

# **ESSAIS SUR BETON DURCI ET D'UN ELEMENT EN BETON ARME**

## **INTRODUCTION**

La construction d'un élément en béton armé se compose d'une succession d'étapes dont aucune ne doit être négligée. Après la conception de la forme et des détails et le dimensionnement de la section et des armatures, intervient le choix définitif des matériaux nécessaires (type de béton et d'acières), les critères déterminant étant la résistance (état de ruine), la déformabilité (état de service), la durabilité (protection des armatures) et la mise en place (réseau d'armatures et ouvrabilité du béton). Suivant les spécifications, les composants du béton peuvent être choisis pour optimiser les performances selon l'un ou l'autre de ces critères parfois contradictoires. Le contrôle de la qualité lors du bétonnage et un traitement de cure approprié (protection du béton contre la dessiccation et les hautes ou basses températures pendant le durcissement) sont deux éléments primordiaux. Finalement, une fois l'élément réalisé, l'ingénieur devra encore s'assurer à partir des essais sur le béton durci et de l'inspection sur place que les hypothèses du calcul statique (qualité des matériaux, détails constructifs) sont conformes à la réalité. Les essais de résistance mécanique et de déformabilité (compression, traction, flexion, module, fluage), destructifs ou non-destructifs, permettent de juger les performances du béton durci.

## **OBJECTIFS**

- Détermination des performances mécaniques du béton de manière destructive et non-destructive au moyen des essais les plus courants.
- Réalisation d'essai de flexion simple par paliers jusqu'à la rupture sur une poutrelle en béton armé.

## 1. MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DU BETON

BUT

On mesure systématiquement la masse volumique apparente de toute éprouvette soumise à un essai. En effet, lorsqu'une éprouvette a été mal compactée ou si la granulométrie est mauvaise, cela se remarque sur la masse volumique apparente.

## METHODE

On mesure le poids de l'éprouvette dans l'air, puis dans l'eau, la différence des deux pesées correspond au volume :

$$\rho_b = \frac{P_{air}}{(P_{air} - P_{imm} - 112)}$$

Poussée de l'étrier dans l'eau = 112 g.

## INTERPRETATION

La masse volumique apparente d'un béton est fonction de la masse spécifique des agrégats utilisés. Ce sont donc surtout les variations de  $\rho_b$  dans une série d'éprouvettes de même type qu'il faut analyser.

## TRAVAIL

Mesurer les masses volumiques apparentes des éprouvettes destinées aux essais.

Eprouvette	$P_{air}$ [g]	$P_{imm}$ [g]	$V$ [cm <sup>3</sup> ]	$\rho_b$ [g/cm <sup>3</sup> ]
Béton .....				
Béton .....				
Béton .....				

## OBSERVATIONS

---

---

---

---

---

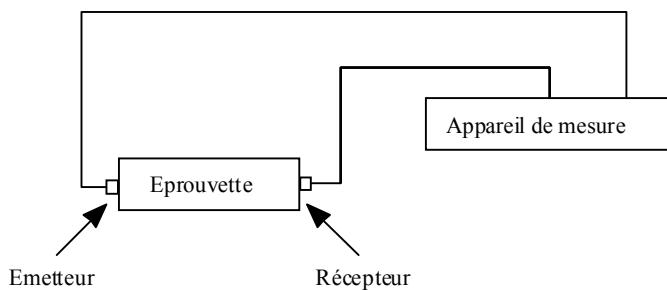
## 2. MESURE DE LA VITESSE DU SON DANS LE BETON

### BUT

La mesure de la vitesse du son dans le béton permet d'évaluer sa résistance de manière non destructive. Cette méthode est intéressante lorsqu'il faut contrôler la régularité du béton d'un élément d'un ouvrage, ou, par exemple, suivre l'évolution d'un béton dans le temps.

### METHODE

D'après LESLIE et CHEESMAN, l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée.



Vitesse du son en m/s	Appréciation de la qualité
> 4500	Excellent
3500 à 4500	Bon
3000 à 3500	Assez bon
2000 à 3000	Médiocre
< 2000	Très mauvais

### TRAVAIL

Mesurer la vitesse du son à travers quelques éprouvettes destinées à des essais destructifs

Eprouvette	Base de mesure en m	Temps de passage $\mu s$	Vitesse m/s
Béton.....			
Béton.....			
Béton.....			

