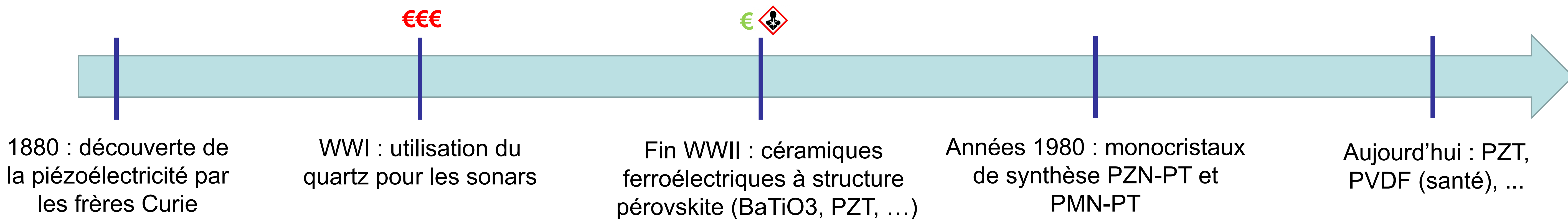


# Titanate de baryum et ses alliages, propriétés piézoélectriques

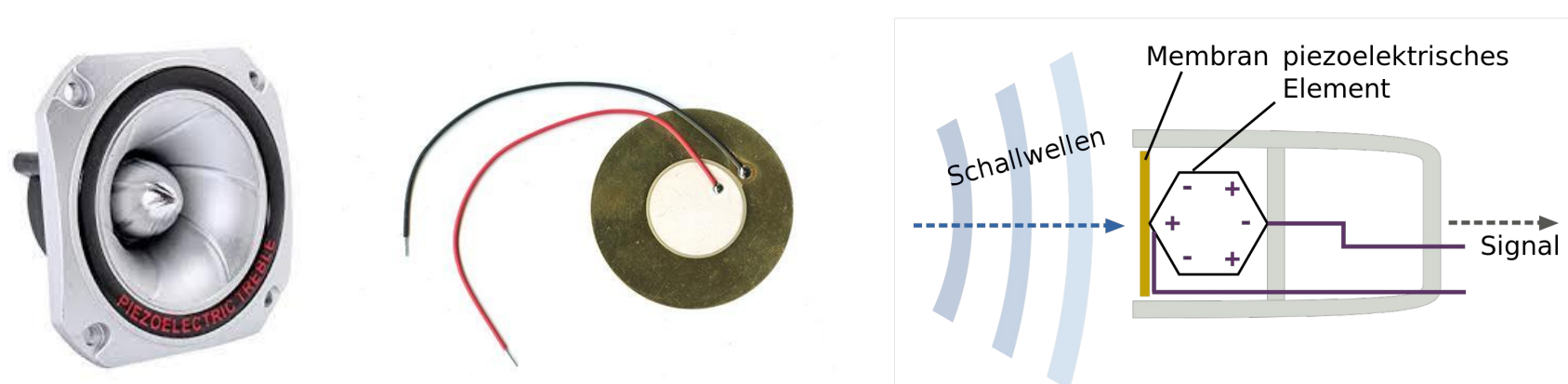
Hadrien GOUX, Lucille LACOSTE,  
Nathan LINÉ, Pierre SION

