

## CHAPITRE 5 PROPRIETES DU BETON A L'ETAT FRAI ET DURCI

**5.1. INTRODUCTION:** Le béton confectionné doit être le plus homogène possible et ne pas varier au cours d'une journée de bétonnage par exemple.

- les granulats doivent être préalablement séparés en certaines classes granulométriques (celles de l'étude granulométrique)
- Le contrôle de la teneur en eau du sable doit être fait. Il est préférable d'effectuer les dosages en poids plutôt qu'en volume (à cause des erreurs dues au gonflement ou tassement par exemple des sables suivant leur teneur en eau)
- le contrôle des proportions des divers ingrédients doit être constant.

Le béton est appelé béton frais tant qu'il est possible de le mettre en œuvre. Passé le stade de la prise, il évolue vers le béton durci. On peut dire aussi que c'est un béton entièrement mélangé et encore dans un état permettant de le compacter avec la méthode choisie.

Le béton frais, mis en place, compacté et en train de se raidir, est nommé béton «rigidifié».

La résistance du béton rigidifié résulte essentiellement des forces d'adhérence entre l'eau et les particules solides ainsi que du frottement interne et de l'enchevêtrement du granulat. Au fur et à mesure de la progression de l'hydratation du ciment et du durcissement, le béton «rigidifié» passe au béton «jeune». Le béton jeune n'est plus ouvrable en raison de son état solidifié.

Pour permettre au béton frais d'atteindre les propriétés exigées en phase durcie, divers facteurs d'influence sont à prendre en compte, en particulier lors **du malaxage**, **du transport**, **du transbordement** et de **la mise en place** du béton ainsi que lors de son **compactage** et de **sa cure**.

À l'état frais, la propriété la plus importante du béton est sa consistance (ou ouvrabilité). Cette propriété traduit l'aptitude du béton à être mis en œuvre correctement. En laboratoire, on peut utiliser des **rhéomètres** pour caractériser le comportement du béton frais. Sur chantier,



**Figure 5.1. la mise en place du béton frais**

l'essai le plus couramment utilisé est **l'essai d'affaissement** au cône d'Abrams, qui consiste à mesurer l'affaissement d'un tronc de cône en béton frais.

## **5.2. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU BETON FRAIS**

Le contrôle de la qualité du béton frais est cruciale pour assurer la stabilité et la durabilité des structures en béton. Les éléments clés comme la teneur en eau et le rapport eau/ciment jouent un rôle fondamental dans l'atteinte de la qualité souhaitée.

Ces paramètres sont généralement considérés comme essentiels pour déterminer la résistance, la consistance, la maniabilité et la durabilité du béton. Bien qu'une augmentation de l'espacement des granulés puisse faciliter la mise en place du béton, un excès d'eau peut nuire à sa performance. Un contenu en eau trop élevé peut entraîner une porosité accrue, ce qui réduit à son tour la résistance et la rigidité du béton, et conduit à un retrait plus important lors du séchage.

La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci.

Il existe un très grand nombre d'appareils de mesure de l'ouvrabilité du béton reposant sur des principes différents. Certains mesurent une compacité, d'autres un temps d'écoulement ou encore utilisent l'énergie potentielle du béton ou nécessitent un apport d'énergie extérieur.

On comprend qu'il est difficile de convenir d'un tel appareil tenant compte de tous les bétons possibles pour tous les usages et qui tiennent compte aussi des différents facteurs de l'ouvrabilité. Certains appareils sont utilisés à la fois par les laboratoires et par les chantiers. La distinction proposée est donc parfois assez artificielle, sauf dans le cas d'appareillage très élaboré.

### **5.2.1.. L'ouvrabilité du béton frais.**

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Ces essais sont divisés en :

- Essais de phases statiques ( Cône d'ABRAMS, boule de KELLY ,....etc
- Essais de phases dynamique ( Essai de VEBE, essai de maniabilité LPC-LESAGE..etc .

On n'en citera que quelques-uns qui sont les plus couramment utilisés dans la pratique.

#### a. Affaissement au cône d'ABRAMS.

**CHAPMAN** a sans doute été le premier à préciser cet essai en 1913[ 1]. Au demeurant très simple, l'essai consiste à remplir un moule tronconique avec le béton à tasser, puis d'oter verticalement le moule avec précautions et noter l'affaissement que le béton subit sous son propre poids. Cet essai (slump-test) est normalisé au USA en 1939 et modifié une dernière fois en 1958 (Norme ASTM C143-74). Alors que , en France le mode opératoire en vigueur est normalisé avec un cone légèrement différent du modèle américain ( Norme NF P 18451).

