> cycle	9 <sup>ème</sup> cycle	10 <sup>ème</sup> cycle	11 <sup>ème</sup> cycle	Observation
<b>T8</b>	<b>A</b>	4154	4269	4334	4450	4286								<b>Rupture de l'éprouvette au 4<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	4320	4310	4357	4450	4416								
	<b>C</b>	4630	4739	4587	4554	4835								
	<b>D</b>	4545	4673	4673	4745	4595								
	<b>E</b>	4505	4525	4587	4679	4701								
<b>T9</b>	<b>A</b>	4310	4283	4343	4514	4499	4489	4464	4367	4435	4464			<b>Rupture de l'éprouvette au 9<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	4296	4188	4324	4332	4559	4600	4410	4494	4499	4587			
	<b>C</b>	4717	4525	4484	4679	4835	4637	4695	4386	4484	4673			
	<b>D</b>	4608	4630	4878	4679	4701	4701	4484	4444	4566	4566			
	<b>E</b>	4525	4484	4673	4812	4723	4789	4587	4695	4673	4608			
<b>T10</b>	<b>A</b>	4260	4086											<b>Rupture de l'éprouvette au 2<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	4353	4193											
	<b>C</b>	4608	4673											
	<b>D</b>	4608	4608											
	<b>E</b>	4717	4717											
<b>T11</b>	<b>A</b>	4269	4237	3992										<b>Rupture de l'éprouvette au 3<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	4283	4162	4128										
	<b>C</b>	4608	4367	4505										
	<b>D</b>	4545	4464	4566										
	<b>E</b>	4444	4545	4386										

- 3<sup>ème</sup> Coulage

Tab. 3. Résultats de l'ultrason des éprouvettes du 3<sup>ème</sup> coulage à différents points

Eprouvettes		à 28 jours	1 <sup>er</sup> cycle	2 <sup>ème</sup> cycle	3 <sup>ème</sup> cycle	4 <sup>ème</sup> cycle	5 <sup>ème</sup> cycle	6 <sup>ème</sup> cycle	7 <sup>ème</sup> cycle	8 <sup>ème</sup> cycle	9 <sup>ème</sup> cycle	10 <sup>ème</sup> cycle	11 <sup>ème</sup> cycle	Observation
<b>T18</b>	<b>A</b>	4551	4420	4520	4632									<b>Rupture à défaut de manipulation</b>
	<b>B</b>	4582	4540	4603	4739									
	<b>C</b>	4739	4831	4695	4812									
	<b>D</b>	4739	4608	4673	4976									
	<b>E</b>	4717	4717	4717	4789									
<b>T19</b>	<b>A</b>	4440	4454	4505	4669	4685	4701	4556	4566					<b>Rupture de l'éprouvette au 7<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	4410	4449	4525	4626	4835	4690	4657	4624					
	<b>C</b>	4739	4808	4695	4789	4928	4789	4695	4695					
	<b>D</b>	4785	4587	4673	4881	4789	4812	4695	4695					
	<b>E</b>	4831	4695	4808	4904	4858	4767	4831	4785					
<b>T20</b>	<b>A</b>	4410	4145											<b>Rupture de l'éprouvette au 2<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	4469	4202											
	<b>C</b>	4608	4695											
	<b>D</b>	4831	4673											
	<b>E</b>	4608	4739											
<b>T21</b>	<b>A</b>	4525	4334	4435	4499	4564	4524	4530	4510					<b>Rupture de l'éprouvette au 7<sup>ème</sup> cycle</b>
	<b>B</b>	4499	4464	4474	4658	4669	4674	4630	4571					
	<b>C</b>	4505	4673	4505	4812	4679	4789	4587	4739					
	<b>D</b>	4808	4651	4608	4723	4679	4658	4695	4587					
	<b>E</b>	4608	4566	4608	4679	4679	4574	4717	4673					

## Annexe 2 : Niveau de chargement de chaque éprouvette : Forces [KN]

Tab. 4. Résultats des forces de chargement de toutes les éprouvettes

	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6	Cycle 7	Cycle 8	Cycle 9	Cycle 10	Cycle 11	Cycle 12
<b>T1</b>	<b>L'éprouvette a cédée à défaut de manipulation</b>											
<b>T2</b>	3.34	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.21		<b>L'éprouvette a cédée</b>			
<b>T3</b>	2.93	2.32	2.32	2.32	2.32	2.31	2.29	2.31	2.31	<b>L'éprouvette a cédée</b>		
<b>T4</b>	3.04	3.22	3.22	3.22	3.04	<b>L'éprouvette a cédée</b>						
<b>T8</b>	2.94	2.32	2.31	2.33	0.83	<b>L'éprouvette a cédée</b>						
<b>T9</b>	2.15	2.31	2.32	2.31	2.31	2.31	2.31	2.32	2.31	<b>L'éprouvette a cédée</b>		
<b>T10</b>	3.34	0.73	<b>L'éprouvette a cédée</b>									
<b>T11</b>	3.30	3.23	0.73	<b>L'éprouvette a cédée</b>								
<b>T18</b>	2.94	2.31	2.31	6.38	<b>L'éprouvette a cédée à défaut de manipulation</b>							
<b>T19</b>	2.91	2.31	2.31	2.32	2.32	2.32	2.32	<b>L'éprouvette a cédée</b>				
<b>T20</b>	3.33	0.52	<b>L'éprouvette a cédée</b>									
<b>T21</b>	3.34	3.21	3.22	3.22	3.21	3.26	3.20	<b>L'éprouvette a cédée</b>				