



Travaux Pratiques de Matériaux de Construction

Semestre Printemps

Béton durci

Responsable : Lionel Sofia

Courriel : lionel.sofia@epfl.ch

Tél.: 021 693 28 22

Bureau : MXG 240

Groupe n° :

Adresse électronique d'un étudiant :

Signatures des étudiants (avec nom manuscrit) :

TRAVAUX PRATIQUES BETON DURCI

Le but de ce TP est de caractériser les propriétés mécaniques et volumiques d'éléments en béton durci.

Ce TP est de **3 heures**. Il est divisé en 5 parties. Les 4 premières seront effectuées en semi-autonomie pendant les 2 premières heures. La partie 5 se fera à la fin ensemble.

Chaque groupe travaillera par alternance sur les 4 premières parties.

A la fin du TP, il doit être rendu le protocole (à lire avant le TP) **avec vos commentaires avec vos noms et signatures (remplir l'an première page)**.

Un rapport final, par groupe, doit être rendu. Ce dernier compte pour les TPs de **béton frais, béton durci, le bois et la maçonnerie**. La structure sera expliquée à la fin de ce TP.

MODULE MECANIQUE

BUT :

Caractériser le module mécanique (d'élasticité) E d'un béton.

METHODE

Le module d'élasticité est calculé à partir de la mesure des déformations d'éprouvettes sollicitées en compression par trois cycles successifs comme décrit dans la norme SIA 262/1 :2003.

La contrainte est reliée à la déformation par la loi de Hooke :

$$\sigma = E\varepsilon$$

En sachant que la déformation et la contrainte sur une éprouvette de dimensions données (longueur L_0 (base de mesure des capteurs) et surface de contact S_0) correspondent à :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}; \sigma = \frac{F}{S_0}$$

Le module peut être déterminé pour chaque cycle d'application par la formule suivante :

$$E = \frac{F L_0}{S_0 \Delta L} = \sigma \frac{L_0}{\Delta L}$$

La base de mesure L_0 des capteurs est égale à 1/3 de la hauteur de l'échantillon.

TRAVAIL

- Relever les dimensions de l'éprouvette (hauteur et ϕ), calculer la section s_0 ;
- Définir la valeur L_0 (base de mesure) ;
- Mise en place des capteurs inductifs : Fixer les capteurs de déformations sur l'éprouvette de manière que l'extensomètre soit positionné à égale distance des faces d'extrémité de l'éprouvette ;
- Régler les capteurs de manière que la valeur affichée soit positive
- Appliquer à l'éprouvette la contrainte inférieure, comprise entre 0,5 et 1,0 N/mm².
- 1er cycle de chargement des éprouvettes : augmenter la charge de façon à générer une élévation constante de la contrainte de $0,5 \pm 0,2$ N/mm² par seconde avec un écart maximal de 1% jusqu'à ce que la contrainte supérieure soit atteinte. La contrainte supérieure correspond au tiers de la résistance à la compression sur cube. Si cette résistance n'est pas connue, on admettra pour un béton normal une contrainte supérieure de 10 N/mm². Le cas échéant, on pourra contrôler cette hypothèse en déterminant la résistance à la compression de toutes les éprouvettes après la fin des mesures relatives au module d'élasticité.
- Maintenir la contrainte supérieure constante, avec une précision de $\pm 0,5\%$. Enregistrer la contrainte supérieure effective et la déformation absolue.
- Réduire la charge jusqu'à la valeur de départ de la contrainte inférieure, avec une vitesse identique à celle utilisée pour la charge. Enregistrer la contrainte inférieure effective et la déformation correspondante.
- Répéter cette opération deux fois (2e et 3e cycles). Le temps de latence entre le 1er et le 2e cycle ne doit pas dépasser 5 s ; entre le 2e et le 3e cycle, il doit être de 15 s au moins. Lors du 3e cycle, maintenir la contrainte supérieure pendant 15 s au moins (jusqu'à ce que la déformation cesse d'augmenter).
- Dessiner le diagramme contrainte – déformation spécifique, respectivement tension – déformation, correspondant au 3e cycle.
- Remplir le tableau de résultat et commentaire ;



Modèle pour la mise en place des capteurs

Résultats d'essai

- On calculera le module d'élasticité E à partir de la contrainte inférieure (σ_{min}) précédant le 3e cycle et de la contrainte supérieure (σ_{max}) du 3e cycle, ainsi que des différences de déformations correspondantes (ϵ_{max} , ϵ_{min} : déformations correspondant aux contraintes σ_{max} , σ_{min}):

$$E = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\epsilon_{max} - \epsilon_{min}} [N/mm^2]$$

- Les résultats seront donnés avec la précision suivante : 0,1 N/mm² pour les contraintes inférieure et supérieure 100 N/mm² pour le module d'élasticité.

