Comportement du béton en dynamique rapide

J. Dubé, A. Kanji Nanji, C. Wielgosz

► To cite this version:

J. Dubé, A. Kanji Nanji, C. Wielgosz. Comportement du béton en dynamique rapide. Journal de Physique IV Proceedings, 1997, 07 (C3), pp.C3-505-C3-509. 10.1051/jp4:1997387 . jpa-00255544

HAL Id: jpa-00255544

<https://hal.science/jpa-00255544>

Submitted on 1 Jan 1997

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comportement du béton en dynamique rapide

J.F. Dubé, A. Kanji Nanji et C. Wielgosz

*Laboratoire de Génie Civil de Nantes-St Nazaire, Faculté des Sciences et des Techniques de Nantes,
2 rue de la Houssinière, 44072 Nantes cedex 03, France*

Abstract. This article concerns in the study of the concrete behaviour subjected to high solicitations like impact or blast. The concrete is modelised by a viscodamage law with an unilateral character. This law is introduced in the program Code LS-DYNA3D. Firstly, we show the pertinence of the law to describe the effect of the rate load on the behaviour of the material. After, we simulate the tests realised by Split Hopkinson Pressure Bar by a finite element method in the three dimensional space.

Résumé. Cette étude porte sur comportement du béton soumis à des sollicitations très rapides du type impact ou souffle. Le matériau béton est modélisé par une loi viscoendommageable à caractère unilatéral implantée dans le code éléments finis LS-DYNA3D. Nous montrons dans un premier temps la pertinence du modèle pour décrire l'effet de la vitesse de chargement sur le comportement du matériau. Nous simulons ensuite les essais réalisés sur barres de Hopkinson par un calcul éléments finis en trois dimensions.

1. INTRODUCTION

Au sein du réseau de laboratoire GEO, cette étude a pour objet le développement d'un modèle fiable pour le calcul des ouvrages en béton armé soumis à des chargements très rapides [1]. Ce travail se déroule en deux étapes : la première consiste à décrire le comportement du matériau soumis à fortes vitesses de sollicitation, la seconde à pour but de valider la modélisation développée et d'enrichir la base des données relatives à ce type de problème.

Plusieurs mécanismes de fonctionnement sont avancés, faisant intervenir principalement la masse ou la viscosité [2, 3, 4, 5]. Au sein du groupe de travail "comportement des ouvrages en dynamique rapide" du réseau de laboratoire GEO, nous nous attachons à démontrer la pertinence d'un modèle viscoendommageable. Les résultats d'essais de matériaux effectués sur barres de Hopkinson nous servent de base à la modélisation du comportement. Nous utilisons la base de donnée du GRECO-Géomatériaux et notamment les essais exécutés au LMS [6] et au LCPC [7], ce qui présente l'avantage de disposer d'un maximum d'informations sur les expériences réalisées.

2. MODELISATION VISCOENDOMMAGEABLE

Ce modèle développé au LMT de Cachan [8] est tiré du modèle de comportement du béton tridimensionnel écrit par C. La Borderie [9]. Ce comportement est élastique endommageable à caractère unilatéral, piloté par deux variables d'endommagement scalaires. On peut le résumer par l'expression suivante :

$$\varepsilon = \frac{\sigma^+}{E_0 (1 - D_1)} + \frac{\sigma^-}{E_0 (1 - D_2)} + \frac{\nu}{E_0} (\sigma - (\text{Tr } \sigma) \mathbf{1}) \quad + \quad \frac{\beta_1 D_1}{E_0 (1 - D_1)} \frac{\partial f(\sigma)}{\partial \sigma} \mathbf{1} + \frac{\beta_2 D_2}{E_0 (1 - D_2)} \mathbf{1}$$

terme "déformation élastique" du matériau endommagé

terme "déformations anélastiques"

E_0 est le module d'Young initial, ν est le coefficient de Poisson.

σ^+ et σ^- sont respectivement le tenseur des contraintes "positif" et le tenseur des contraintes "négatif" (composé par les termes positifs de la diagonale pour l'un et négatifs pour l'autre, dans le repère principal). D_1 et D_2 sont respectivement les variables d'endommagement en traction et compression, pilotées par les taux de restitution d'énergie Y_1 et Y_2 définis ci-dessous.

