

## PYROELECTRICITE

### I. PYROELECTRICITE

#### I.1. DEFINITION

La pyroélectricité est la propriété d'un matériau dans lequel un changement de température entraîne une variation de polarisation électrique. Cette variation de polarisation crée une différence de potentiel temporaire, celle-ci disparaissant après le temps de relaxation diélectrique. Cette variation peut générer un courant électrique, ce qui rend ces matériaux utiles pour la détection de radiations ou la production d'électricité. Ils sont tout particulièrement utilisés dans certains détecteurs infrarouge. L'effet pyroélectrique ne doit pas être confondu avec l'effet thermoélectrique, où un gradient de température fixé donne naissance à une tension permanente.

Les cristaux pyroélectriques forment un sous ensemble des cristaux piézoélectriques : 10 des 20 classes cristallines piézoélectriques sont aussi pyroélectriques.

L'effet pyro-électrique a été nommé par J.P. Glusker, c'est le développement des charges électriques sur les surfaces de certains cristaux non Centro symétriques qui possèdent un axe polaire dans leurs réponses à un changement de température, les matériaux pyro-électriques sont polaires car ils présentent une polarisation spontanée. L'intensité de cette polarisation est directement dépendante de la température, que changement de la température du cristal entraîne l'apparition ou la disparition des charges électriques sur les faces du cristal [10], perpendiculaires à l'axe polaire et donne donc naissance à un courant mesurable :

$$i = \frac{dP}{dt} = \left( \frac{dP}{d\theta} \right) \left( \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (I.1)$$

$dP$  : Changement de la polarisation ;  $d\theta$  : La variation de température par apport à le temps  $dt$ .

C'est à dire le changement de polarisation spontanée générée par l'augmentation ou diminution température est « appelée effet pyro-électrique » [11].

Les variables indépendantes : la température  $\theta$ , champ électrique  $E$  et le stress mécanique  $T$ .

La variable thermique est : l'entropie  $\sigma$  et la déformation mécanique  $S$  et le déplacement électrique  $D$ .

$$\sigma \longleftrightarrow \theta ; S_{\mu} \longleftrightarrow T_{\lambda} ; D_i \longleftrightarrow E_i \quad i : 1 \text{ jusqu'à } 3 \text{ et } \mu, \lambda : 1 \text{ jusqu'à } 6$$

Les équations d'état pour le déplacement électrique sont :

$$D_i = P_i^T \Delta \theta \quad (I.2)$$

$$P_i^T = \left( \frac{\partial D_i}{\partial \theta} \right)_{E,T} \quad (I.3)$$

Où  $P_i^T$  : Coefficient pyroélectrique au champ électrique et stress mécanique constant [10].

## I.2. EQUATION DE PYROELECTRICITE

Maintenant, en va parler sur les équations constitutives de pyroélectrique :

$$\Delta \sigma = \left( \frac{\partial \sigma}{\partial \theta} \right)_{E,T} \Delta \theta + \left( \frac{\partial \sigma}{\partial E_i} \right)_{\theta,T} E_i + \left( \frac{\partial \sigma}{\partial T_{\lambda}} \right)_{E,\theta} T_{\lambda} \quad (I.4)$$

$$D_i = \left( \frac{\partial D_i}{\partial \theta} \right)_{E,T} \Delta \theta + \left( \frac{\partial D_i}{\partial E_i} \right)_{\theta,T} E_i + \left( \frac{\partial D_i}{\partial T_{\lambda}} \right)_{E,\theta} T_{\lambda} \quad (I.5)$$

$$S_{\mu} = \left( \frac{\partial S_{\mu}}{\partial \theta} \right)_{E,T} \Delta \theta + \left( \frac{\partial S_{\mu}}{\partial E_i} \right)_{\theta,T} E_i + \left( \frac{\partial S_{\mu}}{\partial T_{\lambda}} \right)_{E,\theta} T_{\lambda} \quad (I.6)$$

Pour simplifier les équations il faut utiliser les coefficients suivants, qui apparaissent dans le tableau [11]:

