COMPORTEMENT SOUS CHOC DE JAUGES PVF2

Michel Perez, D. Tougne

► To cite this version:

Michel Perez, D. Tougne. COMPORTEMENT SOUS CHOC DE JAUGES PVF2. Journal de Physique Colloques, 1985, 46 (C5), pp.C5-655-C5-660. 10.1051/jphyscol:1985585 . jpa-00224820

HAL Id: jpa-00224820

<https://hal.science/jpa-00224820>

Submitted on 1 Jan 1985

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 SOUS CHOC DE JAUGES PVF₂

M. Perez et D. Tougne

Centre d'Etudes de Gramat, 46500 Gramat, France

RESUME - Des jauges minces à base de polyfluorure de vinylidène (PVF₂) ont été étalonnées en compression par impact de plaques entre 10 et 250 kbar au moyen d'un canon à gaz comprimé. Deux types de jauges PVF₂ élaborées selon des procédés différents ont été testées. Elles présentent respectivement des niveaux de polarisation rémanente de 5,3 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ et 8,4 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$. Les signaux de tension délivrés par les jauges après impact ont permis d'établir les courbes $Q(\sigma)$ où Q est la quantité de charges fournies par la jauge sous l'action de la contrainte principale σ appliquée normalement à son plan. Les résultats montrent d'une part une dispersion expérimentale de l'ordre de $\pm 10\%$ entre 10 et 130 kbar, d'autre part une chute brutale de l'activité piézo-électrique du PVF₂ entre 130 et 250 kbar.

ABSTRACT - The shock loading behavior of piezoelectric polyvinylidene fluoride (PVF₂) gauges was investigated by means of impact experiments performed with a smooth bore gas gun. Two models of PVF₂ gauges respectively poled at a remanent polarisation of 5,3 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ and 8,4 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ were elaborated. Experiments in the range 10-250 kbar provided shock voltage-time profiles that were reduced on a stress vs. electrical charge diagram. Up to 130 kbar the data exhibit a maximum reliability of $\pm 10\%$. Beyond this range, the piezoelectric sensibility of the PVF₂ gauges undergoes a catastrophic collapse up to 250 kbar.

I - INTRODUCTION

Le polyfluorure de vinylidène ou PVF₂ est un polymère piézoélectrique semi-cristallin qui se distingue des matériaux piézoélectriques conventionnels, cristaux ou céramiques, par sa souplesse mécanique, sa faible densité, une permittivité relativement faible et par la possibilité de fabrication sous forme de films minces de grande surface.

Le Centre d'Etudes de Gramat (C.E.G.) a entrepris, dès 1980, un programme d'étude et de développement de jauges minces en PVF₂ destinées d'une part à la chronométrie des ondes de compression dans les matériaux solides /1/, d'autre part à la mesure des contraintes engendrées par ces ondes dans les solides /2/. Les caractéristiques d'une jauge PVF₂ insérable dans les matériaux selon les mêmes critères que ceux adoptés pour les jauges piézorésistives /3/, ont été définies en 1980 par le C.E.G. L'étude et la fabrication de cette jauge ont été confiées à la société Thomson-Brandt Armements qui a développé ce produit en collaboration avec le Laboratoire Central des Recherches (L.C.R.) de Thomson-CSF. Par ailleurs, une collaboration technique entre l'Institut Franco-Allemand de Recherches de St Louis (I.S.L.) et le C.E.G. a permis de réaliser des jauges PVF₂ géométriquement semblables à celles développées par Thomson, à partir d'un matériau de base fourni par la firme japonaise KUREHA. Ces jauges ont été polarisées à l'I.S.L. selon un procédé mis au point par F. Bauer /4/.

Cette communication décrit les travaux réalisés au C.E.G. pour évaluer la réponse en compression par choc des deux types de jauges. Les courbes d'étalonnage en contrainte ont été établies entre 10 et 250 kbar, ce qui a permis de définir la précision et l'étendue de mesure de ces capteurs.

II - DESCRIPTION DES JAUGES MINCES PVF₂

Le PVF₂ est un polymère semi-cristallin constitué de sphérolites cristallines incluses dans une phase amorphe. Sa molécule est $(-\text{CH}_2-\text{CF}_2-)_n$ intermédiaire entre celle du polyéthylène $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ et celle du polytétrafluoréthylène $(-\text{CF}_2-\text{CF}_2)_n$. Cette molécule est obtenue par polymérisation à partir du monomère de base $(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$, qui est gazeux aux conditions ambiantes. Le produit ainsi obtenu est commercialisé sous la forme de granulés par différentes firmes, notamment P.C.U.K. et SOLVAY en France, PENNWALT (USA) et KUREHA (Japon).

