

MESURE EXPÉRIMENTALE DES CARACTÉRISTIQUES DYNAMIQUES DU MORTIER

I. Introduction

Dans les études de dimensionnement ou de calcul à la résistance des structures ou en béton armé, sujettes à des chargements dynamiques, les ingénieurs affrontent les problèmes de l'estimation de la résistance dynamique et les propriétés élastiques du matériau constituant la structure étudiée. Cela est d'autant plus important que la vie, la sécurité et l'économie de ces structures dépendent de la manière dont le comportement du béton, soumis à un chargement dynamique, a été pris en considération durant la phase d'avant projet. Dans ces calculs d'avant projet, la contrainte de résistance ultime, par exemple, du béton figure comme paramètre. Elle est quelquefois représentée par la résistance statique connue, majorée d'un coefficient arbitraire. Pour mieux prendre en compte ces paramètres, il convient de mesurer l'évolution de ces caractéristiques en fonction de la vitesse de chargement ou de déformation et, si possible, les modéliser.

En l'absence de méthodes standards permettant de déterminer la résistance au choc d'un béton ou d'un mortier, une variété de dispositifs expérimentaux a été utilisée pour déterminer les propriétés dynamiques de ces matériaux.

Ces dispositifs, pour la plupart, sont basés sur le principe de la chute d'une masse à partir d'une certaine hauteur, ou d'un pendule balistique. C'est ainsi que nous relevons certaines contradictions concernant les résultats obtenus par les divers chercheurs [1,2]. La méthode utilisant les barres de Hopkinson est la plus utilisée dans la mesure des contraintes produites par

des changements dynamiques et transmises dans les matériaux. Cette méthode utilisant les barres de Hopkinson est la plus utilisée dans la mesure des contraintes produites par des chargements dynamiques et de manière extensive pour les cas des études dynamiques des métaux [3,6], puis étendue à l'étude des roches et autres polymères [4]. Le travail qui est présenté ici, apporte une contribution à l'étude du comportement dynamique en compression du mortier par la méthode des barres de Hopkinson.

2. Présentation de la technique des barres de Hopkinson

2.1 Technique d'essai

L'arrangement des trois barres formant le système des barres de Hopkinson est montré sur la figure (1).

R. BOUTEMEUR
ENP Alger
J.R. KLEPACZKO
Ecole Centrale Nantes

RÉSUMÉ

Cet article traite de la mesure expérimentale de certaines caractéristiques dynamiques du mortier, au moyen du dispositif des barres de Hopkinson, qui s'appuie sur la théorie de propagation d'ondes dans les matériaux. Les résultats obtenus montrent que ce dispositif est bien adapté pour étudier le comportement dynamique du mortier ou du béton.

MOTS CLÉS

Essais • mortier • comportement dynamique • barres de Hopkinson • propagation d'ondes.

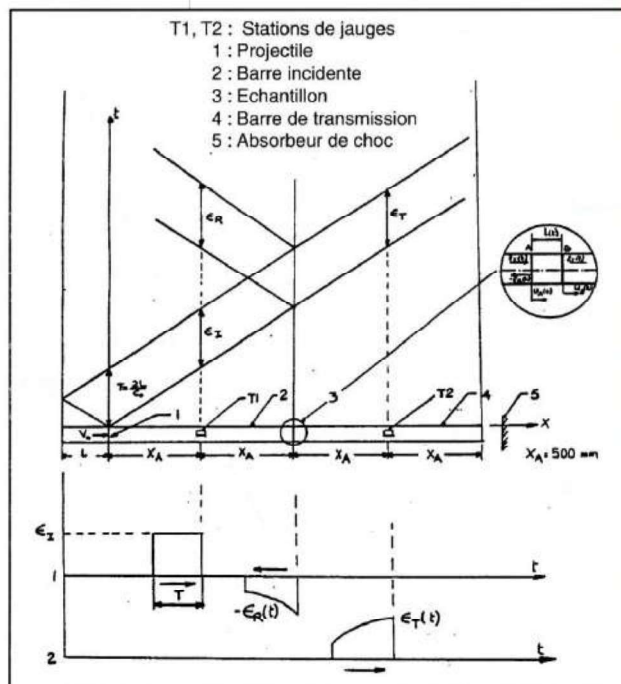
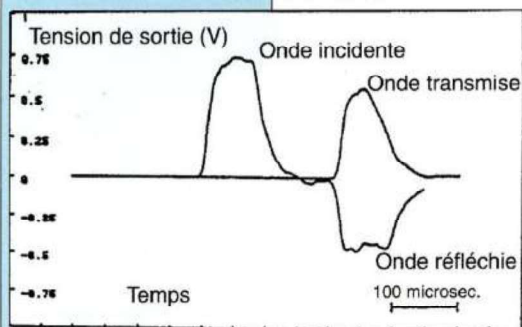