Expression	Signification
$\left( \frac{\partial D_i}{\partial E_i} \right)_{\theta,T} = \epsilon_{ij}^{\theta,T}$	Permittivité à $\theta$ constant et à $T$ constant
$\left( \frac{\partial S_{\mu}}{\partial T_{\lambda}} \right)_{E,\theta} = s_{\mu\lambda}^{E,\theta}$	Les constantes de compliance élastique iso thermique à $E = Cte$
$\left( \frac{\partial D_i}{\partial T_{\lambda}} \right)_{E,\theta} = \left( \frac{\partial S_{\mu}}{\partial E_i} \right)_{\theta,T} = d_{i\lambda}^{E,\theta}$	Coefficient piézoélectrique
$\left( \frac{\partial \sigma}{\partial E_i} \right)_{\theta,T} = \left( \frac{\partial D_i}{\partial \theta} \right)_{E,T} = P_i^T$	Coefficient pyroélectrique
$\left( \frac{\partial \sigma}{\partial T_{\lambda}} \right)_{E,\theta} = \left( \frac{\partial S_{\mu}}{\partial \theta} \right)_{E,T} = \alpha_{\lambda}^E$	Coefficient de dilatation thermique
$\left( \frac{\partial \sigma}{\partial \theta} \right)_{E,T} = \frac{\rho C^{(E,T)}}{\theta}$	$C^{(E,T)}$ : capacité thermique spécifique $\rho$ : la densité du cristal

**Table I.1 : Coefficient matériel**

En utilise maintenant les coefficients matériels dans les équations constitutives, prendre comme la forme suivante :

$$\Delta\sigma = \frac{\rho c^{(E,T)}}{\theta} \Delta\theta + \mathcal{P}_i^T E_i + \alpha_\lambda^E T_\lambda \quad (I.7)$$

$$D_i = \mathcal{P}_i^T \Delta\theta + \epsilon_{ij}^{E,T} E_j + d_{i\lambda}^{E,\theta} T_\lambda \quad (I.8)$$

$$S_\mu = \alpha_\lambda^E \Delta\theta + d_{i\lambda}^{E,\theta} E_i + s_{\mu\lambda}^{E,\theta} T_\lambda \quad (I.9)$$

On peut alors exprimer un coefficient de couplage de manière similaire à celui de la piézoélectricité [11]. :

$$K^2 = \frac{p^2 \theta}{\epsilon_{33}^E c} \quad (I.10)$$

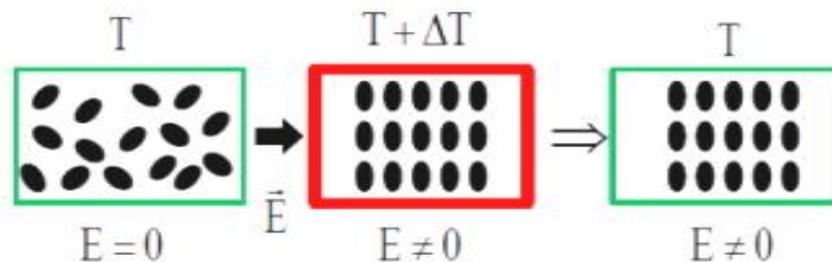
**p**: Coefficient pyroélectrique

**θ**: Température

$\epsilon_{33}^E$ : Permittivité à température constante

**C**: Capacité thermique

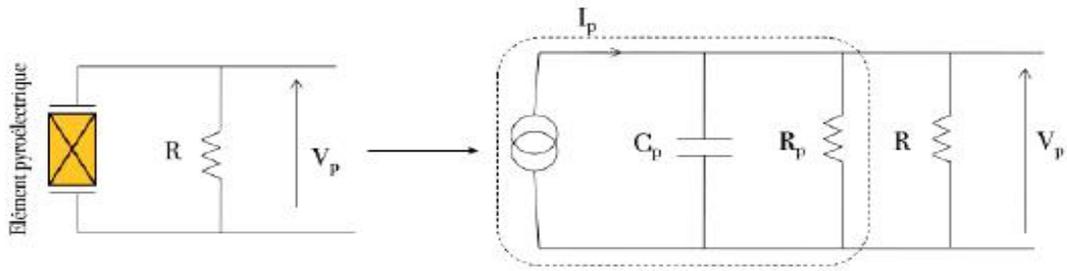
L'effet inverse de l'effet pyro-électrique, c'est à dire la variation de la température générée par le champ électrique externe, est appelé « effet électro-calorique » [11].



