



Propriétés mécanoélectriques des élastomères magnétorhéologiques

Georges Bossis, Nadir Kchit

► To cite this version:

Georges Bossis, Nadir Kchit. Propriétés mécanoélectriques des élastomères magnétorhéologiques. Colloque mécamat "Matériaux, Mécanique et Electromagnétisme ", Jan 2012, Aussois, France. hal-00852043

HAL Id: hal-00852043

<https://hal.science/hal-00852043>

Submitted on 21 Aug 2013

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.

PROPRIÉTÉS MÉCANOÉLECTRIQUES DES ÉLASTOMÈRES MAGNÉTORHÉOLOGIQUES

G. Bossis, N. Kchit

Laboratoire L.P.M.C, Université de Nice-Sophia-Antipolis, Parc Valrose, 065108 Nice Cedex

Téléphone : 0492076538, Télécopie 0492076754

G. Bossis@unice.fr

Mots clés : Piézorésistivité, Magnétostriction, Magnétorésistance, élastomères magnétorhéologie

1. INTRODUCTION

Les composites polymères conducteurs sont formés à partir de particules conductrices dispersées dans une matrice polymère isolante. Ce matériau intéresse une large communauté scientifique depuis plusieurs décennies (S. Yoshikawa et al,1990). Ses nombreux avantages (contrôle de la conductivité, flexibilité et légèreté, absorption de chocs mécanique), lui ont permis de trouver plusieurs formes d'applications industrielles telles que « les adhésifs conducteurs » qui remplacent les soudures au Plomb en microélectronique (J.A. Fulton et al ,1989) les dispositifs de commutation, ou encore les blindages et capteurs de pressions. Légèrement au dessus du seuil de percolation, la résistivité des matériaux CPC est très sensible aux différents stimuli externes. Ces contraintes induisent un changement dans l'arrangement des particules et de la distance de séparation entre particules. Le contrôle de cette distance est à l'origine de leurs plusieurs applications industrielles. Comme capteur de température [Carmona et al,1992;Feller et al,2002;Lundberg et al,1986), capteur de pression ([Jin et al,1987) et capteur de molécules (nez artificiels)([Barkauskas ,1997;Kim et al ,2005].

Ce papier est consacré à l'étude de la piézorésistance, de la thermorésistance et de la magnétorésistance de matériaux appelés élastomère magnétorhéologique MRE. Les MRE sont constitués de particules micrométriques sensibles à un champ magnétique noyées d'une matrice polymère. Sous l'effet du champ les particules se polarisent et s'alignent dans la direction du champ. Les modifications de la répartition spatiale des particules par le champ sont responsables des modifications de leurs propriétés mécaniques, électriques, optiques (Coquelle,Bossis,2005). Grâce à leur structure fibrillaire, les matériaux MRE sont plus intéressants que les matériaux CPC : Ils sont conducteurs même à faible taux de charge de particules et aussi sont plus sensible à la pression que les CPCs (Martin et al,2003;Kchit,Bossis 2009].

Beaucoup d'auteurs ont étudié la résistivité électrique des polymères chargés avec des particules conductrices en fonction de la fraction volumique (B. Lundberg et al,1986) ;la théorie de la percolation explique le passage de la phase isolante, qui correspond à un faible taux de charge, à la phase conductrice pour les taux de charge plus élevés et la mise en évidence du seuil de percolation entre les deux phases. Ce seuil dépend à la fois de la nature de la matrice polymère, de la charge, mais surtout de l'arrangement de cette dernière que nous induisons par application d'un champ magnétique. Dans la première section nous présenterons la synthèse des matériaux ,puis dans les sections suivantes nous verrons tour à tour les propriétés de piézorésistivité, thermorésistivité et pour finir de magnétorésistance

SECTION 1 Préparation des matériaux

Les polymères utilisés sont des élastomères RTV 141 et RTV 1062 associés à un catalyseur commercialisé par la société RHONE-POULENC. La charge est une poudre métallique de Nickel de diamètre moyen 5 μm . Deux types de particules ont été utilisés dans cette étude, une poudre de Nickel sans revêtement commercialisé par MERCK et une poudre de Nickel avec revêtement d'Argent commercialisé par la société NOVAMET. La poudre est soigneusement mélangée avec l'élastomère, d'abord à la main et ensuite dans un mélangeur pendant 1 heure pour casser le maximum d'agrégats et homogénéiser le mélange. Ce dernier est dégazé sous vide pendant 15 minutes et ensuite coulé dans un moule de forme cylindrique avec deux disques en laiton de