β_1 et β_2 sont des constantes et $f(\sigma)$ une fonction qui gère la refermeture des fissures.

Les taux de restitution d'énergie relatifs à la partie positive et négative du tenseur de contrainte principal sont :

$$Y_1 = \frac{\sigma^+ : \sigma^+ + 2\beta_1 f(\sigma)}{2E_0(1-D_1)^2} \quad \text{et} \quad Y_2 = \frac{\sigma^- : \sigma^- + 2\beta_2 \text{Tr}(\sigma)}{2E_0(1-D_2)^2}$$

L'évolution de l'écrouissage est défini par : $Z_i = \frac{1}{A_i} \left(\frac{-Z_i}{1+Z_i} \right)^{1/B_i}$ ($i = 1, 2$)

où A_i, B_i sont des paramètres à identifier.

On écrit alors l'équation de la surface seuil F_i pour chaque évolution ($i = 1, 2$) :

$$F_i = Y_i - Z_i - Y_{0i} \quad \text{où } Y_{0i} \text{ est le seuil initial à identifier.}$$

Les évolutions des variables d'endommagement et d'écrouissage sont définies par la dérivée de la fonction seuil par rapport aux fonctions associées à ces variables :

$$\begin{cases} \dot{D}_i = \dot{\lambda} \frac{\partial F_i}{\partial Y_i} = \dot{\lambda} \\ \dot{Z}_i = \dot{\lambda} \frac{\partial F_i}{\partial Z_i} = -\dot{\lambda} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{où } \dot{\lambda} \text{ est le multiplicateur d'endommagement} \\ \text{ce qui nous permet d'écrire la relation } \dot{D}_i = -\dot{Z}_i. \end{array}$$

Le modèle initial décrit l'évolution de l'endommagement par la condition de consistance $\dot{F}_i = 0$ et $\dot{F}_i = 0$. Ici le multiplicateur d'endommagement est explicitement défini comme en viscoplasticité par :

$$\dot{\lambda} = \left(\frac{\langle F_i \rangle}{m_i} \right)^{n_i}, \quad \langle F \rangle \text{ est la partie positive de } F.$$

Les coefficients m_i, n_i que l'on qualifiera de "dynamiques", servent de paramètres de viscosité et permettent donc de prendre en compte indirectement la vitesse de déformation.

3. VALIDATIONS NUMERIQUES

La validation du modèle est effectuée en compression simple car on ne possède actuellement que des essais de compression pour des vitesses de déformation supérieures à 100 s^{-1} . Nous procédons en deux temps, en partant d'un calcul simple pour aboutir à des simulations complexes. Tout d'abord nous identifions les paramètres du modèle de comportement grâce à des simulations uniaxiales et pour différentes vitesses de déformation. Puis nous calculons la réponse d'éprouvettes de micro-béton testées avec les barres de Hopkinson.

3.1 Identification uniaxiale

Le modèle de comportement peut s'écrire de manière explicite, aussi avons nous introduit sa réduction uniaxiale dans le tableur Excel. Cet outil, qui possède une méthode d'identification intégrée, nous permet alors d'identifier les paramètres m_2 et n_2 de l'évolution de l'endommagement.

Le matériau testé a pour caractéristiques un module d'Young de 31000 MPa, une contrainte au pic de 60 MPa pour une déformation de $2.72 \cdot 10^{-3}$.

Les essais sur barres de Hopkinson [6] sont réalisés pour des vitesses de déformation moyennes de 350 s^{-1} , 450 s^{-1} , 550 s^{-1} et 700 s^{-1} avec des contraintes maximales respectives de l'ordre de 65 MPa, 85 MPa, 105 MPa et 115 MPa.

Dans un premier temps nous calculons les paramètres "statiques" du modèle de comportement Y_{02} , A_2 , B_2 , β_2 à partir des caractéristiques statiques. En fixant $\beta_2 = 40 \text{ MPa}$ nous obtenons $Y_{02} = 4.71 \text{ kPa}$, $A_2 = 2.74 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$, $B_2 = 2.54$.

Les paramètres "dynamiques" m_2 et n_2 sont alors identifiés sur Excel pour les quatre vitesses de déformation. Le résultat affiché sur la figure 1 est obtenu pour les coefficients $m_2 = 7.096 \cdot 10^{-9} \text{ Pa}$, $n_2 = 0.356$ où on retrouve l'évolution du comportement en fonction de la vitesse de déformation.