Figure 1 - Schéma de l'arrangement des barres et du diagramme de Lagrange.

Figure 2- Oscillogramme type des essais dynamiques



L'échantillon à tester, en compression, est placé en sandwich entre deux barres élastiques élançées.

L'onde de chargement, en contrainte, est engendrée par la barre impactante 1 (ou projectile) qui vient frapper la barre incidente 2. Le projectile est propulsé par un lanceur pneumatique à une vitesse connue V_0 . Juste après le choc, une onde incidente de compression d'amplitude $\varepsilon_i(t)$ se propage dans la barre 2 avec une célérité d'onde C_0 . La durée de cette onde est directement liée à la longueur L du projectile par la relation $T = 2L/C_0$. Arrivée à l'interface barre-échantillon, cette onde est partiellement réfléchiée en une onde de traction $-\varepsilon_r(t)$; et partiellement transmise à travers l'échantillon dans la barre de transmission, en onde de compression $\varepsilon_T(t)$.

La propagation de ces ondes élastiques est illustrée par le diagramme de Lagrange schématisé par la figure (1).

Les amplitudes des ondes transmises et réfléchies dépendent de la réponse mécanique de l'échantillon.

Les trois ondes: Incidentes $\varepsilon_i(t)$, réfléchiée $-\varepsilon_r(t)$ et transmise $\varepsilon_T(t)$ étant détectées par les stations de jauges T1 et T2, puis enregistrées en fonction du temps, il est possible de déterminer les caractéristiques des contraintes et des

déformations du matériau constituant l'échantillon à l'aide des formules de Kolsky et Lindholm [5,6] :

$$\varepsilon_s(t) = \frac{2C_0}{L_0} \int \varepsilon_r(\alpha) d\alpha \quad \text{①}$$

$$\varepsilon_s(t) = \frac{2C_0}{L_0} (\varepsilon_r(t)) \quad \text{②}$$

$$\sigma_s(t) = E \cdot A_b \cdot \varepsilon_T(t) \quad \text{③}$$

2.2 Dispositif expérimental

Le banc d'essai utilisé est composé de trois parties ayant des fonctions distinctes. L'ensemble du dispositif est schématisé sur la figure 3.

La première partie est constituée par un lanceur pneumatique [1] qui propulse un projectile à la vitesse désirée. Celle-ci se déduit de la mesure du temps de passage de la première interface du projectile entre deux faisceaux lumineux, distants d'une longueur connue. Le lanceur pneumatique est un montage mécanique formé par trois chambres cylindriques et un piston. Ces trois chambres sont reliées à une bouteille d'azote par l'intermédiaire de tuyaux et de vannes.

La deuxième partie est constituée essentiellement par un ensemble de deux barres horizontales élançées [2] terminées par un absorbeur de choc [2].