### OBSERVATIONS

---

---

---

---

---

### 3. MESURE DU MODULE DYNAMIQUE

**BUT**

Caractériser les propriétés élastiques du béton.

**METHODE**

La méthode est basée sur l'excitation, la détection et la mesure des fréquences de résonance mécanique des éprouvettes. Elle concerne les trois modes de vibration de base : longitudinal, en flexion et en torsion (voir page suivante).

Les modules correspondants à ces modes s'écrivent pour un cylindre en fonction de la fréquence  $f$  :

Vibration en flexion :

$$E = 1.261886 \frac{\rho l^4}{d^2} f_1^2 T_1$$

avec  $T_1 = 2.102247$  pour  $l = 2d$

Vibration longitudinale :

$$E = \frac{\rho}{K_n} \left( \frac{2lf_n}{n} \right)^2$$

avec  $K_1 = 0.98579$  pour  $l = 2d$  ,  $n = 1$

Vibration en torsion :

$$G = \rho \left( \frac{2lf_n}{n} \right)^2 ; \text{ avec } n = 1$$

**TRAVAIL**

Mesurer les différents modules dynamiques des cylindriques destinés aux essais destructifs

fréquence	flexion	longitudinal	Torsion
Béton .....			
Béton .....			

Module[N/mm <sup>2</sup> ]	E-flexion	E-longitudinal	G-Torsion
Béton .....			
Béton .....			

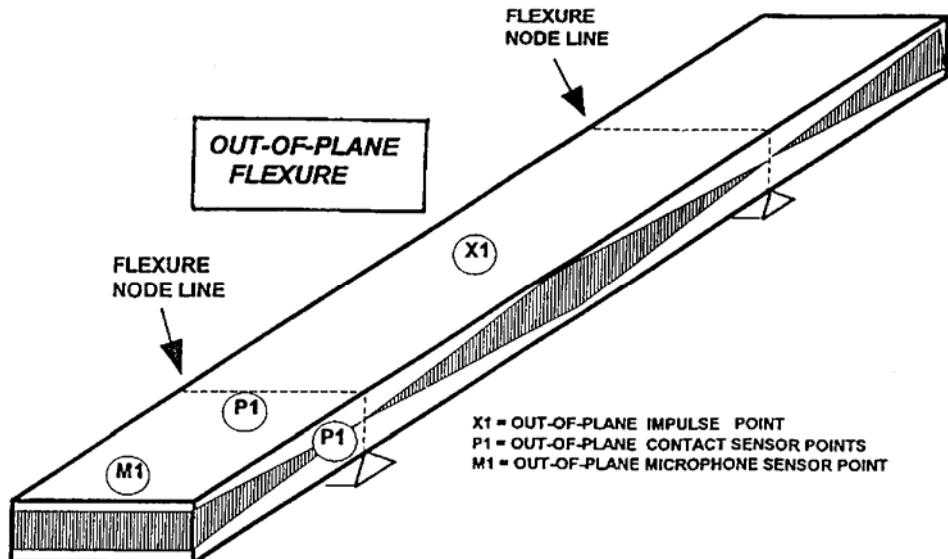
Comparer à  $E_b = 6000\sqrt{f_{cm,cube}}$  ;  $E_b$  et  $f_{cm,cube}$  en N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{cm,cube}$  : résistance moyenne à compression sur cube.