Cet essai incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration. L'appareillage est complètement décrit dans la **norme** NF P 18-451 et est schématisé sur la figure 5.2. Il se compose de 4 éléments: un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure; une plaque d'appui; une tige de piquage; un portique de mesure.

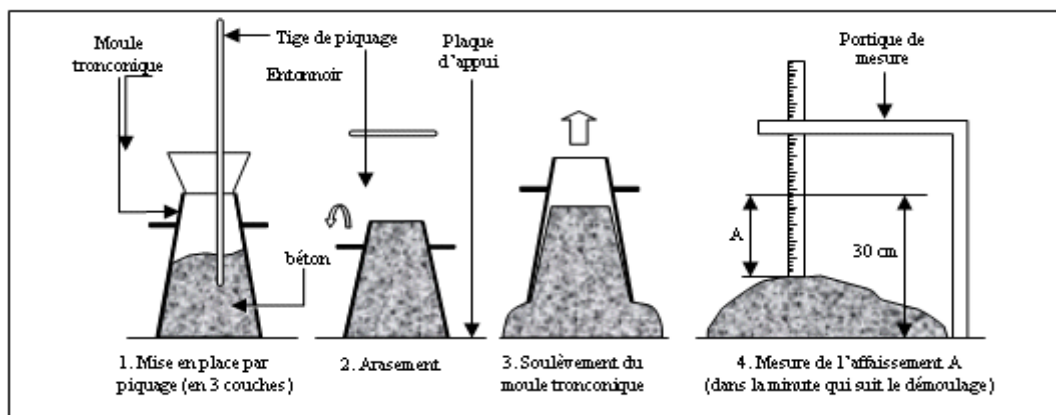


Fig. 5.2: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams - appareillage

b) Les mesures sont évidemment quelques peu dispersées et il ne faut pas accorder à cet essai un caractère trop rigoureux, mais on peut admettre qu'il caractérise bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau 5.1

| Classe de consistance | Affaissement (cm) | Tolérance (cm) |
|-----------------------|-------------------|----------------|
| Ferme F               | 0 à 4             | ± 1 cm         |
| Plastique P           | 5 à 9             | ± 2 cm         |
| Très plastique TP     | 10 à 15           | ± 3 cm         |
| Fluide F1             | ≥ 16              |                |

Tableau. 5.1: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams

## b) Mesure de la consistance (Essai VEBE)

Malheureusement, cet essai ne convient pas pour tester les bétons qui seraient encore plus **fermes**, plus secs qu'un béton donnant un affaissement presque nul. Dans ce cas-là, il convient de déterminer la consistance du béton frais par une autre méthode, qui s'appelle l'essai VEBE, schématisé sur la figure 5.3.

Pour réaliser cet essai, une plaque transparente, un récipient cylindrique fixé sur une table vibrante et un moule conique sont utilisés :

- la plaque transparente a un diamètre proche de 240 mm ;
- le récipient cylindrique a un diamètre intérieur de 240 mm et une hauteur de 200 mm ;
- le moule conique a un diamètre intérieur à sa base de 200 mm, un diamètre intérieur à son sommet de 100 mm et une hauteur de 300 mm.

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

- ✓ le béton est sous forme d'un cône à l'intérieur du récipient cylindrique posé sur la table vibrante. Le moule conique est rempli avec le béton en trois fois. A chaque fois, chaque couche est piquée par 25 coups à l'aide d'une tige lisse ;
- ✓ le béton est démoulé, la plaque transparente est placée sur le cône de béton et la vibration est lancée, le béton commence à couler ;
- ✓ le temps nécessaire pour que le béton se nivelle dans le récipient cylindrique est mesuré. Ce temps correspond au moment où le béton mouille toute la plaque transparente.

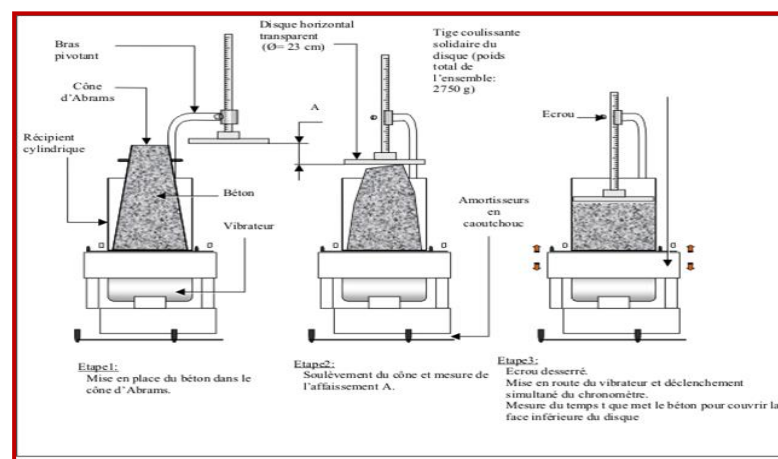


Fig. 5.3. Mesure de la consistance (Essai Vébé)

La présente Norme européenne définit une méthode de détermination de la consistance du béton frais au moyen de l'essai VEBE. Elle n'est pas applicable aux bétons dont la dimension maximale des granulats est supérieure à 63 mm.

