MÉCANISMES D'ENDOMMAGEMENT ET DE RUPTURE EN TRACTION DE MATÉRIAUX CHAUSSÉES PAR ÉMISSION ACOUSTIQUE

R. Linder, M. Reymond, J. Vecoven

► To cite this version:

R. Linder, M. Reymond, J. Vecoven. MÉCANISMES D'ENDOMMAGEMENT ET DE RUPTURE EN TRACTION DE MATÉRIAUX CHAUSSÉES PAR ÉMISSION ACOUSTIQUE. Journal de Physique IV Proceedings, 1992, 02 (C1), pp.C1-495-C1-498. 10.1051/jp4:19921106 . jpa-00251060

HAL Id: jpa-00251060

<https://hal.science/jpa-00251060>

Submitted on 1 Jan 1992

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.

MÉCANISMES D'ENDOMMAGEMENT ET DE RUPTURE EN TRACTION DE MATÉRIAUX DE CHAUSSEES PAR ÉMISSION ACOUSTIQUE

R. LINDER, M.C. REYMOND* et J. VECOVEN**

LCPC, Service de Mécanique, UMR 113, La courtine, F-93167 Noisy le Grand, France

*CNRS - UMR 113, LCPC, 58 Bd Lefebvre, F-75732 Paris cedex 15, France

**Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Zone Industrielle, BP. 141, F-41405 Autun, France

Abstract : The study deals with the damage of road materials treated with hydraulic binder. The experimental method consists in applying to each test cylinder a small number load-unloading cycles in tension with increasing amplitude. The evolution of the behavior is analyzed using the events of acoustic emission sent by the damaged aera. The main mechanism appears as decohesion between the coarse grains and the matrix. There relatively low number and their random spatial distribution, known thanks to the longitudinal location of emission sources, allows to modelise the damaged material to a spherical heterogeneous material made-up with an envelope representing the sound material and an empty core representing the detached grain. The macroscopic failure starts from a coalescence on one of the resulting gaps.

1. Présentation. Dispositif d'essai (figure 1)

Les matériaux de chaussées à liants hydrauliques sont constitués de mélanges de granulats 0/20 mm et d'un liant qui peut être du laitier ou un ciment spécial à prise lente. Ils sont proches des bétons de ciment, moins résistants, et s'endommagent plus progressivement. Leur mode principal de sollicitation dans les chaussées est la tension due à des retraits thermiques ou de prise, et à la flexion produite par le trafic.

C'est pourquoi nous étudions l'endommagement de ces matériaux en traction, avant la rupture. Notre stratégie expérimentale consiste à appliquer à chaque éprouvette un petit nombre de cycles de charge-décharge, d'amplitudes croissantes. On peut alors mesurer simultanément le module élastique résiduel servant à définir l'endommagement, le coefficient de Poisson, les déformations permanentes, et l'émission acoustique.

Figure 1: Dispositif d'essai et de mesure acoustique

Les essais sont réalisés avec une machine d'essais rhéologiques (MAER du Centre d'Etudes et de Construction de Prototypes d'Angers) sur des éprouvettes $\varnothing$ 16 cm., H 32 cm. Les déformations servant au pilotage sont mesurées par un extensiomètre L.C.P.C. très précis (sensibilité 0,02 μ m), sur une base de 20 cm. On utilise des jauges à fils résistants (2 longitudinales et 6 orthoradiales) pour la mesure du coefficient de Poisson.

Au centre des 2 faces parallèles de l'éprouvette on monte les capteurs C1 et C2 résonnant à 70 KHz (plage comprise entre 20 KHz et 150 KHz). Ils permettent la localisation linéaire des sources suivant l'axe du cylindre, la mesure des amplitudes et durées des signaux, etc

2. Analyse acoustique de l'endommagement

La partie la plus intéressante de l'émission acoustique est constituée par des salves dont la source a pu être localisée et qu'on appelle "événements". La localisation est possible dès que le seuil de filtrage sélectionné a été franchi sur les 2 capteurs par la même salve.

Ces événements sont le résultat d'une propagation saccadée de microfissures. Ils se manifestent dès qu'un certain seuil de contrainte de traction est franchi pour la 1ère fois (entre 3 et 6 MPa pour nos matériaux). Pour les cycles suivants, l'émission a lieu dès que la contrainte dépasse sa valeur maximale du cycle précédent; c'est l'effet Kayser (figure 2).

La microfissuration se traduit par un endommagement macroscopique isotrope D

$$D = 1 - \frac{E}{E_0} \quad (1)$$

où E_0 est le module d'élasticité initial et E le module mesuré pendant la partie inférieure de la décharge où il ne se produit aucune émission.

Une émission acoustique secondaire se produit pendant la partie haute de la décharge. Elle est due aux refermetures de fissures plus ou moins gênées par la réorganisation des contraintes internes initiales (dues au retrait-dilatation de prise du liant).

Figure 2
cycles de charge-décharge
d'amplitude croissante

Pour tous les matériaux que nous avons testés, la répartition des sources le long de l'axe de symétrie vertical des éprouvettes est bien homogène pendant la majeure partie de l'essai. Ceci indique l'existence de centres d'endommagement interagissant faiblement entre eux.

Des microfissures voisines dans un même plan perpendiculaire à la tension macroscopique peuvent accélérer l'endommagement. Cette situation se produit essentiellement près de la rupture; elle aboutit à une répartition hétérogène des sources (endommagement localisé) et à un pic d'émission dans la zone de rupture observée à la fin de l'essai. Au contraire, des microfissures situées à la verticale les unes des autres, exercent un effet de décharge entre elles si elles sont assez proches; cet effet contribue au ralentissement des propagations.