**OBSERVATIONS**

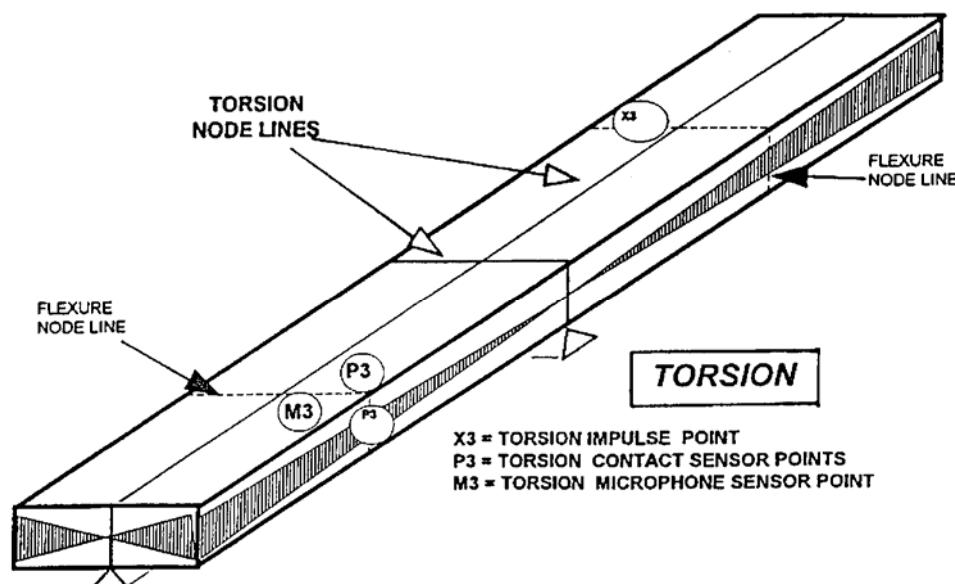
---

---

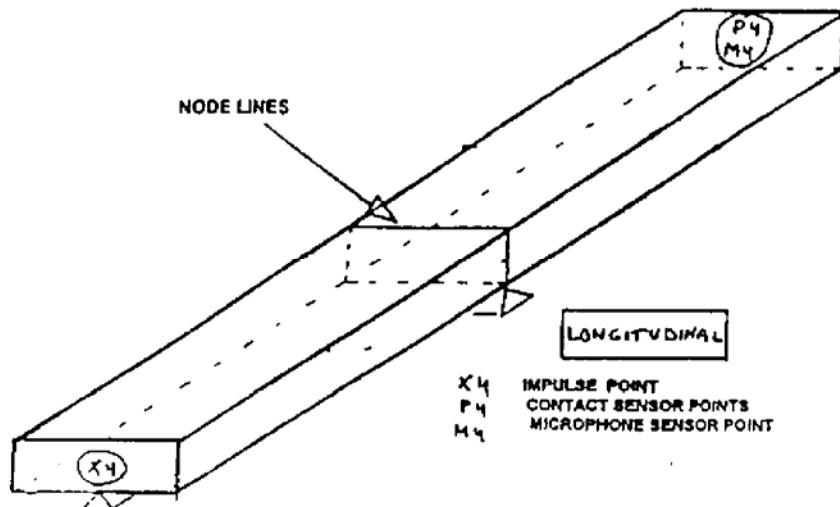
---



**FLEXION ANTI-PLANE**



**TORSION**



**VIBRATION LONGITUDINALE**

## 4. MESURE DE LA DURETE AU CHOC (SCLEROMETRE)

### BUT

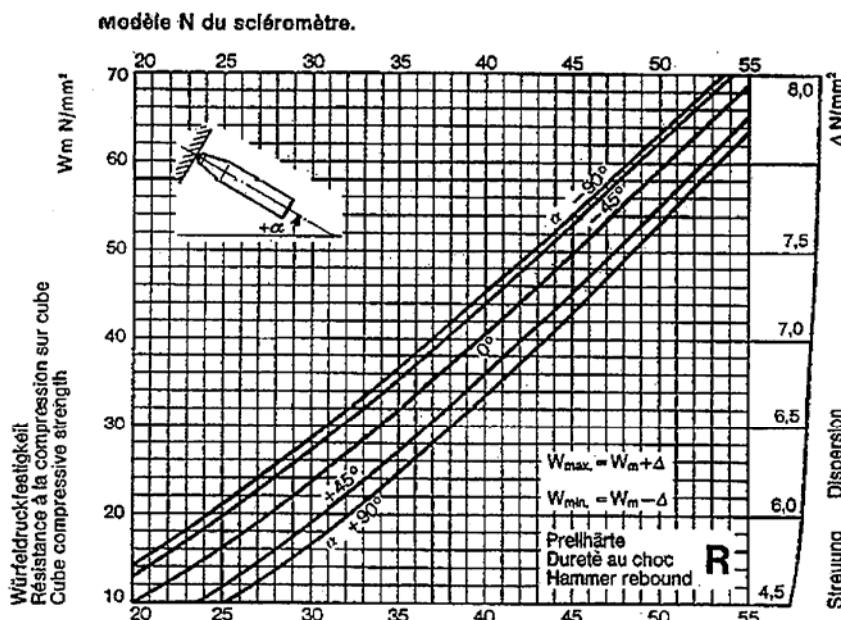
La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive. Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

### METHODE

La détermination de la dureté est basée sur la mesure du recul que subit un dispositif mobile (commandé par un ressort) à la suite d'une collision entre le dispositif et la surface du béton.