Si le résultat à l'essai VEBE (temps VEBE) est inférieur à 5 secondes ou supérieur à 30 secondes, le béton présente une consistance qui ne peut être déterminée au moyen de l'essai VEBE.

Dans cet essai, la consistance est définie par le temps que met un cône de béton à remplir un volume connu sous l'effet d'une vibration donnée. Plus ce temps est court et plus le béton sera considéré comme fluide.

Consistomètre de VEBE EN 12350-3, comprenant une table électrique, un pot à béton, un cône, une tige graduée et une plaque, 220 V, 50 Hz. (Figure 5.3)

| Classe         | VéBé en secondes |
|----------------|------------------|
| V <sub>0</sub> | ≥ 31             |
| V <sub>1</sub> | de 30 à 21       |
| V <sub>2</sub> | de 20 à 11       |
| V <sub>3</sub> | de 10 à 6        |
| V <sub>4</sub> | de 5 à 3         |

**Tableau 5.2. Mesure de la consistance de béton -**

### **c) Etalement sur table (flow-test)**

L'essai d'étalement sur table (Flow-test) consiste à utiliser une table à chocs Fig. 5.4. comprenant un plateau métallique animé d'un mouvement vertical. Un moule tronconique disposé sur cette table et du matériau à étudier (mortier ou béton). Après arasement et démoulage (en soulevant le moule), on donne à la table, à l'aide d'une manivelle, quinze chocs en quinze secondes (hauteur de chute = 12,5 mm). Le matériau s'étale sous forme d'une galette dont on mesure les deux diamètres perpendiculaires. L'étalement (en %) est donné par la formule::

$$\frac{D-D_1}{D} \times 100$$

avec    D<sub>1</sub> : diamètre inférieur du moule:  
           D : diamètre moyen de la galette après étalement.