**Figure I.1 : Principe de l'effet électro calorique [11].**

**1.3 EFFET PYROELECTRIQUE PAR SCHEMA EQUIVALENT**

La performance est estimée de l'élément pyroélectrique en présence de la variation de température dans système électrique par un schéma électrique équivalent [12, 13 ;14] :



**Figure.I. 2 :** Schémas équivalent d'un matériau pyroélectrique.

L'élément pyroélectrique est modélisé comme un générateur de courant placé en parallèle avec une résistance et une capacité [12].

<i>Paramètre</i>	<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>
<i>Courant généré par l'élément pyroélectrique</i>	$I_p$	A
<i>Tension à la sortie de l'élément pyroélectrique</i>	$V_p$	V
<i>Capacité électrique</i>	$C_p$	F
<i>Résistance électrique</i>	$R_p$	$\Omega$
<i>Résistance de charge</i>	R	$\Omega$

**Table.I.2 :** Différent paramètres présents dans la figure.I.10. [13].

Le courant pyroélectrique s'exprime donc en fonction de la surface A de matériau pyroélectrique, du coefficient pyroélectrique et de la variation temporelle de la température.

Le courant  $I_p$  peut être établie à partir de circuit équivalent du matériau pyroélectrique présenté dans la figureI.10 en utilisant la loi des nœuds L'expression du courant est donnée par [14]. :

$$I_p = C_p \frac{dV_p}{dt} + \frac{V_p}{R_p} \quad (I.11)$$

Où V : La tension aux bornes de la résistance de charge R qui est normalement égale à  $V_p$ .

$C_p$  : Capacité électrique

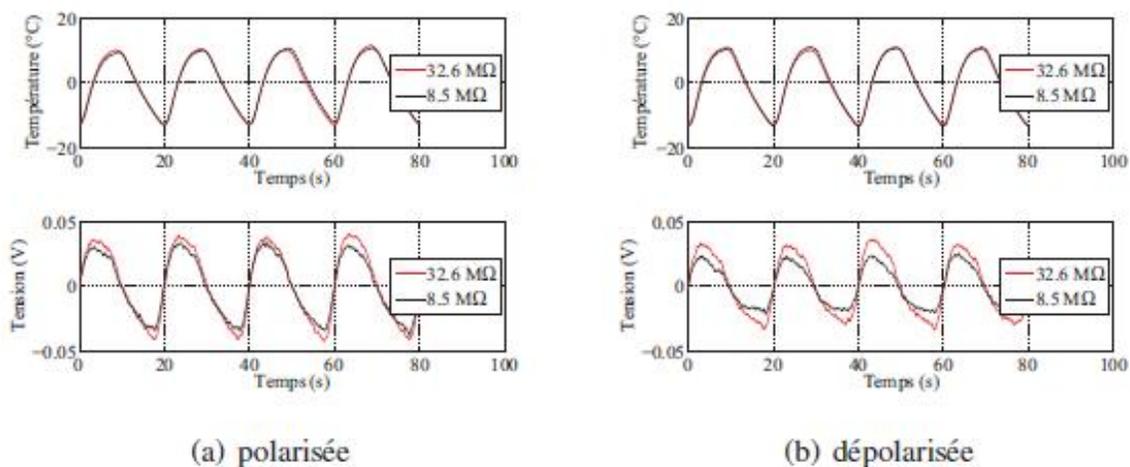
$R_p$  : Résistance électrique

matériaux	Coefficient de charge d33(PC/N)	Coefficient de couplage	Facteur de qualité	Constante diélectrique
PLZT	347.5	0.4575	91.5	1967
BST -0.6mm	130.0	0.2078	193.3	2150
BST -1mm	91.3	0.1625	155.0	2066

Table I.2 : Valeurs moyennes des caractéristiques à 25 °C des éléments pyroélectriques développés