### INTERPRETATION

La résistance probable du béton en fonction de la mesure du recul ne peut être déterminée qu'avec un abaque de transformation établi pour chaque type d'appareil. L'appareil le plus connu est le scléromètre de Schmidt dont les courbes de transformation pour le type "N" sont données ci-après. La méthode consiste à faire 12 mesures autour de la zone à caractériser. Les 2 mesures extrêmes sont écartées.



Les courbes sont valables pour des bétons au ciment Portland compacts avec matériau sable-gravier résistant. Age de 14 à 56 jours. Surface du béton lisse et sèche.

W<sub>m</sub> = valeur la plus probable de la résistance à la compression sur cube. Les limites de dispersion W<sub>max</sub> et W<sub>min</sub> sont définies ainsi : elles comprennent 80% de la totalité des essais.

### TRAVAIL

Mesurer au scléromètre les éprouvettes destinées à des essais destructifs (cylindres destinés à l'essai de compression)

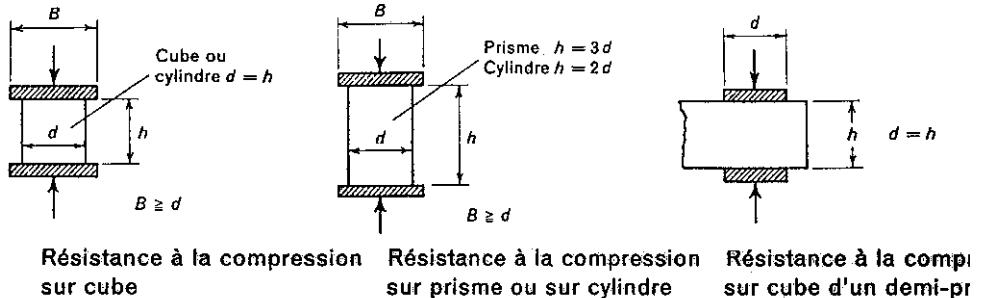
Mes.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
.....												
.....												

Eprouvette	Dureté	Résistance N/mm <sup>2</sup>	Obs.
Béton.....			
Béton.....			

## 5. ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION

**BUT** Contrôle de la qualité du béton durci. Il s'agit des essais les plus courants.

**METHODE** Selon la norme SIA 162



L'essai sur cubes ou prismes se fera toujours transversalement par rapport au sens de remplissage.

Les faces des éprouvettes sur lesquelles on applique la charge devront être rectifiées ou apprêtées avec un mortier si elles ne sont pas planes ou parallèles. L'apprêtage devra être aussi mince que possible et ne devra pas éclater pendant l'essai.

**INTERPRETATION** La résistance doit être égale ou supérieure aux valeurs exigées par les normes pour le type de béton correspondant.

Les résistances sur cylindres (hauteur = $2 \times$  diamètre) ou sur prismes (hauteur = $3 \times$  largeur) peuvent être estimées à partir des formules suivantes.

$$f_{c,cylindre} = 0.80 \cdot f_{c,cube} \quad (h = 2d)$$

$$f_{c,prisme} = 0.75 \cdot f_{c,cube} \quad (h = 3d)$$

**TRAVAIL** Effectuer les essais sur les éprouvettes préparées à cet effet.

Eprouvette		Section [mm <sup>2</sup> ]	Hauteur [mm]	Charge [N]		Résistance [N/mm <sup>2</sup> ]	
Béton	cylindre						
	demi-prisme						
Béton	cylindre						
	demi-prisme						

### OBSERVATIONS

---



---



---



---

## 6. ESSAI DE RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION

### BUT

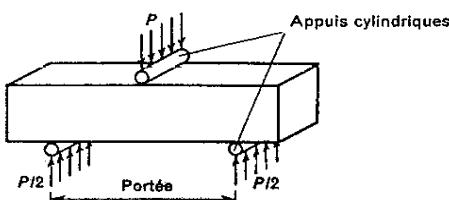
Cet essai permet de contrôler la qualité du béton ; il donne une indication sur la résistance à la traction par flexion du béton et donc sur sa résistance à la fissuration.