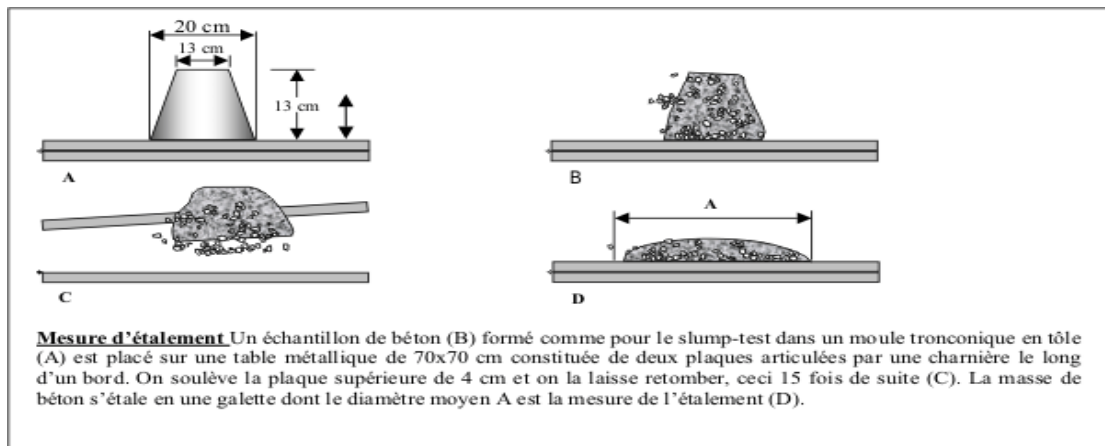


Fig. 5.4: Mesure de l'affaissement sur table

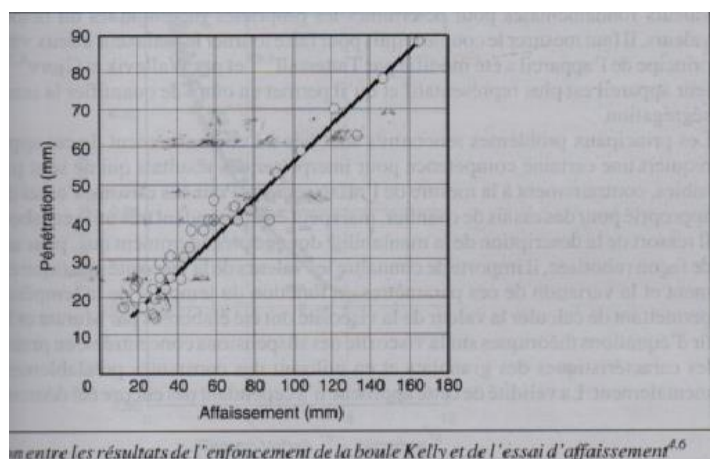
C'est un essai très simple utilisable sur mortier ou sur béton (moules et tables de dimensions différentes), aussi bien en laboratoire que sur les chantiers (il est dans ce cas, très utilisé en Allemagne). On peut pour le béton admettre les valeurs données dans le tableau 5.5.

| Ouvrabilité        | Étalement à la table (%) |
|--------------------|--------------------------|
| Très ferme         | 10 – 30                  |
| Ferme              | 30 – 60                  |
| Normal             | 60 – 80                  |
| Mou                | 80 – 100                 |
| Très mou à liquide | >100                     |

#### d) Méthode de boule de Kelly

Tableau 5.3. Les valeurs d'étalement à la table

Un test de consistance du béton utilisant la pénétration d'une demi-sphère; une pénétration de 2,5 centimètres par la boule de Kelly correspond à environ 5 centimètres d'affaissement. Détermine la profondeur de pénétration du poids du métal dans le béton plastique. L'appareil comprend un cylindre de 14 kg avec un fond et une poignée de forme hémisphérique. L'étrier (cadre) guide la poignée et sert de référence pour mesurer la profondeur de pénétration. La poignée est graduée par incréments de 6,4 mm d'un côté et par demi-centimètre de l'autre. Le béton peut être testé tel qu'il est placé dans les coffrages avant toute manipulation ou dans un conteneur approprié. Une version de 20 lb peut être utilisée Conforme à la méthode d'essai Californie CTM533; AASHTO T183; ASTM C360. Poids à l'expédition: 18 kg (40 lb)



### 5.2.2. Teneur en air du béton frais

Lors du gâchage du béton, il est intéressant de mesurer la teneur en air du béton frais ; cette valeur donne une première indication concernant la compacité du mélange.

La méthode est basée sur la compressibilité de l'air contenu dans le béton frais. Un volume déterminé de béton est mis en communication avec un volume connu d'air en surpression. La valeur de la pression résultante permet de déterminer la teneur en air du béton (application de la loi de Mariotte). Pour être certain que l'enceinte contenant le béton soit parfaitement remplie, on complète avec de l'eau après la mise en place du couvercle, sans oublier de vibrer le béton.



Figure 5.. Manomètre gradué directement en % d'air occlus

La teneur en air du béton peut être lue directement sur le manomètre étalonné en fonction des caractéristiques de l'appareil. La teneur en air du béton est fonction du diamètre maximum des granulats(Dmax). Pour un béton sans air occlus et de bonne composition granulométrique, la teneur en air doit être inférieure ou égale aux valeurs suivantes :

| Dmax (mm)          | 10 | 12.5 | 20 | 25  | 40 |
|--------------------|----|------|----|-----|----|
| Teneur en air en % | 3  | 2.5  | 2  | 1.5 | 1  |

**Principe** Essai de teneur en air : Mesurer le volume d'air occlus dans le béton frais par une méthode pressiométrique.

**Matériel** : Aéromètre à béton normalisé, Tige de piquage

**Procédure** :

1. Remplir l'aéromètre de béton en 3 couches piquées
2. Fermer hermétiquement et remplir d'eau l'espace au-dessus du béton
3. Appliquer une pression d'air et mesurer la variation de volume

**Interprétation** :

- Teneur en air usuelle : 2 à 5%
- Une teneur > 5% peut affecter la résistance mécanique
- Une teneur < 4% est insuffisante pour la résistance au gel-dégel

### 5.2.3 . La mesure de la masse volumique du béton

La mesure de la masse volumique permet de connaître la compacité du mélange, et détecter une potentielle présence de pores pouvant nuire à la résistance du béton. Elle est plutôt mesurée sur béton frais en laboratoire ou à la centrale lors des épreuves de convenance, afin de valider la conformité de la production par rapport à l'étude.

*NB : un béton classique a une masse volumique d'environ 2 200 à 2 400 kg / m<sup>3</sup>.*

À l'aide de la formule : la masse du contenant avec le béton moins la tare, le tout divisé par le volume du contenant, on obtient la masse volumique du béton  $\rho = (m_2 - m_1) / V$ .