Tableau de résultats :

Type de béton	h [mm]	d [mm]	S_0 [mm ²]
Béton E/C _____			

	σ_{max}	Mesure à σ_{max} $(A + B)_{max}$	σ_{min}	Mesure à σ_{min} $(A + B)_{min}$	L_0	ΔL $((A + B)_{max} - (A + B)_{min})/2$	$\Delta L/L_0$	E
1 ^{er} cycle								
2 ^e cycle								
3 ^e cycle								

COMMENTAIRES :

SCLEROMETRE

MESURE DE LA DURETE AU CHOC (SCLEROMETRE)

BUT

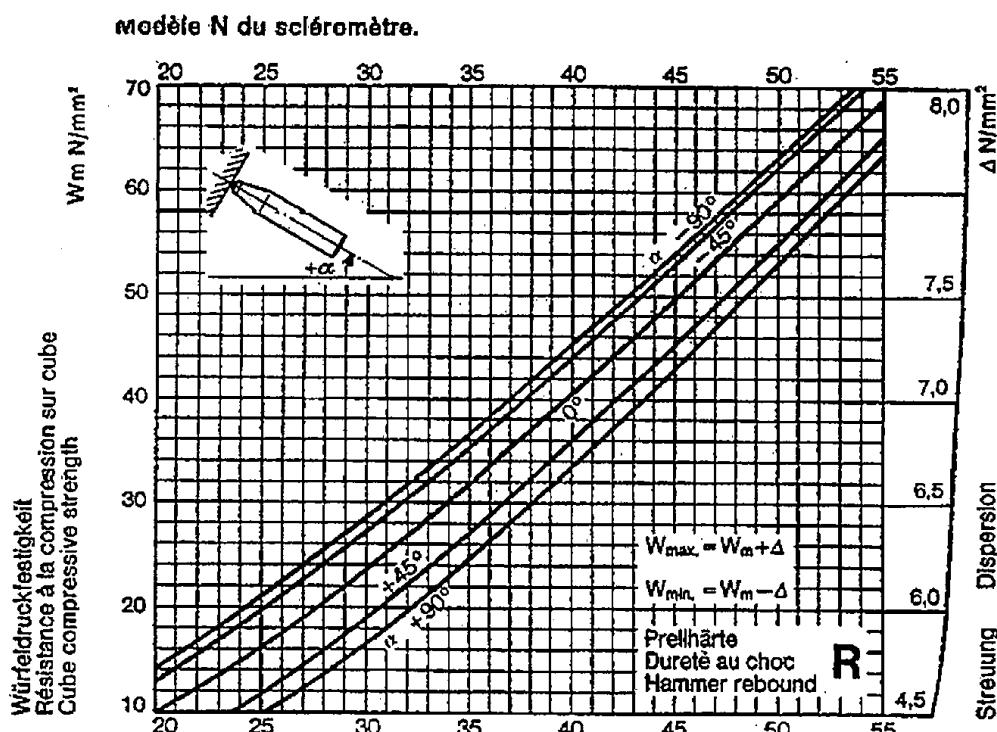
La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive. Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de la régularité des bétons d'un ouvrage.

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 par 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_m = valeur la plus probable de la résistance à la compression sur cube.
Les limites de dispersion W_{\max} et W_{\min} sont définies ainsi : elles comprennent 80% de la totalité des essais.

