



**Université de Tunis EL Manar**  
**Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis**



---

## Auscultation Ultra-Sonique

---

Rapport : Pathologie des Constructions

Réalisé par :  
**BARHOUMI Amani**  
**SALMENI Majdouline**

Encadré par :  
**Professeur Mongi BEN OUEZDOU**

Classe : 3AGC

Année Universitaire : 2025/2026

# Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à **Professeur Mongi BEN OUEZDOU**, notre encadrant pour son accompagnement exceptionnel tout au long de ce projet. Sa disponibilité, sa bienveillance et son expertise ont grandement contribué à la réussite de ce projet.

# Résumé

L'auscultation ultrasonique est une méthode d'analyse non destructive utilisée pour évaluer la qualité et l'intégrité du béton dans les ouvrages de construction. Elle repose sur la mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores à travers le matériau, vitesse qui dépend de sa densité, de sa compacité et de l'existence éventuelle de fissures ou de vides.

Cette étude a permis de maîtriser la procédure expérimentale, de comprendre les principes physiques de la méthode et de confirmer son efficacité pour le diagnostic préventif des structures .

**Mots-clés :** Auscultation ultrasonique – Béton – Méthodes non destructives – Vitesse des ondes – Diagnostic des structures – Pathologie du béton – Contrôle de qualité – Fissuration

# Abstract

Ultrasonic testing is a non-destructive evaluation method used to assess the quality and integrity of concrete in construction works. It is based on measuring the propagation velocity of ultrasonic waves through the material, which depends on its density, compactness, and the possible presence of cracks or voids.

This study provided a better understanding of the physical principles of ultrasonic testing, the experimental procedure, and confirmed its effectiveness as a preventive diagnostic tool for structures.

**Keywords :** Ultrasonic testing – Concrete – Non-destructive methods – Wave velocity – Structural diagnosis – Concrete pathology – Quality control – Cracking

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction : Auscultation Ultra-Sonique</b>	<b>2</b>
1.1	Introduction . . . . .	2
1.2	Objectif . . . . .	3
1.3	Domaines d'application . . . . .	3
1.3.1	Détermination de la profondeur d'une fissure . . . . .	4
1.4	Principe général . . . . .	5
1.4.1	Relation fondamentale . . . . .	6
1.4.2	Estimation du module d'élasticité . . . . .	6
1.5	Conclusion . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Matériel employé</b>	<b>7</b>
2.1	Introduction . . . . .	7
2.2	Équipements utilisés . . . . .	7
2.3	Conclusion . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Déroulement des essais</b>	<b>11</b>
3.1	Introduction : . . . . .	11
3.2	Objectif de l'essai . . . . .	11
3.3	Conditions expérimentales et sécurité . . . . .	11
3.3.1	Conditions environnementales . . . . .	11
3.3.2	Sécurité . . . . .	11
3.4	Étapes préliminaires . . . . .	12
3.4.1	Préparation de la surface et positionnement . . . . .	12
3.5	Méthodes de mesure . . . . .	14
3.5.1	Méthode directe . . . . .	14
3.5.2	Méthode semi-directe . . . . .	14
3.5.3	Méthode indirecte (ou de surface) . . . . .	14
3.6	Protocole opératoire des modes de mesure . . . . .	14
3.6.1	Mode direct . . . . .	14
3.6.2	Mode semi-direct . . . . .	15
3.6.3	Mode indirect (ou de surface) . . . . .	15

3.6.4	Remarques . . . . .	16
3.6.5	Acquisition et contrôle qualité des données . . . . .	16
3.7	Remarques pratiques et conseils . . . . .	17
3.8	Conclusion . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Résultats obtenus</b>	<b>19</b>
4.1	Introduction . . . . .	19
4.1.1	Méthodes de configuration selon NF EN 12504-4 . .	19
4.2	Explication du concept . . . . .	19
4.3	Résultats . . . . .	20
4.3.1	Facteurs influençant les résultats des essais . . . .	20
4.4	Conclusion . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Interprétation des résultats</b>	<b>22</b>
5.1	Interprétation . . . . .	22
5.2	Comparaison entre ancien essai sonique et auscultation ul- trasonique moderne . . . . .	23
5.3	Conclusion . . . . .	23
	<b>Conclusion</b>	<b>25</b>

# Table des figures

1.1	Fissuration d'un bâtiment – Exemple de pathologie structurelle . . . . .	2
1.2	Auscultation Ultra-Sonique . . . . .	3
1.3	Domaines d'application . . . . .	4
1.4	Détermination de la profondeur d'une fissure . . . . .	5
2.1	Matériel employé . . . . .	7
2.2	Matériel : ultrasomètre + transducteur . . . . .	8
2.3	Appareil d'auscultation ultrasonique . . . . .	9
2.4	gel de couplage . . . . .	9
3.1	Maillage : mesure en plusieurs points . . . . .	13
3.2	Application du gel . . . . .	13
3.3	Méthodes de configuration selon NF EN 12504-4 . . . . .	14
3.4	déroulement des essais . . . . .	17
4.1	Explication du concept . . . . .	20
5.1	Interprétation des résultats . . . . .	22

# Liste des tableaux

3.1	Comparaison entre les modes d'essai ultrasonique sur béton	16
4.1	Résultats vitesses de propagation dans le béton	20

# Chapitre 1

## Introduction : Auscultation Ultra-Sonique

### 1.1 Introduction

La durabilité et la sécurité des ouvrages en béton armé constituent aujourd’hui un enjeu majeur dans le domaine du génie civil. Avec le vieillissement des infrastructures et l’augmentation des sollicitations auxquelles elles sont soumises, l’évaluation fiable de leur état devient indispensable afin d’assurer leur performance et leur pérennité. Voir Figure 1.1

Dans ce cadre, les méthodes de **contrôle non destructif (CND)** se révèlent essentielles, car elles permettent d’examiner les caractéristiques mécaniques et structurelles des matériaux sans altérer l’intégrité de l’ouvrage. Parmi ces techniques, **l’auscultation ultrasonique** s’est imposée comme un outil incontournable pour le diagnostic des constructions en béton.