## Histoire

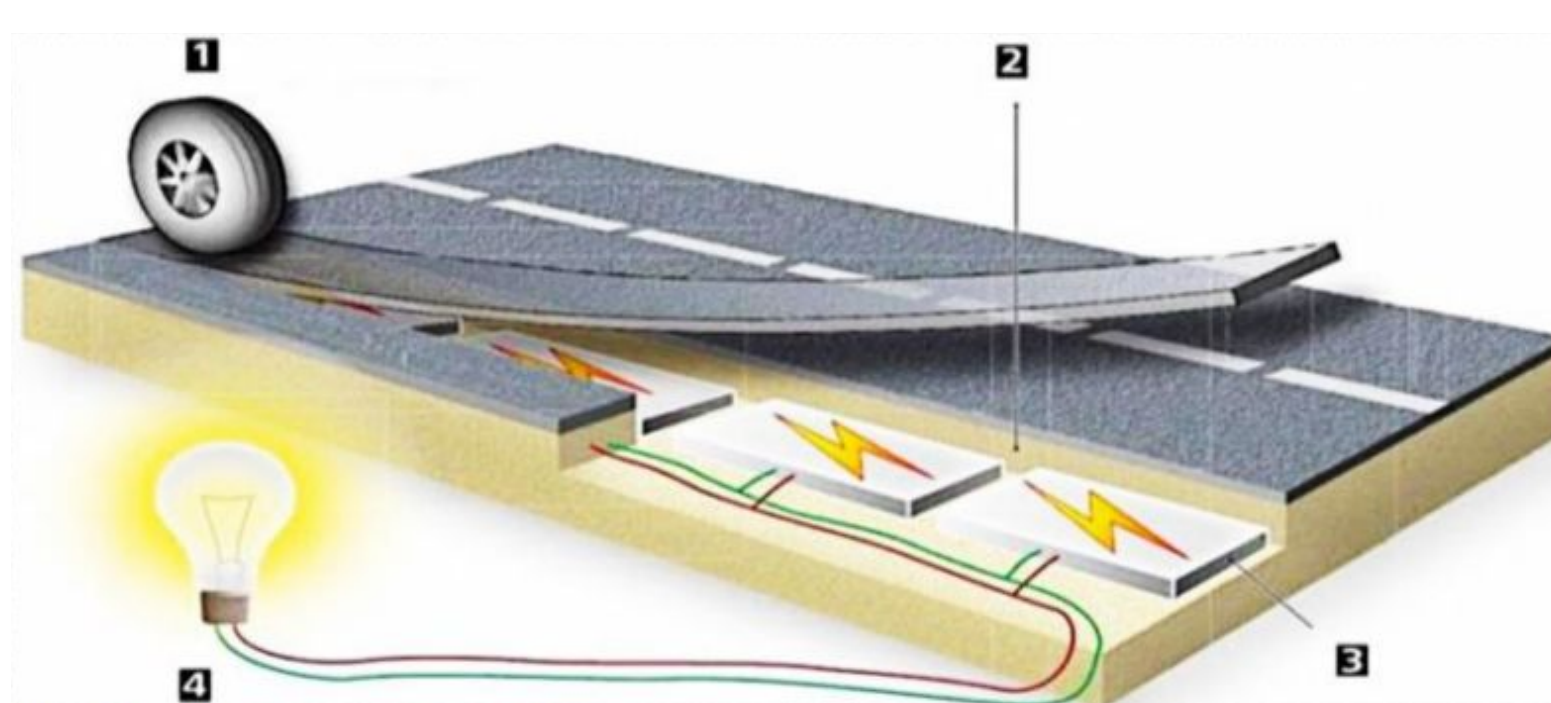


## Enjeux

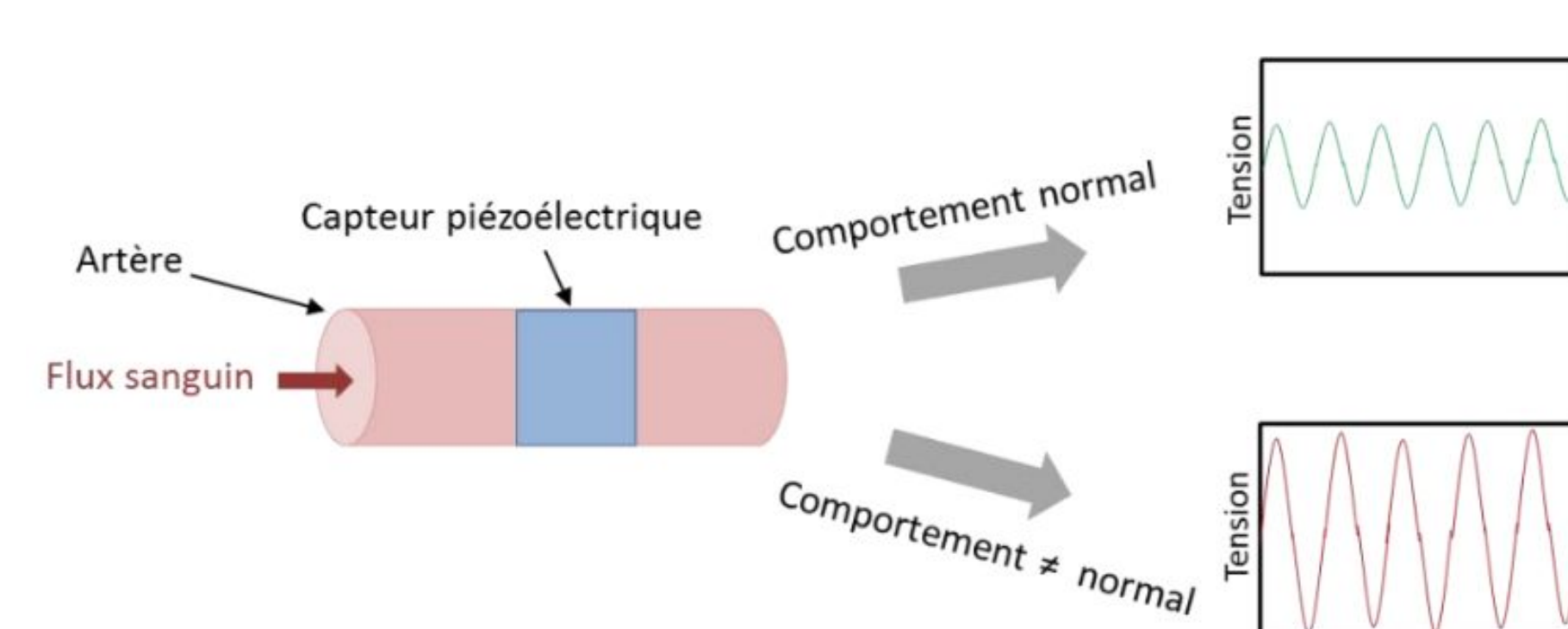
Des matériaux indispensables dans de nombreux appareils



Transition énergétique



Santé

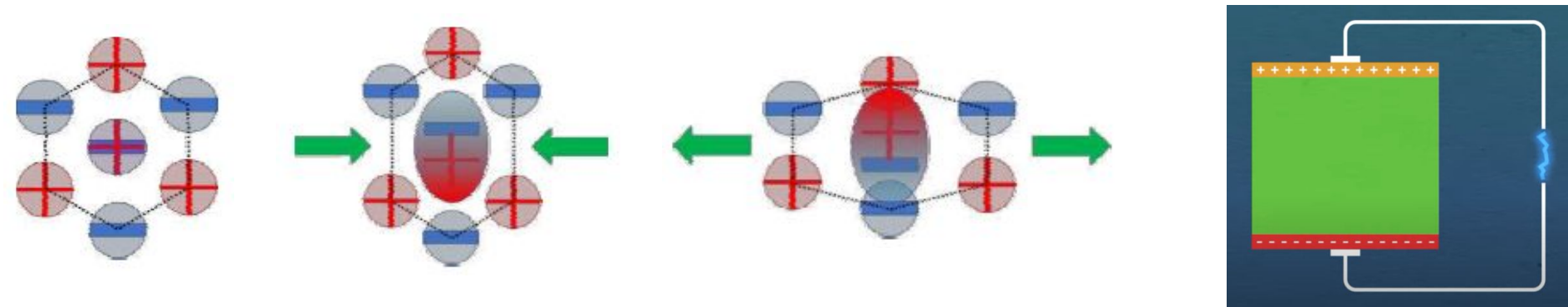


### Piézoélectricité :

de la mécanique aux propriétés physiques

Cristaux anisotropes (hexagonales ou pérovskite) avec des éléments électronégatifs

- Effet direct : compression et traction induisent une polarisation de la maille.



- Effet indirect : la polarisation induit une déformation de la maille

Equations de couplage mécano-physique :

