

# TP6 : Essai Non Destructif

Au profit des étudiants 3<sup>ème</sup> année licence

Cycle LMD

Spécialité Génie Civil

.....

Dr : BENMAMMAR Mohammed

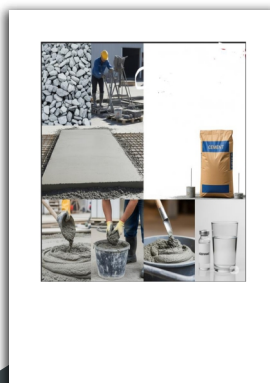
Maitre Conférence classe B

Université Aboubekr Belkaid - Tlemcen

Faculté technologie- département Génie Civil

Email : mohamme.benmammar@gmail.com

3.0 06/2025



*TP 06 : Essais non destructif sur le béton*

# Table des matières

<b>Objectifs</b>	<b>3</b>
<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I - Activité pratique</b>	<b>5</b>
<b>II - Principe d'essai</b>	<b>6</b>
<b>III - Matériel utilisée</b>	<b>7</b>
1. l'essai au scléromètre .....	7
2. l'essai par auscultation ultrasonique.....	8
<b>IV - Matériaux utilisé</b>	<b>10</b>
<b>V - Mode d'opérateur</b>	<b>11</b>
1. l'essai au scléromètre .....	11
2. Essai par auscultation ultrasonique .....	13
<b>VI - Recommandations ou normes spécifiques</b>	<b>15</b>
1. Essai scléromètre.....	15
2. Essai par auscultation ultrasonique .....	15
<b>VII - Travail demandé</b>	<b>16</b>
<b>VIII - Exercice</b>	<b>17</b>

# Objectifs

---



L'objectif principal de ce Travail Pratique (TP) est d'introduire les étudiants aux méthodes **d'essais non destructifs (END)** appliquées au béton, qui permettent d'évaluer certaines de ses propriétés sans **endommager** la structure. Ce TP vise à :

- Comprendre les principes et l'intérêt des **essais non destructifs** pour le contrôle qualité du béton in situ.
- Maîtriser l'utilisation de deux **méthodes** courantes : le **scléromètre (essai de rebondissement)** et l'**auscultation ultrasonique**.
- Interpréter les résultats obtenus et établir des **corrélations** avec d'autres propriétés du béton, notamment la **résistance** à la compression.
- Identifier les avantages et les limites de chaque méthode d'**END**.
- Sensibiliser à l'importance du contrôle **non destructif** dans le **diagnostic** des structures existantes.

# Introduction

---



Le contrôle de la qualité du béton est une étape **cruciale** à toutes les phases d'un projet de construction. Outre les **essais destructifs** (comme l'**essai d'écrasement** sur des éprouvettes), les essais non destructifs (**END**) jouent un rôle de plus en plus important. Ils permettent d'évaluer la qualité et l'**homogénéité** du béton directement sur l'ouvrage, de détecter des défauts (vides, fissures), d'estimer des propriétés **mécaniques** (résistance à la compression), ou de suivre l'évolution du **durcissement** du béton.

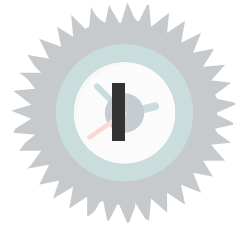
Les END sont particulièrement utiles pour :

- Le contrôle qualité sur chantier.
- Le **diagnostic** de structures existantes (ponts, bâtiments).
- L'**évaluation** des **dommages** après un événement (incendie, séisme).
- La **surveillance** à long terme de la **performance** du béton.

Ce TP se **concentrera** sur deux méthodes principales : l'essai au **scléromètre** (méthode de rebondissement) et l'essai par **auscultation ultrasonique** (méthode de la **vitesse de propagation des ondes**).

# Activité pratique

---



## Objectifs

Ce TP est conçu comme une activité pratique où les étudiants travailleront en groupes pour :

- Manipuler et calibrer un **scléromètre** et un appareil d'**auscultation ultrasonique**.
- Réaliser des mesures sur des éléments en béton (éprouvettes ou blocs de béton).
- Enregistrer les données brutes (indices de rebondissement, temps de propagation des ondes).
- Effectuer les calculs et les **corrections nécessaires**.
- Utiliser des courbes de **corrélation** pour estimer la **résistance à la compression**.
- Analyser et comparer les **résultats** obtenus par les **deux méthodes**.
- Discuter des **facteurs** influençant les mesures et des limites de chaque essai.
- Rédiger un rapport **technique** incluant les **observations** et les interprétations.