FIGURE 1.1 – Fissuration d’un bâtiment – Exemple de pathologie structurelle

## 1.2 Objectif

L'objectif de ce rapport est de présenter le principe de l'auscultation ultrasonique, ses applications dans le diagnostic des ouvrages, ainsi que ses avantages et ses limites. Ce travail s'inscrit dans une démarche d'apprentissage des outils modernes de contrôle et de maintenance des structures, essentiels pour prévenir les pathologies et prolonger la durée de vie des constructions en béton.

L'auscultation ultrasonique (Voir Figure 1.2) permet de détecter différentes anomalies dans le béton, telles que : les bulles d'air, les zones alvéolées, les inclusions, ainsi que les fissures, en précisant leur taille et leur profondeur. Elle permet également d'évaluer l'uniformité du matériau et de suivre ses changements dans le temps, offrant ainsi des corrélations avec la résistance du béton.



FIGURE 1.2 – Auscultation Ultra-Sonique

## 1.3 Domaines d'application

L'auscultation par ultrasons est une méthode fiable et reconnue pour la recherche des hétérogénéités et des discontinuités dans les structures en béton.(Voir Figure 1.3)

L'auscultation ultrasonique du béton permet de nombreuses applications, parmi lesquelles :

- **Expertise** : recherche de désordres dans les structures, tels que des hétérogénéités, des discontinuités, des vides ou de la micro-fissuration.
- **Contrôle qualité** : évaluation de la résistance à la compression selon la formulation et l'âge des bétons, après étalonnage conformément à la norme NF EN 13791/CN [1], ainsi que le module de déformation.
- **Détermination des plans et profondeurs de dégradation** :

étude des effets de chocs thermiques (incendies, gel) ou d'attaques chimiques sur les structures en béton.

L'auscultation ultrasonique permet notamment de :

- Déetecter des **fissures internes** et des défauts de compacité.
- Évaluer l'**homogénéité du béton** et sa qualité globale.
- Suivre le **durcissement du béton jeune**.
- Estimer certaines **propriétés mécaniques** comme le module d'élasticité.



FIGURE 1.3 – Domaines d'application

### 1.3.1 Détermination de la profondeur d'une fissure

La profondeur d'une fissure peut être déterminée à l'aide de la méthode ultrasonique en mesurant les temps de parcours des ondes, notés  $t_1$  et  $t_2$ . Deux capteurs sont placés de part et d'autre de la fissure : le premier émet une onde ultrasonore tandis que le second la reçoit. Lorsque la fissure est présente, l'onde est déviée et suit un trajet plus long, ce qui augmente le temps de propagation. En mesurant les deux temps  $t_1$  et  $t_2$  pour des positions symétriques par rapport à la fissure, il est possible de calculer la profondeur  $d$  de celle-ci à partir de la relation géométrique entre la distance entre capteurs, la vitesse de l'onde  $V$ , et les temps enregistrés. Ainsi, la différence entre  $t_1$  et  $t_2$  traduit la présence et la profondeur de la discontinuité, permettant une estimation précise sans endommager le matériau. (Voir Figure 1.4)