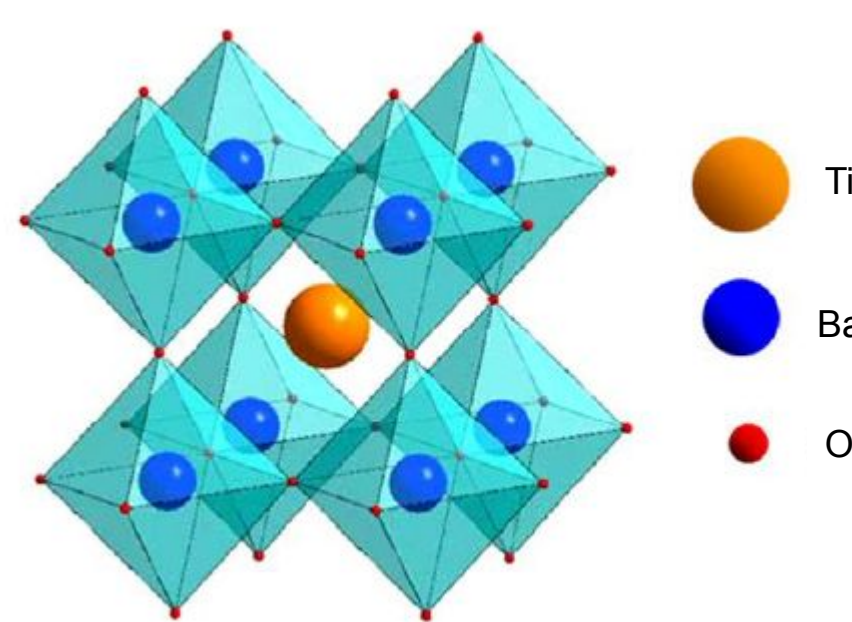
$$\begin{cases} \sigma_{ij} = C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl} - e_{kij} \cdot E_k \\ D_i = e_{ikl} \cdot \varepsilon_{kl} + \kappa_{ik}^E \cdot E_k \end{cases}$$

$C$  : tenseur de rigidité  
 $\sigma$  : tenseur des contraintes  
 $\varepsilon$  : tenseur des déformations  
 $D$  : champ déplacement électrique

$E$  : champ électrique  
 $e$  : tenseur piézoélectrique  
 $\kappa$  : constantes diélectriques

### Le titanate de baryum

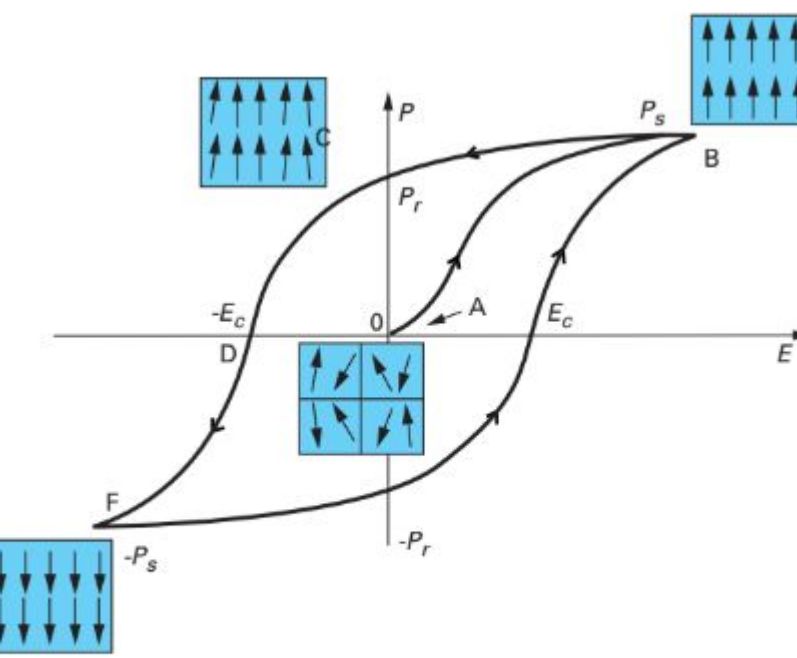
Structure pérovskite  
Cubique à haute température  
Tétraгонаle pour  $T < T_c = 120^\circ\text{C}$