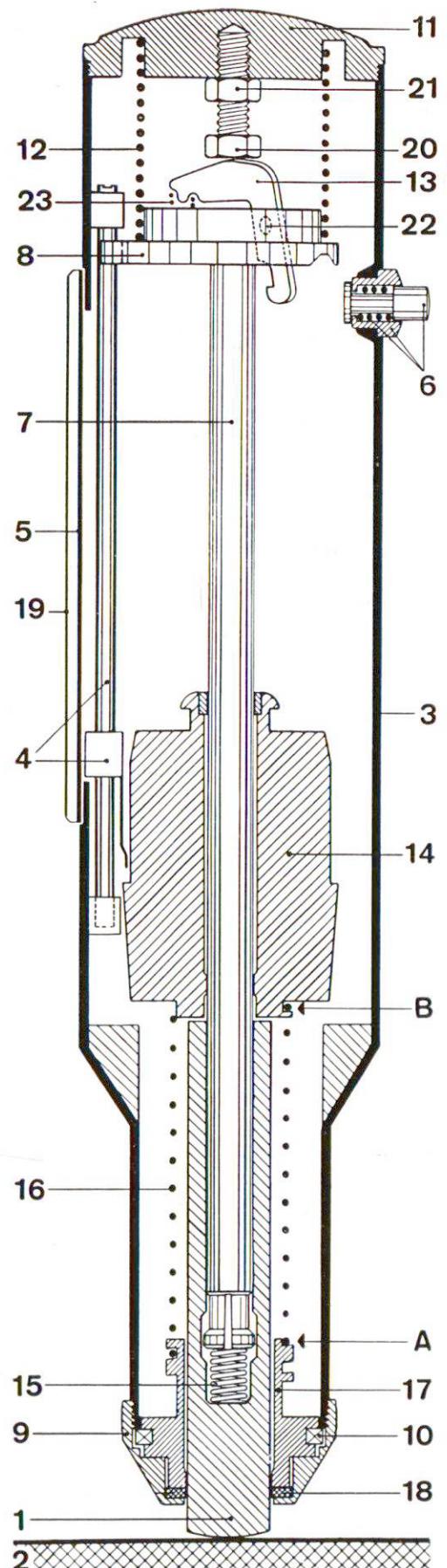
TRAVAIL

- Définir la zone de test ;
- Estimer la charge à utiliser afin de simuler un voile en béton armé de 2 m de hauteur (f_{voile}) ;
- Positionner l'éprouvette sur le plateau de la presse et appliquer la force f_{voile} (≈ 50 kN) ;
- Amorcer le scléromètre, effectuer les mesures à l'aide du scléromètre dans la partie centrale de l'échantillon, relever les valeurs mesurées ;
- Éliminer les valeurs maximale et minimale ;
- Faire la moyenne des 10 valeurs restantes ;
- Utiliser la valeur moyenne dans l'abaque fournie et définir la valeur de résistance ainsi que l'écart type ;
- Réaliser un essai de résistance à la compression sur l'éprouvette testée ;
- Comparer la valeur obtenue à celle de la valeur $f_{c,cyl}$.

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

Éprouvette	F_{voile} [kN]	Dureté [-]	R_c Scléromètre [N/mm ²]	Ecart type [N/mm ²]	F_{max} Compression [kN]	$A_{cylindre}$ [mm ²]	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]
Béton							

COMMENTAIRES :



Coupe longitudinale d'un Scléromètre de E. Schmidt modèle N au momen du choc:

- | | |
|----|--------------------|
| 1 | Tige de percussion |
| 2 | Surface du béton |
| 4 | Repère |
| 5 | Echelle graduée |
| 6 | Déclic |
| 7 | Tige de glissement |
| 12 | Ressor de pression |
| 13 | Déclancheur |
| 14 | Marteau |

Classification des différentes classes de béton selon la norme SIA 206-1

Tableau 7 — Classes de résistance à la compression pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds

Classe de résistance à la compression	Résistance caractéristique minimale sur cylindres f_{ck-cyl} N/mm ²	Résistance caractéristique minimale sur cubes $f_{ck-cube}$ N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

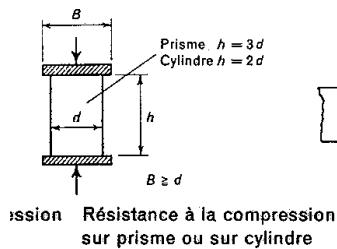
ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION SUR CYLINDRE

BUT

Le contrôle de la qualité de béton durci. Il s'agit d'un des essais les plus courants, il permet de définir la classification du « béton à propriétés spécifiées ». Cette classification s'effectue à partir des valeurs caractéristiques de la résistance à la compression sur cylindre ou sur cube.

METHODE

Selon la norme SIA 162



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.

On définira une vitesse constante de chargement dans la plage $(0,6 \pm 0,2)$ MPa/s ($N/mm^2 \cdot s$). On appliquera la charge sans choc. Cette charge sera appliquée de façon continue à la vitesse constante sélectionnée $\pm 10\%$, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

On enregistrera la charge maximale obtenue en kilonewtons.

INTERPRETATION

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

La résistance sur cylindres (hauteur = 2x diamètre) peut être estimées à partir des formules suivantes :

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

On définira la classe du béton testé grâce à la valeur moyenne définie par la formule ci-dessous :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad [N/mm^2]$$

Cette formule tient compte d'un écart type de $\pm 4,8$ [N/mm^2] environ.

TRAVAIL

Effectuer les essais sur les éprouvettes préparées à cet effet.

- Mesurer les échantillons à tester ;
- Mettre en place l'éprouvette sur le châssis de charge ;
- Définir la vitesse de chargement ;
- Effectuer l'essai et relever la charge de rupture ainsi que le mode de rupture et tout commentaires sur le facies de rupture ;
- Exprimer les résultats en indiquant la charge de rupture, la contrainte de rupture ;
- Extrapoler la valeur de résistance à la traction pure ;
- Indiquer toutes les observations faites lors de l'essai.

TABLEAU DE RESULTATS

Type de béton	L [mm]	Ø [mm]	v [N/mm ² .s]	V [kN/s]
Béton E/C -----				

Type de béton	F _{max} [kN]	f _{cm} [N/mm ²]	f _{ck} [N/mm ²]	Classe béton
Béton E/C -----				

COMMENTAIRES :

Classification des différentes classes de béton selon la norme SIA 206-1

Tableau 7 — Classes de résistance à la compression pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds

Classe de résistance à la compression	Résistance caractéristique minimale sur cylindres f_{ck-cyl} N/mm ²	Résistance caractéristique minimale sur cubes $f_{ck-cube}$ N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

MASSE VOLUMIQUE DU BETON DURCI

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. La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume et est le synonyme moderne des expressions désuètes « densité absolue » et « densité propre », ou encore « masse spécifique ».

