



HAL
open science

ÉTUDES RHÉOLOGIQUES PRÉLIMINAIRES DE CÉRAMIQUES TECHNIQUES À GRANDE VITESSE DE DÉFORMATION PAR BARRES D'HOPKINSON

N. El Bounia, N. Skhiri, F. Gillaizeau

► **To cite this version:**

N. El Bounia, N. Skhiri, F. Gillaizeau. ÉTUDES RHÉOLOGIQUES PRÉLIMINAIRES DE CÉRAMIQUES TECHNIQUES À GRANDE VITESSE DE DÉFORMATION PAR BARRES D'HOPKINSON. Journal de Physique Colloques, 1985, 46 (C5), pp.C5-557-C5-564. 10.1051/jphyscol:1985572 . jpa-00224806

HAL Id: jpa-00224806

<https://hal.science/jpa-00224806>

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.

ÉTUDES RHÉOLOGIQUES PRÉLIMINAIRES DE CÉRAMIQUES TECHNIQUES À GRANDE VITESSE DE DÉFORMATION PAR BARRES D'HOPKINSON

N.E. El Bounia, N. Skhiri et F. Gillaizeau

Laboratoire de Mécanique Physique[†], Université de Bordeaux I, 351 Cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France

Résumé - Le champ d'application des céramiques techniques s'accroît considérablement. La connaissance de leur comportement dynamique s'avère donc indispensable. Nous présentons ici les premiers résultats d'une étude de comportement à grande vitesse de déformation d'une alumine technique, en vue d'application industrielle. Nous utilisons pour ce faire la technique des barres de Hopkinson en sollicitation de torsion, traction et compression. Ces dispositifs permettent d'atteindre des vitesses de déformation allant jusqu'à $\approx 10^3 \text{ s}^{-1}$.

Abstract - The field of application of the engineering ceramics grows more and more. The understanding of their high rate loading behaviour is so necessary. Now, we present the first results of our investigations on this behaviour of engineering alumina for industrial applications. We use the experimental technique of the split Hopkinson bars with compressive, tensile and torsional solicitations. These apparatus allows us to reach high rate of strain up to 10^3 s^{-1} .

I - INTRODUCTION

L'étude bibliographique sur la rhéologie de céramiques à grande vitesse de déformation fournit peu de résultats /1/ /2/. L'essentiel des travaux porte sur la caractérisation sous chargement statique. Notre contribution concerne la caractérisation thermomécanique au moyen de barres de Hopkinson (traction, compression, torsion) /3/ /4/. Ces dispositifs initialement conçus pour l'étude de matériaux visco-élastoplastiques tels que les hauts polymères et les métaux, ont dû subir certaines modifications tenant compte de la spécificité du matériau étudié.

Celui-ci est une alumine technique, fabriquée par CERAVER. Elle contient en poids 92 % Al_2O_3 , 4,6 % SiO_2 , 3,2 % d'alkalino-terreux et 0,2 % de divers constituants. Sa densité est de 3,60, sa taille de grain d'environ 4,5 μm sans porosité ouverte. Ce matériau est obtenu par frittage.

II. ESSAIS DE COMPRESSION

Les essais ont été réalisés dans la gamme de vitesse du projectile de 6 à 18 m/s sur des éprouvettes de 10 mm de diamètre et 4 mm d'épaisseur, la figure 1 montre les signaux enregistrés, aucune indication de rupture n'est observée, car elle se fait dans un plan perpendiculaire aux interfaces et l'onde continue à se transmettre même après rupture d'où l'impossibilité de tirer une contrainte critique. La légère réflexion d'onde enregistrée peut être expliquée par une déformation élastique et instantanée des interfaces des barres, et par ailleurs tout le signal incident se retrouve dans le signal transmis. Des essais comparatifs sur le même matériau avec un autre dispositif ont révélé les mêmes difficultés.

Pour localiser la contrainte de rupture nous avons essayé de définir un intervalle de contrainte qui provoque la rupture systématique de l'échantillon, elle est de 600 à 1000 MPa.