Titanate de baryum : BaTiO<sub>3</sub>

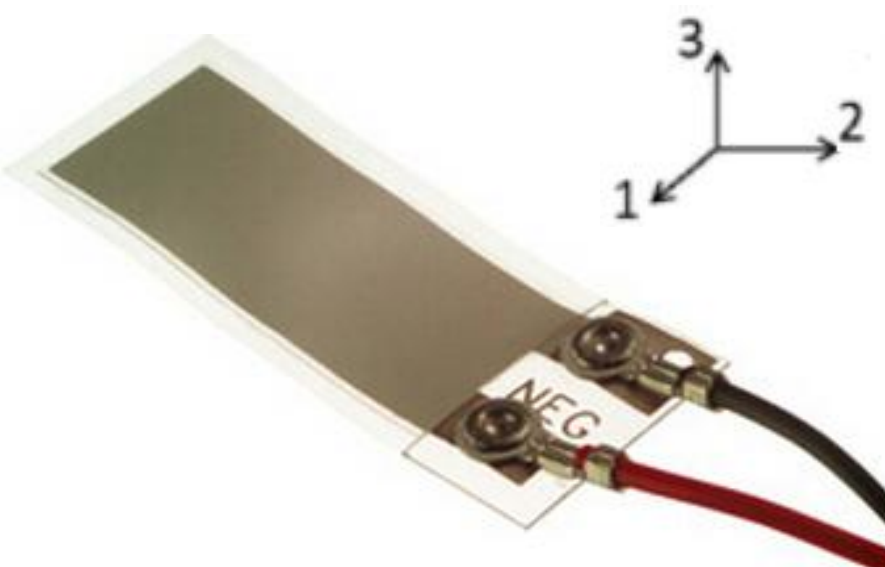
### Autres propriétés du titanate de baryum

Ferromagnétisme  
→ polarisation permanente



Cycle d'hystérésis de matériau ferroélectrique.