### METHODE

Selon la norme SIA 162

#### Exécution des essais

Grandeur des prismes	Ø des appuis	Portée
12/12/36 cm	30 mm	30 cm
20/20/60 cm	50 mm	50 cm



L'essai se fera toujours transversalement par rapport au sens de remplissage. Les faces des éprouvettes sur lesquelles on applique la charge devront être rectifiées ou apprêtées.

La résistance à la traction par flexion se calcule comme suit :

$$f_{cbt} = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

avec  $P$  la charge maximale,  $l$  la portée libre,  $b$  la largeur et  $h$  la hauteur du prisme.

### INTERPRETATION

Les normes ne donnent pas de valeurs minimales à obtenir pour la résistance à la traction par flexion; les exigences doivent être précisées de cas en cas. Pour le contrôle de l'aptitude au service, la norme SIA 162/1993 recommande d'utiliser pour les bétons de qualité supérieure à B35/25 une résistance à la traction valant  $f_{ct}=2.5 \text{ N/mm}^2$ .

$$f_{cbt} = 0.80 \text{ à } 1.0 \sqrt{f_{c,cube}}$$

$$f_{cbt} = 2.0 f_{ct}$$

$f_{cbt}$  résistance à la traction par flexion sur prisme,  $f_{c,cube}$  résistance à la compression et  $f_{ct}$  résistance à la traction simple en  $\text{N/mm}^2$ .

### TRAVAIL

Effectuer les essais sur les éprouvettes préparées à cet effet

	Section [mm <sup>2</sup> ]	Charge [N]	Résistance [N/mm <sup>2</sup> ]	Obs.
Béton .....				
Béton .....				

### OBSERVATIONS

---

---

## 7. ESSAI BRESILIEN

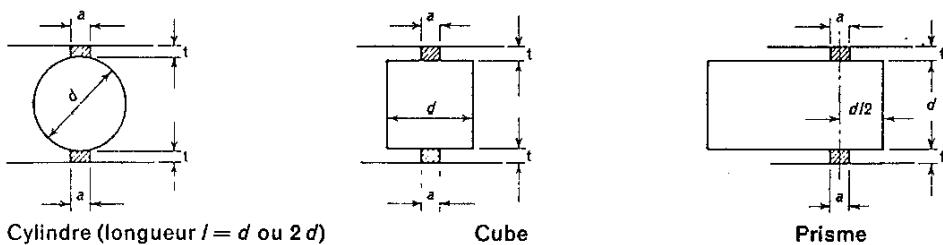
### BUT

L'essai de résistance à la traction transversale ou essai brésilien permet d'estimer la résistance à la traction directe du béton sans avoir recours au système de chargement compliqué que nécessite l'essai de traction directe.

### METHODE

L'essai consiste à appliquer une charge de compression centrée selon 2 génératrices de l'éprouvette. Les contraintes induites provoquent la rupture suivant un plan diamétral de l'éprouvette.

**Exécution des essais**



La charge est appliquée sur toute la longueur (ou largeur) de l'éprouvette à l'aide d'une bande étroite de contre-plaqué, de carton ou de matière analogue, avec  $a = 0.08 d$  à  $0.1 d$  et  $t = 3\text{mm}$ .

**INTERPRETATION** La résistance à la traction transversale se calcule comme suit :

$$f_{cqt} = \frac{2P}{\pi d l}$$

avec  $P$  la charge maximale,  $d$  le diamètre du cylindre (ou largeur),  $l$  la longueur de l'éprouvette selon la ligne de l'application de la charge.

Notons la relation avec la traction par flexion :

$$f_{cqt} = 0.50 \text{ à } 0.66 f_{cbt}$$

### TRAVAIL

Effectuer les essais sur les éprouvettes préparées à cet effet

	Section [mm <sup>2</sup> ]	Charge [N]	Résistance [N/mm <sup>2</sup> ]	Obs.
Béton .....				
Béton .....				