[†]U.A. CNRS 867

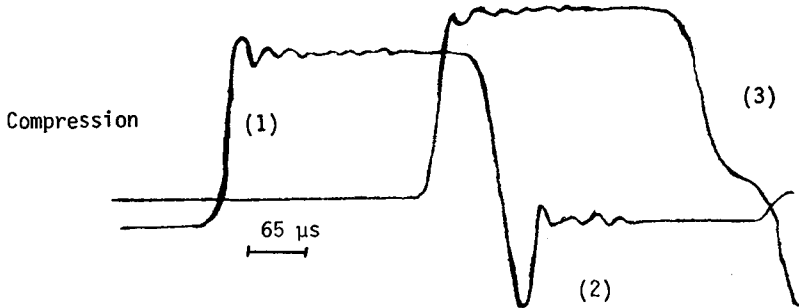


Figure 1 : (1) onde incidente, (2) onde réfléchie,
 (3) onde transmise
 (1) incident wave, (2) reflected wave,
 (3) transmitted wave

Les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants du fait de la forte dispersion des valeurs et de l'incertitude sur le mode de rupture. Plusieurs hypothèses peuvent être émises sur l'origine de rupture dans un essai de compression :

- un mauvais parallélisme des faces de l'éprouvette elle-même d'une part et entre les barres et l'échantillon d'autre part ;
- une forte concentration de contrainte de cisaillement aux interfaces avec un rayon de raccordement nul peut initier des ruptures sur la surface latérale qui se propage ensuite ;
- des effets d'inertie trop élevés ou des déformations radiales peuvent donner des écaillages de la surface extérieure.

III. ESSAI DE TRACTION

III.1. Méthode expérimentale

III.1.1. Forme des éprouvettes

Ce sont des barreaux cylindriques de 6 mm de diamètre, mais de longueurs différentes 70, 60, 50, 40 mm permettant un grand choix de longueur utile. Pour un meilleur alignement du système et un bon collage, la surface latérale des éprouvettes est rectifiée à $\pm 0,01$ mm sur le diamètre.

III.1.2. Mode de fixation

Nous avons adopté au départ un système par emboîtement entre éprouvette à tête conique et barres, les multiples interactions dans ce système font que le temps de montée de la force dans le spécimen est de 100 μ s qui est trop élevé pour un essai de choc d'où le choix d'un mode de fixation par collage (figure 2) la colle utilisée est une bi-composante à base de résine.

III.1.3. Conditions d'essai

Nous avons essayé une seule vitesse d'impact entre 7 et 8 m/s, tous les essais ont été réalisés à température ambiante. Les signaux enregistrés sont échantillonnés à 1 MHz sur 2048 mots, offrent une fenêtre suffisante pour étudier l'essai (figures 3 et 4).

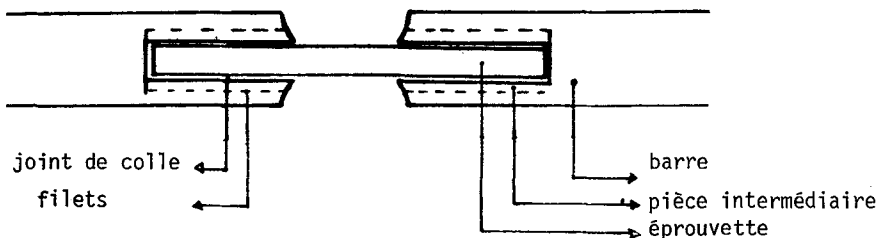


Figure 2 : Schéma de fixation
Fixing diagram

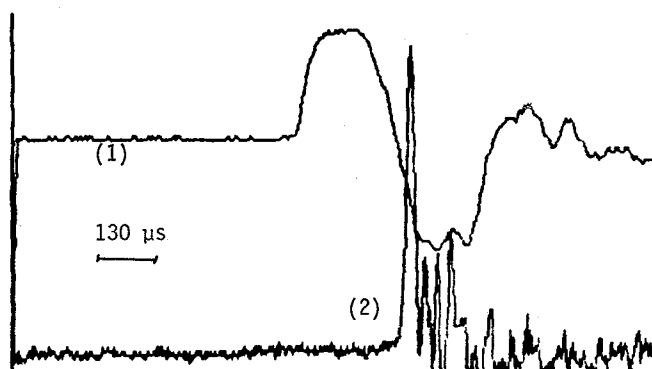


Figure 3 : Exemple de signaux enregistrés
(1) barre d'entrée , (2) barre de sortie
Example of record signal
(1) input bar , (2) output bar

III.2. Résultat

La rupture se fait toujours au temps de montée de l'onde, la contrainte à la rupture correspond au maximum de l'onde transmise et l'énergie dissipée déduite est de l'ordre de $1,5 \text{ kJ/m}^2$, qui est trop élevée en comparaison au résultat donné par LANKFORD /1/, 150 J/m^2 , nous pensons que la vitesse de déformation et par suite la déformation mesurées intègrent la réponse du système de fixation mécanique "collage + vissage" $\approx 0,4 \%$ qui est plus importante que la déformation de la céramique $\approx 0,06 \%$. Plusieurs ruptures par flexion ont eu lieu par faute d'alignement barres-éprouvette. D'après le tableau des résultats nous pouvons déduire une contrainte de rupture de l'ordre de 140 à 170 MPa qui sont légèrement plus grandes que celles en statique : 140 MPa.