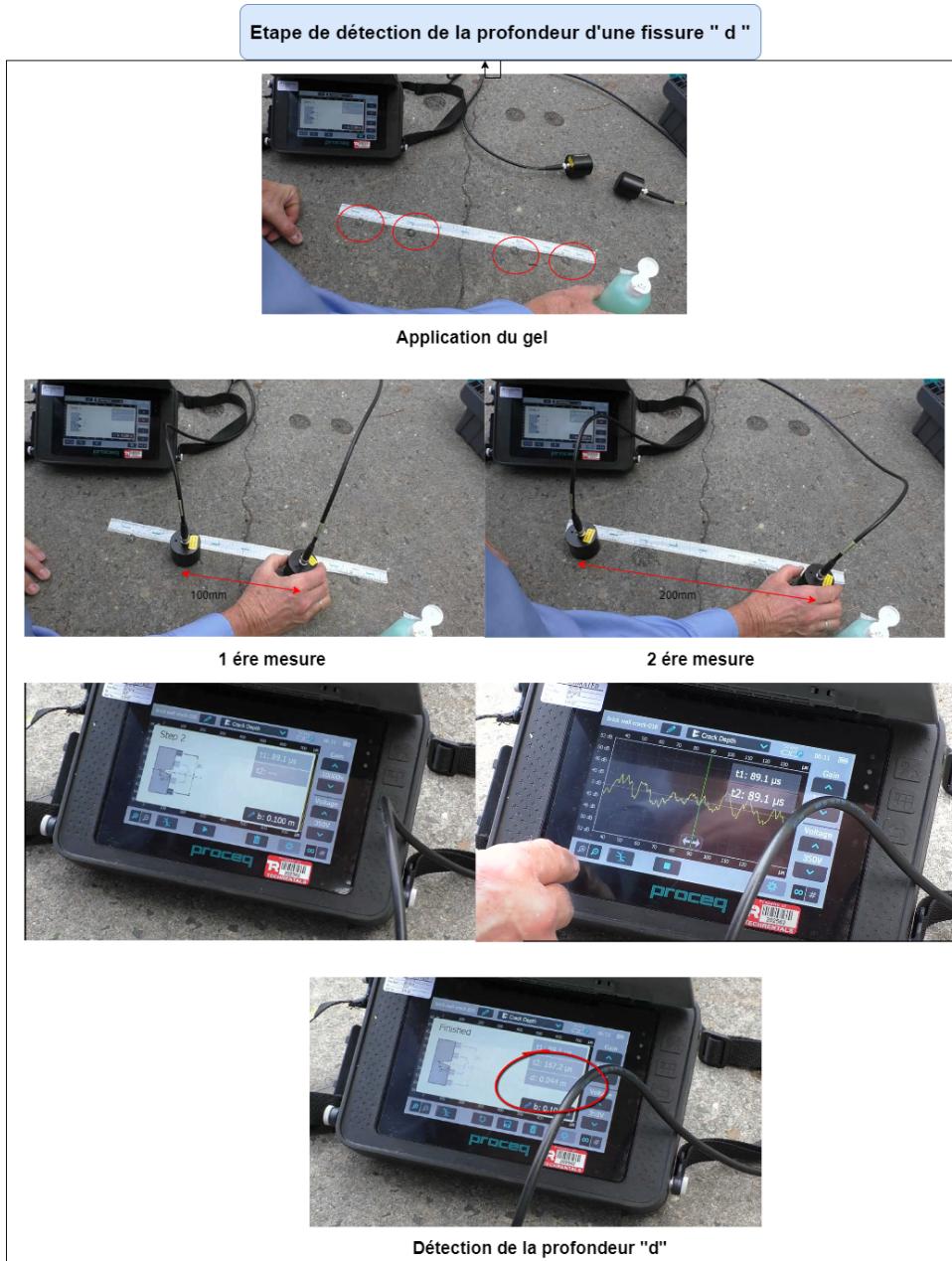


FIGURE 1.4 – Détermination de la profondeur d'une fissure

## 1.4 Principe général

Le principe de l'auscultation ultrasonique repose sur la mesure de la vitesse de propagation d'une onde mécanique de compression ultrasonore à travers le béton. Cette vitesse dépend directement de la densité et de la compacité du matériau : plus le béton est homogène et dense, plus la vitesse des ondes est élevée. À l'inverse, la présence de fissures, de vides d'air, d'inclusions ou de zones altérées ralentit la propagation du signal.

Ainsi, cette méthode permet de détecter les anomalies internes du béton, d'estimer sa résistance mécanique et de suivre son évolution dans le temps.

#### 1.4.1 Relation fondamentale

Ainsi l'auscultation ultrasonique repose sur l'émission d'une onde mécanique à travers un matériau et la mesure du **temps de transit** mis par cette onde pour parcourir une distance donnée.

La relation fondamentale s'exprime comme suit :

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

où :

- $V$  : vitesse de propagation de l'onde ultrasonique (m/s),
- $L$  : distance parcourue par l'onde (m),
- $t$  : temps de transit mesuré (s).

#### 1.4.2 Estimation du module d'élasticité

Aujourd'hui, plusieurs entreprises, telles que **Gilson**, ont développé des appareils ultrasonores innovants et de haute technologie capables de déterminer le module d'élasticité, le coefficient de Poisson ainsi que d'estimer la résistance à la compression du béton. Ces dispositifs offrent ainsi une approche non destructive et précise pour l'évaluation des matériaux.

Le module d'élasticité  $E$  du béton peut être estimé à partir de la vitesse des ondes ultrasonores  $V$  mesurée lors de l'essai. La formule utilisée est la suivante :

$$E = V^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (1.1)$$

où :

- $E$  : module d'élasticité (Pa)
- $V$  : vitesse de l'onde (m/s)
- $\rho$  : densité du béton ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $\nu$  : coefficient de Poisson ( $= 0,2$ )

### 1.5 Conclusion

En conclusion, l'auscultation ultrasonique constitue une méthode non destructive essentielle pour l'évaluation de la qualité et de l'intégrité des structures en béton. Basée sur la mesure de la vitesse de propagation des ondes, elle permet de détecter les hétérogénéités, d'estimer le module d'élasticité et d'apprécier la résistance du matériau. Grâce à sa simplicité de mise en œuvre et à la richesse des informations qu'elle fournit, cette technique s'impose comme un outil indispensable pour le diagnostic, le contrôle et la maintenance des ouvrages en génie civil.

## Chapitre 2

# Matériel employé

### 2.1 Introduction

Cette partie présente le matériel utilisé pour réaliser les essais d'auscultation ultrasonique. Le choix du matériel est crucial pour garantir des mesures fiables et précises. Chaque élément joue un rôle spécifique dans le processus de mesure et l'interprétation des résultats.

### 2.2 Équipements utilisés

Le dispositif d'auscultation ultrasonique est généralement composé des éléments suivants :

- **Appareil principal** : l'ultrasonomètre (UPV Tester), qui génère et enregistre les signaux ultrasonores.
- **Transducteurs** : émetteur et récepteur, utilisés pour la transmission et la réception des ondes dans le béton.
- **Accessoires** : gel de couplage pour assurer un contact acoustique optimal et supports pour stabiliser les transducteurs pendant les mesures.

