

# Qu'est-ce que l'effet piézoélectrique ?

## PIÉZOÉLECTRICITÉ

Pour générer un signal de sortie utile, nos capteurs utilisent l'effet piézoélectrique. («Piézo» est un terme grec signifiant «presser, appuyer».) Lorsque les éléments piézoélectriques sont contraints par une force externe, la charge électrique déplacée s'accumule sur les surfaces opposées.

La figure 1 illustre le déplacement de la charge électrique suite à la déviation du réseau dans un cristal de quartz naturellement piézoélectrique. Les cercles jaunes représentent les atomes de silicium, tandis que les cercles rouges représentent l'oxygène. Le quartz cristallin, qu'il soit sous sa forme naturelle ou de synthèse, est un matériau piézoélectrique très sensible et très stable.

En plus des cristaux de quartz, PCB utilise aussi des éléments céramique polycristallins fabriqués. Ces matériaux deviennent des éléments piézoélectriques en appliquant un vaste champ électrique, produisant ainsi une charge de sortie extrêmement importante. Cette caractéristique est idéale pour l'utilisation dans les systèmes de mesure à faible niveau de bruit.

Le **tableau 1** liste d'autres avantages / inconvénients et établit une comparaison de tous les matériaux piézoélectriques.

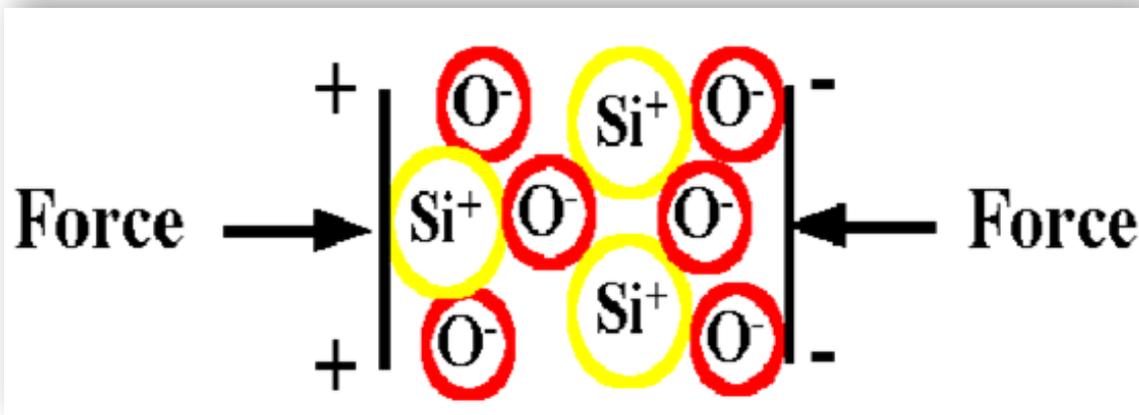


Figure 1 - Déplacement d'une charge électrique suite à une déviation du réseau

Cristal de quartz	Céramique polycristalline
matériel piézoélectrique naturel	matériel synthétique polarisé de façon
sensibilité au voltage élevé	sensibilité à la charge élevée
rigidité comparable à l'acier	disponibilité illimitée de tailles et formes
présente une excellente stabilité à long terme	matériaux disponibles pouvant être traités à 540°C
non pyroélectrique	sortie due aux transitions thermiques
faible coefficient de température	les caractéristiques changent en fonction de la température

Tableau 1 - Comparaison des matériaux piézoélectrique

## Des matériaux piézoélectriques de plusieurs tailles et formes peuvent être utilisés dans les capteurs.

La **figure 2** représente les différentes configurations. Le **rouge** représente les cristaux piézoélectriques, tandis que les flèches indiquent la façon dont le matériau est contraint. Les accéléromètres ont en général une masse séismique, représentée par la couleur **grise**.

Une description plus complète des structures des capteurs est indiquée dans la section suivante.