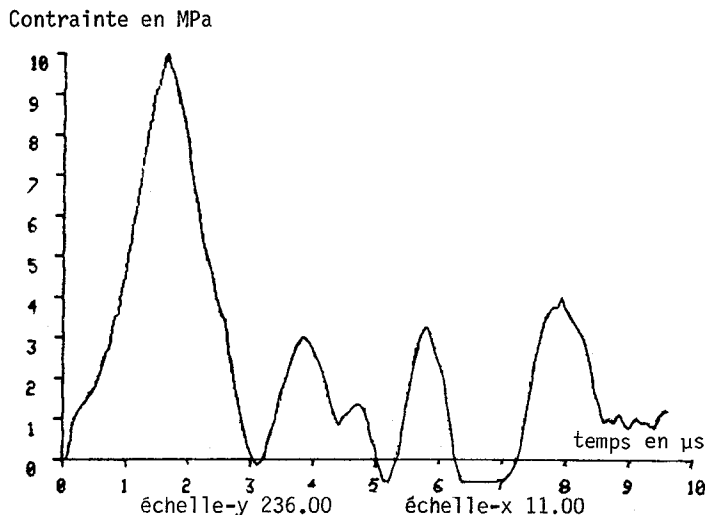


Figure 4 : Courbe contrainte-temps
Stress-time curve

Tableau de résultats : traction dynamique

n°essai	σ_R MPa	$\dot{\epsilon}_R$ (s ⁻¹)	ϵ_R %	L(mm)	l(mm)	σ_I MPa	Observations
10	170	400		70	11	160	
11	170	390	0,4	70	11	151	
12	120	420		60	11	165	
13	112	540	0,4	60	10	176	mauvais alignement
14	72	540	0,6	50	10		rupture en flexion
15	236	670	0,9	50	5	140	
17	160	440	0,8	40	5	143	
18	105	680	0,9	40	5	140	rupture en flexion
19	140	440	0,4	60	10	120	
20	160	420	0,5	70	10	120	

IV. ESSAI DE TORSION

IV.1. Méthode expérimentale

Pour l'utilisation du principe des barres de Hopkinson, une des difficultés réside en la transmission du couple incident aux interfaces éprouvette-barres d'entrée et de sortie. Le mode de fixation du spécimen adopté doit minimiser la désadaptation d'impédance mécanique entre les barres et les épaulements respectifs de l'échantillon.

Le système par adhésion est le mieux adapté pour des essais à faible et moyenne température. En revanche pour les hautes températures (1000°C, dans notre étude), il est pratiquement exclu d'utiliser le collage. Pour avoir un système fonctionnel à l'ambiante et à haute température, nous avons opté pour un système à emboîtement (figure 5).

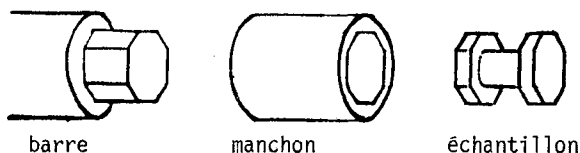


Figure 5 : Système de fixation pour essai de torsion
Holding system for torsional test

Il est évident qu'avec ce mode de liaison, il y aura des distorsions des ondes dues aux vides et aux jeux dans les manchons, (figure 6). Ceci rend difficile l'exploitation des signaux pour remonter à la vitesse et ensuite à la déformation.