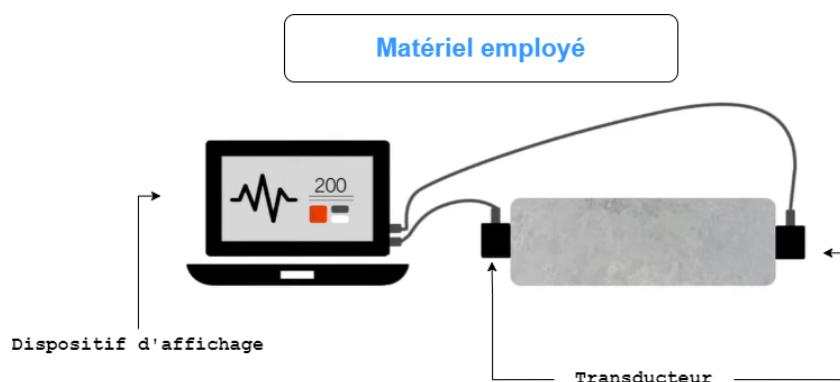


FIGURE 2.1 – Matériel employé

Dans cette partie, chaque matériel est décrit et identifié avec précision.

## 1. L'appareil principal : l'ultrasonomètre (UPV Tester)

C'est l'équipement central de la méthode. Il est constitué de :

- Un générateur d'impulsions : produit les signaux électriques à haute fréquence.
- Un chronomètre intégré : mesure avec précision le temps de transit (T) de l'onde entre les deux capteurs.
- Un écran d'affichage et un système d'enregistrement : permet de lire la vitesse des ondes et de stocker les résultats.



FIGURE 2.2 – Matériel : ultrasomètre + transducteur



FIGURE 2.3 – Appareil d’auscultation ultrasonique

## 2. Transducteurs (émetteur et récepteur)

L’émetteur transforme le signal électrique en vibration mécanique (onde ultrasonore). Le récepteur convertit à nouveau cette vibration en signal électrique mesurable. Les deux capteurs doivent être correctement couplés à la surface du béton pour assurer une bonne transmission.

## 3. Gel de couplage

Un gel ou une pâte visqueuse est appliqué sur les points de contact afin d’éliminer les interstices d’air entre la surface du béton et les transducteurs. L’air étant un très mauvais conducteur d’ondes ultrasonores.



FIGURE 2.4 – gel de couplage

#### **4. Outils de mesure complémentaires**

Une règle ou un mètre ruban est utilisé pour mesurer la distance exacte  $L$  entre les deux transducteurs.

### **2.3 Conclusion**

Le matériel présenté permet de réaliser des essais ultrasoniques précis et fiables. Chaque composant contribue à assurer la qualité des mesures et la reproductibilité des résultats. La maîtrise de l'appareillage et du protocole est essentielle pour obtenir des données exploitables dans l'évaluation de l'état du béton.

# Chapitre 3

## Déroulement des essais

### 3.1 Introduction :

Le déroulement des essais ultrasoniques sur béton vise à garantir la fiabilité des mesures et la représentativité des résultats. Il comprend plusieurs étapes successives allant de la préparation du support à l'acquisition et à l'interprétation des données. Chaque phase doit être réalisée avec rigueur afin d'assurer une évaluation précise de l'intégrité du matériau.

### 3.2 Objectif de l'essai

L'objectif principal de cet essai est d'évaluer l'intégrité interne du béton, notamment son homogénéité, la présence éventuelle de fissures, de vides ou d'altérations. L'essai permet également de mesurer la vitesse de propagation des ondes longitudinales, appelée vitesse ultrasonique, indicatrice de la qualité et de la compacité du matériau.

### 3.3 Conditions expérimentales et sécurité

#### 3.3.1 Conditions environnementales

Avant toute mesure, il est essentiel de noter les conditions environnementales, telles que la température ambiante, l'humidité relative et l'état de surface du béton. Ces paramètres influencent directement la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques. Les essais doivent être évités dans des conditions extrêmes (forte chaleur, humidité excessive ou surface détériorée), afin de garantir la fiabilité des résultats.

#### 3.3.2 Sécurité

Durant la manipulation des équipements d'auscultation, le port des équipements de protection individuelle (EPI) est obligatoire : gants, casque et chaussures de sécurité. Il faut également s'assurer de la stabilité de l'éprouvette ou de la surface testée pour éviter tout risque de basculement

ou d'endommagement du matériel.

Avant de procéder à la mesure proprement dite, il convient de présenter le matériel utilisé et de décrire les différentes étapes de préparation de l'essai.

### 3.4 Étapes préliminaires

Avant de réaliser les essais ultrasoniques, certaines étapes préliminaires doivent être menées avec rigueur afin de garantir la fiabilité des mesures et la qualité des résultats obtenus. Ces étapes consistent principalement à préparer convenablement la surface d'essai, à positionner correctement les transducteurs et à assurer de bonnes conditions de propagation des ondes ultrasonores dans le béton.