### Simplification cas film mince

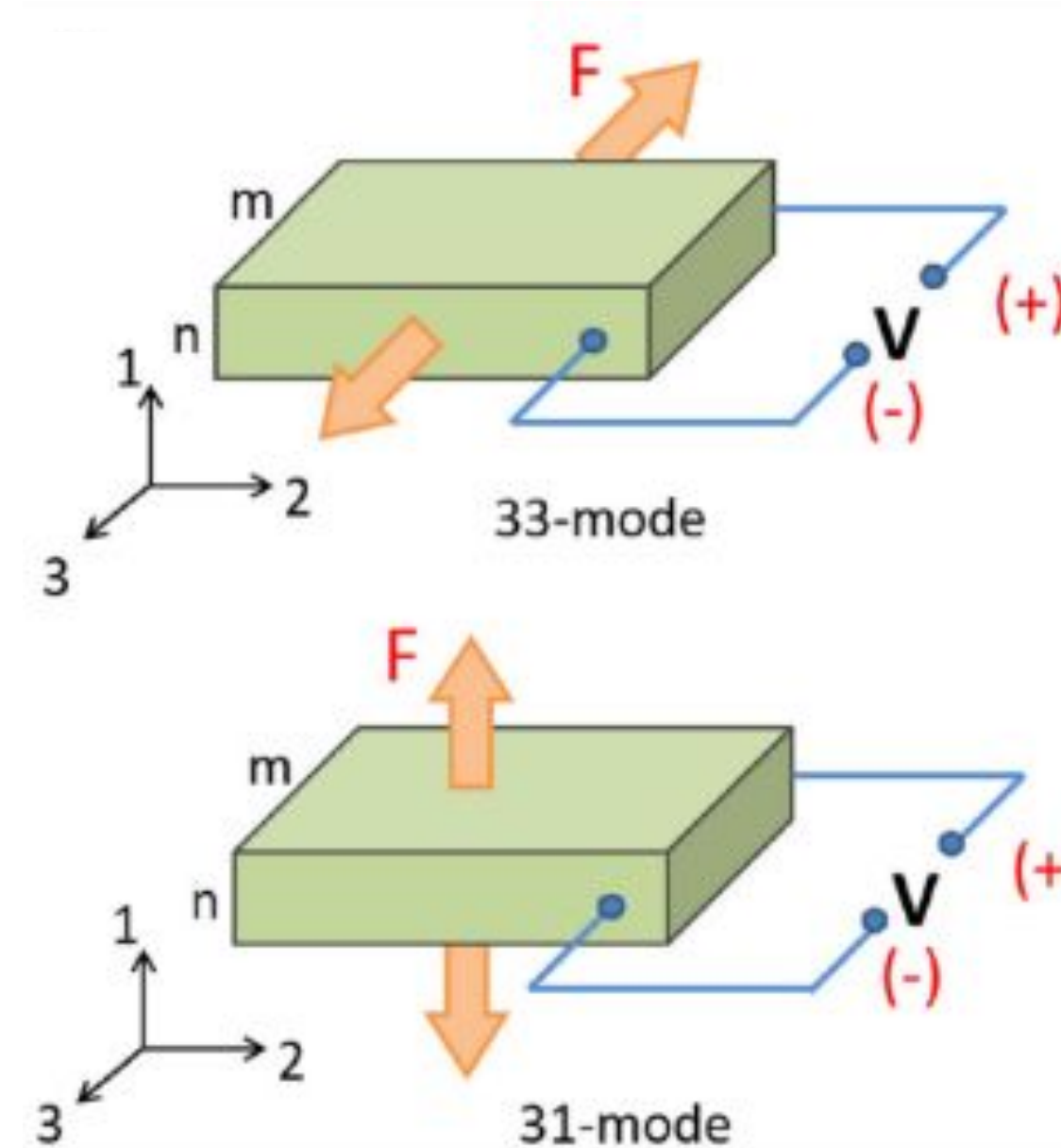


Cas film mince :  
 $\varepsilon_{33} \neq 0$ , autres termes nuls  
 $\sigma_{11} = \sigma_{22}$ , autres termes nuls

Les équations se simplifient alors en :

$$\begin{cases} \sigma = C_{1133} \cdot \varepsilon - \sum_k e_{k11} E_k \\ D_i = e_{i33} \cdot \varepsilon + \sum_k \kappa_{ik}^E E_k \end{cases}$$

### Vers les applications : Mode 33 et 31



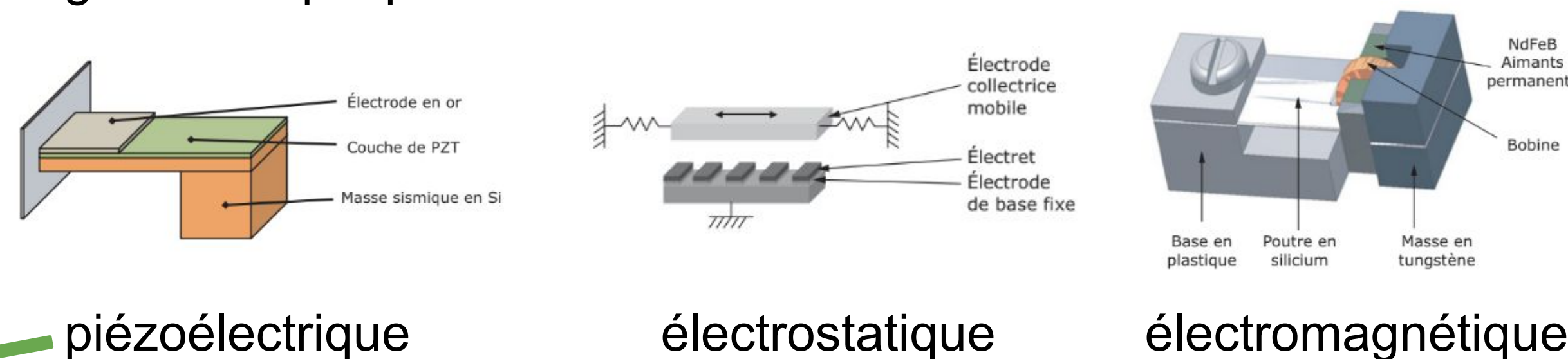
Matériau piézo utilisé dans les modes 33 et 31

## Applications

### Harvesting

**Principe** : récupération de l'énergie disponible dans l'environnement, pour la convertir en énergie électrique pour l'utilisation.

3 types de transducteurs :