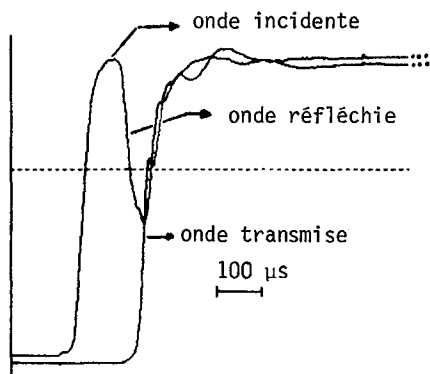


Figure 6 : Sans collage
Without adhesive
Essai sans échantillon
Test without specimen

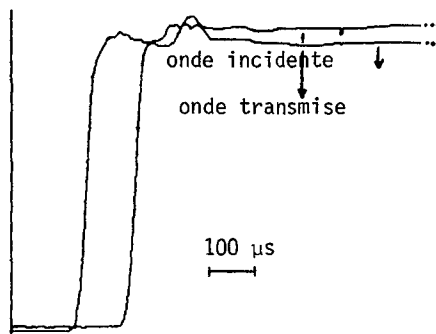


Figure 7 : Avec collage
With adhesive

Nous remarquerons, figure 7, qu'un collage bien qu'il soit rejeté à haute température, donne de très bons résultats.

IV.2. Résultats

Les éprouvettes sont des cylindres pleins, figure 5, avec différents épaulements, 4, 6 et 8 pans. Trois types d'échantillons sont testés, caractérisés par leurs paramètres géométriques, à savoir la longueur l et le diamètre D .

Type 1, $l = 4$ mm, $D = 10$ mm ; Type 2, $l = 8$ mm, $D = 10$ mm ; Type 3 : $l = 6$ mm, $D = 8$ mm
La réponse d'éprouvettes Al_2O_3 est linéaire jusqu'à rupture (figure 8a,b), qui fait apparaître des faciès de décohérence, selon les plans à 45° par rapport à l'axe longitudinal. Les résultats obtenus concordent avec d'autres travaux effectués sur des roches /6/.

Malgré l'inertie des barres, le déplacement axial de l'échantillon est empêché, ainsi prend naissance une onde de compression dont l'amplitude est négligeable devant celle de torsion (figure 8a).

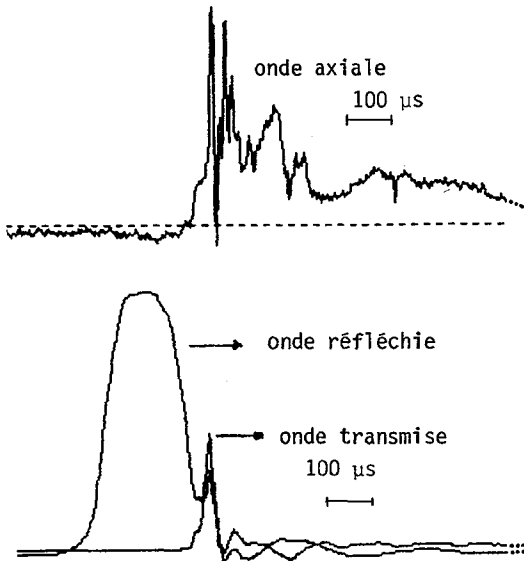


Figure 8.a : l = 4 mm, D = 10 mm

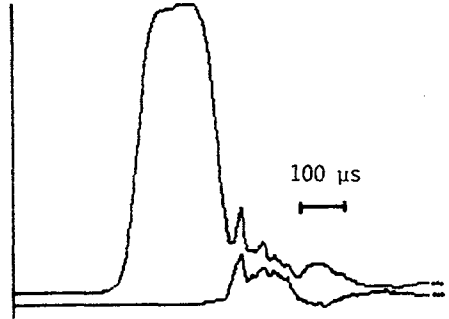


Figure 8.b : l = 4 mm, D = 10 mm

Figure 8 : Enregistrements d'essais a- type 2 ; b- type 1

Test record for type 2 (a) and type 1 (b)

Une fois la fissure amorcée, l'échantillon ne pouvant plus supporter le couple devient un mécanisme constitué essentiellement de blocs rigides glissant les uns par rapport aux autres sur des plans à 45° (figure 9a).

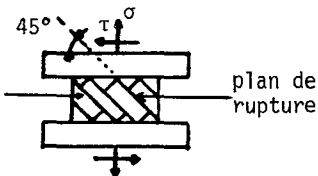


Figure 9.a : Mécanisme de rupture
Failure mechanism

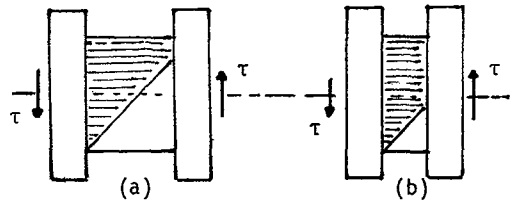


Figure 9.b

La phase de réponse, après rupture, est plus ou moins prononcée suivant le type d'échantillon (fig. 8a,b). En effet elle dépend du rapport (l/D), ce que nous expliquons comme suit : la première fissure partageant l'échantillon en deux parties (fig. 9b) fait chuter le couple appliqué. Après cette amorce de rupture, seulement la partie hachurée continue à supporter le couple d'où l'existence de la deuxième phase. Elle sera d'autant plus prononcée que le rapport (l/D) est faible.