Deux jauges résistives sont collées longitudinalement de part et d'autre sur chacune des deux barres à une distance de 50 cm des faces des barres. Ces jauges détectent le passage des ondes dans les barres, engendrées par un ébranlement et produisent un signal électrique analogique proportionnel aux efforts qu'elles subissent.

La troisième partie est l'ensemble d'enregistrement, de dépouillement et de traitement des signaux.

3. MESURE DE LA VITESSE DE PROPAGATION D'ONDE

3.1 Méthodologie

La détermination de la vitesse de propagation d'onde dans un échantillon de mortier se fait au moyen du dispositif des barres de Hopkinson, décrit plus haut. La méthode consiste à mesurer le temps de parcours d'une onde élastique à travers un échantillon de mortier de longueur L_0 , placée entre les barres, incidente et transmise, puis d'en déduire sa vitesse à partir de la relation suivante :

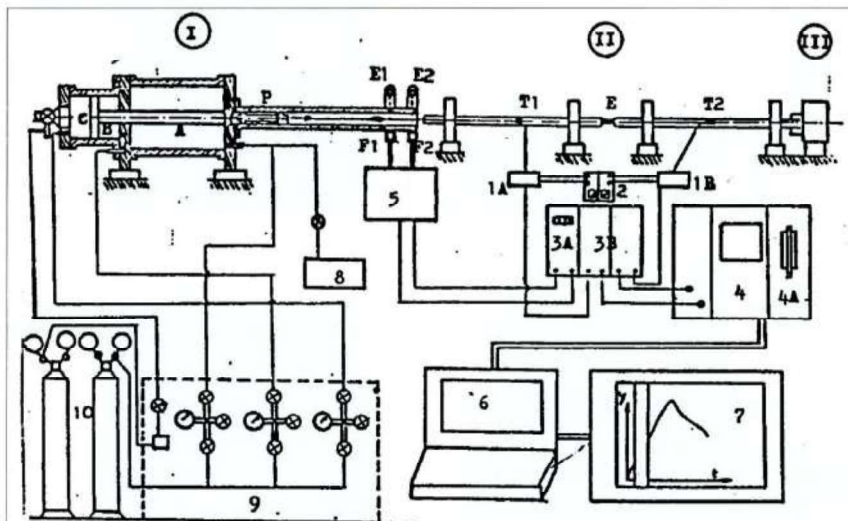


Figure 3- Schéma du dispositif expérimental en compression dynamique

- I- Lanceur pneumatique à trois chambres (A,B,C)
- II- Barres de Hopkinson
- III- Absorbant de chocs
- E- Echantillon
- 1A,B- Boîtes de connexion des jauges T1 et T2
- 3A- Intervallmètre
- 3B- Amplificateurs
- 4- Oscilloscope digital
- 4A- Enregistreur sur disquette
- 5- Boîte de connexion des photodiodes (E1,E2) et des phototransistors (F1,F2)
- 6- Calculateur
- 7- Table traçante
- 8- Pompe à vide
- 9- Tableau de commande de la pression
- 10- Bouteille d'azote

$$C_0 = \frac{L_0}{\Delta t_1} \text{ où } \Delta t_1 = \Delta t_2 - \Delta t_1 \quad 4$$

avec Δt_1 : Temps de l'onde dans l'échantillon
 Δt_2 : Temps de passage de l'onde entre les stations T_1 et T_2 déduit d'un oscillogramme obtenu lors d'un essai sans échantillon.
 Δt_1 : Temps de passage de l'onde, déduit d'un oscillogramme obtenu lors d'un essai avec échantillon.

3.2 Résultats

Les échantillons ont une longueur de 40 mm et un diamètre de 20 mm. Les essais sont réalisés sur un groupe de dix échantillons (âgé de 28 jours), issus d'un même lot de fabrication.

La durée moyenne de parcours de l'onde à travers l'échantillon est :
 $\Delta t_1 = \Delta t_2 - \Delta t_1 = 221.54 \mu s - 211.02 \mu s = 10.52 \mu s$

d'où $C_0 = 3802 \text{ m/s}$

Ce résultat est comparable à ceux retrouvés dans la bibliographie est obtenue par des essais divers (ondes acoustiques, ultrasons...).