chaque côté qui servent d'électrodes lors des mesures de résistance, le mélange est mis ensuite en rotation pour empêcher la sédimentation des particules pendant la réticulation sous champ magnétique. Le temps de réticulation est très sensible à la fois à la température et à la nature des particules. À température ambiante, le mélange RTV 141 et particules de Nickel sans revêtement, réticule en 24 h, alors qu'en chauffant à $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, sa réticulation n'est environ que 30 minutes. Le temps de réticulation à température ambiante du mélange RTV 141 et particules de Nickel couvert d'argent est environ 48 h et 3 h à $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Par contre, le RTV 1062 ne réticule qu'à température ambiante. Les échantillons structurés sont obtenus en appliquant un champ magnétique (Fig. 1) lors de la phase de réticulation. La dimension des échantillons est de 20 mm de diamètre et 2–3 mm d'épaisseur. Les mesures de piézorésistance sont effectuées sous pression uniaxiale produite par deux pistons verticaux dont l'un est monté sur un capteur de force. La résistance électrique est mesurée au moyen d'un multi-mètre HP.

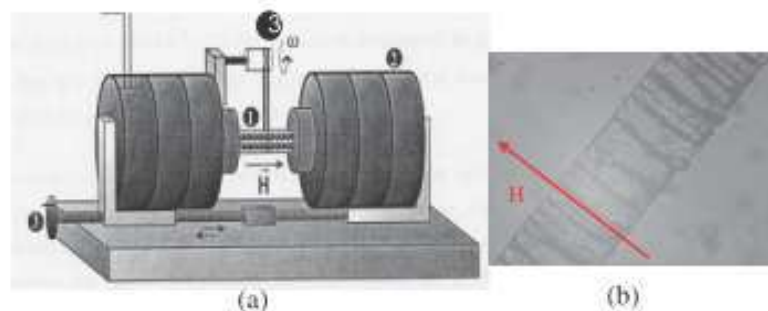


Fig.1 (a) Dispositif de structuration des composites. 1 : échantillon, 2 : électroaimant, 3 : système de rotation. (b) Échantillon structuré à 2 % Ni-RTV141.

SECTION 2 Piézorésistivité

Les composites étudiés sont formés de microparticules de Nickel ($1\mu\text{m} < d < 10\mu\text{m}$) alignées par application d'un champ magnétique avant réticulation. Nous avons mis en évidence deux régimes de piézorésistivité qui dans les deux cas sont dominés par l'effet tunnel. Dans le premier régime les particules sont en contact dans le composite au repos avec comme seule séparation l'épaisseur de la barrière d'oxyde et l'application d'une pression augmente le diamètre de la zone de contact mais ne modifie pas l'épaisseur de la zone d'oxyde. Il en résulte une variation de la résistance qui suit une loi de puissance de la pression : $\rho \sim P^{-n}$ avec $n = 1$ si on est dans la zone plastique et $n = 2/3$ dans la zone élastique. Dans le second régime les particules sont séparées par une couche de polymère et la pression va changer la distance entre les surfaces des particules ; on s'attend alors à une variation exponentielle de la résistivité avec la pression : $\rho \sim \exp(-\epsilon_g)$ où ϵ_g est la déformation locale entre les particules qui est elle-même proportionnelle à la pression. Nous avons pu préparer ces deux types d'échantillons et mettre en évidence ces deux types de comportement (cf figures 2 et 3 ci-dessous avec à gauche le composite avec des particules en contact et à droite le composite avec des particules présentant un gap initial compris entre 2 et 3 nm

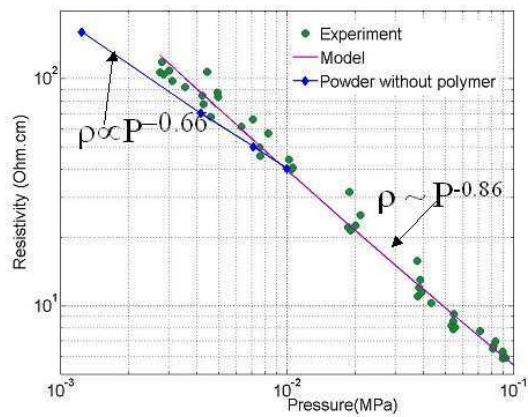


Fig.2 Résistivité d'un composite avec des particules en contact en fonction de la pression. La courbe en bleu correspond à la poudre seule

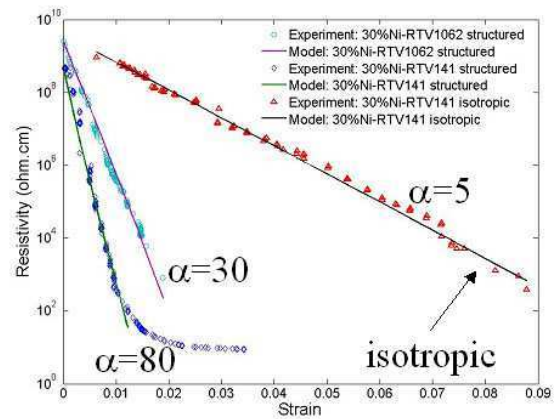


Fig.3 Résistivité d'un composite, avec des particules séparées par le polymère, en fonction de la déformation. Les points rouges correspondent à un composite isotrope ; les deux autres courbes à un composite structuré.