# Principe d'essai



## Essai au scléromètre (Méthode de rebondissement)

Le scléromètre (ou marteau de Schmidt) est un appareil qui mesure la dureté superficielle du béton. Il fonctionne en projetant une masse sur la surface du béton et en mesurant la hauteur de rebondissement de cette masse. Plus le béton est dur et résistant, plus l'indice de rebondissement est élevé.

Le principe repose sur la relation empirique entre la dureté superficielle et la résistance à la compression du béton. L'indice de rebondissement (R) est lu directement sur l'appareil. Des abaques ou des courbes de corrélation spécifiques au type de béton testé sont ensuite utilisées pour estimer la résistance à la compression ( $f_c$ ).

## Essai par auscultation ultrasonique (Méthode de la vitesse de propagation des ondes)

Cette méthode consiste à mesurer le temps de propagation d'une onde ultrasonique à travers une épaisseur connue de béton. Un émetteur génère une impulsion ultrasonique qui traverse le matériau, et un récepteur détecte l'onde après son passage.

La vitesse de propagation des ondes ( $V$ ) est calculée en divisant la distance parcourue par l'onde ( $L$ ) par le temps de propagation ( $t$ ) :

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

Où :

- $V$  : Vitesse de propagation des ondes (en km/s ou m/s)
- $L$  : Longueur du trajet de l'onde (en m ou mm)
- $t$  : Temps de propagation (en  $\mu s$ )

La vitesse de propagation est liée à la qualité, à l'homogénéité et à la compacité du béton. Un béton de bonne qualité, dense et homogène, présente une vitesse de propagation élevée. Des abaques ou des corrélations empiriques permettent d'estimer la résistance à la compression à partir de cette vitesse.

# Matériel utilisée



## 1. l'essai au scléromètre

- **Scléromètre (Marteau de Schmidt)** : Appareil portable pour mesurer l'indice de rebondissement.

Le scléromètre est un appareil simple qui mesure la " dureté au choc " du béton au voisinage de la surface (Indice sclérométrique). Cet indice, reporté sur un abaque, permet de déduire la résistance à la compression du béton testé.

Dans l'essai au scléromètre une masse approximative de 1.8 kg montée sur un ressort a une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu a partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête, toujours en contact avec la surface du béton et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement. Cet indice est indiqué par un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée.



Figure1 : Appareil sclérometre

- **Pierre à aiguiser (carborundum)** : Pour préparer la surface du béton (lisser et nettoyer).



Figure2 : Pierre à aiguiser (carborundum)

**Mètre ruban ou règle :** Pour délimiter la zone d'essai

## 2. l'essai par auscultation ultrasonique

**Appareil d'auscultation ultrasonique (Pundit) :** Composé d'un émetteur, d'un récepteur, et d'une unité de mesure du temps.



figure 3 : Appareil d'auscultation ultrasonique (Pundit)

**Transducteurs (émetteur et récepteur) :** Généralement de 50 kHz ou 100 kHz.



figure 4 : Transducteurs (émetteur et récepteur) :

**Gel de couplage (ou pâte de contact) :** Pour assurer un bon contact acoustique entre les transducteurs et le béton.



Figure 5 : Gel de couplage (ou pâte de contact) :



**Mètre ruban ou pied à coulisse** : Pour mesurer la distance entre les transducteurs.

**Appareil d'inspection CND à ultrasons** par vitesse d'impulsion - Pundit Lab(+) - Proceq



*Figure 7 :Appareil d'inspection CND à ultrasons par vitesse d'impulsion - Pundit Lab(+) - Proceq*

## Matériaux utilisé

---



- **Blocs ou éléments en béton :** De différentes qualités et âges si possible, pour observer des variations de résultats. Des éprouvettes de béton dont la résistance à la compression a été déterminée par essai destructif peuvent être utilisées pour étalonner les corrélations.
- **Eau ou gel de couplage :** Pour l'essai ultrasonique



## 1. l'essai au scléromètre

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

- **Pour une surface :** il convient de ne pas effectuer l'essai à moins de 3 à 4 cm des bords de l'élément testé.

