

**METHODE DE COMPENSATION EN
TEMPERATURE DES CERAMIQUES
PIEZOELECTRIQUES**

D. Belhache, P. Andre, J. Paletto, G. Thouy

► **To cite this version:**

D. Belhache, P. Andre, J. Paletto, G. Thouy. METHODE DE COMPENSATION EN TEMPERATURE DES CERAMIQUES PIEZOELECTRIQUES. Journal de Physique Colloques, 1986, 47 (C1), pp.C1-913-C1-917. 10.1051/jphyscol:19861141 . jpa-00225540

HAL Id: jpa-00225540

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00225540>

Submitted on 1 Jan 1986

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.

METHODE DE COMPENSATION EN TEMPERATURE DES CERAMIQUES PIEZOELECTRIQUES

D. BELHACHE*^{*}, P. ANDRE*, J. PALETTO* et G. THOUY*^{**}

*Laboratoire GEMPPM, INSA de Lyon, Bât. 502,
F-69621 Villeurbanne Cedex, France

*Société Métravib, 64, Chemin des Mouilles, F-69130 Ecully,
France

**Département Génie Electrique, INSA de Lyon, Bât. 504,
F-69621 Villeurbanne Cedex, France

Résumé - Les propriétés piézoélectriques des Céramiques utilisées dans les capteurs (ϵ_r et d_{33}) varient considérablement avec la température. Cette étude décrit une nouvelle méthode de compensation utilisant, en série avec la céramique piézoélectrique de type PZT (Zirconate - Titanate de Plomb), une autre céramique de type PLZT ($Pb_{1-x}La_x (Zr_{1-y}Ti_y)_{1-x/4}O_3$) dont les propriétés sont adaptées au comportement de la première.

Abstract - Piezoelectric properties of Ceramic material (ϵ_r , d_{33}) varie with temperature change.

A new compensation method is described in the present research work, using another ceramic element ($Pb_{1-x}La_x (Zr_{1-y}Ti_y)_{1-x/4}O_3$) series wound and having correlated temperature variations with the first one (lead Titanate Zirconate).

INTRODUCTION

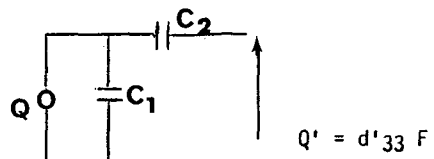
L'utilisation des Céramiques piézoélectriques à base de Titane Zirconate de Plomb, dans les capteurs de vibrations étalons à large gamme de température nécessite une compensation thermique.

Les méthodes employées actuellement conduisent à une perte importante de sensibilité du capteur initial et ceci, dans une gamme trop étroite de température.

La solution envisagée dans cette étude consiste à coupler, en série avec la céramique active, une deuxième céramique (passive) utilisée dans la zone paraélectrique, donc non piézoélectrique. Les variations thermiques des caractéristiques des deux céramiques étant alors opposées (voir figure 1 et 2), nous verrons qu'un choix convenable conduit à une stabilisation satisfaisante de l'ensemble, sans pertes importantes de sensibilité.

Théorie de la Compensation
Relation fondamentale

Le montage équivalent à l'ensemble des deux Céramiques en série est le suivant (en négligeant les résistances de perte)



La relation entre la sensibilité de l'élément actif, et celle du capteur compensé s'écrit :

$$d'_{33} = \left[\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right] d_{33} \quad (1)$$

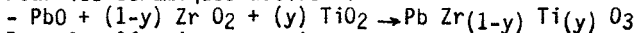
avec C_2 = Capacité de la Céramique de compensation
 C_1 = Capacité de la Céramique active
 d_{33} = constante piézoélectrique de la céramique active
 d'_{33} = constante piézoélectrique de l'ensemble.

Le but de notre étude est de stabiliser d'_{33} en température.