METHODE

1 - Détermination du volume par pesée hydrostatique

- Déterminer la masse de l'échantillon immergé en suivant le mode opératoire décrit ci-dessous.
- Déplacer la cuve à eau vers le haut jusqu'à ce que l'étrier vide soit totalement immergé mais n'entre pas en contact avec le fond de la cuve. Noter, en kilogrammes, la masse apparente de l'étrier (m_{et}).

NOTE 1

La masse apparente de l'étrier peut également servir à la définition du zéro de la balance (ajustement de la tare).

- Placer l'échantillon sur l'étrier et déplacer la cuve à eau vers le haut de sorte que l'eau atteigne sur l'étrier le même niveau qu'à l'étape précédente.

NOTE 2

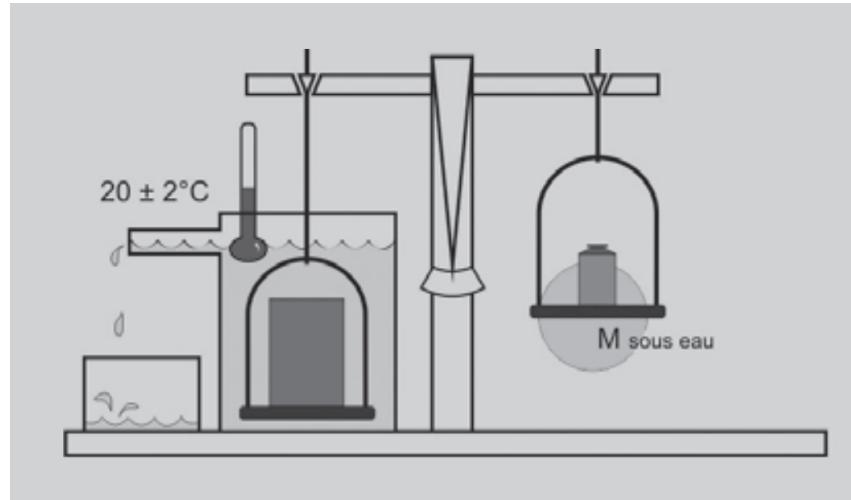
Il convient d'éviter la présence de bulles d'air sur les surfaces de l'échantillon ou sur l'étrier.

- Noter, en kilogrammes, la masse dans l'eau de l'échantillon et de l'étrier immergés.
- Calculer le volume de l'échantillon au moyen de la formule suivante :

$$V_{hydro} = \frac{m_{air} - [m_{eau} + m_{et}]}{\rho_w}$$

Où :

- V est le volume de l'échantillon, en mètres cubes, m^3 ;
 m_{air} est la masse de l'échantillon à l'air libre, en kilogrammes, kg ;
 m_{et} est la masse apparente de l'étrier immergé, en kilogrammes, kg (ici la masse de l'étrier est de 112 g) ;
 m_{eau} est la masse apparente de l'échantillon immergé, en kilogrammes, kg ;
 ρ_w est la masse volumique de l'eau à 20 °C, considérée égale à 998 kg/m³.



- Calculer le volume de l'éprouvette à partir des mesures réalisées. Le résultat doit être exprimé en mètre cubes, à quatre décimales près ;

2 - Détermination du volume par mesures géométriques

- Vérifier que l'éprouvette cubique a été confectionnée dans un moule calibré. Calculer le volume de l'éprouvette cubique, en mètres cubes, à trois décimales près.

Détermination de la masse volumique

Calculer la masse volumique de l'échantillon au moyen des valeurs de masse et de volume précédemment déterminées, à l'aide de la formule suivante :

$$D = \frac{m}{V}$$

Où :

- D est la masse volumique, en kilogrammes par mètre cube, pour un état de l'échantillon et une méthode de détermination du volume donnés ;
- m est la masse de l'échantillon au moment de l'essai, en kilogrammes, telle que déterminée en 5.2, 5.3 ou 5.4 ;
- V est le volume de l'échantillon, en mètres cubes, déterminé selon la méthode choisie.

Le résultat de l'essai doit être accompagné d'une mention indiquant l'état de l'échantillon au moment de l'essai et la méthode utilisée pour déterminer son volume.

Exprimer le résultat de la détermination de la masse volumique à 10 kg/m³ près.

INTERPRETATION

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

TRAVAIL

- Identifier les échantillons soumis à l'essai ;
- Description de l'échantillon (par exemple, éprouvette cubique de 100 mm, carotte de ø 150 mm) ;
- L'état de l'éprouvette au moment de l'essai (état de réception, ou état saturé en eau ou état séché à l'étuve) ;
- Déterminer, selon toutes les méthodes prescrites, les volumes des échantillons ;
- Calculer les masses volumiques ;
- Comparer les résultats obtenus ;
- Commenter.