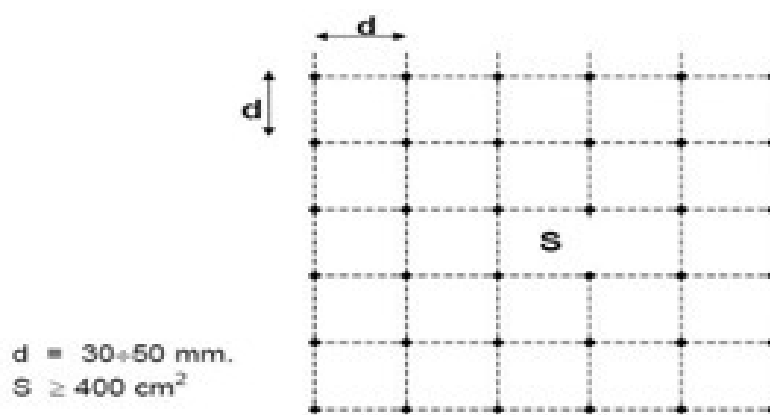
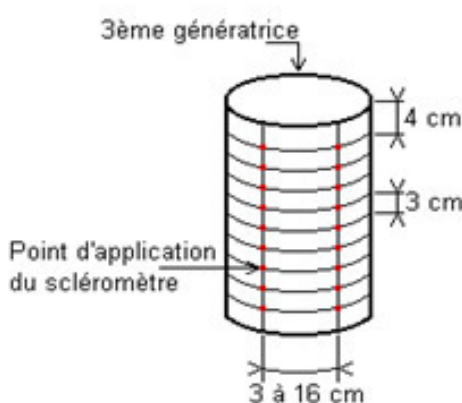


Figure 8 : Pour une surface

**Pour une éprouvette :** Il est nécessaire de faire une série de 27 mesures sur chaque zone d'essai



Mesures au scléromètre sur éprouvette 16 x 32

Figure 9 : Pour une éprouvette

1. **Préparation de la surface :** Choisir une zone d'essai plane et lisse, exempte de gravier apparent, de bulles d'air ou de défauts. Si la surface est rugueuse, la lisser avec la pierre à aiguiser. Nettoyer la surface.
2. **Calibrage :** Calibrer le scléromètre sur un enclume de référence fourni par le fabricant avant et après chaque série de mesures.

### 3. Réalisation des mesures :

- Tenir le scléromètre perpendiculairement à la surface du béton.
- Appliquer une pression constante pour déclencher le marteau.
- Lire l'indice de rebondissement (R) sur l'échelle de l'appareil.
- Effectuer au moins 9 à 12 mesures dans une zone de 30 cm×30 cm, en évitant les zones déjà testées et les bords.
- Écarter les valeurs extrêmes (trop faibles ou trop élevées) si elles s'écartent significativement de la moyenne (selon les normes, ex: plus de 20% de la moyenne).

**4. Calcul et interprétation :** Calculer la moyenne des indices de rebondissement valides. Utiliser les abaques ou les courbes de corrélation (en tenant compte de l'angle d'impact si l'essai n'est pas horizontal) pour estimer la résistance à la compression.

La lecture de l'indice sclérométrique reportée sur l'abaque, qui tient compte de la position de l'appareil, donne les valeurs de la résistance à la compression du béton.

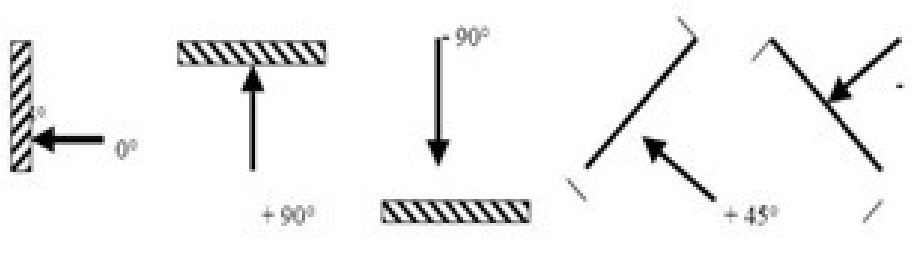


Figure 10 : La lecture de l'indice sclérométrique

On peut aussi relier la résistance du béton testé  $R_c$  à l'indice sclérométrique de la manière suivante :  $R_c = 12/32$