ELABORATION DES CERAMIQUES

Les produits sont obtenus par la méthode classique de mélanges d'oxydes d'après les réactions suivantes :

Pour les Céramiques actives :



Pour les Céramiques passives :

$2(1-x) \text{PbO} + x \text{La}_2\text{O}_3 + [(1-y) \text{ZrO}_2 + y \text{TiO}_2]_{(1-x/4)} \rightarrow \text{Pb}_{(1-x)} \text{La}_x (\text{Zr}_{1-y} \text{Ti}_y)_{1-x/4} \text{O}_3$.
 Les poudres utilisées sont des produits MERCK, de pureté supérieure à 99%. Après mélangeage à l'alcool dans des jarres en agate la réaction est effectuée par chauffage à 950° C pendant 3 heures. Après broyage, cette opération est répétée afin d'obtenir une réaction totale.

Un dernier broyage, pendant 4 heures, permet d'obtenir une poudre dont la granulométrie est voisine de 1 μm . Cette poudre est compactée à l'aide d'une presse isostatique sous une pression de 4000 bar, puis les échantillons sont frittés sous atmosphère de plomb (1) à 1300°C pendant 4 heures.

RESULTATS

1) Céramiques Piézoélectriques

Les travaux ont porté sur la variation des paramètres suivants :

- composition de base
- choix et taux d'impureté.

a) Composition de base : les compositions proches de la transition morphotropique Rhomboédrique/Tétraogonale ont été choisies en raison des valeurs élevées du coefficient piézoélectrique et de la température de Curie (2), le pourcentage molaire de TiO_2 variant de 45 à 49.

N° de la composition de base	d_{33} (pC/N)	T_c (°C)
70	240	350
68	250	370
64	190	395

b) Influence des impuretés :

Ces impuretés ont pour but, simultanément, d'améliorer le frittage et d'augmenter le coefficient piézoélectrique sans trop diminuer la température de Curie /3/.

N° Référence	Impuretés	d_{33} (p C/N)	$\epsilon_{r20^\circ\text{C}}$	$\Delta\epsilon_r/\epsilon_r$	T_c
87	6% Sr	290	1090	90%	330
85	6% Sr + 1% Sb	250	1240	30%	320
88	6% Sr	280	1100	95%	300
86	6% Sr + 1% Sb	270	1130	60%	310
91	6% Sr+1% Sb+1% Ba	300	1100	70%	290
97	0,8 % Sb	310	873		360
98	1% Sb	355	814	128%	355 (*)
99	1,2 % Sb	300	861		360
66	6% Sr	310	1110	12%	320
67	1% Sb + 6% Sr	370	1510	25%	310 (*)
65	6% Sr + 1% Ba	340	1350	18%	290
84	6% Sr+1% Sb+1% Ba	350	1600	17%	300 (*)

(*) voir figure 1

Seules les céramiques du dernier lot ont des constantes piézoélectriques supérieures à 300 p C/N (fig. 1).

La présence d'Antimoine seul suffit pour obtenir un d_{33} satisfaisant, mais la variation thermique n'est pas suffisamment régulière pour pouvoir être aisément compensée. L'addition de Baryum puis de Strontium, sans améliorer notablement les propriétés, modifie l'inflexion de la courbe et rend la compensation possible.

c) Influence de la présence de Niobium en addition :

La présence de traces de Niobium (pourcentage en poids inférieur à 0,1) suffit pour obtenir un d_{33} de 450 p C/N et augmenter ϵ_r , à partir d'une céramique classique (ici 84 A).

La température de Curie diminue alors d'environ 25°C le pourcentage de Niobium n'ayant qu'une faible influence sur les propriétés finales (fig. 1).

Le Niobium est un inhibiteur de croissance des grains /3/ accélérant la densification lors du frittage, ce qui explique l'amélioration considérable des propriétés.