Éprouvettes	m_a [kg]	m_{app} [kg]	$V_{geo.}$ [m³]	V_{hydro} [m³]	Densité Δ_{geo} [kg/m³]	Densité Δ_{hydro} [kg/m³]
Béton						
Béton						

COMMENTAIRES :

VITESSE DU SON

BUT

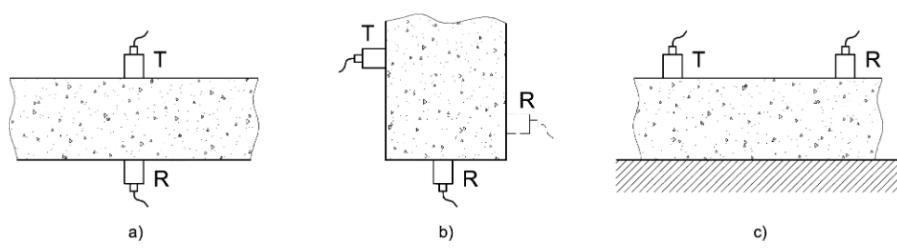
La mesure de la vitesse du son dans un béton permet d'évaluer sa résistance de manière non destructive. Cette méthode est intéressante lorsqu'il faut contrôler la régularité du béton d'un élément d'ouvrage, ou, par exemple, suivre l'évolution d'un béton dans le temps.

METHODE

Une impulsion de vibrations longitudinales est générée par un transducteur électro-acoustique maintenu en contact avec une surface soumise à l'essai. Après avoir parcouru une longueur connue dans l'échantillon, l'impulsion de vibrations est convertie en un signal électrique par un deuxième transducteur et des circuits électroniques de chronométrage permettent de mesurer le temps de propagation de l'impulsion.

Pour réaliser ce test, un appareillage composé principalement d'un générateur d'impulsions électriques, d'une paire de transducteurs, d'un amplificateur et d'un appareil électronique de chronométrage permet de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre le départ d'une impulsion générée par le transducteur-émetteur et la détection de son arrivée par le transducteur-récepteur.

Bien que la direction dans laquelle l'énergie maximum est propagée soit perpendiculaire à la face du transducteur émetteur, il est possible de détecter des impulsions qui ont traversé la pierre naturelle dans une autre direction. Il est donc possible d'effectuer des mesures de vitesse de propagation en plaçant les deux transducteurs soit sur des faces opposées (transmission directe), ou sur des faces adjacentes (transmission semi-directe), ou bien sur la même face (transmission indirecte ou de surface).



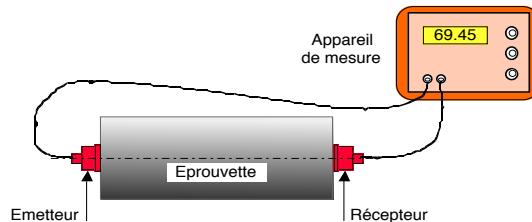
Légende

- T Émetteur
- R Récepteur
- a) Transmission directe
- b) Transmission semi-directe
- c) Transmission indirecte ou de surface

Figure 1 — Différents positionnements des transducteurs pour la détermination de la vitesse de propagation du son

INTERPRETATION

Un couplage acoustique adéquat devra être réalisé entre béton et la face de chaque transducteur. Pour des finitions de surface suffisamment polies un bon contact acoustique est assuré par l'utilisation d'un produit couplant tel que la vaseline, la graisse, le savon liquide ou une pâte constituée de kaolin et de glycérol ou de bentonite, et en pressant le transducteur contre la surface du béton.



Effectuer des lectures répétées du temps de propagation jusqu'à obtenir une valeur minimum, pour permettre au couplant de se répartir en couche fine. Lorsque l'état de surface est très rugueux et inégal il faut poncer la surface de la zone de contact du transducteur ou utiliser une résine époxyde à prise rapide pour créer une surface plane.

Dans tous les cas, un étalonnage de l'appareil de mesure sera effectué au début de l'expérience. Pour ce faire, une barre étalon est fournie, elle sera enduite de part et d'autre de bentonite avant la mise en place du couplage acoustique et la prise de mesure. La vitesse de son sera définie d'après l'équation suivante :

$$V_p = \frac{L}{T}$$

Où :

V_p vitesse de propagation du son [km/s] ;

L longueur du parcours [mm] ;

T durée de l'impulsion pour traverser la longueur [μs].

D'après Leslie et Cheesman, l'état d'un béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée :

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

TRAVAIL

- Déterminer la longueur de la base de mesure ;
- Etalonner l'appareil de mesure ;
- Effectuer les essais sur les échantillons mis à disposition ;
- Relever le temps de passage ;
- Définir la vitesse et donner une appréciation sur le béton ;
- Définir le module dynamique.

Le calcul du module dynamique sera défini d'après l'équation suivante :

$$E_{dyn} = \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \rho_s V_p^2$$

Où :

V_p vitesse de propagation du son [m/s] ;

ν Coefficient de poisson [-] * ;

ρ_s masse volumique du béton [kg/m³].