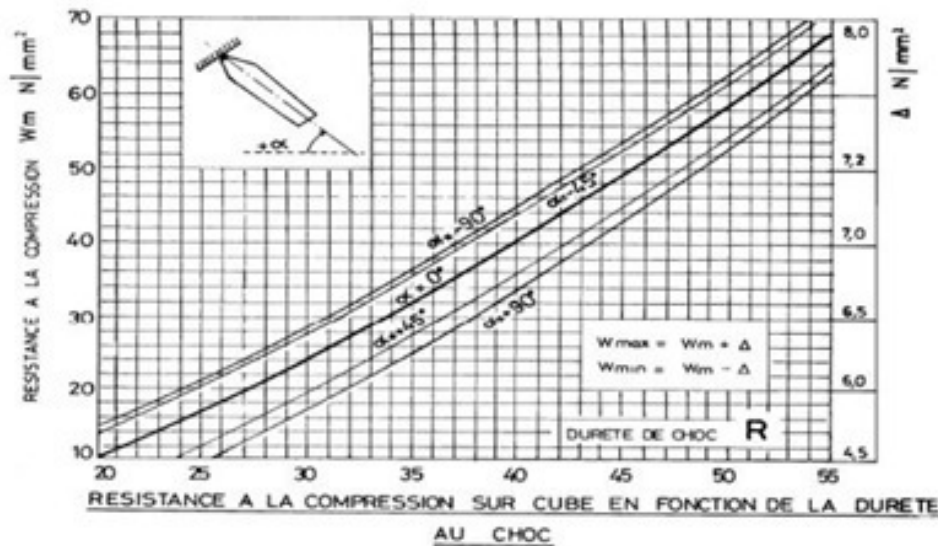


Figure 11 : Abaque l'indice sclérométrique

[cf. L'essai au scléromètre (test de la résistance du béton in-situ ...)]

## 2. Essai par auscultation ultrasonique

La méthode des vitesses ultrasonores est un essai qui est normalisé par [ASTM C597 – 09, 2003]. La figure 1.7 présente le schéma récapitulatif de cette méthode. La gamme de fréquence typiquement utilisée pour le béton est de 20 kHz à 300 kHz

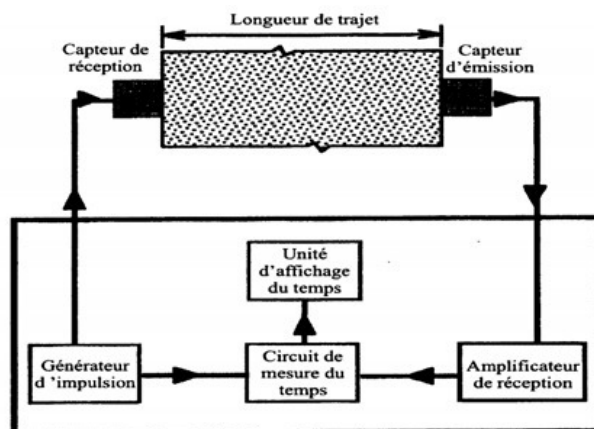


Figure 12 : Schéma de la méthode de vitesse ultrasonore

1. **Préparation des transducteurs** : Appliquer une fine couche de gel de couplage sur les faces des transducteurs.

2. **Type de Mesure** : Trois types de dispositions des transducteurs sont couramment utilisés

- **Transmission directe** : Il s'agit de la méthode la plus précise pour déterminer la vitesse d'impulsion. La longueur du trajet est mesurée entre chaque centre des transducteurs (figure 13), Placer l'émetteur et le récepteur sur des faces opposées de l'élément en béton, face à face. Mesurer la distance (L) entre les centres des transducteurs.

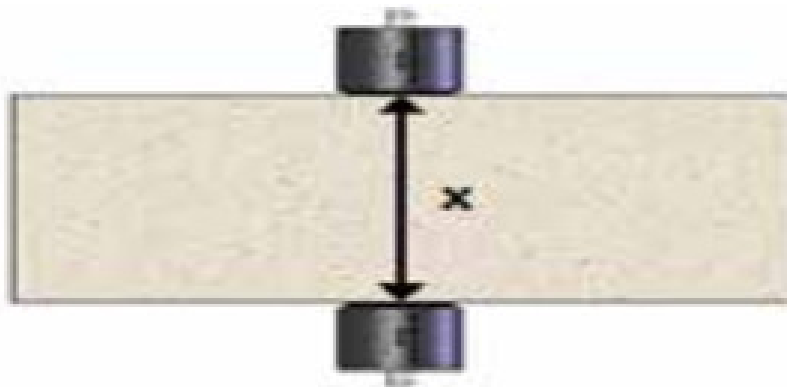


Figure 13 : Transmission directe

- **Transmission indirecte** : L'amplitude du signal représente environ 3% de l'amplitude du signal par rapport à la transmission directe. La longueur du trajet peut être incertaine (figure 14). Cette méthode est utilisée pour déterminer la fissure et sa profondeur, elle est efficace pour caractériser les fissures de surface. La profondeur d'une fissure de surface remplie d'air peut être estimée par la méthode de la vitesse d'impulsion comme le montre la figure 15. La profondeur h est donnée par l'équation 2.