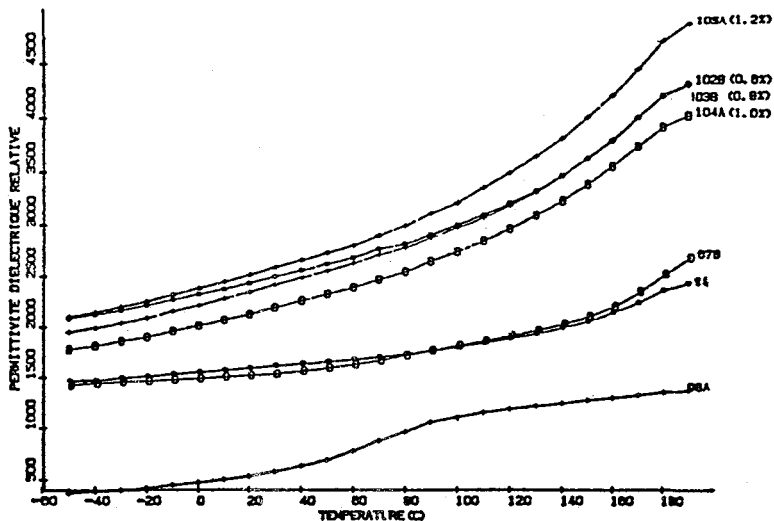


fig 1 VARIATION DE LA PERMITTIVITE DIELECTRIQUE RELATIVE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE ET DU POURCENTAGE D'OXIDE DE NIOBIUM
 [RELATIVE DIELECTRIC PERMITTIVITY VARIATIONS AS A FUNCTION OF TEMPERATURE AND NIOBIUM OXYDE PERCENTAGE]

2) Céramiques passives

Les mesures effectuées, y variant de 20 à 50% et x variant de 16 à 26% /4//5/ montrent qu'il est possible de faire varier la pente des courbes et la température de Curie de manière importante en agissant sur la composition de la Céramique (fig. 2). Il suffira donc de choisir la composition la mieux adaptée à la céramique active utilisée.

3) Compensation :

Il est possible, soit de choisir la céramique de compensation en fonction des propriétés de la céramique active, soit de procéder de manière inverse. Les résultats exposés concernent la première technique, la céramique active étant une PZT 5 A de la Société Vernitron.

Le choix de la céramique de compensation et de ses dimensions est issu d'une simulation effectuée à partir des courbes de la figure 2 et des caractéristiques de la céramique active. Les meilleurs résultats obtenus par simulation nous ont conduits à utiliser un élément de compensation à 18 % La de 0,36 mm d'épaisseur.

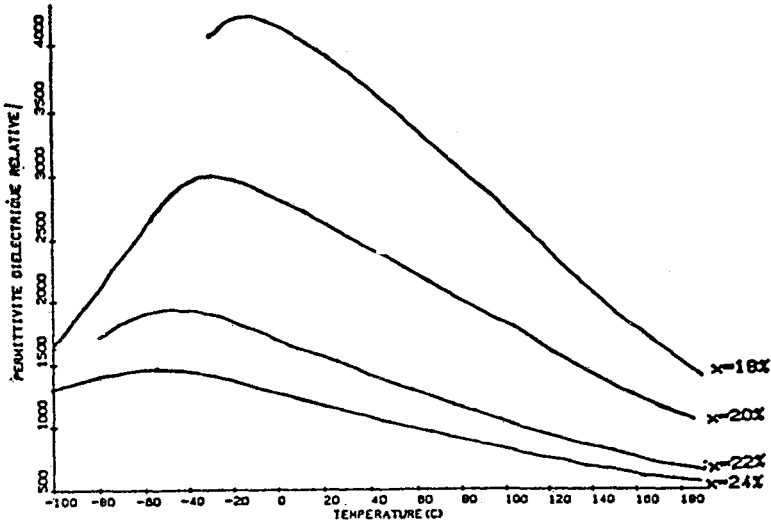


Fig 2 VARIATION DE LA PERMITTIVITE DIELECTRIQUE RELATIVE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE ET DU POURCENTAGE DE LANTHANE
 [RELATIVE DIELECTRIC PERMITTIVITY VARIATIONS AS A FUNCTION OF TEMPERATURE AND LANTHANA PERCENTAGE]