**piézo** : architecture simple, haute densité d'énergie, flexibilité.

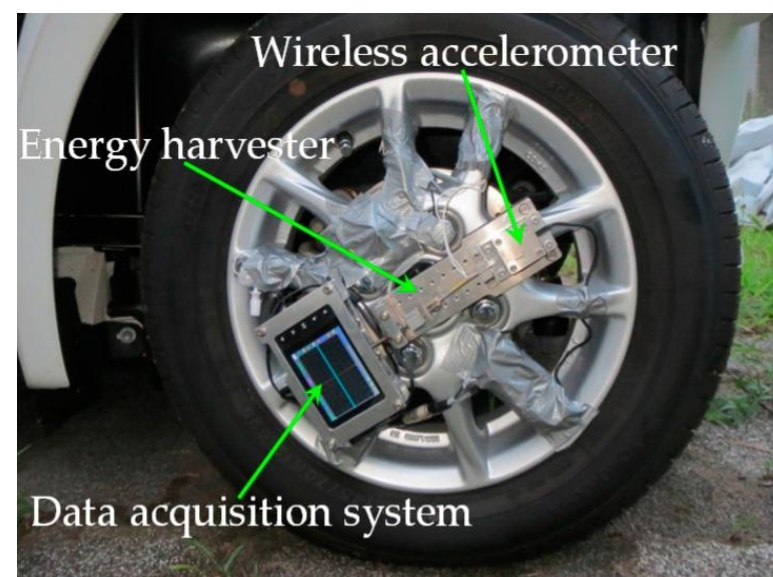
### Exemples

#### Vibro-wind :

Nouveau type d'éolienne, récupération de l'énergie du vent

- vitesse minimale de vents :  $2.3 \text{ m.s}^{-1}$  ( $< 9 \text{ m.s}^{-1}$  éolienne classique)
- Production :  $54 \text{ W (1m}^2 \text{, vents à } 10 \text{ m.s}^{-1})$
- même OG panneaux solaires

- Fonctionne la nuit et dans les zones urbaines.



#### Moteurs tournants :

Récupération de l'énergie de vibration des roues tournantes

- $2.10^{16} \text{ kJ}$  d'énergie perdue estimée chaque année aux EU
- Gamme de fréquences faible :  $1-100 \text{ Hz}$
- Rendement de 40% à 14mW

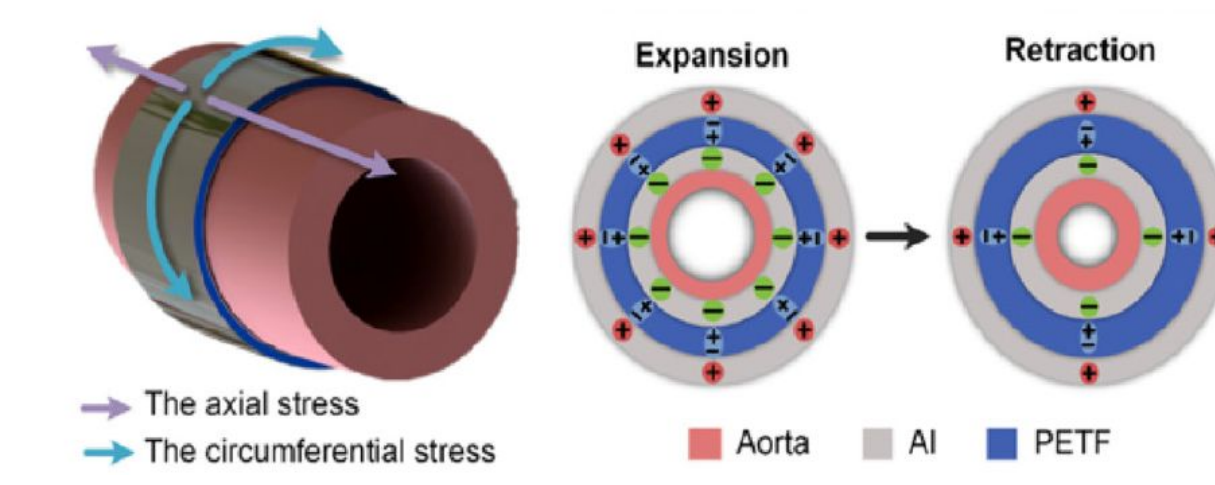
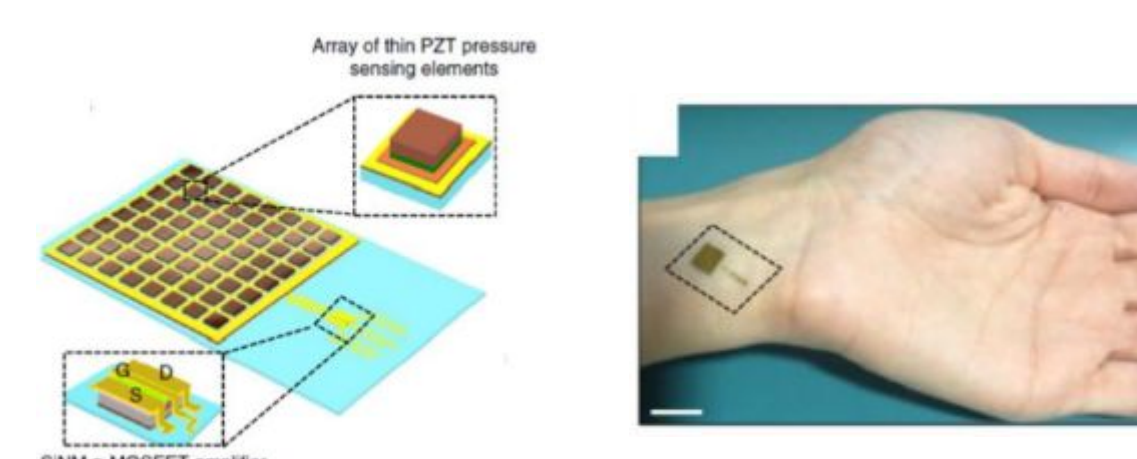
### Santé