## II-Céramique pyroélectrique BST :

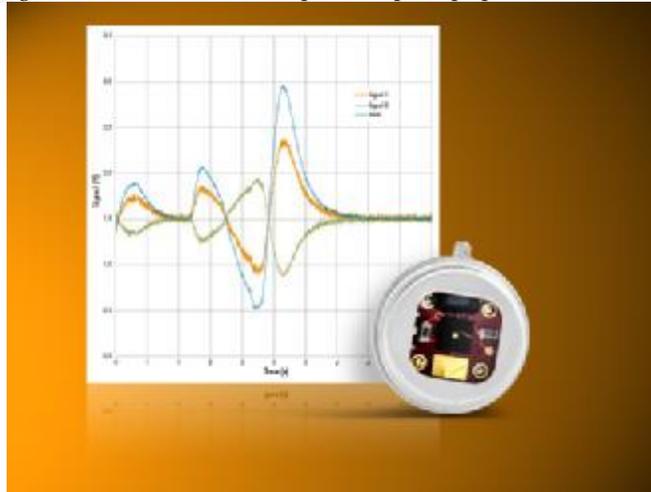
La figure I.2 illustre l'évolution de la tension pyroélectrique sur une céramique polarisée et une seconde dépolarisée. Les courbes présentées mettent en évidence les moindres performances de ces céramiques. Les niveaux de tension sont trop faibles pour pouvoir espérer alimenter une quelconque charge via ce type de matériau. Notons cependant que le maximum de tension (0.041 V) est obtenu pour la charge de 32.9 MΩ. Cette faible valeur de tension est due résistance parasite de l'élément pyroélectrique (66 kΩ mesurée). Il est à préciser que la dépolarisation de l'élément pyroélectrique n'a pas affecté de manière sensible la valeur de tension sur l'élément actif. La seule différence a trait aux écarts observés sur les valeurs de tension mesurée pour 8.5 MΩ et 32.9 MΩ.



### III. APPLICATIONS INDUSTRIELLES

#### III.1. Détecteurs Pyroélectriques

Les détecteurs pyroélectriques sont des détecteurs thermiques (c-à-d., ils créent un signal électrique dû aux changements de température dans la puce). De tels changements de température sont provoqués par l'absorption de la lumière.. Fondamentalement, de tels détecteurs couvrent le spectre entier. Cependant, ils sont principalement employés pour la détection infrarouge à moyennes et grandes longueurs d'ondes. En outre, de nos jours leur utilisation dans la région du THz devient de plus en plus populaire.



#### III.2. DÉTECTEURS PYROÉLECTRIQUES ET FERROÉLECTRIQUES

Certains matériaux possèdent naturellement une polarisation spontanée qui varie avec la température et qui peut être inversée par l'application d'un champ électrique. Ces matériaux sont appelés pyroélectriques, leurs propriétés peuvent être expliquées par leur structure cristalline qui est telle que des dipôles existent naturellement du fait de la non coïncidence des centres de gravité des charges positives et des charges négatives. Il apparaît donc une polarisation spontanée  $P_s$  variable avec la température par suite des modifications qu'entraîne celle-ci sur la structure cristalline et en particulier sur la dimension de la maille cristalline. Le comportement en température de la polarisation spontanée est représenté sur la 5.

Les matériaux pyroélectriques permettent ainsi de réaliser des thermomètres très sensibles. En effet, en dessous de la température de Curie  $T_C$ , une variation de la température du matériau pyroélectrique induit une variation de sa polarisation et donc un déplacement de charges qui peut être mesuré par un circuit de lecture externe. Le facteur de mérite de ces détecteurs est le coefficient pyroélectrique  $p$  qui est la dérivée de la polarisation du matériau en fonction de la température à la température de fonctionnement 5.

Une capacité réalisée avec ces matériaux peut être utilisée pour réaliser un détecteur infrarouge et le coefficient pyroélectrique est une mesure de sa réponse à une variation de température.

En appliquant un champ électrique  $E$  (V/m) sur le matériau, l'effet pyroélectrique peut être renforcé par l'effet de variation de la permittivité du diélectrique avec la température qui caractérise les matériaux ferroélectriques. La réponse en tension est donnée par l'expression suivante :

$$\Delta V = \frac{C_d}{C_d + C_p} z \frac{\partial E}{\partial T} \Delta T$$

**III.2. Les capteurs Pyroélectriques détectent les radiations thermiques de l'ordre de 5.5 à 14 $\mu$ m, domaine correspondant par exemple à celui du corps humain. L'effet pyroélectrique se traduit par une modification de la polarisation naturelle de l'élément ferro-électrique du capteur par son absorption de radiations thermiques, se traduisant par l'apparition de charges électriques en surface.**

Il est important que la source radiante soit en mouvement afin de générer des variations de polarisation (d'où le nom de « détecteur de mouvement »).

### **Propriétés**

- Boîtiers type TO... ou plat (avec fenêtre Silice)
- 1 à 12 éléments
- Caractéristiques de détection variées
- Niveau signal de sortie: 2900mV à 7300mV
- Gamme tension d'alimentation: 2.2V à 15V
- Disponibilité de lentilles de Fresnel adaptées