Figure 14 : transmission indirecte

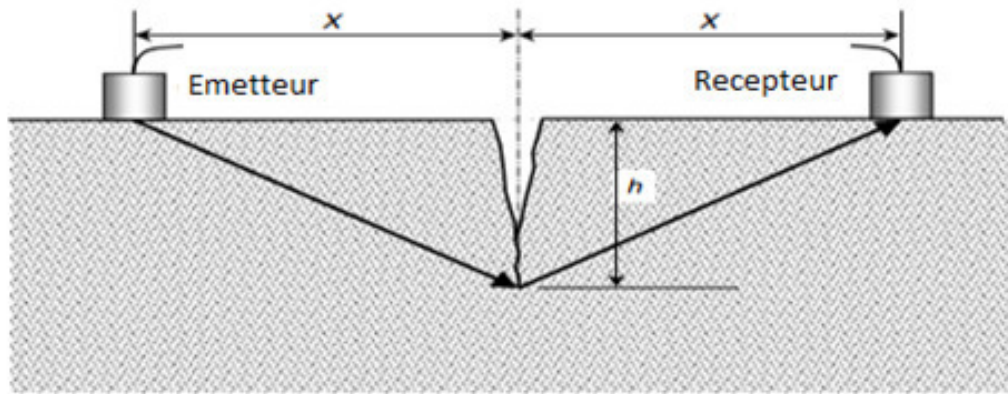


Figure 15 : Schéma pour la mesure de la profondeur de fissure de surface  $h$

$$h = X / T_2 \sqrt{(T_1^2 - T_2^2)}$$

Où

$X$  : distance au transducteur de la fissure (m)

$T_1$  : temps de transit autour de la fissure (s)

$T_2$  : temps de transit le long de la surface du même type de béton sans fissure (s), (il est à noter que la longueur du chemin de surface pour  $T_1$  et  $T_2$  doit être égale)

- **Transmission semi-directe** : La sensibilité se situe entre les deux autres méthodes. La longueur du trajet est mesurée entre chaque centre des transducteurs (figure 16). Placer l'émetteur et le récepteur sur la même face, à une distance connue. (Moins précise, utilisée quand les autres méthodes sont impossibles).

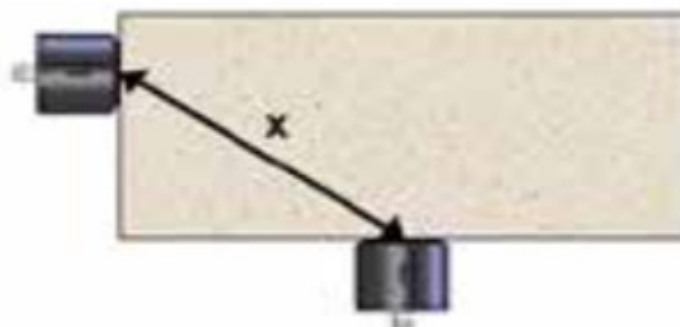


Figure 16 : Transmission semi directe

### 3. Calcul et interprétation

- Calculer la vitesse de propagation ( $V=L/t$ ).
- Comparer la vitesse obtenue avec les plages de vitesses caractéristiques pour différents états de qualité du béton (ex: très bonne, bonne, moyenne, mauvaise).
- Utiliser des courbes de corrélation (si disponibles et étalonnées pour le type de béton) pour estimer la résistance à la compression.

