

ÉTUDE ANALYTIQUE ET NUMÉRIQUE DU COMPORTEMENT EN DÉTENTE D'UN MATÉRIAU POREUX APRÈS UN CHOC DE COURTE DURÉE

A. Migault, D. Zagouri, J. Romain

▶ To cite this version:

A. Migault, D. Zagouri, J. Romain. ÉTUDE ANALYTIQUE ET NUMÉRIQUE DU COMPORTE-MENT EN DÉTENTE D'UN MATÉRIAU POREUX APRÈS UN CHOC DE COURTE DURÉE. Journal de Physique IV Proceedings, 1991, 01 (C3), pp.C3-867-C3-872. 10.1051/jp4:19913121. jpa-00249926

HAL Id: jpa-00249926 https://hal.science/jpa-00249926

Submitted on 4 Feb 2008

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. JOURNAL DE PHYSIQUE IV Colloque C3, suppl. au Journal de Physique III, Vol. 1, octobre 1991

ÉTUDE ANALYTIQUE ET NUMÉRIQUE DU COMPORTEMENT EN DÉTENTE D'UN MATÉRIAU POREUX APRÈS UN CHOC DE COURTE DURÉE

A. MIGAULT, D. ZAGOURI et J.P. ROMAIN

L.E.D.-U.A.193-C.N.R.S, E.N.S.M.A, F-86034 Poitiers, France

Résumé - Cette étude présente une analyse du comportement des matériaux poreux en détente, derrière un front de choc. La vitesse matérielle résiduelle à pression nulle dépend de la pression de choc. On montre qu'elle passe par un maximum dont la valeur est déterminée en fonction de la porosité initiale du milieu, pour l'aluminium et pour le cuivre.

<u>Abstract:</u> In this paper, we present some results about the release waves in porous materials (Al and Cu) from any shocked state and for porosity between 1 (compact) and L_{lim} (= 1+2/ γ_0 ; γ_0 , Gruneisen coefficient of compact material. We describe the evolution of residual material velocity with the pressure of shocked state. This velocity has a maximum value which is positive; we give the evolution of this maximum with porosity for Al and Cu.

I - INTRODUCTION

Lorsqu'une onde de choc passe d'un milieu dense, A, à un milieu B, tel que l'air, l'onde se réfléchie à l'interface et repart vers A. L'onde réfléchie dans le milieu A est un faisceau de détente qui va diminuer progressivement la pression dans le milieu A et propager un accroissement de vitesse particulaire en sens inverse de sa propre propagation. Les lois gouvernant de tels écoulements sont celles des écoulements isentropiques /1/.

Dans le plan (P, u_p) (up, vitesse particulaire dans le choc), la situation est la suivante:



Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jp4:19913121

Le lieu des nouveaux états établis dans le milieu A est la courbe A" de la figure I ; il est tel que

$$u_p = u_{pi} - \int_{P_i} (-\frac{dV}{dP_S})^{1/2} dP$$
 (1)

PS(V) est la courbe de détente isentropique à partir de l'état de choc (Pi, Vi, upi).

L'étude des corps poreux a été entreprise dans les années 60 pour obtenir des données sur l'équation d'état des solides à grande énergie interne et haute température /2/. Ces corps se sont également révélés être de puissants amortisseurs de choc, /3/ ; c'est la raison pour laquelle nous avons entrepris l'étude numérique des ondes de détente dans le cas d'un modèle simple de poreux.

II - MODELE MATHEMATIQUE UTILISE

Nous allons examiner plus particulièrement le problème dans le cas des corps poreux à "compaction complète". Dans ce cas, la courbe de Hugoniot du poreux, $P_{H}^{*}(V)$, se déduit de la courbe de Hugoniot du compact, $P_{H}(V)$, à l'aide de (/4/, /5/) :

$$P_{\rm H}^{*}(V) = P_{\rm H}(V) \frac{1 - \frac{\gamma_0}{2V_0} (V_0 - V)}{1 - \frac{\gamma_0}{2V_0} (V_0^{*} - V)}$$
(2)

 V_0^* est le volume spécifique initial du corps poreux à P = 0 et T = T_0; V_0 est le volume spécifique initial du corps compact (dans les mêmes conditions).

Dans ce qui suit L désigne la porosité du milieu ; $L = V_0^*/V_0$.