Le L.C.R. de Thomson-CSF a développé un procédé original de fabrication de films piézoélectriques en PVF₂ à partir des granulés de base P.C.U.K. Ce procédé consiste à produire des films relativement épais par pressage à chaud des granulés, suivi d'une trempe à l'eau. Ce processus produit un matériau semi-cristallin constitué de sphérolites de phases cristallines incluses dans une phase amorphe, avec un taux de cristallinité de l'ordre de 50 %. Les sphérolites de phases cristallines sont principalement constituées d'une phase α non polaire et, dans une moindre mesure, de la phase β qui est la phase intéressante du PVF₂ pour ses propriétés piézoélectriques. Cette phase β croît au détriment de la phase α par étirement mécanique. Par laminage mécanique des films de 3 à 4 fois leur longueur initiale, le L.C.R. a obtenu un pourcentage de phase β de l'ordre de 53 % /4/ pour le matériau constitutif des jauges minces PVF₂. Les moments dipolaires μ des mailles cristallines de la phase β ne possèdent pas d'axe d'orientation privilégié après étirement mécanique. Pour cumuler les effets de ces moments dipolaires unitaires, le matériau doit être polarisé dans un champ électrique de l'ordre de 1 MV/cm. Le vecteur polarisation électrique (polarisation rémanente) P d'un élément de volume dv du matériau est alors donné par la relation (1) dans laquelle $\Sigma \vec{\mu}$ est la somme vectorielle des moments dipolaires unitaires dans l'élément de volume dv considéré. Dans le repère cartésien (1,2,3) de la Figure 1 le vecteur polarisation possède alors une composante rémanente P_x non nulle dans la direction de l'axe 3, soit $P(0,0,P_x)$.

$$\vec{\Sigma \mu} = P \cdot dv \quad (1)$$

Les jauges réalisées par la société THOMSON-BRANDT (fig. 1) sont découpées dans un film de PVF₂ de 25 μ d'épaisseur obtenu par laminage. Deux électrodes sont ensuite déposées sous vide de part et d'autre du film, de façon que les surfaces circulaires des électrodes soient disposées concentriquement de part et d'autre du PVF₂. Cette jauge est ensuite polarisée par l'intermédiaire des deux électrodes. Cette méthode a pour but de polariser le PVF₂ dans la seule zone comprise entre les deux électrodes circulaires. Cette zone de 3 mm de diamètre constitue l'élément piézoélectrique actif de la jauge.

Les jauges développées par ailleurs en collaboration avec l'I.S.L. ont été réalisées à partir de films PVF₂ non polarisés de 30 μ d'épaisseur fournis par la firme KUREHA. Les jauges obtenues sont géométriquement semblables à celles représentées sur la figure 1, avec une surface sensible de 5 mm de diamètre.

Les coefficients piézoélectriques d_{33} de ces deux types de jauges ont été mesurés avec un piézomètre de Berlincourt /2/. Les valeurs obtenues sont respectivement de 12 pC/N pour les jauges THOMSON et 19 pC/N pour les jauges I.S.L.

FIGURE 1 : Schéma de la jauge PVF₂

III -METHODE EXPERIMENTALE

La configuration expérimentale dans laquelle les jauges ont été étalonnées est celle de l'essai d'impact de plaques. Ce type d'essai consiste à propulser à une vitesse V déterminée, un disque de matériau appelé impacteur contre une cible plane dans laquelle 1 ou 2 jauges PVF₂ ont été disposées dans un plan parallèle au plan d'impact (Figure 2).

FIGURE 2 :
Configuration de l'essai
d'étalonnage des jauges
PVF₂ au moyen du canon à
gaz comprimé DEMETER /5/.

Ces essais ont été réalisés au moyen d'un canon à gaz comprimé de calibre 100 mm /5/. Ce dispositif permet d'obtenir de façon reproductible une obliquité à l'instant de l'impact de l'ordre de 10^{-3} rd entre les faces planes en regard de l'impacteur et de la cible. Cette condition assure la propagation dans la cible d'une onde plane de déformation longitudinale qui sollicite les jauges dans la direction préférentielle de leur polarisation, c'est-à-dire dans la direction normale à leur plan.

Les jauges PVF₂ sont collées entre deux disques du matériau cible au moyen d'une résine époxy de telle sorte que l'épaisseur totale du capteur PVF₂ (capteur = jauge + colle d'assemblage) soit supérieure de 13μ à celle de la jauge. Dans le cas de cibles conductrices, on doit ajouter à ces chiffres les épaisseurs de deux feuilles isolantes de kapton ou de mylar ($2 \times 12 \mu$) disposées de part et d'autre de la jauge. Le principe des essais est le suivant. Après impact du projectile contre la cible, le matériau cible subit, dans la direction de l'axe 3 (fig.2) une contrainte $\sigma_3(t)$ lors du passage de l'onde longitudinale plane engendrée par l'impact. Sous l'action de cette contrainte, la jauge PVF₂ délivre une quantité de charges $Q(t)$ définie

par la relation (2) suivante :

$$Q(t) = P_3(t) \cdot A \quad (2)$$

dans laquelle $P_3(t)$ représente la diminution, à l'instant t , de la polarisation rémanente P_r de la jauge sous l'effet du tenseur contrainte qui lui est appliqué, et A la surface active de la jauge. Si l'on néglige, au-delà de quelques kilobars, la rigidité propre du film de colle, le tenseur des contraintes effectivement appliqué sur la jauge PVF₂ sera isotrope avec pour composante $\sigma_3(t)$. Sous l'action de cette contrainte, l'effet piézoélectrique direct du PVF₂ s'exprime par la relation (3) dans laquelle d_{3i} sont les coefficients piézoélectrique du PVF₂ /1/ :