Dans ces essais, nous avons trouvé que la contrainte de rupture varie de 240 à 290 MPa pour la gamme de vitesse allant de 10 à $6 \cdot 10^2 \text{ s}^{-1}$. Toutefois il faut préciser que la vitesse est calculée en tenant compte de la perturbation de l'onde incidente mentionnée auparavant. En statique la contrainte de cisaillement est de 235 MPa.

IV.3. Analyse des fragments

Pour cette étude, les fragments résultants de chaque essai sont rassemblés et analysés à la lumière de la théorie statistique de SCHUMAN (1940) /7//8/. En effet la masse cumulée des fragments ne dépassant pas la taille x suit une loi de la forme:

$$m = ax^n$$

x étant le diamètre du fragment supposé sphérique. L'existence de deux ou trois portions de droite n'est pas liée aux caractéristiques du matériau mais s'explique par des ruptures secondaires des fragments, figure 10.

Le calcul des surfaces créées de rupture se fait à l'aide de la théorie de GAUDIN (1939) /7//8/ où les particules sont supposées cubiques :

$$S = 1.75 \left(\frac{6 m_0}{\rho \sigma} \right) \frac{n}{n-1} \quad (1)$$

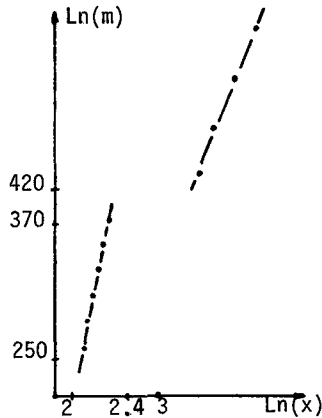


Figure 10 : Distribution des fragments
Fragment size distribution

ρ est la masse volumique, m_0 la masse totale des fragments, σ la taille du plus grand fragment et le facteur empirique 1.75 est déterminé par GAUDIN pour tenir compte des irrégularités géométriques.

L'énergie de surfaces associée aux fragments peut être approximée par :

$$E_0 = \frac{w \cdot v}{S} \quad (2)$$

où w est l'énergie consommée jusqu'à la rupture par unité de volume, S la surface de rupture, v le volume de l'échantillon.

V. CONCLUSION

La fragilité de la céramique rend son étude en dynamique très difficile et ce pour deux raisons essentielles.

- une rupture en un temps très court inférieur au temps de montée de l'onde incidente, mettant en défaut dans plusieurs essais l'hypothèse de quasi-staticité des contraintes. Ceci peut être une des raisons de dispersion des résultats ;
- une déformation très faible et donc très difficile à évaluer avec précision.

Actuellement nous poursuivons ce travail en essayant d'améliorer le dépouillement des signaux pour une évaluation plus précise de la vitesse de déformation et de la déformation elle-même. La mise au point des essais à haute température est en cours et pose de nombreux problèmes en particulier celui de la distorsion des ondes due au gradient thermique dans les barres.

Cette étude pourrait être complétée en tenant compte d'autres paramètres tels que : états de surface, taille de grain et procédés de fabrication.

REFERENCES

- /1/ Lankford, J. and Davidson, Interim Technical Report, 1ère partie, 9/1981, Office of Naval Research, Arlington, VA 222 17.
- /2/ Lankford, J., Technical Report, 7/1982, Office of Naval Research, Arlington, VA 222 17.
- /3/ Schladerer, M., Mémoire C.N.A.M., n° 156, Bordeaux, janvier 1981.
- /4/ Hamdy, A., Thèse de docteur-ingénieur, Université de Bordeaux I, juin 1981.
- /5/ Lipkin, J., Schuler, K.W. and Parry, T., Inst. Phys. Conf. Serie 47, 2nd Conf. Mech. Prop. High Rates of Strain, Oxford, 1979, Edit. J. Harding.
- /6/ Grady, D., Lipkin, J., Costin, L., Symposium on Rock Mech. 22, 1980, MIT Boston.
- /7/ Costin, L.S., and Grady, D.E., Inst. Phys. Conf. Serie 70, 3rd Conf. Mech. Prop. High Rates of Strain, Oxford, 1984, Edit. J. Harding.