La relation (2) est obtenue en supposant que le compact et le poreux ont une équation d'état du type MIE-GRUNEISEN /6/, que le rapport $\gamma(V)/V$ est constant et égal à γ_0/V_0 (γ_0 , cœfficient de Gruneisen et V₀, volume spécifique initial du corps compact) et que les équations de conservation de l'énergie, de la matière et de l'impulsion dans un choc sont satisfaites.

A partir d'un état de choc (P_i^* , V_i) le corps se détend de façon adiabatique. Compte tenu de (2) et des hypothèses faites pour y aboutir, on obtient l'équation différentielle suivante, donnant la loi d'évolution de la courbe de détente, $P_H^*(V)$, connaissant la courbe de Hugoniot, $P_H^*(V)$:

$$\begin{cases} \frac{dP_{S}^{*}}{dV} + \frac{\gamma_{0}}{V_{0}}P_{S}^{*} = \frac{\gamma_{0}}{2V_{0}}P_{H}^{*} + \frac{dP_{H}^{*}}{dV}\left[1 - \frac{\gamma_{0}}{2V_{0}}(V_{0}^{*} - V)\right] \\ V = V_{i} , P_{S}^{*}(V_{i}) = P_{H}^{*}(V_{i}) = P_{i}^{*} \end{cases}$$
(3)

La polaire de détente, P_H^* (U_p), s'obtient à partir de (3) et de la relation (1) La courbe P_S^* (u_p) ainsi obtenue est la symétrique de A'' par rapport à la droite u_p = u_{pi} (fig. I).

III - RESULTATS NUMERIQUES

L'équation (2) montre l'existence d'une valeur de la porosité, L_{lim} :

$$L_{\rm lim} = \frac{(V_{\rm o})_{\rm lim}}{V_{\rm o}} = 1 + \frac{2}{\gamma_{\rm o}}$$

Pour cette valeur de L, la courbe de Hugoniot du poreux $P_{H}^{*}(V)$, est une droite verticale parallèle à l'axe des pressions en V = V₀. Cette remarque justifie le choix des corps pris pour les applications numériques. Nous avons pris l'aluminium 2024 et le cuivre qui, ayant même valeur de γ_0 , ont même porosité limite, $L_{lim} = 2$. Ces corps ont été examinés en détente pour différentes pressions initiales (P_i^{*}) et différentes valeurs de la porosité (L = V_0^{*} / V₀). Qualitativement, les résultats obtenus sont les mêmes dans les deux cas.

III-1 - Courbes de détente dans le plan (P, u_p)

La figure II montre, dans le plan (P, u_p) la position respective de la polaire de choc du poreux $[P_{H}^{*}(u_{p})]$ et de diverses polaires de détente $[P_{S}^{*}(u_{p})]$ issues de différents états initiaux (P_{i}^{*}, u_{pi}).

L'examen de cette figure fait apparaître trois domaines de pression :



-fig.II-

- Si P_i^* est supérieure à P_{io}^* , la polaire de détente, P_s^* (up), est entièrement au-dessus de la

polaire de choc et la vitesse particulaire résiduelle, après retour à la pression nulle, $u_p A$, est négative C'est un comportement analogue à celui d'un corps compact. -Si $P_i^* = P_{io}^*$, le corps revient au repos complet ; $P_S^* = 0$ et $u_p A = 0$.

-Si $P_i^* = P_{io}^*$, le corps revient au repos complet ; $P_S^* = 0$ et $u_p A = 0$. - Si P_i^* continue à décroître en dessous de P_{io}^* , la courbe de détente recoupe la polaire de choc

et la vitesse particulaire résiduelle, up A, est positive. Cette vitesse augmente jusqu'à une valeur up AM

C3-870

atteinte pour une valeur $P_i^* = P_{iM}^*$. En ce point, courbe de détente, $P_S^*(u_p)$, et polaire de choc $P_{ir}^*(u_p)$, sont tangentes.

- Si P_i^* continue à décroître en dessous de P_{iM}^* , la polaire de détente est entièrement au-dessous de la polaire de choc de poreux. La vitesse particulaire résiduelle $u_p A$ est toujours positive mais décroît

jusqu'à 0 en même temps que P_i^* .

La figure III montre la courbe décrivant les variations de $u_p A$ en fonction de la pression initiale, P_i^* dans le cas de l'aluminium de porosité L = 1,4. Les points marqués A, B, C, D et E correspondent aux points A, B, C, D et E de la figure II. Nous noterons que cette courbe a une tangente verticale à l'origine. Sur cette courbe, nous avons fait figurer les variations de la vitesse particulaire résiduelle en fonction de la pression initiale pour un corps compact : cette vitesse est toujours négative.