E_{dyn} Module dynamique en [N/m²]

Eprouvettes	L Base de mesure [mm]	T Temps de passage [μs]	V _p Vitesse de passage [m/s]	Appréciation du béton	E _{dyn} Module dynamique [N/mm ²]
Béton					
Béton					
Béton					

*Pour le calcul de la vitesse du son, un coefficient de poisson égal à 0.2 sera utilisé

COMMENTAIRES :

ESSAI BRESILIEN

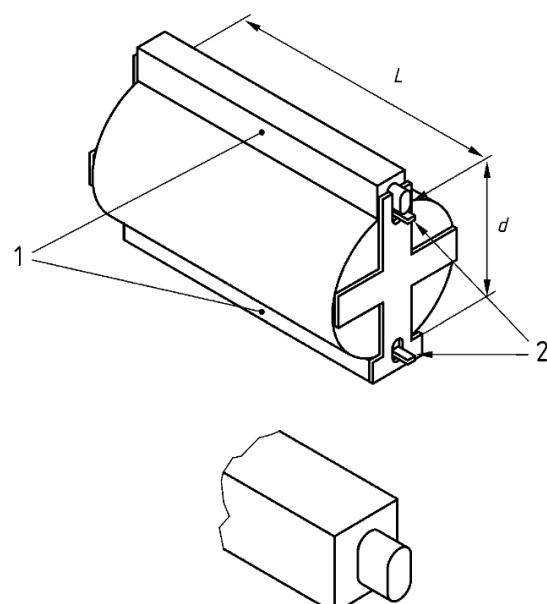
BUT

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

Une éprouvette cylindrique est soumise sur toute sa génératrice à un effort de compression appliqué sur une zone étroite. Les contraintes de traction orthogonales qui en résultent provoquent la rupture de l'éprouvette par traction.

L'essai consiste donc 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 (voir figure 1 norme EN 12390-6 ci-dessous).



Légende

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1 Pièce d'appui en acier | <i>L</i> Longueur de l'éprouvette |
| 2 Bandes de chargement en matériau dur | <i>d</i> Diamètre de l'éprouvette |

Figure 1 — Gabarit de centrage pour essais sur éprouvettes cylindriques

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 $a = 0.08d$ à $0.1d$ (≈ 15 [mm]) et $t = 3$ mm.

La vitesse de charge (*s*) doit être constante et comprise entre 0.04 [MPa/s] ([N/mm².s]) et 0.06 [MPa/s] ([N/mm².s]). Cette charge doit être appliquée sans choc sur l'éprouvette et doit s'accroître de manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette

La vitesse de chargement requise est donnée par la formule suivante :

$$R = \frac{s \cdot \pi \cdot L \cdot d}{2}$$

Où :

- R est la vitesse de chargement requise, exprimée en newtons par seconde [N/s] ;
- L est la longueur de l'éprouvette, exprimée en millimètres [mm] (voir Figure 2) ;
- d est la dimension nominale de l'éprouvette, exprimée en millimètres [mm] ;
- s est la vitesse de mise sous contrainte, exprimée en mégapascals par seconde [MPa/s] ou en newtons par millimètre carré par seconde [N/mm².s].

La résistance à la traction transversale se calcule comme suit :

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

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 :

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

TRAVAIL

Effectuer les essais sur les éprouvettes préparées à cet effet :

- Relever les dimensions des échantillons ;
- Mettre en place le système de mise en charge ;
- Définir la vitesse de chargement R ;
- Détermination de la vitesse de chargement en mm/s :
 - o Faire un palier de 1 à 6 kN avec une vitesse de chargement en déplacement de 0.01 mm/s afin de définir une vitesse en mm/s ;
 - o Relever le temps nécessaire pour atteindre le palier de 6 kN ;
 - o Calculer la vitesse de chargement obtenue en N/s ;
 - o Adapter la vitesse en mm/s pour correspondre à la vitesse R en N/s;
- Réaliser l'essai et relever la valeur de charge à la rupture ;
- Déterminer la résistance à la traction transversale ;
- En déduire la résistance à la traction par flexion et directe ;
- Décrire le mode de rupture ;
- Décrire l'état de surface du béton ;
- Commenter.
-

TABLEAU DE RESULTATS

Type de béton	L [mm]	\emptyset [mm]	s [N/mm ² .s]	t [s]	R [kN/s]
Béton E/C _____					

Type de béton	F_{max} [kN]	f_{cbt} [N/mm ²]	f_{cf} [N/mm ²]	f_{ct} [N/mm ²]
Béton E/C _____				

Commentaires:

ESSAI DE RESISTANCE A LA FLEXION

BUT

Des éprouvettes prismatiques sont soumises jusqu'à rupture à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale atteinte au cours de l'essai est enregistrée, et la résistance à la flexion est calculée.

METHODE

Nettoyer toutes les surfaces portantes de la machine d'essai et éliminer tout grain détaché ou autre corps étranger des surfaces de l'éprouvette qui seront en contact avec les rouleaux.