### 5.3. Contrôle du béton à l'état durci

La vérification du béton durci est normalement assurée par la vérification des caractéristiques mécaniques lorsque le béton atteint l'âge de 28 jours. Dans certains cas particuliers, événements de construction particuliers (décintrement, mise en précontrainte...), cet âge peut être modifié.

Plusieurs types de contrôle de conformité des caractéristiques mécaniques peuvent être envisagés selon les types de chantier.

Pour les chantiers courants ne relevant pas de marchés publics, le contrôle de conformité des Bétons à propriétés spécifiées (BPS) relève du producteur dans le cadre de son contrôle interne. Il est alors exécuté dans les conditions prévues par l'article 8.2 de la norme NF EN 206/CN..

Le contrôle de conformité des Bétons à composition prescrite (BCP) relève du prescripteur, qui doit préciser son plan de contrôle dans son cahier des charges. Les résultats obtenus sur ces bétons ne sont pas, par nature, opposables au producteur de béton.

Les rapports d'essais relatifs aux résultats du contrôle de conformité sont transmis au maître d'œuvre au fur et à mesure de l'obtention des résultats. Tous les bétons de classe supérieure ou égale à C25/30 sont soumis à cette épreuve de contrôle.

#### 5.3.1. Définition et importance des essais béton

Les essais sur béton regroupent un ensemble de techniques permettant de caractériser les propriétés du béton à l'état frais et durci. Ils visent trois objectifs principaux :

- Évaluer la **résistance mécanique** du béton (compression, traction, flexion)
- Mesurer sa **durabilité** face aux agressions environnementales
- Contrôler son **homogénéité** et sa qualité de mise en œuvre

Ces essais sont indispensables pour :

- Vérifier la conformité du béton aux spécifications du projet
- Optimiser les formulations de béton
- Diagnostiquer l'état des structures existantes
- Prédire le comportement à long terme des ouvrages

## 5.4. Les deux grandes familles d'essais sur béton

On distingue deux catégories d'essais sur béton :

### 5.4.1. Les essais destructifs de béton

- Nécessitent le prélèvement d'échantillons ou d'éprouvettes
- Permettent une mesure directe et précise des propriétés mécaniques
- Sont réalisés en laboratoire selon des protocoles normalisés
- Exemples : essai de compression, essai de fendage

#### a) Objectifs des essais sur béton durci

Les essais sur béton durci permettent de :

- Mesurer les **résistances mécaniques** (compression, traction, flexion)
- Évaluer la **durabilité** face aux agressions environnementales
- Caractériser les **propriétés physiques** (masse volumique, porosité)

### 5.4.2. Les essais non destructifs de béton

- Peuvent être réalisés directement sur l'ouvrage sans l'endommager
- Fournissent des mesures indirectes nécessitant une interprétation
- Permettent un contrôle rapide et économique sur de grandes surfaces
- Exemples : scléromètre, ultrasons

#### Cadre réglementaire

En France, les essais sur béton sont encadrés par un ensemble de normes, dont les principales sont :

- [NF EN 12350](#) : Essais pour béton frais
- [NF EN 12390](#) : Essais pour béton durci
- NF EN 13791 : Évaluation de la résistance à la compression sur site

Ces normes définissent les protocoles d'essai, le matériel à utiliser et les critères d'interprétation des résultats.

## 5.5. Les essais sur béton durci

### 5.5.1. Essai de compression uniaxiale sur béton durci

**a) Principe :** Soumettre une éprouvette à un effort de compression croissant jusqu'à la rupture.

**b) Matériel :**

- Presse hydraulique (capacité > 3000 kN)
- Éprouvettes cylindriques ( $\varnothing$  16 cm, h = 32 cm) ou cubiques (15x15x15 cm)

**c) Procédure :**

1. Rectifier les faces d'appui de l'éprouvette
2. Centrer l'éprouvette sur le plateau de la presse
3. Appliquer un chargement à vitesse constante (0,5 MPa/s)
4. Enregistrer la force maximale à la rupture

**d) Calcul :** Résistance = Force max / Section de l'éprouvette

**Exemple :**

- Force max = 800 kN
- Section =  $\pi \times (0,16/2)^2 = 0,0201 \text{ m}^2$
- Résistance =  $800 / 0,0201 = 39,8 \text{ MPa}$



### 5.5.2. Essai de fendage (traction indirecte) sur béton durci

**a) .Principe :** Appliquer un effort de compression selon deux génératrices opposées d'une éprouvette cylindrique.

**b) Matériel :**

- Presse hydraulique
- Éprouvettes cylindriques ( $\varnothing$  16 cm, h = 32 cm)
- Bandes de contreplaqué