Le design de la compression présente une forte rigidité, ce qui la rend pratique pour une utilisation dans des capteurs de pression et de force à haute fréquence. Il a l'inconvénient d'être plutôt sensible aux transitions thermiques.

La simplicité du design de flexion est compensée par sa gamme de fréquences étroite et sa faible survie aux chocs.

La configuration en cisaille est généralement utilisée pour les accéléromètres, car elle permet une combinaison bien équilibrée d'une large gamme de fréquences, d'une faible sensibilité hors axe, d'une faible sensibilité à la contrainte de base et d'une faible sensibilité aux apports thermiques.

Avec des valeurs de rigidité de l'ordre de 156 psi (1049 N/m<sup>2</sup>), similaires à celles de nombreux métaux, les matériaux piézoélectriques produisent un signal de sortie de forte amplitude avec très peu de contrainte. En d'autres termes, les éléments sensibles piézoélectriques n'ont presque pas de déplacement et sont souvent considérés comme des éléments stables. C'est pour cette raison que les capteurs piézoélectriques sont si robustes et présentent une linéarité excellente sur une gamme d'amplitude étendue.

En fait, lorsqu'ils sont combinés à des conditionneurs de signaux, les capteurs piézoélectriques ont en général une gamme d'amplitude dynamique (c'est-à-dire : gamme de mesure maximum par rapport au bruit) de l'ordre de 120 dB. Cela signifie qu'un simple accéléromètre peut mesurer des niveaux d'accélération aussi bas que 0,0001 g ou aussi élevés que 100 g !

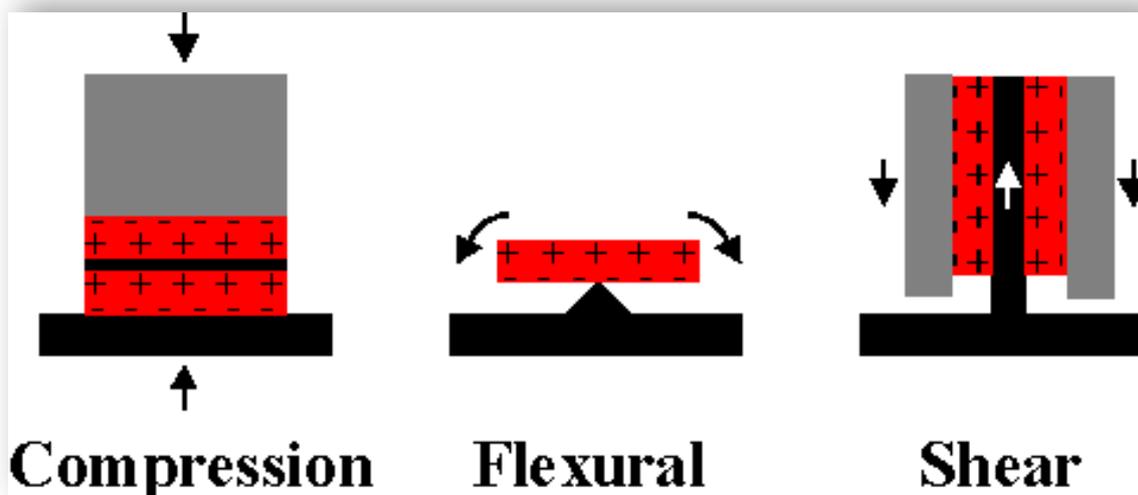


Figure 2 - Configuration du matériau

Une remarque finale importante concernant les matériaux piézoélectriques est qu'ils ne peuvent mesurer que les événements dynamiques. Les capteurs piézoélectriques ne peuvent pas mesurer un événement statique continu comme par exemple le guidage inertiel, la pression barométrique ou la mesure de poids. Tandis que les événements statiques vont générer une sortie initiale, ce signal va lentement diminuer sur la base du matériau piézoélectrique ou de la constante temporelle des appareils électroniques fixés.