Par ailleurs, la forme quasi sphérique des surfaces décollées et la relative faiblesse de coefficient de concentration de contrainte qui vaut 2,06 pour un trou sphérique dans un milieu infini (3 pour un trou cylindrique), permettent un blocage efficace de la fissure sphérique. L'apparition de fissures de branchement équatoriales sur les interfaces décollées déterminera la localisation de l'endommagement et la rupture macroscopique.

3. Modélisation des matériaux par un modèle récursif. Critère d'endommagement

L'endommagement est dû principalement à la rupture des interfaces entre des gros grains et la matrice. A chaque rupture correspond un évènement acoustique; leur nombre total est NE. Considérons le cas où seules quelques grosses inclusions sont décollées et restent assez éloignées pour qu'on puisse leur associer un volume élémentaire dont la structure est désignée par MHE 3 (figure 3). Nous supposons qu'un empilement aléatoire d'éléments de type MHE 3 constitue le modèle du milieu endommagé réel. Le noyau du modèle représente un gros grain décollé qui se comporte en première approximation comme un vide. Son modèle d'enveloppe MHE 2 contient lui-même un noyau qui représente les grains non décollés; la concentration de ces inclusions est $V_g - v$ où V_g est la concentration granulaire réelle et v est la fraction volumique des grains décollés.

Figure 3 : Schémas de matériaux sain (à gauche) et avec décollements

Le milieu homogène équivalent MHE 2 est de type Hashin, son coefficient de compressibilité K est donné par la relation classique où les indices 1 et 2 désignent le noyau et la matrice respectivement.

$$K = \frac{E}{3(1-2v)} = \frac{CK_1(3K_2 + 4\mu_2) + (1-C)K_2(3K_1 + 4\mu_2)}{C(3K_2 + 4\mu_2) + (1-C)(3K_1 + 4\mu_2)} \quad (2) \quad C = \frac{V_g - v}{1 - v} \quad (3)$$

MHE 3 possède un module de compressibilité K_3 obtenu par (2) où $K_1 = 0$ et $K_2 = K$.

$$K_3 = \frac{4(1-v)K\mu}{v(3K + 4\mu) + (1-v)4\mu} = \frac{E_3}{3(1-2v_3)} \quad (4)$$

Comme le coefficient de Poisson expérimental est constant (indépendant de D) on a :

$$v_3 = v \quad (5)$$

On trouve alors la relation entre l'endommagement D et le volume des cavités formées v :

$$D = 1 - \frac{E_3}{E} = 1 - \frac{K_3}{K} = 1 - \frac{(1-v)(1 + Rn_g)[(1-d)k + Rn_g]}{(1+pv)(k + Rn_g)[1-d + Rn_g]} \quad (6)$$

$$\text{avec } d = \frac{v}{V_g} \quad k = \frac{E_1}{E_2} \quad n_g = \frac{1 - V_g}{V_g} \quad p = \frac{1+v}{2(1-2v)} \quad R = \frac{3K_1 + 4\mu_2}{3K_2 + 4\mu_2}$$

La figure (4) donne une comparaison entre le résultat expérimental NE(D) et le modèle de la relation (6) ou NE est déduit de v en supposant que seuls les gros grains sont décollés.

Nous choisissons alors comme critère d'endommagement la valeur seuil σ_s du maximum de la contrainte locale de traction prise dans une direction normale à la surface des inclusions. σ_s est la résistance à la rupture en traction de l'interface. C'est une variable aléatoire déterminée par la taille de l'inclusion et par l'énergie interfaciale spécifique.

La contrainte normale maximale d'interface $\sigma_n^{\max}$ (8) est liée à la contrainte macroscopique Σ_{11} appliquée à l'infini par la relation d'Eshelby (1956).

$$\sigma_{ij}^o = M_{ik} \Sigma_{kj} \quad M = \begin{bmatrix} s + t/3 & t/3 & t/3 \\ t/3 & s + t/3 & t \\ t/3 & t/3 & s + t/3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$t = A(a-1) - B(b-1) \quad s = 1 + B(b-1)$$

$$A = \frac{K' - K_o}{(K_o - K')a - K_o} \quad a = \frac{1+v}{3(1-v)} \quad B = \frac{\mu' - \mu_o}{(\mu_o - \mu')b - \mu_o} \quad b = \frac{2(4-5v)}{15(1-v)}$$

Le module de compressibilité K' et μ' sont relatifs à l'inclusion. Les modules E_o , μ_o et K_o sont ici fonction du taux d'inclusion décollé v , alors que v est constant.

Dans l'essai de traction uniaxial la contrainte maximale d'interface est

$$\sigma_n^{\max} = \max(\sigma_n \cdot n) \cdot n = \sigma_{11}^o = m \Sigma_{11} \quad (8)$$

L'indépendance entre les sites d'endommagement permet alors de considérer la relation entre NE et la contrainte donnée par (8) comme la loi de répartition statistique de la résistance des interfaces σ_s , dans le domaine des résistances les plus faibles. La figure 5 montre des courbes de répartition des résistances typiques de divers matériaux.

Figure 4 : Nombre d'évènements en fonction du dommage D

Figure 5 : Nombre d'évènements en fonction de la contrainte effective $m\Sigma_{11}$

Bibliographie:

- Linder R. Cherfaoui M. Reymond M.C. Vecoven J. Les Cahiers de Rhéologie 1991 IX 3,153-164
 Hill R. JI Mech. Phys. Solids 1965 13, 89
 Eshelby J. D. Proc. Roy. Soc. 1957 A241, 376
 Budianski B. O'Connell Int. JI Sol. Structures 1976 12, 81-97