#### 3.4.1 Préparation de la surface et positionnement

La préparation de la surface et le positionnement adéquat des transducteurs constituent une phase essentielle pour assurer la précision des mesures. En effet, toute irrégularité ou présence d'impuretés peut affecter la transmission des ondes et fausser l'interprétation des résultats. Les principales étapes à suivre sont les suivantes :

- **Nettoyage de la surface :** Dans un premier temps, la surface à examiner doit être soigneusement nettoyée afin d'éliminer toute trace de poussière, de laitance, de graisse ou de saleté. Une surface propre et sèche garantit une meilleure adhérence du couplant et favorise la propagation optimale des ondes ultrasonores.
- **Marquage du maillage :** [2] Après le nettoyage, un réseau de points est tracé sur la surface conformément au plan d'essai. L'espacement typique entre les points varie entre **10 et 20 cm**, selon la précision souhaitée. Ce marquage permet de localiser les points de mesure et d'identifier les zones critiques susceptibles de présenter des défauts ou des hétérogénéités dans le béton.(Voir Figure 3.1)

#### Mesure en plusieurs points (Maillage)

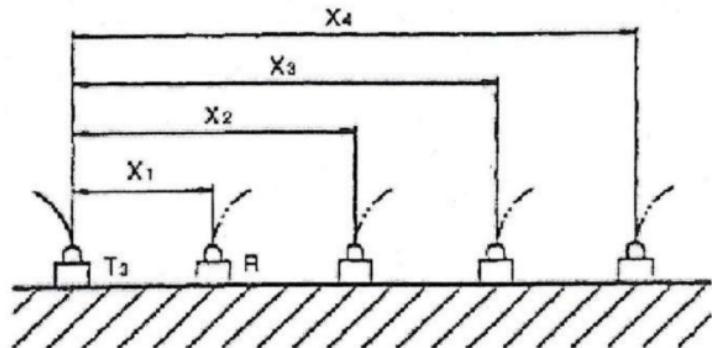


FIGURE 3.1 – Maillage : mesure en plusieurs points

- **Contrôle des transducteurs** : Avant toute utilisation, il est important de vérifier l'intégrité physique des transducteurs ainsi que leur polarité. Ce contrôle assure la fiabilité du signal émis et reçu, réduisant ainsi le risque d'erreurs de mesure.
- **Application du couplant** : Enfin, une fine couche de couplant est appliquée entre le transducteur et la surface du béton comme le montre la figure 3.2. Ce produit permet d'éliminer les interstices d'air et d'assurer un contact acoustique optimal, garantissant ainsi une meilleure transmission des ondes ultrasonores.



FIGURE 3.2 – Application du gel

En conclusion, ces étapes préliminaires jouent un rôle déterminant dans la réussite de l'essai ultrasonique. Une préparation minutieuse de la surface et un bon positionnement des transducteurs assurent la fiabilité des mesures et la représentativité de la qualité du béton.

### 3.5 Méthodes de mesure

Selon la disposition de l'émetteur et du récepteur, on distingue trois méthodes d'auscultation ultrasonique : (Voir Figure 3.3)

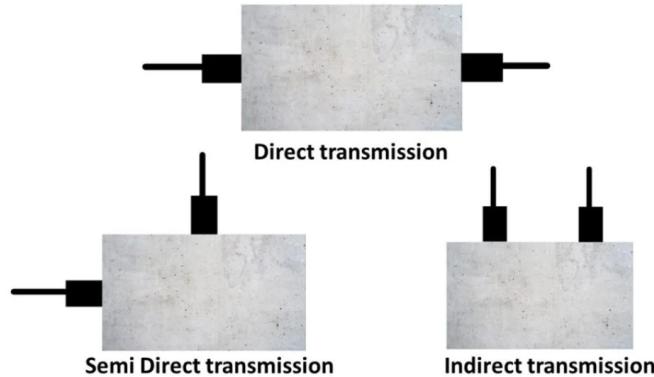


FIGURE 3.3 – Méthodes de configuration selon NF EN 12504-4

#### 3.5.1 Méthode directe

L'émetteur et le récepteur sont placés face à face de part et d'autre du béton.

- C'est la méthode la plus précise.
- Elle donne la vitesse réelle de propagation.
- Limitation : nécessite un accès aux deux faces opposées de l'élément.

#### 3.5.2 Méthode semi-directe

L'émetteur et le récepteur sont disposés sur deux faces adjacentes.

- La précision reste correcte.
- Adaptée lorsque l'accès aux faces opposées est impossible.

#### 3.5.3 Méthode indirecte (ou de surface)

L'émetteur et le récepteur sont situés sur la même face du béton.

- Méthode la moins précise.
- Utilisée lorsqu'un seul côté de l'élément est accessible.

### 3.6 Protocole opératoire des modes de mesure

#### 3.6.1 Mode direct

**Principe :** émetteur et récepteur en vis-à-vis sur faces opposées.

**Étapes :**

1. Positionner précisément les transducteurs et mesurer la distance  $L$ .
2. Appliquer le couplant.
3. Enregistrer le temps de transit  $t$ .

4. Calculer la vitesse  $V = \frac{L}{t}$ .
5. Répéter plusieurs fois sur le maillage.

**Avantages :** mesure la plus fiable.

**Limites :** nécessite accès aux deux faces.

### 3.6.2 Mode semi-direct

**Principe :** transducteurs placés sur faces adjacentes ou perpendiculaires.

**Étapes :**

1. Positionner selon la géométrie choisie.
2. Mesurer la distance de parcours effective.
3. Appliquer le couplant et enregistrer  $t$ .
4. Calculer la vitesse corrigée.