III-2 - Courbes de détente dans le plan (P;V)

Pour une porosité donnée, les courbes de détente, $P_{s}^{*}(V)$, se placent régulièrement les unes audessus des autres à pression initiale P_{i} croissante. Le volume résiduel, V_{A} , après retour à la pression nulle, est une fonction monotone croissante de P_{i}^{*} . Pour $P_{i}^{*} = P_{io}^{*}$, on a $V_{A} = V_{o}^{*}$; on a également

(§ III-1), $u_{pA} = 0$; le corps est revenu au repos complet.

III-3 - Résultats numériques

Les résultats obtenus dans le cas du cuivre et de l'aluminium sont directement comparables car ils ont la même porosité limite ($L_{lim} = 2$). Les figures IV et V montrent l'évolution de u_pAM (vitesse résiduelle maximum) et de $P_{i_0}^*$ (pression initiale de début de détente pour laquelle la vitesse résiduelle

 $u_p A$, est nulle) en fonction de la porosité. On constate que u_pAM , est une fonction croissante de L et que les valeurs obtenues pour Al sont systématiquement au-dessus de celles obtenues pour Cu.(cf.fig IV) Les variations de P_{io} avec L sont plus complexes mais ont les mêmes caractéristiques pour ces deux corps. Les valeurs obtenues pour le cuivre sont toujours supérieures à celles obtenues dans l'aluminium (voir fig. V).



-fig. IV-



-fig V-

Le plomb et le polyurethane ont des porosités limites très différentes et les résultats numériques sont difficilement comparables entre eux et avec ceux du cuivre et de l'aluminium car nous n'avons pas réussi à mettre en évidence des relations d'échelle permettant une comparaison effective. Toutefois, la description qualitative présentée ci-dessus s'applique également à ces matériaux.

IV - INTERPRETATION DES RESULTATS ET CONCLUSION

Géométriquement, dans le plan (P,up): il est aisé de montrer, si on assimile les courbes de détente avec des droites parallèles entre elles, que des variations comme celles montrées sur la figure III résultent uniquement de la courbure des polaires de choc du poreux qui sont de la forme up^b où b est compris entre 1 (pour L=1) et 2 (pour L=Llim)

Le passage des valeurs négatives à des valeurs positives et l'existence d'un maximum de la vitesse particulaire résiduelle, upA, peut s'interpréter par la compétition entre deux effets opposés : réduction de volume associée au compactage et dilatation liée à l'énergie résiduelle qui augmente avec la pression. L'effet de la dilatation domine l'effet de compactage lorsque la température résiduelle dépasse un seuil déterminé par P_{io}^* . On trouve une situation analogue dans le comportement d'un gaz parfait contenu dans un cylindre fermé par un piston mobile, à l'équilibre à la pression P_0 et au volume V_0 : si on laisse tomber sur le piston une masse d'une hauteur suffisamment grande, la position finale du piston est au-dessus de sa position initiale ; l'augmentation de température due à la compression adiabatique irréversible produit une augmentation de volume supérieure à la diminution de volume produit par l'augmentation de pression.

Cette situation va entraîner, pour certaines conditions initiales, l'existence d'une série de choc et de détente secondaire dans le matériau. Cette possibilité a été analysée par ROMAIN et ZAGOURI /6/ mais, dans l'immédiat, sa mise en évidence expérimentale se heurte à de nombreuses difficultés

BIBLIOGRAPHIE

- M.H. RICE and all. Compression of solids by strong shock waves, Sol. St. Physics, 6 (1958) 1.
- /2/ Ya. B. ZEL'DOVICH et Yu. P. RAIZER Physics of shock waves and High-temperature hydrodynamic phenomena, Academic Press - 1967.
- M.DEFOURNEAUX-Sciences et Techniques de l'Armement Mémorial de l'Artillerie Française - 46 (1972) 695
- R.G. Mc QUEEN and Coll. In "High velocity Impact phenomena" Ed. R. KINSLOW
 Academic Press New York 1970 p. 294.
- /5/ K.I. KONDO "In high pressure explosive processings of ceramics", Ed. R.A. GRAHAM and A.B. SAWAOKA - Trans. Techn. Pub. (Suisse) 1987 - p. 229.
- J.P. ROMAIN et D. ZAGOURI In" shock waves and high strain rates", Ed. M.A.
 MEYERS, L.E. MURR and K.P. STANDHAMMER, M. Dekker, New York, 1991.