$$P_3(t) = (d_{31} + d_{32} + d_{33}) \sigma_3(t) \quad (3)$$

Les relations (2) et (3) permettent d'établir une relation biunivoque entre la contrainte $\sigma_3(t)$ appliquée sur la jauge et la quantité de charges $Q(t)$. C'est cette relation que nous nous proposons de déterminer par la voie expérimentale. Les essais d'impact de plaques ont été conçus et dimensionnés pour appliquer sur les jauges PVF₂ une contrainte $\sigma_3(t)$ soutenue à un niveau constant pendant 1 μ s environ. On calcule σ_3 sur le palier stationnaire connaissant les polaires de choc des matériaux impacteur et cible d'une part, la vitesse du projectile à l'impact d'autre part. La charge $Q(t)$ est calculée par intégration numérique du signal de tension mesuré $V(t)$, que délivre la jauge aux bornes d'une résistance $R = 50 \Omega / 2$:

$$Q(t) = \frac{1}{R} \int V(t) \cdot dt \quad (4)$$

IV - RESULTATS EXPERIMENTAUX

La figure 3 montre un signal typique de tension fourni par une jauge PVF₂ incluse dans une cible en verre pyrex. L'impulsion de tension positive correspond à la phase de compression de la jauge tandis que l'impulsion négative correspond à la détente qui revient de la face arrière de la cible.

FIGURE 3 : Signal de jauge Thomson dans une cible en verre pyrex comprimé à 10,7 kbar.

- a) tension délivrée par la jauge
- b) quantité de charge $Q(t)$ calculée par intégration du signal de tension.

Les figures 4 et 5 représentent les courbes contrainte-quantités de charges obtenues jusqu'à 80 kbar pour les jauges I.S.L. et jusqu'à 250 kbar pour les jauges Thomson. Les points expérimentaux (figure 4) présentent une dispersion moyenne de l'ordre de $\pm 10\%$ par rapport aux courbes moyennes obtenues par lissage polynomial au sens des moindres carrés. Jusqu'à 80 kbar, le polynôme d'interpolation est de la forme $Q = a\sigma^n$ avec les coefficients suivants lorsque Q est exprimé en $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ et σ en kbar :

- jauges Thomson-Brandt : $a = 0,248$, $b = 0,583$

- jauges I.S.L. : $a = 0,275$, $b = 0,433$

FIGURE 4 : Courbes de réponse piézo-électrique des jauges PVF₂ entre 10 et 80 kbar.

FIGURE 5 : Courbe de réponse piézoélectrique des jauges Thomson-Brandt entre 10 et 250 kbar.

V - DISCUSSION

On observe sur la Figure 4 que la sensibilité apparente des jauges I.S.L. est supérieure à celle des jauges Thomson. Ceci est une conséquence directe des niveaux différents de polarisation rémanente des jauges, respectivement égaux à $P_r = 8,4 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ pour les jauges I.S.L. et à $P_r = 5,3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ pour les jauges Thomson /2/. L'écart relatif entre les deux courbes de la figure 4, pour une valeur donnée de la contrainte correspond, à 5 % près, à l'écart relatif des niveaux de polarisation rémanente.

L'étalonnage des jauges Thomson a été poursuivi jusqu'à 250 kbar (fig. 5). On constate que la quantité de charges ne croît pas de façon monotone jusqu'au seuil de saturation correspondant au niveau de polarisation rémanente $P_r = 5,3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$. La chute brutale des propriétés piézoélectriques du PVF_2 résulte vraisemblablement des effets conjugués de la pression (dégradation mécanique de la phase β) et de la température (dépolérisation thermique) sur ce matériau.

VI - CONCLUSIONS

Les résultats obtenus montrent d'une part que la gamme d'utilisation pratique des jauges PVF_2 est environ 0-130 kbar avec une dispersion expérimentale de l'ordre de ± 10 %, soit le double de la dispersion que présentent les jauges piézorésistives au manganin dans cette gamme de contrainte /3/, d'autre part une chute brutale de l'activité piézoélectrique du PVF_2 entre 130 et 250 kbar.

REFERENCES

- /1/ M. PEREZ, Rapport S 84-04 C.E.G., Juillet 1984 (note interne)
- /2/ D. TOUGNE, Thèse 3e cycle, n° 171, Institut National Polytechnique de Toulouse. (1983).
- /3/ M. PEREZ, Thèse Docteur-Ingénieur, n° 714, Université Paul Sabatier Toulouse (1980).
- /4/ F. BAUER, Piezoelectric and electric properties of PVF_2 polymers under shock wave action. Application to shock transducers, APS Topical Shock Wave Santa Fé, 1983.
- /5/ P. CHARTAGNAC, B. JIMENEZ, Revue Phys. Appl. 19 (1984), 609-618.