**c) Procédure :**

1. Positionner l'éprouvette horizontalement entre les plateaux de la presse
2. Interposer des bandes de contreplaqué
3. Appliquer un chargement à vitesse constante jusqu'à la rupture

**d) Calcul :** Résistance =  $2 \times \text{Force max} / (\pi \times \text{Diamètre} \times \text{Hauteur})$

### Exemple :

- Force max = 250 kN
- Diamètre = 0,16 m, Hauteur = 0,32 m
- Résistance =  $2 \times 250 / (\pi \times 0,16 \times 0,32) = 3,1 \text{ MPa}$

## 6. Essai de flexion 3 points sur béton durci

**Principe :** Soumettre une éprouvette prismatique à un effort de flexion jusqu'à la rupture.

**Matériel :**

- Presse équipée d'un dispositif de flexion
- Éprouvettes prismatiques (10x10x40 cm)

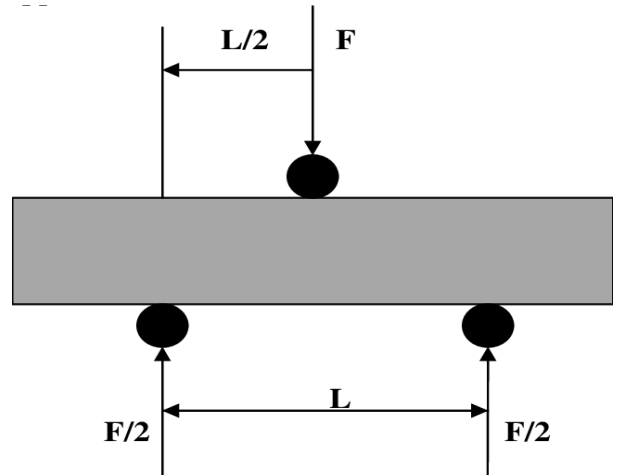
**Procédure :**

1. Positionner l'éprouvette sur deux appuis distants de 30 cm
2. Appliquer une charge au centre de la portée
3. Augmenter la charge jusqu'à la rupture

**Calcul :** Résistance =  $(3 \times \text{Force max} \times \text{Distance entre appuis}) / (2 \times \text{Largeur} \times \text{Hauteur}^2)$

**Exemple :**

- Force max = 15 kN
- Distance entre appuis = 0,3 m
- Section 10x10 cm
- Résistance =  $(3 \times 15 \times 0,3) / (2 \times 0,1 \times 0,1^2) = 6,75 \text{ MPa}$



## #7. Essais de durabilité

### *Pénétration d'eau sous pression (NF EN 12390-8)*

- Mesure la profondeur de pénétration d'eau sous une pression de 5 bars pendant 72h
- Indicateur de la perméabilité du béton

### *Résistance au gel-dégel (NF P 18-424)*

- Soumet des éprouvettes à des cycles répétés de gel (-20°C) et dégel (+20°C)
- Mesure l'évolution des propriétés mécaniques et de la masse

### *Carbonatation accélérée (XP P 18-458)*

- Expose le béton à une atmosphère enrichie en CO<sub>2</sub> (50%)
- Mesure la profondeur de carbonatation par pulvérisation de phénolphthaléine

### *Pénétration des chlorures (NT Build 492)*

- Mesure la diffusion des ions chlorures sous l'effet d'un champ électrique
- Indicateur de la résistance aux environnements marins

## Chapitre 3 : Préparation des éprouvettes béton et interprétation des résultats

### Préparation des éprouvettes béton

Le choix et la préparation des éprouvettes sont cruciaux pour la fiabilité des résultats :

#### *Choix du type d'éprouvette*



- Cylindres 16×32 cm : standard pour la compression et le fendage
- Cubes 15x15x15 cm : alternative pour la compression (résultats ~20% supérieurs)
- Prismes 10x10x40 cm : pour les essais de flexion

***Prélèvement des carottes sur ouvrages existants :***

- Utiliser une carotteuse diamantée
- Éviter les zones d'armatures
- Respecter un rapport hauteur/diamètre  $\geq 2$

***Conservation et conditionnement :***

- Cure humide (>95% HR) pendant 28 jours pour les éprouvettes moulées
- Immersion 48h avant l'essai pour les carottes prélevées

**Interprétation des résultats**

***Limites de validité***

- Vérifier la conformité du mode de rupture
- Écarter les résultats aberrants (test de Dixon)