Cette constante temporelle correspond à un filtre passe-haut de premier ordre et est basée sur la capacitance et la résistance de l'appareil. Ce filtre passe-haut détermine finalement la coupure de basse fréquence ou la limite de mesure de l'appareil.

### STRUCTURE

La **figure 3** représente la mesure typique sur un capteur de force, un capteur de pression et un capteur d'accélération. (La couleur **grise** représente la structure sous test. La couleur **bleue** correspond au boîtier du capteur. Les cristaux piézoélectriques sont représentés en **rouge**. L'électrode **noire** est l'endroit où la charge des cristaux s'accumule avant d'être conditionnée par le microcircuit **jaune**. L'accéléromètre comprend également une masse représentée en **vert**.)

Notez que leur configuration interne n'est que peu différente. Dans les accéléromètres mesurant le mouvement, la masse séismique invariable «M» est contrainte par les cristaux à suivre le mouvement de la base et de la structure à laquelle elle est fixée. La force résultante sur les cristaux est facile à calculer en utilisant la deuxième **loi du mouvement de Newton : F=MA**.

Les capteurs de pression et de force sont presque identiques et s'appuient sur une force extérieure pour contraindre les cristaux.

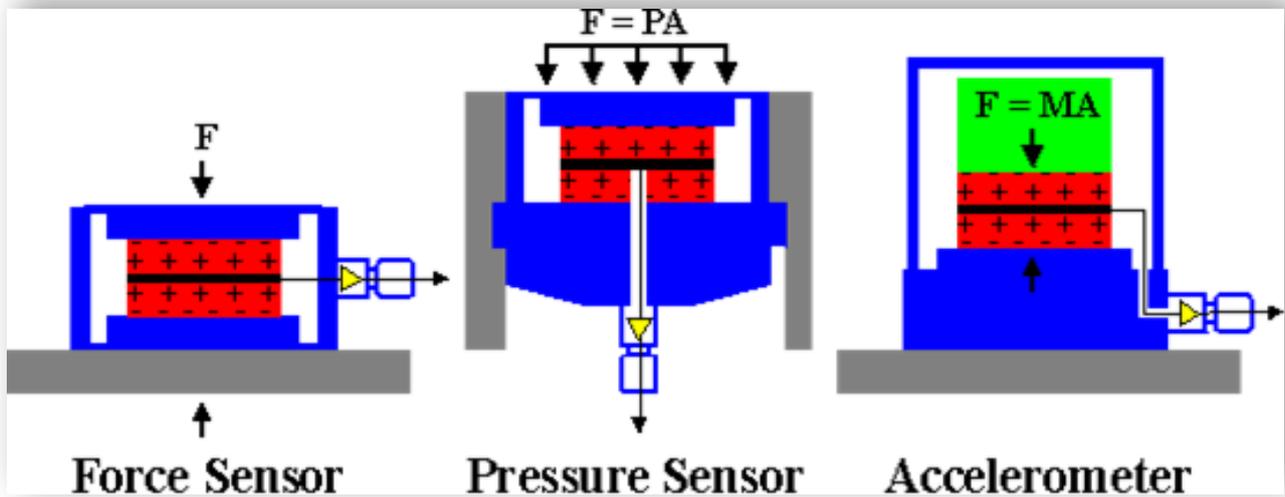


Figure 3 - Construction du capteur

La différence majeure est que les capteurs de pression utilisent un diaphragme pour recueillir la pression, qui est simplement une force appliquée à une zone.

À cause de leur similitude, les capteurs conçus pour mesurer un paramètre spécifique sont aussi légèrement sensibles à d'autres entrées. Si l'on réduit leur sensibilité à des événements indésirables, les capteurs peuvent mesurer avec plus de précision le paramètre pour lequel ils sont prévus.