Sur les courbes de droite (Fig.3) on observe bien une loi exponentielle avec le coefficient α représentant le rapport entre la déformation locale et la déformation macroscopique : $\alpha = \epsilon_g / \tilde{\epsilon}$. La déformation macroscopique étant $\epsilon \sim P/E$ où E est le module d'Young du composite.

SECTION 3 Thermorésistivité

La réticulation du composite contenant des particules de nickel alignées par un champ magnétique, est effectuée à chaud (température de 80°C). Lors du refroidissement la différence de coefficient de dilatation thermique entre le polymère et les particules induit une contrainte qui amène les particules en contact et réduit considérablement la résistivité à l'ambiante du composite en comparaison d'un composite directement structuré à température ambiante. Ensuite le composite se comporte à la fois comme un détecteur de température et un détecteur de pression comme le montre la figure 4 ci-après

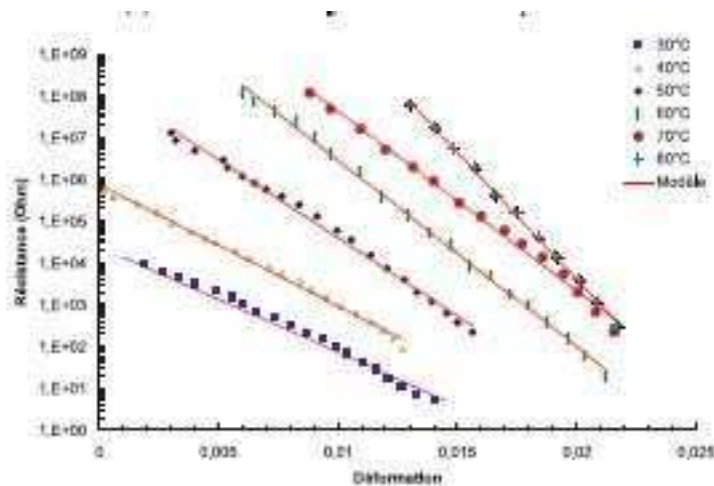


Fig.4 Variation de résistance avec la déformation pour différentes températures. Les courbes en trait plein sont des ajustements à 2 paramètres basés sur la variation de l'épaisseur de la barrière tunnel avec la température et la pression

On interprète ces variations de résistance avec la déformation (ou la pression) et la température en reliant la variation du gap entre particules à l'écrasement ou la dilatation d'une couche d'élastomère résiduelle

entre les surfaces des particules. Le modèle inclut la présence de la rugosité de surface dont les caractéristiques ont été mesurées par AFM.(N.Kchit, G.Bossis ,2009a)

SECTION 4 Magnétorésistance

Si au lieu d'une pression on applique un champ magnétique sur ces composites, la force interparticulaire attractive générée par le champ rapproche les particules et modifie la résistivité du composite. On a effectivement observé une importante chute de résistance par application d'un champ magnétique. On peut convertir le champ magnétique en pression magnétique à partir du calcul des forces entre deux particules dans une chaîne . La comparaison entre la chute de résistance induite par une pression magnétique est bien similaire à celle induite par une pression mécanique mais seulement pour les faibles pressions(cf figure 5 ci-dessous). Aux plus forts champs magnétiques la résistance sature. Nous pensons que cette différence de comportement s'explique par la présence de fortes rugosités à la surface des particules qui viennent modifier la pression magnétique calculée pour des sphères lisses.