**Avantages :** utile en cas d'accès partiel.

**Limites :** interprétation plus délicate.

### 3.6.3 Mode indirect (ou de surface)

**Principe :** transducteurs côte à côte sur la même face.

**Étapes :**

1. Positionner les transducteurs selon l'espacement choisi.
2. Appliquer le couplant, émettre et capturer le signal.
3. Enregistrer le temps de transit apparent et les réflexions.
4. Balayer le maillage pour la cartographie.

**Avantages :** un seul accès nécessaire.

**Limites :** précision réduite, interprétation complexe.

TABLE 3.1 – Comparaison entre les modes d'essai ultrasonique sur béton

Critère	Essai direct	Essai semi-direct	Essai indirect
<b>Disposition des transducteurs</b>	En vis-à-vis sur deux faces opposées	Sur faces adjacentes ou perpendiculaires	Sur la même face, côté à côté
<b>Trajet de l'onde</b>	Traverse complètement l'élément (trajet rectiligne)	Traverse partiellement en diagonale	Se propage en surface (trajet superficiel)
<b>Précision de mesure</b>	Très élevée (référence)	Moyenne	Faible à moyenne
<b>Profondeur sondée</b>	Total (évaluation volumique)	Partielle	Superficielle
<b>Accessibilité requise</b>	Deux faces opposées nécessaires	Deux faces adjacentes	Une seule face suffisante
<b>Avantages</b>	Mesure la plus fiable et représentative	Permet l'évaluation si accès partiel	Rapide et applicable sur structures existantes
<b>Inconvénients</b>	Accès souvent impossible sur site	Chemin non rectiligne, interprétation plus complexe	Signal faible, forte influence de la surface
<b>Applications typiques</b>	Éprouvettes, éléments préfabriqués	Poutres, colonnes accessibles sur deux faces	Dalles, murs, structures massives inaccessibles

Le tableau ci dessus 3.1 illustre les différents modes de mesures .

#### 3.6.4 Remarques

Ces méthodes sont souvent combinées pour obtenir une vision plus complète de l'état du béton (défauts superficiels et profonds, détection ponctuelle ou cartographie). Le choix de la technique dépend des objectifs d'auscultation, de la géométrie de l'ouvrage et des contraintes d'intervention.

#### 3.6.5 Acquisition et contrôle qualité des données

Lors de la phase d'acquisition, il est essentiel d'assurer une qualité optimale des signaux enregistrés afin de garantir la fiabilité de l'interprétation. Pour cela, un échantillonnage élevé doit être utilisé, accompagné d'un filtrage adapté permettant d'éliminer les bruits parasites et d'améliorer la lisibilité des signaux.

Il est également primordial d'identifier avec précision le premier front d'onde utile, qui constitue la référence pour le calcul de la vitesse de propagation. Afin de réduire les incertitudes de mesure, plusieurs acquisitions sont effectuées sur un même point, puis les résultats sont moyennés.

Enfin, toutes les informations relatives à chaque mesure — telles que la date, le nom de l'opérateur, les conditions environnementales, la distance entre transducteurs  $L$ , le gain appliqué et les éventuelles remarques — doivent être soigneusement consignées afin d'assurer une traçabilité complète des essais.

### 3.7 Remarques pratiques et conseils

Lors de la réalisation des essais ultrasoniques, plusieurs points pratiques doivent être pris en considération afin d'assurer la fiabilité et la précision des mesures :

- **Couplage** : appliquer une fine couche de gel entre le transducteur et la surface, en veillant à éviter toute bulle d'air qui pourrait perturber la transmission des ondes.
- **Armatures** : noter systématiquement la présence d'armatures, car elles peuvent influencer localement la propagation des ondes et fausser les résultats.
- **Accès** : pour les structures existantes, utiliser le mode semi-direct ou indirect selon la configuration et l'accessibilité de la zone à contrôler.
- **Étalonnage local** : effectuer une corrélation entre la vitesse des ondes et la résistance du béton sur des éprouvettes locales afin de garantir des mesures représentatives.

La figure 3.4 illustre les différentes méthodes du déroulement de l'essai ultrasonique sur un échantillon de béton. Deux transducteurs sont placés sur des faces opposées du prisme afin de permettre la transmission et la réception de l'onde ultrasonique.



FIGURE 3.4 – déroulement des essais

### 3.8 Conclusion

En conclusion, le déroulement des essais ultrasoniques doit suivre un protocole rigoureux, depuis la préparation de la surface jusqu'à l'acquisi-

tion et le contrôle qualité des données. Le respect des méthodes de mesure, qu'elles soient directes, semi-directes ou indirectes, et l'application des bonnes pratiques garantissent des résultats fiables et représentatifs. Enfin, les remarques pratiques et l'attention portée aux facteurs influençant les mesures permettent de minimiser les sources d'erreur et d'assurer la traçabilité des essais.

# Chapitre 4

## Résultats obtenus

### 4.1 Introduction

Dans cette partie, nous présentons les résultats obtenus à l'issue des essais.

#### 4.1.1 Méthodes de configuration selon NF EN 12504-4

L'essai peut être réalisé selon l'une des trois méthodes décrites dans la norme NF EN 12504-4 :

- **Méthode directe** dite « par transparence » ;
- **Méthode indirecte** dite « de surface » ;
- **Méthode semi-directe** dite « en semi-transparence ».