4. Détermination du module de Young dynamique

La mesure de la vitesse d'une onde élastique longitudinale dans le mortier permet de déduire le module élastique dynamique E_d initial. En effet, si l'on considère la propagation d'une onde plane dans les barres et l'échantillon, on peut définir la vitesse de propagation par la relation suivante :

$$C_0 = (E_d / \rho_0)^{1/2} \quad 5$$

où ρ_0 est la densité du matériau.

Cette relation peut s'écrire sous la forme:

$$E_d = \rho_0 \cdot C_0^2 \quad 6$$

où : ρ_0 : Est la valeur moyenne de la densité des échantillons du mortier utilisé.

C_0 : La vitesse de l'onde.

La valeur de ρ_0 est établie à partir de la moyenne des rapports m/v_i où m et v_i sont respectivement la masse et le volume de l'échantillon i .

Le calcul du module élastique dynamique avec $\rho_0 = 2057 \text{ kg/m}^3$ et $C_0 = 3802 \text{ m/s}$ donne :

$$E_d = 2.97 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

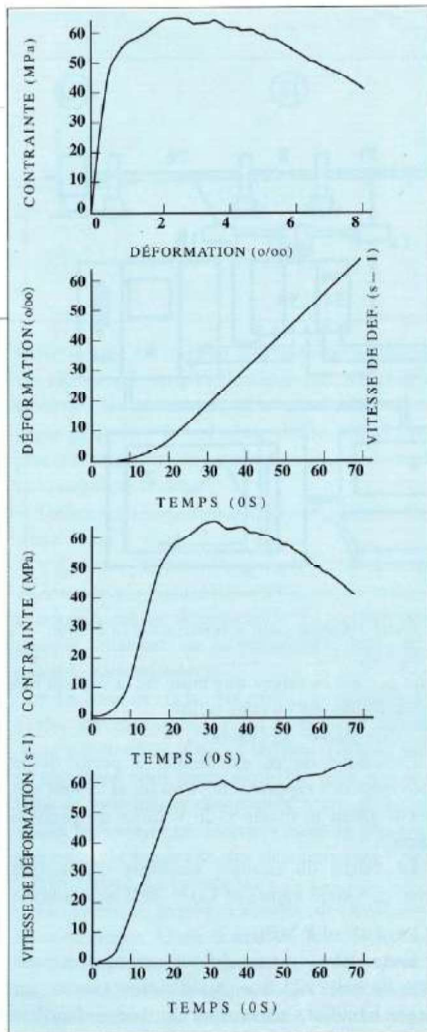
Cette valeur du module dynamique est voisine de celle obtenue par d'autres auteurs sur des échantillons de mortier de même diamètre et de même âge par une méthode acoustique.

5- Étude du comportement dynamique du mortier

Une centaine d'échantillons ont été testés par le dispositif des barres de Hopkinson, pour étudier le comportement dynamique du mortier, puis de déduire sa contrainte à la rupture. Ces échantillons ont les dimensions $L_0 = 40 \text{ mm}$ et $D_0 = 20 \text{ mm}$ et sont âgés de 28 jours ou de 6 mois.

Le traitement des signaux obtenus lors des essais, permet la représentation pour chaque échantillon de la courbe contrainte-déformation ainsi que pour les courbes : contrainte, déformation, vitesse de déformation en fonction du temps. Un exemple de ces courbes est représenté par la figure 4.