### OBSERVATIONS

---



---



---

## 8. ESSAI D'UN ELEMENT EN BETON ARME

**BUT** On cherche à mettre en évidence lors du chargement d'une poutre les trois stades suivants :

- Stade non-fissuré.
- Stade fissuré
- Stade rupture

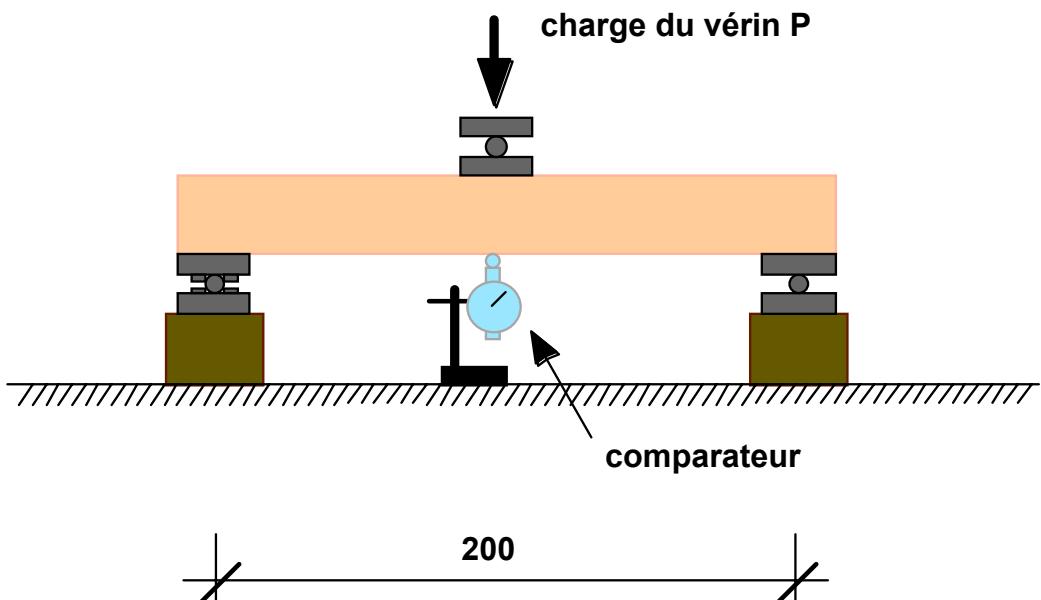
**METHODE** A partir des caractéristiques géométriques de la poutre et de la résistance de calcul des matériaux selon les normes (résistance à la traction de l'acier d'armature  $f_{sy} = 460 \text{ N/mm}^2$ , résistance à la traction du béton  $f_{ct} = 2.5 \text{ N/mm}^2$ ) on peut estimer les charges critiques suivantes à appliquer au milieu de la poutre:

<b>Charge de première fissuration</b>	$P_f$	environ 3 kN
<b>Charge de service (admis <math>\gamma = 1.7</math>)</b>	$P_s$	environ 16 kN
<b>Charge de rupture de calcul</b>	$P_r$	environ 28 kN

Pour détecter plus facilement l'apparition et l'extension des fissures, les faces de la poutre ont été enduites de chaux. Deux lampes sont prévues pour examiner la surface de chaque côté de la poutre. Des compte fils (loupes micrométriques) permettent d'évaluer l'ouverture des fissures.

**MODE OPERATOIRE**

- Vérifier que les appuis fonctionnent correctement (1 appui fixe, 1 appui à rouleau).
- Vérifier le fonctionnement du comparateur mécanique et faire quelques essais de lecture.
- Appliquer une précharge de 2 kN (inférieure à  $P_f$ ) et mettre le comparateur à zéro (référence pour la mesure de la flèche)
- Monter la charge par palier de 1 kN jusqu'à 6 kN, noter la flèche et observer le développement de la fissuration.
- A partir de 6 kN, monter jusqu'à la charge de service par pas de 2.5 kN en notant à chaque fois la flèche et en relevant le développement de la fissuration.
- Noter l'ouverture maximale de fissure pour la charge de service  $P_s$ .
- Faire 2 cycles de décharge - recharge entre  $P_s$  et 2 kN sans paliers en mesurant la flèche.
- Déterminer la charge pour laquelle la flèche dépasse la valeur de  $l/300$ .
- Charger la poutre de  $P_s$  jusqu'à  $P_r$  calculée par paliers de 2.5 kN en notant la flèche et en observant l'évolution de la fissuration.
- Eloigner le comparateur de la face inférieure de la poutre et poursuivre le chargement jusqu'à l'apparition d'un mécanisme de ruine.
- Décharger la poutre et observer un éventuel retour élastique.