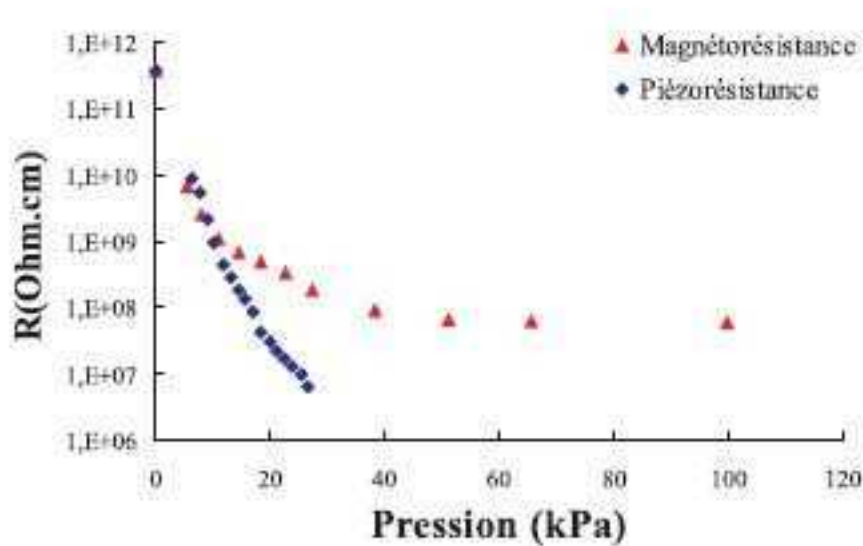


Fig.5 Variation de la résistance d'un composite RTV1062-Ni avec la pression magnétique (en rouge)
Et avec la pression mécanique (en bleu)

En tout état de cause on a obtenu un matériau qui présente une chute de résistance de deux ordres de grandeur par application d'un champ assez modeste (80kA/m) soit de l'ordre de 0.1 Tesla (N.Kchit et al,2009b).

Conclusion

Un intérêt de ce type de matériau est de pouvoir développer des capteur matriciels constitué de deux nappes d'électrodes perpendiculaires Des multiplexeurs connectés à chaque nappe permettent d'adresser séquentiellement chacun des N^2 croisements qui deviennent autant de capteurs piézorésistifs. L'utilisation de nanoparticules à la place de microparticules permettrait d'obtenir un matériau moins fragile et plus homogène en réduisant les problèmes de sédimentation ou de migration lors du moulage. Des premiers essais avec des nanoparticules de cobalt de diamètre moyen 200nm ont montré qu'il était possible d'obtenir une percolation de la conductivité avec une suspension de ces nanoparticules structurées par un champ magnétique. Par ailleurs nous développons un modèle (G.Bossis,2011) pour prédire les conditions de percolation en fonction de l'épaisseur de la couche de matériau composite relativement au diamètre des particules et de la fraction volumique.

REFERENCES

- Barkauskas 'Investigation of conductometric humidity sensors' J Talanta, vol 44, pages 1107-1112,1997
- G. Bossis, L. Iskakova, V. Kostenko, A. Zubarev Kinetics aggregation of magnetic suspensions [Physica A 390 \(2011\) 2655–2663](#)
- Carmona F. and Mouney C. ' Temperature-dependent resistivity and conduction mechanism in carbon particle-filled polymers' J Mater Sci. Vol 27 N 5, pages,1322-1326, 1992
- Coquelle E. and Bossis G. 'Magnetostriction and piezoresistivity in elastomers filled with magnetic particles' Journal of Advanced Science, Vol 17, pages 132-138, 2005
- Feller J. F., Linossier I. and Grohens Y.' Conductive polymer composites: comparative study of poly(ester)-short carbon fibres and poly(epoxy)-short carbon fibres mechanical and electrical properties' Mat. Lett. Vol 57, pages 64-71, 2002
- J.A. Fulton, R.C. Moore, W.R. Lambert, J.J.Mottine, Proc. 39th Electronic Components Conf. IEEE, Vol. 39, 1989, 71
- Jin S, Mottine J, John J and Sherwood 'Pressure-responsive position sensor' R C U.S. Patent. 4,644,101,1987
- Kim Y S, Ha S C, Yang Y, Kim Y J, Cho S M, Yang H and Kim Y T 'Portable electronic nose system based on the carbon black–polymer composite sensor array' Sens and Actuators B: Vol 108 page 285-291, 2005
- Kchit N and Bossis G 'Piezoresistivity of magnetorheological elastomers' J. Phys.: Condens. Matter 20, 2008 Vol 20, N 20, 2008
- Kchit, N., Bossis G. Electrical resistivity mechanism in magnetorheological elastomer J. Phys. D: Appl. Phys. 42 ,(2009) 105505
- Kchit N.,Lançon P., Bossis. G Thermoresistance and giant magnetoresistance of magnetorheological elastomers J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009) 105506
- Lundberg B and Sundqvist B' Resistivity of a composite conducting polymer as a function of temperature, pressure, and environment: Applications as a pressure and gas concentration transducer' J. Appl. Phys.60,(1986),1074
- Martin J E, Anderson R A, Odinek J, Adolf D and Williamson J 'Controlling percolation in field-structured particle composites: Observations of giant thermoresistance, piezoresistance, and chemiresistance' Phys Rev.E Vol 67 N 094207,, 2003
- S. Yoshikawa, T. Ota, R. Newnham, J. Am.Ceram. Soc. 73 (1990) 263