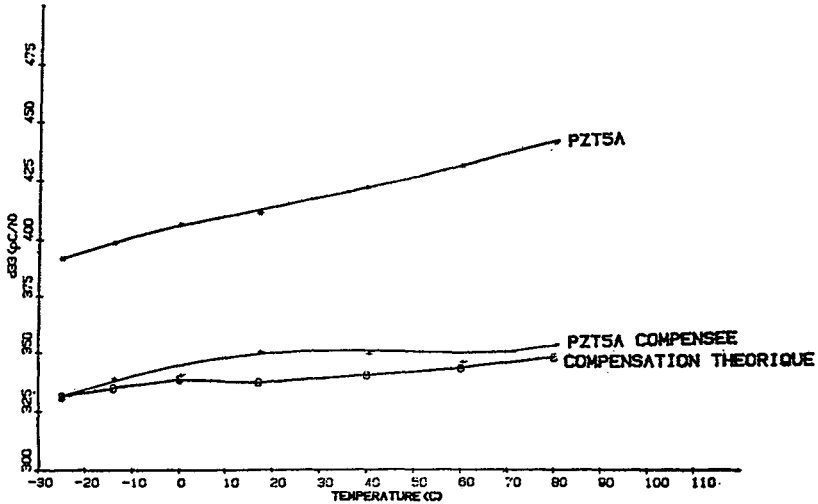


Fig 3 INFLUENCE DE LA COMPENSATION SUR LES VARIATIONS DE d33 EN FONCTION DE LA TEMPERATURE
 [COMPENSATION INFLUENCE ON d33 VARIATIONS AS A FUNCTION OF TEMPERATURE]

DISCUSSION

D'après la théorie de Devonshire /6/, si nous admettons que la transition ferro-paraélectrique est du second ordre, nous pouvons écrire :

$$C_1 = a_1 / (T_C - T) \quad C_2 = a_2 / (T - T'_C)$$

T_C et T'_C étant les températures de Curie des deux Céramiques.

Par analogie, nous utiliserons la relation empirique :

$$d_{33} = b / (T_C - T)$$

Ces relations ne sont bien vérifiées que pour des températures éloignées de la température de Curie.

Nous obtenons à partir de la relation (1) :

$$\Delta(1/d'_{33}) = (a_1/a_2 b - 1/b)\Delta T$$

La compensation des capteurs doit permettre d'obtenir $\Delta(1/d'_{33}) = 0$, ce qui se traduit par les relations suivantes :

$$d'_{33} = \frac{a_1}{b} = \frac{a_2}{b / (T_C - T'_C)}$$

Les coefficients a_1 , a_2 et b des céramiques utilisées sont les suivants :

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.77 \cdot 10^{-6} \text{ F. K} \\ a_2 &= 1.0 \cdot 10^{-6} \text{ F. K} \\ b &= 0.37 \cdot 10^{-6} \text{ C. K/N} \end{aligned}$$

Les coefficient a_1 et a_2 sont bien voisins. Cependant il convient de remarquer que la théorie de Devonshire ne donne des résultats convenables que pour des températures éloignées de la température de Curie. Or la compensation souhaitée doit être effective dans une large gamme de température, ce qui justifie la simulation systématique pour affiner le choix de l'élément de compensation.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de mettre en place une nouvelle méthode de compensation des Céramiques piézoélectriques permettant d'obtenir :

- une faible dérive thermique de l'ensemble compensé
- une sensibilité nettement plus importante que les capteurs étalons classiques.

Au vu des résultats obtenus il est désormais possible de choisir la composition de l'élément actif parmi ceux que nous avons réalisés.

REFERENCES

- /1/ Fétiqueau, Y., Thèse, Université de Lyon I (1969).
- /2/ Eyraud, L., Eyraud, P., Gonnard, P., Troccaz, M., *Ferroelectrics* 31 (1981) 113.
- /3/ Atkin, R.B., Fulrath, R.M., *J. Am. Cer. Soc.* 54 (1971) 265.
- /4/ Haertling, G.M., Land, C.E., *J. Am. Ceram. Soc.* 54 (1971) 1.
- /5/ O'Bryan, H.M., *J. Am. Ceram. Soc.* 56 (1973) 385.
- /6/ Devonshire, A.F., *Philosophical Magazine* 3 (1954) 86.