Par exemple, des capteurs de pression sophistiqués utilisent souvent un élément de compensation pour réduire leur sensibilité à l'accélération. D'autres capteurs utilisent des amplificateurs thermiques de compensation pour réduire le coefficient thermique général du capteur.

Enfin, les accéléromètres utilisent des éléments sensibles alternatifs en forme de cisaille pour réduire les effets des transitions thermiques, du mouvement transversal et de la contrainte de base.

### CONDITIONNEMENT DE SIGNAL

Une fois que l'élément sensible a produit la sortie souhaitée, ce signal doit être conditionné avant d'être analysé par la centrale d'acquisition de données. Comme indiqué sur la figure 4, ce traitement du signal peut être obtenu grâce à deux méthodes différentes :

- interne au capteur par un circuit électronique
- externe au capteur dans une «boîte noire».

PCB utilise la marque déposée ICP® pour indiquer les capteurs comprenant une électronique intégrée. Les capteurs dépourvus d'électronique intégrée sont appelés capteurs mode de charge.

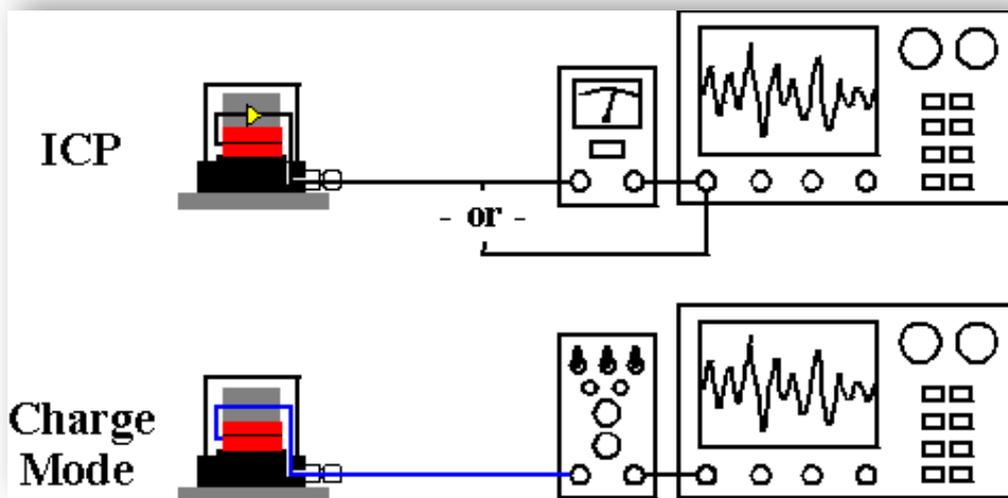


Figure 4 - Système de capteurs

Nous discuterons tout d'abord du capteur ICP®. Ce concept a été largement amélioré sur le plan technique depuis son développement en 1967. Les circuits sont devenus plus petits, les prix des composants ont diminué et les capacités de traitement du signal ont augmenté grâce à des circuits intégrés miniatures.

Même avec ces améliorations, l'intention d'origine reste la même : simplicité et facilité d'utilisation.

Ce système bifilaire utilise un conducteur commun pour l'alimentation / le signal et un conducteur supplémentaire pour la masse de signal.

Les circuits intégrés sont des amplificateurs miniatures charge ou voltage en fonction du type d'élément sensible. Ces composants sont en général alimentés par un courant constant 18 à 30 VCC, 2mA. (À part le prix, le côté pratique et/ou les caractéristiques, il n'y a aucun avantage à avoir une source d'alimentation de courant constant externe ou intégrée à l'appareil de mesure.) Un schéma détaillé du système est présenté dans la **figure 5**.