***Corrélations entre essais***

- Résistance en traction  $\approx 0,1$  x Résistance en compression
- Résistance en flexion  $\approx 0,15$  x Résistance en compression

***Influence des facteurs environnementaux***

- Température :  $+1^{\circ}\text{C} \rightarrow +4\%$  de résistance à 28 jours
- Humidité : cure sèche  $\rightarrow -10$  à  $-20\%$  de résistance

**Partie 2 : Les essais non destructifs de béton**

**Chapitre 4 : Principes généraux des essais non destructifs de béton**

**Avantages des essais non destructifs de béton**

- **Rapidité** : Possibilité de tester un grand nombre de points en peu de temps
- **Économie** : Pas de prélèvement ni de réparation nécessaires
- **Non – invasif** : Préservation de l'intégrité de la structure
- **Répétabilité** : Suivi possible de l'évolution dans le temps

**Limites des essais non destructifs de béton**

1. Mesures indirectes nécessitant une interprétation
2. Précision généralement inférieure aux essais destructifs
3. Influence de nombreux paramètres (humidité, carbonatation, etc.)
4. Nécessité d'une calibration sur le béton testé

**Méthodes d'essais non destructifs**

1. **Propagation d'ondes** : Ultrasons, impact-écho

2. **Mesure de dureté** : Scléromètre, pistolage
3. **Résistance électrique** : Résistivité, potentiel de corrosion
4. **Méthodes électromagnétiques** : Radar, courants de Foucault

## Chapitre 5 : Les principaux essais non destructifs du béton

### 1. Essai non destructif du béton : Scléromètre (ou marteau de Schmidt)

**Principe** : Mesurer le rebond d'une masse projetée sur la surface du béton

#### Matériel :

- Scléromètre normalisé
- Pierre abrasive pour la préparation de surface

#### Procédure :

1. Préparer une zone plane et lisse de 30×30 cm
2. Réaliser au moins 9 impacts espacés de 2,5 cm
3. Calculer la moyenne des rebonds en excluant les valeurs extrêmes

#### Interprétation :

- Utiliser des abaques de corrélation rebond/résistance
- Précision :  $\pm 25\%$  sur la résistance estimée

#### Avantages :

- Très rapide et simple d'utilisation
- Permet de cartographier l'homogénéité d'un ouvrage

#### Limites :

- Mesure superficielle (2-3 cm de profondeur)
- Sensible à la carbonatation et à l'humidité de surface

### #2. Essai non destructif du béton : Ultrasons

**Principe** : Mesurer la vitesse de propagation d'ondes ultrasonores dans le béton



**Matériel :**

- Générateur d'impulsions ultrasonores
- Transducteurs émetteur et récepteur
- Gel de couplage

**Procédure :**

1. Calibrer l'appareil avec une tige étalon
2. Appliquer du gel de couplage sur les transducteurs
3. Mesurer le temps de transit entre émetteur et récepteur

**Interprétation :**

- $Vitesse = Distance / Temps \text{ de transit}$
- Utiliser des courbes de corrélation vitesse/ résistance

**Exemple de calcul :**

- Distance entre transducteurs : 30 cm
- Temps de transit mesuré : 70  $\mu s$
- $Vitesse = 300 / 0,000070 = 4286 \text{ m/s}$
- Selon une courbe de corrélation type, cela correspondrait à une résistance d'environ 35 MPa

**Avantages :**

- Permet d'ausculter l'intérieur de la structure
- Sensible aux défauts internes (fissures, nids d'abeilles)

**Limites :**

- Nécessite un accès aux deux faces de l'élément testé
- Influencé par la teneur en eau et les armatures

**#3. Essai non destructif du béton : Résistance électrique**

**Principe :** Mesurer la résistivité électrique du béton, liée à sa porosité et son degré de saturation

**Matériel :**

- Résistivimètre à 4 électrodes (sonde Wenner)
- Solution conductrice

**Procédure :**

1. Humidifier légèrement la surface du béton
2. Appliquer la sonde perpendiculairement à la surface
3. Effectuer plusieurs mesures en faisant pivoter la sonde de 90°

**Interprétation :**

- Résistivité faible ( $<10 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ ) : béton très poreux ou saturé
- Résistivité élevée ( $>20 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ ) : béton compact ou sec

#### **Avantages :**

- Rapide et simple à mettre en œuvre
- Indicateur de la durabilité du béton

#### **Limites :**

- Mesure superficielle (quelques cm de profondeur)
- Fortement influencée par l'humidité du béton

#### **Autres méthodes & Essais non destructifs du béton**

##### ***Thermographie infrarouge***

- Détecte les variations de température en surface
- Utile pour localiser les défauts, vides ou infiltrations d'eau