[cf. Essais Ultrason et Scléromètre | Essai en laboratoire | CNERIB]

# Recommandations ou normes spécifiques

---



## 1. Essai scléromètre

- **NF EN 12504-2** : Essais du béton dans les structures - Partie 2 : Essai non destructif - Détermination de l'indice de rebondissement. (Norme européenne)
- **ASTM C805/C805M** : Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. (Norme américaine)

### Recommandations importantes :

- Le scléromètre est sensible à la qualité de la surface, à l'humidité du béton, à l'âge du béton et à la présence de granulats.
- Il donne une estimation de la résistance superficielle, qui peut être différente de la résistance à cœur.
- Les corrélations avec la résistance à la compression sont empiriques et doivent être établies pour le type de béton testé

## 2. Essai par auscultation ultrasonique

- **NF EN 12504-4** : Essais du béton dans les structures - Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques. (Norme européenne)
- **ASTM C597/C597M** : Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. (Norme américaine)

### Recommandations importantes :

- La présence de fissures, de vides ou de zones de mauvaise qualité réduit la vitesse de propagation des ondes.
- La vitesse est influencée par la teneur en eau du béton, la température et le type de granulats.
- Les corrélations avec la résistance à la compression sont plus fiables si elles sont établies in situ ou sur des éprouvettes du même béton.
- La méthode directe est toujours préférable.

### Classements qualitatifs :

- $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$  béton de faible résistance,
- $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$  béton de moyenne résistance,
- $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$  béton à haute résistance,
- $V \geq 4200 \text{ m/s}$  béton à très haute résistance.

# Travail demandé

---



Après avoir réalisé les essais et collecté les données, sur un compte rendu vous devez répondre aux questions suivantes pour analyser et interpréter leurs résultats :

1. Pour l'essai au scléromètre :

- Calculez l'indice de rebondissement moyen pour chaque zone testée.
- Estimez la résistance à la compression correspondante en utilisant les abaques ou courbes de corrélation fournies.
- Quels sont les facteurs qui peuvent affecter la précision de cette mesure ?

2. Pour l'essai par auscultation ultrasonique :

- Calculez la vitesse de propagation des ondes pour chaque mesure.
- Interprétez la qualité du béton en fonction des vitesses obtenues (ex: très bonne, bonne, moyenne, mauvaise).
- Comment la présence de vides ou de fissures dans le béton influencerait-elle la vitesse de propagation des ondes ?

3. Comparez les estimations de résistance à la compression obtenues par le scléromètre et par l'auscultation ultrasonique. Observez-vous une cohérence ? Expliquez les éventuelles différences.

4. Si vous aviez une éprouvette de béton dont la résistance à la compression a été déterminée par un essai destructif, comment pourriez-vous utiliser cette information pour améliorer la fiabilité de vos résultats d'END ?

5. Quels sont les avantages et les inconvénients de l'essai au scléromètre par rapport à l'essai par auscultation ultrasonique pour l'évaluation du béton in situ ?

6. Dans quelles situations spécifiques sur un chantier ou pour le diagnostic d'une structure, choisiriez-vous d'utiliser un scléromètre plutôt que des ultrasons, ou vice-versa ?

7. Proposez une explication pour toute anomalie ou résultat inattendu que vous auriez pu observer pendant le TP.

8. En quoi les essais non destructifs sont-ils complémentaires aux essais destructifs pour le contrôle qualité du béton ?



# Exercice

---



## Exercice

---

Parmi les facteurs suivants, lesquels peuvent influencer les résultats de l'essai au scléromètre ? (Choisissez toutes les bonnes réponses)

- ☐ La qualité de la surface du béton
- ☐ L'humidité du béton
- ☐ Le type de ciment
- ☐ L'âge du béton
- ☐ La température ambiante

## Exercice

---

Quelle méthode d'essai non destructif mesure la dureté superficielle du béton ?

- ☐ Essai d'écrasement
- ☐ Auscultation ultrasonique
- ☐ Essai scléromètre

## Exercice

---

Pourquoi est-il nécessaire d'utiliser un gel de couplage lors de l'essai par auscultation ultrasonique

## Exercice

---

Décrivez brièvement la différence entre la méthode directe et la méthode indirecte d'auscultation ultrasonique en termes de positionnement des transducteurs ?

**Complétez la phrase suivante : Un béton de bonne qualité, \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_, présente une vitesse de propagation des ondes ultrasoniques \_\_\_\_\_.**

Un béton de bonne qualité, dense et homogène, présente une vitesse de propagation des ondes ultrasoniques élevée.

## Exercice

---

Lors d'un essai par auscultation ultrasonique, la distance entre l'émetteur et le récepteur est de 400 mm. Le temps de propagation mesuré est de 80  $\mu$ s. Calculez la vitesse de propagation des ondes (V) en km/s.