Si l'éprouvette a été conservée dans l'eau, l'essuyer pour éliminer l'humidité superficielle excédentaire avant de la positionner dans la machine d'essai.

Placer l'éprouvette sur la machine, en vérifiant qu'elle est convenablement centrée et que son axe longitudinal est orthogonal par rapport à l'axe longitudinal des rouleaux supérieurs et inférieurs. Vérifier que la direction de chargement de référence est perpendiculaire au sens de coulage de l'éprouvette.

Ne pas appliquer la charge avant que les rouleaux de chargement et les rouleaux d'appuis ne soient en contact avec l'éprouvette.

Sélectionner une vitesse de chargement constante dans la plage 0,04 MPa/s (N/mm².s) à 0,06 MPa/s (N/mm².s).

Après l'application de la charge initiale, qui ne dépasse pas 20 % environ de la charge de rupture, appliquer la charge sans choc sur l'éprouvette et l'accroître de façon continue, à la vitesse constante sélectionnée $\pm 10\%$, jusqu'à rupture de l'éprouvette.

La vitesse de chargement requise est donnée par la formule suivante :

$$R = \frac{S \cdot d_1 \cdot d_2^2}{l}$$

Où :

- | | |
|----------------|--|
| R | est la vitesse de chargement requise, en N/s ; |
| S | est la vitesse d'accroissement de la charge, en MPa/s (N/mm ² .s) ; |
| d_1 et d_2 | sont les dimensions latérales de l'éprouvette, en millimètres ; |
| l | est l'écartement entre les deux rouleaux inférieurs, en millimètres. |

INTERPRETATION

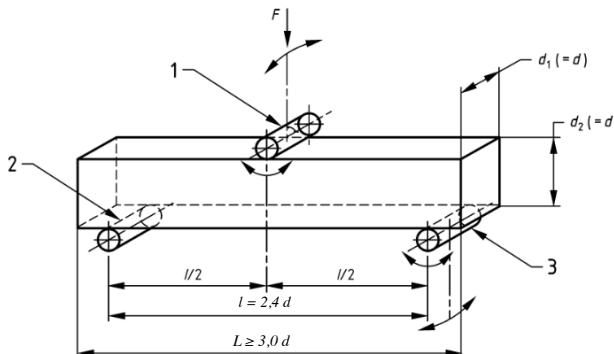
La résistance à la flexion est donnée par l'équation suivante :

$$f_{cf} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2}$$

Où :

- f_{cf} est la résistance à la flexion exprimée en [MPa] ($[N/mm^2]$) ;
- F est la force maximale en [N] ;
- l est l'écartement entre les rouleaux en [mm] ;
- d_1 et d_2 sont les dimensions latérales de l'éprouvette en [mm].

Figure 1 — Appareil de chargement (charge en deux points)



Légende

- 1 Rouleau de chargement (rotatif, inclinable)
- 2 Rouleau d'appui
- 3 Rouleau d'appui (rotatif, inclinable)

Figure 2 — Appareil de chargement (charge centrée en un point)

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

$$f_{cf} = 2.0 f_{ct}$$

f_{cf} étant la résistance à la traction par flexion sur prisme, $f_{c,cube}$ la résistance à la compression et f_{ct} la résistance à la traction simple en $[N/mm^2]$.

Exprimer la résistance à la flexion au 0.1 [MPa] ($[N/mm^2]$) près.

TRAVAIL

Effectuer les essais sur les éprouvettes préparées à cet effet :

- Mesurer les échantillons à tester ;
- Indiquer le mode d'apprêtage de l'échantillon ;
- L'âge de l'éprouvette ;
- Indication du type d'appareil ; charge en deux points ou centrale en un point ;
- Définir la portée ;
- Mettre en place l'éprouvette sur le châssis de charge (appuis sur face coffrée) ;
- Définir la vitesse de chargement R ;
- Effectuer l'essai et relever la charge de rupture ainsi que le mode de rupture et tout commentaires sur le facies de rupture ;
- Exprimer les résultats en indiquant la charge de rupture, la contrainte de rupture ;
- Indiquer l'emplacement de la rupture (si elle présente des particularités) ;
- Extrapoler la valeur de résistance à la traction pure ;
- Indiquer toutes les observations faites lors de l'essai.