## **Mesures**

## 8. PLAN SUGGERÉ POUR LE RAPPORT

---

- les deux groupes doivent se passer les résultats entre eux. Ainsi chaque groupe pourra constater l'influence des différents paramètres et avoir une vue plus globale ;
  - décrire brièvement le travail effectué ;
  - rapporter toutes les mesures faites au cours du TP ;
  - présenter les résultats par des graphiques en mettant en évidence, par exemple, la consistance en fonction de divers paramètres ;
  - discuter les résultats ;
  - répondre aux questions posées.
- **Questions :**
1. Quelle relation peut-on faire entre la vitesse du son et la densité, entre la vitesse du son et le rapport E/C ? Expliquer.
  2. Calculer les différents modules dynamiques et en déduire le coefficient de Poisson du matériau. Comparer le module dynamique longitudinal à celui calculé à partir de la résistance à la compression et discuter l'éventuelle différence entre les valeurs de ces modules.
  3. Comparer la résistance obtenue par le scléromètre à celle obtenue par l'essai destructif sur cylindre. Ces résultats sont-ils équivalents ? Expliquer.
  4. Pourquoi y-a-t-il une différence, pour un même béton, entre la résistance sur cylindre et la résistance sur cube ?
  5. Tracer les différentes résistances déterminées par les essais destructifs (compression, traction transversale, flexion) en fonction du rapport E/C. Discuter et expliquer les tendances.
  6. Déterminer le coefficient  $K$  de la formule de Bolomey. Discuter.  
La formule de Bolomey, valable pour des rapports C/E courants compris entre 1.5 et 3 permet d'estimer pour un béton, d'un âge donné, la résistance en fonction de C/E :
$$f_{cm,cube} = k \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$$
$$f_{cm,cube} : \text{résistance moyenne à la compression sur cube}$$
  7. Quel est le rapport entre les résistances :
    - 7.1. flexion-traction transversale
    - 7.2. flexion-compression sur cube
    - 7.3. traction transversale-compression sur cube
  8. Tracer pour la poutre le diagramme charge-déformation et discuter l'allure de la courbe.

<b>masse volumique et teneur en air - SIA 162/1, Essai n° 18 et 21</b>				
		Groupe		
		<b>G1 - G3</b>	<b>G2 - G4</b>	<b>Poutre</b>
Dosage ciment - E/C	n°	375 - 0.45	325 - 0.55	375 - 0.50
Masse de l'appareil (tare)	g			
Masse du béton frais + tare	g			
Masse du béton frais + tare + eau ajoutée	g			
Masse du béton:	g			
Volume de l'appareil	cm <sup>3</sup>	8000	8000	8110
<b>Masse volumique du béton frais</b>	kg/m <sup>3</sup>			
<b>Teneur en air (% du volume du béton)</b>	%			

<b>Consistance - SIA 162/1, Essai n° 20</b>				
Domaine de consistance	Affaissement SM (slump) [cm]	Etalement AM [cm]	Degré de serrage VM (Walz)	
Ferme K1	non appropriée	non appropriée	≥1.26	
Plastique K2	1 à 7	30 à 40	1.25 à 1.11	
Molle K3	8 à 15	41 à 50	≤ 1.10	
Fluide K4	≥16	≥ 51	non appropriée	
Groupe G1 - G3				
Groupe G2 - G4				
Poutre				

<b>Essais sur éprouvettes</b>				
essai	Unité	Groupes G1 - G3 Béton E/C = 0.45	Groupes G2 - G4 Béton E/C = 0.55	Poutre Béton E/C = 0.50
Masse vol. béton durci	kg/dm <sup>3</sup>			
Vitesse du son	m/s			
Scléromètre	-			
Module dynamique	GPa			
Flexion	N/mm <sup>2</sup>			
Traction transversale	N/mm <sup>2</sup>			
Compression sur demi prisme	N/mm <sup>2</sup>			
Compression sur cylindre	N/mm <sup>2</sup>			