##### ***Radar (ou GPR – Ground Penetrating Radar)***

- Utilise la réflexion d'ondes électromagnétiques
- Permet de localiser les armatures et estimer l'épaisseur des structures

##### ***Impact-écho***

- Analyse la réponse du béton à un impact mécanique
- Efficace pour détecter les délaminations et mesurer les épaisseurs

### **Chapitre 6 : Interprétation des résultats et applications**

#### **Corrélation entre essais destructifs et non destructifs**

Pour obtenir des résultats fiables, il est essentiel d'établir des corrélations entre les essais non destructifs et les résistances réelles mesurées par essais destructifs :

1. Réaliser des essais non destructifs sur un échantillon représentatif
2. Prélever des carottes aux mêmes emplacements
3. Effectuer des essais de compression sur ces carottes
4. Établir une courbe de corrélation spécifique au béton testé

**Exemple :** Pour un béton donné, on obtient la corrélation suivante entre la vitesse des ultrasons ( $V$  en m/s) et la résistance en compression ( $R$  en MPa) :

$$R = 0,0518 V - 185,7$$

Avec un coefficient de détermination  $R^2 = 0,92$

#### **Applications des essais non destructifs de béton**

##### ***Contrôle de la qualité en cours d'ouvrage***

- Vérification de l'homogénéité du bétonnage
- Suivi de l'évolution de la résistance au jeune âge

### ***Réévaluation de la résistance des structures existantes***

- Diagnostic avant réhabilitation
- Vérification après un incendie ou un séisme

### ***Localisation des défauts***

- Détection des fissures, vides ou nids de cailloux
- Cartographie des zones dégradées (carbonatation, chloruration)

### ***Estimation de la durabilité***

- Mesure de l'enrobage des armatures
- Évaluation de la porosité et de la perméabilité

### **Limites d'interprétation**

Malgré leurs avantages, les essais non destructifs présentent certaines limites d'interprétation :

- **Incertitude de mesure** : La précision est généralement de l'ordre de  $\pm 20\%$  sur l'estimation de la résistance
- **Influence des paramètres externes** : L'humidité, la carbonatation ou la présence d'armatures peuvent fausser les résultats
- **Représentativité** : Les mesures sont souvent superficielles et peuvent ne pas refléter les propriétés du cœur de la structure
- **Nécessité de combiner plusieurs méthodes** : Une seule technique ne suffit généralement pas pour un diagnostic complet

### **Conclusion**

Les essais sur béton, qu'ils soient destructifs ou non destructifs, sont des outils indispensables pour garantir la qualité et la durabilité des ouvrages en béton. Chaque type d'essai présente des avantages et des limites :

- **Essais destructifs** : Précis mais coûteux et limités en nombre
- **Essais non destructifs** : Rapides et économiques mais nécessitant une interprétation prudente

### **Choix des essais en fonction des objectifs**

Le choix des essais dépend des objectifs du contrôle ou du diagnostic :

- Pour le **contrôle de conformité** d'un béton neuf : essais de compression sur éprouvettes moulées
- Pour l'**évaluation d'un ouvrage existant** : combinaison d'essais non destructifs et de carottages ciblés
- Pour la **détection de défauts** : méthodes ultrasonores ou radar
- Pour le **suivi de la durabilité** : mesures de résistivité et de carbonatation

En conclusion, la maîtrise des différentes techniques d'essais sur béton est essentielle pour tout [ingénieur en génie civil](#). Elle permet d'assurer la qualité des ouvrages neufs et de garantir la sécurité des structures existantes. La combinaison judicieuse des méthodes destructives et non destructives offre une approche complète et efficace pour caractériser les propriétés du béton à toutes les étapes de la vie d'un ouvrage.

### **Que faire en cas de désordres constatés sur un ouvrage en béton ?**

En cas de désordres sur un ouvrage en béton (fissuration, gonflement, éclatements), voici la démarche à suivre :

1. Effectuer un diagnostic visuel approfondi pour identifier l'étendue des dégâts.
2. Contacter un expert en pathologie du béton pour une évaluation professionnelle.
3. Réaliser des essais non destructifs (scléromètre, ultrasons) pour une première estimation.
4. Procéder à des prélèvements (carottes) pour des analyses en laboratoire.
5. Identifier les causes : réaction sulfatique interne, gel interne, corrosion des aciers, etc.
6. Établir un plan de réparation basé sur les résultats des essais et l'expertise.
7. Mettre en œuvre les solutions adaptées : injections, renforcement structurel, protection de surface.