TABLEAU DE RESULTATS

Type de béton	L [mm]	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	l [mm]	R [N/s]	S [N/mm ² .s]
Béton E/C _____						

Type de béton	F _{max} [kN]	f _{cf} [N/mm ²]	f _{ct} [N/mm ²]
Béton E/C _____			

Observations :

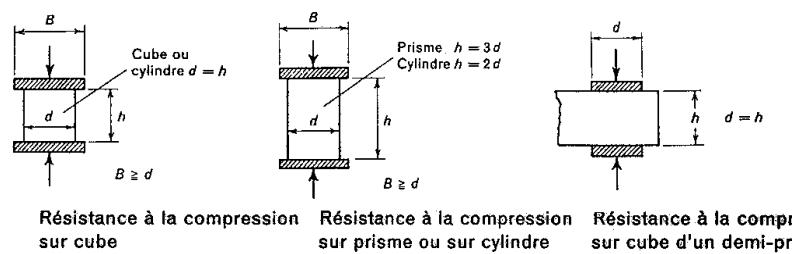
ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION SUR CUBES

BUT

Le contrôle de la qualité de béton durci. Il s'agit d'un des essais les plus courants, il permet de définir la classification du « béton à propriétés spécifiées ». Cette classification s'effectue à partir des valeurs caractéristiques de la résistance à la compression sur cylindre ou sur cube.

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.

On définira une vitesse constante de chargement dans la plage $(0,6 \pm 0,2)$ MPa/s ($N/mm^2 \cdot s$). On appliquera la charge sans choc. Cette charge sera appliquée de façon continue à la vitesse constante sélectionnée $\pm 10\%$, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

On enregistrera la charge maximale obtenue en kilonewtons.

INTERPRETATION

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

On définira la classe du béton testé grâce à la valeur moyenne définie par la formule ci-dessous :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Cette formule tient compte d'un écart type de $\pm 4,8 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ environ.

TRAVAIL

Effectuer les essais sur les demi prismes de l'essai de flexion.

- Mesurer les échantillons à tester ;
- Mettre en place l'éprouvette sur le châssis de charge ;
- Définir la vitesse de chargement ;
- Effectuer l'essai et relever la charge de rupture ainsi que le mode de rupture et tout commentaires sur le facies de rupture ;
- Exprimer les résultats en indiquant la charge de rupture, la contrainte de rupture ;
- Extrapoler la valeur de résistance à la traction pure ;
- Indiquer toutes les observations faites lors de l'essai.

TABLEAU DE RESULTATS

Type de béton E/C _____	L [mm]	E/C	v [N/mm ² .s]	V [kN/s]
DEMI PRISME 1				
DEMI PRISME 2				

Type de béton E/C _____	F _{max} [kN]	f _{cm} [N/mm ²]	f _{ck} [N/mm ²]	Classe béton
DEMI PRISME 1				
DEMI PRISME 2				

Classification des différentes classes de béton selon la norme SIA 206-1

Tableau 7 — Classes de résistance à la compression pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds

Classe de résistance à la compression	Résistance caractéristique minimale sur cylindres f_{ck-cyl} N/mm ²	Résistance caractéristique minimale sur cubes $f_{ck-cube}$ N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

RESISTANCE A LA FLEXION D'ELEMENT ARME (POUTRE)

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

METHODE Stade non-fissuré. Stade fissuré Stade rupture.

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 :

MODE OPERATOIRE Vérifier que les appuis fonctionnent correctement (1 appui fixe, 1 appui à rouleau).

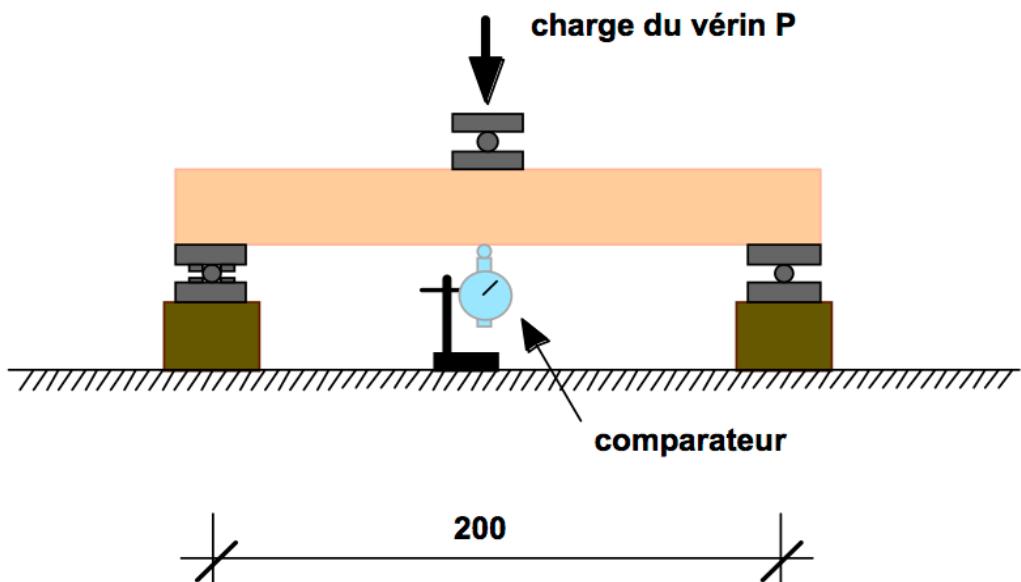
Charge de première fissuration P_f environ 3 kN

Charge de service (admis $\gamma = 1.7$) P_s environ 16 kN

Charge de rupture de calcul 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.

- 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