Selon la méthode choisie, il n'est pas nécessaire d'avoir accès aux deux faces du béton : le matériau peut être ausculté en surface ou jusqu'au cœur.

### 4.2 Explication du concept

Le concept de l'auscultation ultrasonique repose sur la mesure de la vitesse de propagation d'une onde de compression à travers le béton. Cette vitesse dépend directement des propriétés mécaniques et de l'homogénéité du matériau. Un béton dense, bien compacté et sans fissures présente une vitesse de propagation élevée , indiquant une bonne qualité. (Voir Figure 4.1) À l'inverse, un béton dégradé, fissuré ou comportant des vides ralentit la propagation des ondes , traduisant une perte de cohésion et une moindre qualité du matériau. Ainsi, l'analyse de la vitesse ultrasonique permet d'évaluer rapidement la compacité et l'intégrité du béton sans recourir à des essais destructifs.

## Le Concept

La vitesse d'une impulsion d'ondes de compression traversant le béton dépend des propriétés de celui-ci.

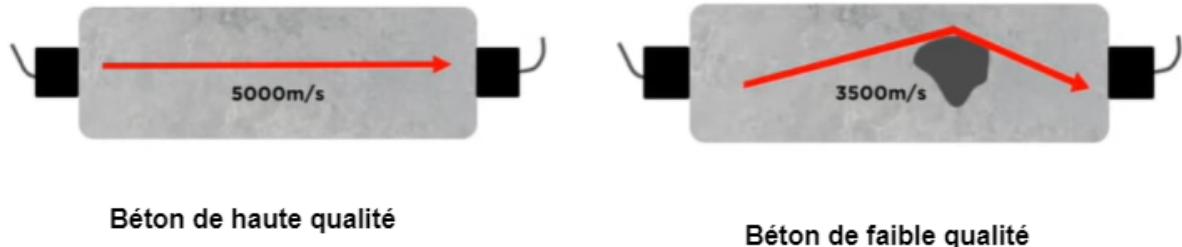


FIGURE 4.1 – Explication du concept

### 4.3 Résultats

Les vitesses mesurées varient entre 3000 et 4000 m/s selon la qualité du béton. La classification suivante est adoptée (voir 4.1)

TABLE 4.1 – Résultats vitesses de propagation dans le béton

Vitesse (m/s)	Résultats de la qualité du béton
> 4000	Très bonne qualité, béton dense et homogène
3500 – 4000	Béton de qualité moyenne
3000 – 3500	Béton de qualité faible ou présentant des défauts
< 3000	Béton altéré ou fissuré

#### 4.3.1 Facteurs influençant les résultats des essais

Plusieurs paramètres peuvent affecter les résultats des essais ultrasoniques et doivent être pris en compte lors de l'interprétation des mesures. La **taille des granulats** influe sur la propagation des ondes dans le béton, les gros granulats pouvant provoquer des dispersions et des hétérogénéités locales.

La **qualité de la surface d'essai** et le contact avec les capteurs sont également déterminants : une surface rugueuse ou un mauvais couplant peut réduire l'efficacité de la transmission des ondes. Le **type de ciment** utilisé et l'**âge du béton** jouent un rôle sur la densité et la rigidité du matériau, influençant directement la vitesse de propagation des ondes.

Enfin, la **présence d'armatures** peut modifier localement le trajet des ondes et créer des réflexions, ce qui nécessite une interprétation attentive des résultats afin de distinguer les effets liés aux défauts du béton de ceux liés aux armatures.

#### **4.4 Conclusion**

Ce chapitre présente les résultats obtenus lors de l'essai d'auscultation ultrasonique, explique son concept et détaille les facteurs pouvant influencer les résultats de l'essai.

# Chapitre 5

## Interprétation des résultats

### 5.1 Interprétation

Le tableau 4.1 classe la qualité du béton selon la vitesse de propagation des ultrasons. Une vitesse supérieure à 4000 m/s indique un béton très dense et homogène, synonyme d'excellente qualité, tandis qu'une vitesse comprise entre 3500 et 4000 m/s correspond à un béton sain mais légèrement hétérogène, de qualité moyenne à bonne. Pour des vitesses entre 3000 et 3500 m/s, le béton peut présenter des porosités ou de fines fissures, traduisant une qualité plus faible. Enfin, des vitesses inférieures à 3000 m/s signalent un béton altéré avec fissures ouvertes, vides ou dégradations importantes (Voir Figure 5.1). Cette classification permet d'évaluer rapidement l'état interne du matériau, puisque la vitesse de propagation dépend directement de ses propriétés mécaniques, telles que la densité, le module d'élasticité, la porosité ou le taux de fissuration. Une vitesse élevée reflète généralement un béton dense et homogène, tandis qu'une vitesse faible indique la présence de défauts ou de zones altérées.