Figure 1 : Simulations uniaxiales en compression pour différentes vitesses de déformation.

3.2 Simulation numérique de l'essai

Les différentes valeurs de contraintes au pic en fonction des vitesses de déformation sont déduites des essais sur barres de Hopkinson en faisant certaines hypothèses. C'est pourquoi nous choisissons de vérifier la validité des coefficients déterminés précédemment en simulant numériquement l'essai réalisé.

Nous construisons alors un maillage éléments finis en 3 dimension de l'éprouvette cylindrique de 0.036 m de diamètre et 0.036 m de long. On impose, sur les deux faces extrémités, les vitesses de déplacement mesurées lors de l'essai (figure 2).

Figure 2 : Modélisation de l'essai sur barres de Hopkinson.

Le calcul est réalisé à l'aide du code LS-DYNA3D, dans lequel nous avons implanté le modèle de comportement. Nous en déduisons les efforts sur chacune des faces de l'éprouvette que nous comparons à ceux déduits de l'expérience (figure 4).

Figure 4 : Comparaison essai/calcul pour les forces sortantes dans l'éprouvette.

Figure 5 : Evolution des vitesses des faces en fonction du temps (essai à $\dot{\epsilon} = 350 \text{ s}^{-1}$).

Les résultats des simulations de l'essai ne concordent pas tout à fait les résultats expérimentaux. En effet les paramètres sont identifiés pour une vitesse de déformation moyenne stabilisée, alors que celle-ci

évolue au cours du chargement. D'autre part la vitesse de déformation n'est stable que loin après le pic et donc hors de la partie "utile" du comportement (figure 5).

Il apparaît donc nécessaire d'effectuer l'identification des paramètres à partir des simulations complètes des essais. Cet étude, beaucoup plus difficile à mettre en œuvre que la précédente, est en cours de réalisation. Elle devrait conduire à des résultats plus fiables qui permettront aussi de prendre en compte les effets du confinement local du matériau.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons pu mettre en évidence la nécessité de valider un modèle de comportement du béton pour des grandes vitesses de déformation, par des simulations de l'essai complet. On montre qu'une identification uniaxiale est insuffisante pour prédire correctement le comportement du matériau. Un calcul de structure suffisamment fin doit être effectué pour refléter la réalité de l'expérience ; cependant la taille du problème à résoudre ne doit pas être trop importante afin de réaliser l'identification dans un temps raisonnable. Le travail est en cours et il sera complété par une caractérisation de la traction. On pourra ensuite aborder le problème de la modélisation d'une plaque en béton soumise à une explosion hémisphérique.

Références

- [1] *P.H. Bischoff, S.H. Perry*, Compressive behaviour of concrete at high strain rates, *Materials and Structures*, 24, p. 425-450, 1991.
- [2] *P. Bailly*, Modélisation des essais de compression dynamiques, GRECO 92, 1992.
- [3] *J.F. Dubé*, Modélisation simplifiée et comportement viscoendommageable des structures en béton. Application aux séismes et aux chocs des ouvrages en béton armé, thèse de doctorat de l'ENS de Cachan, 1994.
- [4] *C. Pontiroli*, Comportement au souffle des structures en béton armé, thèse de doctorat de l'ENS de Cachan, 1995.
- [5] *J. Sercombe, F.J. Ulm, F. Toutlemonde*, Modélisation du béton en dynamique rapide, 4^{ème} colloque AFPS, 1996.
- [6] *Bergues, G. Gary*, Essais triaxial sur béton, communication interne LMS-GRECO, 1993.
- [7] *F. Toutlemonde*, Résistance au choc des structures en béton, thèse de doctorat de l'ENPC, 1995.
- [8] *J.F. Dubé, G. Pijaudier-Cabot, C. La Borderie*, A rate dependent damage model for concrete in dynamics, *Journal of Engineering Mechanics ASCE*, p. 939-947, oct. 1996.
- [9] *C. La Borderie*, Phénomènes unilatéraux dans un matériau endommageable : modélisation et application à l'analyse de structure en béton, thèse de doctorat de l'université PARIS 6, 1991.