Ce système a les caractéristiques suivantes :

- les appareils avec électronique intégrée produisent un signal de tension à faible impédance compatible avec la plupart des équipements de mesure
- seul un conditionneur de signal à courant constant simple et facile d'utilisation est nécessaire, ce qui permet un coût par voie optimisé
- le signal peut être transmis par des longs câbles à travers des environnements difficiles sans perdre en qualité de signal
- la température de fonctionnement du circuit est en général limitée à 121°C ou parfois 154°C
- fonctionne en général avec deux câbles conducteurs à paires coaxiaux ou torsadés
- les caractéristiques du capteur (sensibilité & gamme de fréquence) sont fixées dans le capteur et sont indépendantes de la tension d'alimentation.

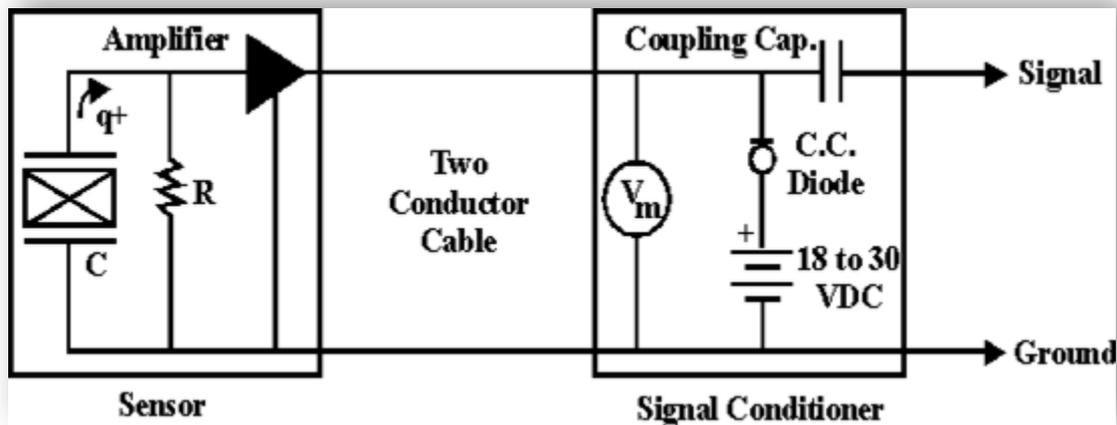


Figure 5 - Système de capteur ICP®

Les capteurs mode de charge utilisent la même structure mécanique de détection que les capteurs ICP®. Toutefois les appareils électroniques de traitement du signal sont placés à l'extérieur.

Comme l'électronique intégrée n'avaient pas encore été développée, les premiers capteurs piézoélectriques développés dans les années 1950 fonctionnaient à l'aide de ce principe.

Ces systèmes de charge fonctionnaient souvent difficilement et étaient en général coûteux à cause de leur amplificateur de charge externe.

Aujourd'hui, les capteurs mode de charge sont en général utilisés uniquement dans des environnements où la température ne permet pas l'utilisation de capteurs avec des électroniques intégrées.

Comme on pourrait s'y attendre, les systèmes mode de charge présentent divers avantages et inconvénients :

- le capteur émet un signal à forte impédance qui doit être conditionné avant d'être analysé
- un conditionneur de signal externe est nécessaire

- le signal à forte impédance risque d'être contaminé par des influences de l'environnement comme le mouvement de câbles, les signaux électromagnétiques et l'interférence des fréquences radio
- comme les appareils électroniques sont externes, certains modèles peuvent fonctionner jusqu'à 540°C
- nécessite un câblage spécial faible bruit
- les caractéristiques du capteur (sensibilité & gamme de fréquence) sont variables et peuvent être modifiées selon les composants du conditionneur de signal externe

## CONCLUSION

Les capteurs piézoélectriques offrent des capacités uniques. Comme nous l'avons expliqué, il existe certains avantages (comme la fréquence large et la gamme d'amplitude) et inconvénients (pas de capacité de mesure statique) en fonction de l'application à développer. Ainsi, lors du choix d'un capteur ou d'une technologie de détection, il est important de bien faire attention aux spécifications de performance.