### Interprétation des résultats

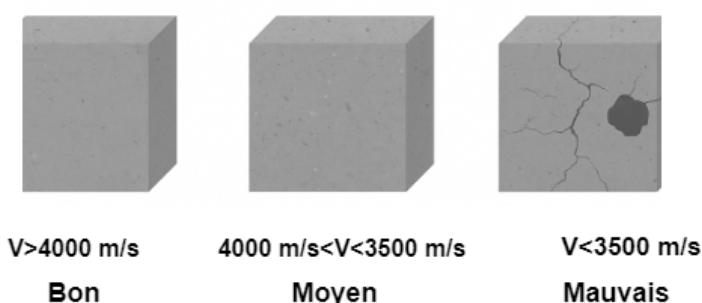


FIGURE 5.1 – Interprétation des résultats

## **5.2 Comparaison entre ancien essai sonique et auscultation ultrasonique moderne**

Les techniques anciennes d'essai sonique, telles que le scléromètre à impact ou les marteaux de rebond, ne fournissaient que des informations limitées sur la surface du béton et présentaient plusieurs contraintes majeures : l'évaluation était superficielle, ne portant que sur la couche externe ; les conditions externes comme l'humidité, la rugosité ou la présence d'armatures pouvaient fausser les résultats ; la précision était limitée, rendant impossible la détermination de la profondeur réelle des fissures ou défauts internes ; enfin, l'interprétation des mesures était souvent complexe et délicate.

En revanche, l'auscultation ultrasonique offre de nombreux avantages. Elle permet une évaluation volumique, sondant l'ensemble de l'épaisseur de la structure, et une détection précise des défauts internes tels que fissures, vides, alvéolages, inclusions ou dommages liés au gel-dégel. De plus, elle permet de réaliser une cartographie détaillée de l'intégrité structurelle, visualisant clairement les zones saines et problématiques. Les résultats sont plus fiables, moins influencés par les conditions de surface ou la présence d'armatures.

Ainsi, l'auscultation ultrasonique constitue un progrès significatif par rapport aux anciennes méthodes, offrant une analyse plus complète, précise et fiable de l'état interne du béton, et permettant une meilleure prévention des dégradations structurelles et une planification efficace des interventions de maintenance.

## **5.3 Conclusion**

Le principe théorique de l'auscultation ultrasonique repose sur l'analyse de la propagation des ondes sonores dans le béton. La vitesse mesurée constitue un indicateur essentiel de la qualité du matériau.

Cette méthode, bien que dépendante des conditions d'essai et de la configuration des capteurs, reste l'une des plus fiables pour évaluer l'état interne d'un ouvrage en béton sans recourir à des essais destructifs.

# Normes

L'auscultation ultrasonique du béton est encadrée par plusieurs normes internationales qui définissent les procédures d'essai, les conditions de mesure et l'interprétation des résultats. Ces normes garantissent la fiabilité, la répétabilité et la comparabilité des mesures effectuées. Parmi les principales normes applicables, on cite :

- **ASTM C597** — Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete : cette norme américaine décrit la méthode de mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques dans le béton afin d'en évaluer l'homogénéité et la qualité.[3]
- **ISO 1920-7** — Testing of Concrete — Part 7 : Non-destructive Tests on Hardened Concrete : cette norme internationale précise les procédures générales pour la réalisation d'essais non destructifs, incluant la mesure de la vitesse ultrasonique. [4]
- **EN 12504-4** — Essais du béton dans les structures — Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques : cette norme européenne décrit les modalités de l'essai sur béton durci directement sur ouvrage. [5]
- **EN 13791** — Évaluation de la résistance à la compression du béton dans les structures et les éléments préfabriqués : cette norme complète les précédentes en donnant les méthodes d'interprétation des résultats d'essais non destructifs pour estimer la résistance du béton.

# Conclusion

L'auscultation ultrasonique constitue aujourd'hui une méthode essentielle de **contrôle non destructif** dans le domaine du génie civil. Basée sur la mesure de la vitesse de propagation des ondes sonores à travers le béton, elle permet d'obtenir des informations précises et fiables sur l'état interne du matériau.

Grâce à cette technique, il est possible de :

- détecter des anomalies telles que fissures, vides ou zones ségrégées,
- évaluer l'homogénéité et la compacité du béton,
- suivre le processus de durcissement du béton jeune,
- et estimer certaines propriétés mécaniques comme le module d'élasticité.

Ses principaux atouts résident dans son caractère non destructif, sa rapidité de mise en œuvre et la richesse des informations fournies. Toutefois, elle présente aussi certaines limites liées notamment à la sensibilité aux conditions d'humidité, de température et à la nécessité d'une bonne interprétation des résultats.

En conclusion, l'auscultation ultrasonique constitue un outil essentiel dans la prévention et le diagnostic des pathologies des constructions. Son intégration dans une démarche globale de maintenance et de réhabilitation des ouvrages contribue à garantir leur durabilité et leur sécurité, tout en optimisant les coûts d'entretien.

# Bibliographie

- [1] *EN 13791 : Évaluation de la résistance à la compression du béton dans les structures et les éléments préfabriqués.* Comité Européen de Normalisation (CEN), Bruxelles, 2019. Méthodes d'interprétation des résultats d'essais non destructifs pour estimer la résistance du béton.
- [2] Mongi Benouzdou. *Diagnostic des constructions.* Tunis, 2025–2026. Cours PDF, Document : 1-Diagnostic-Const-ENIT-2025-26\_c.pdf.
- [3] *ASTM C597 – Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.* ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2016. Méthode d'essai pour la mesure de la vitesse des ondes ultrasoniques dans le béton.
- [4] *ISO 1920-7 : Testing of Concrete – Part 7 : Non-destructive Tests on Hardened Concrete.* International Organization for Standardization (ISO), Genève, Suisse, 2016. Essais non destructifs sur béton durci.
- [5] *EN 12504-4 : Essais du béton dans les structures – Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques.* Comité Européen de Normalisation (CEN), Bruxelles, 2004. Norme européenne pour la mesure de la vitesse ultrasonique du béton.