Utilisation de la piézoélectricité dans le domaine de la santé.  
Autre types de matériaux que le BaTiO<sub>3</sub> : PZT et PVDF.

#### Capteurs :

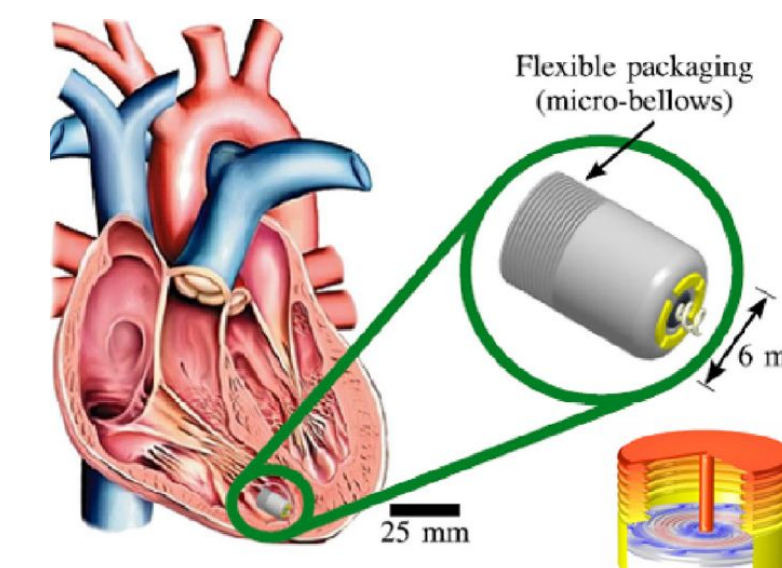
Capteurs extérieurs pour mesurer des constantes vitales (pression artérielle, rythme cardiaque)

- nouveaux systèmes légers et de faible taille : patches de PZT ou de PVDF
- films très fins : jusqu'à 400 nm



Capteurs *in vivo* pour cibler et contrôler un organe en particulier.

- Membranes fine de PVDF piézo → grande flexibilité requise
- Dispositif potentiellement très précis Compatible avec les paramètres physiologiques



#### Batteries :

Batterie génératrice piézo, qui fournit elle-même l'énergie requise en faisant du harvesting.

- moins d'opérations du patient pour changer la batterie, + de confort
- dispositifs mixtes de capteurs auto-suffisants, en combinant avec une batterie piézo

Ces innovations sont très actuelles et encore majoritairement à l'état de recherche

#### Sources :

- (1) Gaël Sebald. Nouveaux monocristaux à forte conversion piézoélectrique : croissance, modélisation et caractérisation. 2004.
- (2) Philippe Papet. Matériaux piézoélectriques : les céramiques oxydées à base de métaux de transition. 2012, Techniques de l'ingénieur.
- (3) Mines Paristech. Matériaux pour l'ingénieur, chapitre 7. 2020.
- (4) Huicong Liu et al. A comprehensive review on piezoelectric energy harvesting technology : Materials, mechanisms, and applications. 2018, <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5074184>
- (5) Claire Jean-Mistral, Skandar Basrour. Récupération de l'énergie des vibrations mécaniques pour récupérer de l'électricité. 2010.
- (6) JM Kluger, FC Moon, RH Rand. Shape optimization of a blunt body Vibro-wind galloping oscillator. 2013.
- (7) Camille Thevenot. Elaboration de membrane polymères piézoélectriques souples en vue d'applications biomédicales. 2017, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01807762>