Figure 4 - Exemples de courbes obtenues par le traitement des signaux



BIBLIOGRAPHIE

[1] B.P HUGUES, R. GREGORY : "Concrete subjected to high rates of loading in compression". Magazine of concrete research. Vol.24, n°78, pp.25-26, Mars 1972.
 [2] R.J MAINSTONE : "Properties of materials at high rates of staining or loading". Part 4, State of the art report on impact loading of structures, materials and structures vol. 8 n°44, pp.102-116, Mars-Avril 1975.
 [3] U.S LINDHOLM : "High strain rate tests in technique in metals research". Ed. R. Bunshach Vol.5, 1971.
 [4] J.R KLEPACZKO : "Application of the split Hopkinson pressure bar for dynamic loading of rock". Engineering transactions 28, 3, pp. 318-399, 1980.
 [5] H. KOLSKY : "An investigation of the mechanical properties of materials a very high rates of loading". Proc. Phys. Soc. London 1964.
 [6] U.S LINDHOLM : "Some experiments with the split Hopkinson pressure bar". Journal of the mechanics and physics and physics solid. Vol.12, n°5, pp. 317 - 335, Nov.1964.

5.1 Relation contrainte-déformation

Les courbes contrainte-déformation obtenues ont sensiblement la même forme. Un exemple de courbe est représenté par la figure 5.

On y observe une large partie linéaire ascendante symbolisant le comportement élastique du mortier jusqu'aux environs de 60% de sa résistance, puis vient une partie courbe qui se prolonge jusqu'au point de rupture.

Les figures 6 et 7 montrent les allures de quelques courbes pour certaines vitesses de déformation de 48 à 80 Mpa pour un mortier de 28 jours d'âge.

L'effet de vieillissement du mortier en compression dynamique a ainsi été étudié. On montre que la résistance aux efforts dynamiques du mortier est d'autant plus grande que le mortier est plus âgé (6 mois).

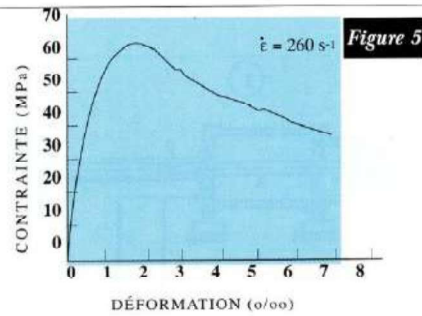


Figure 5

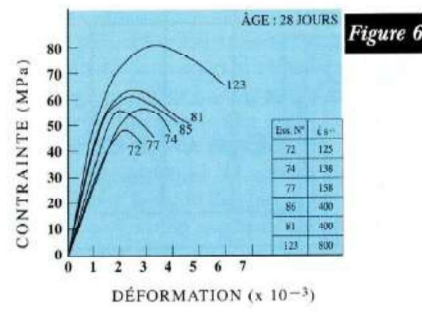


Figure 6

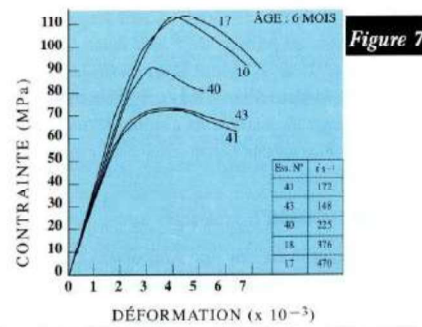


Figure 7

Figure 5 - Exemple de courbe contrainte-déformation obtenue par un essai dynamique • Figure 6 - Evolution des courbes contrainte-déformation d'un mortier de 28 jours sur le domaine des grandes vitesses de déformation • Figure 7 - Evolution des courbes contrainte-déformation d'un mortier de 6 mois sur le domaine des grandes vitesses de déformation

6. Conclusion

Les résultats obtenus permettent de conclure que l'utilisation des barres de Hopkinson est bien adaptée pour étudier le comportement dynamique du mortier et mesurer ainsi ses caractéristiques dynamiques. Cette technique peut être aussi adaptée à l'étude du comportement d'échantillons de grandes dimensions tels que le béton à condition d'utiliser des barres de grand diamètre.