

# Nanogénérateur d'électricité à base de nanofils de ZnO

Y. Leprince-Wang

yamin.leprince@univ-paris-est.fr

*Laboratoire de Physique des Matériaux Divisés et Interfaces  
(LPMDI-CNRS UMR 8108)*

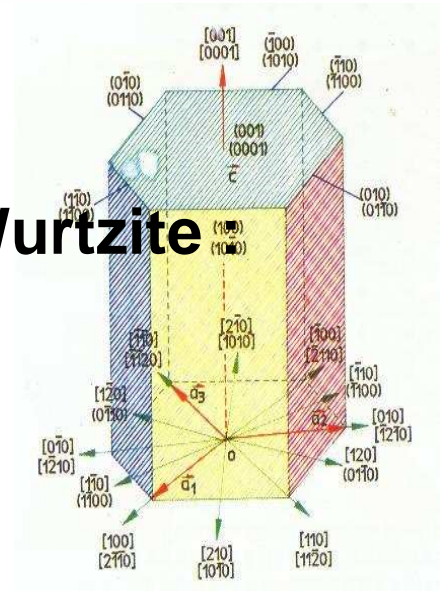
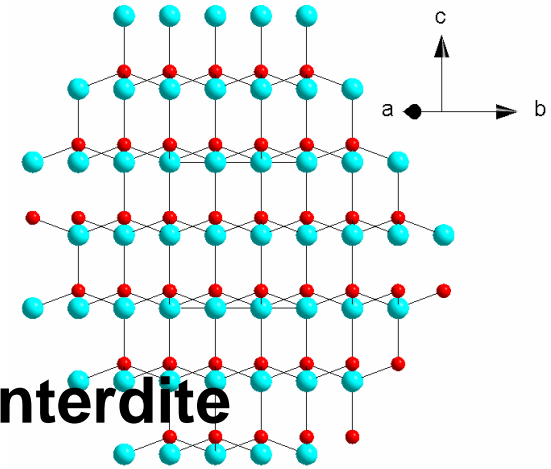


# Introduction

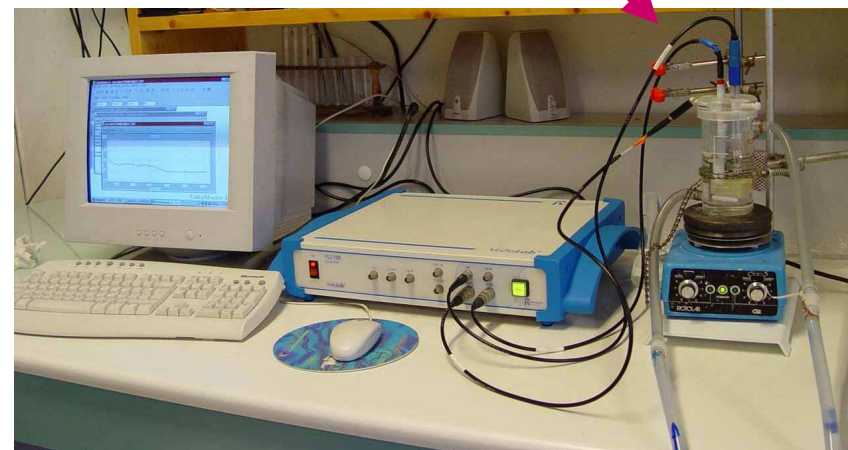
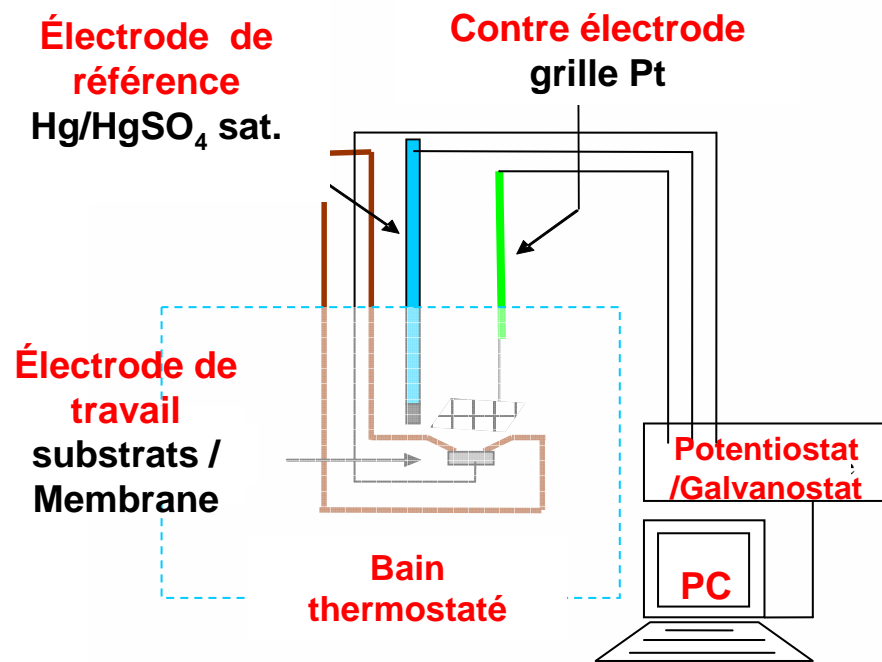
## ZnO

- Semi-conducteur II-VI à grande bande interdite (3,37 eV ou 368 nm).
- Zincite à l'état naturel,
- Structure hexagonale compacte du type Wurtzite  
 $a = 0,325 \text{ nm}$  et  $c = 0,512 \text{ nm}$ .

- Méthodes d'élaboration : PVD, CVD ;  
Sol-gel, Electrodéposition.
- Applications : Opto-électronique, Catalyse,  
Capteurs de gaz, ...



# Elaboration de ZnO



- ❖ Cellule classique électrochimique à trois électrodes pour l'élaboration des couches minces et des nanofils de ZnO.

## ❖ Electrolyte :

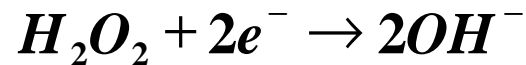
- 0.1 M KCl
- 5 mM ZnCl<sub>2</sub>
- 5 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%)

## ❖ Conditions expérimentales :

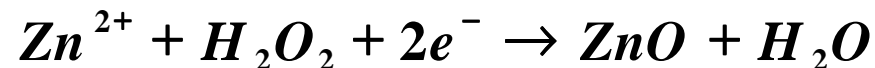
- Température: T = 70°C.
- Substrats: Disques métalliques (couches minces)  
Membranes de polycarbonate (nanofils).
- Contre électrode: Grille - Pt.

## ❖ Mécanisme électrochimique :

1. La réduction du peroxyde d'hydrogène mène à la formation des ions hydroxyde :

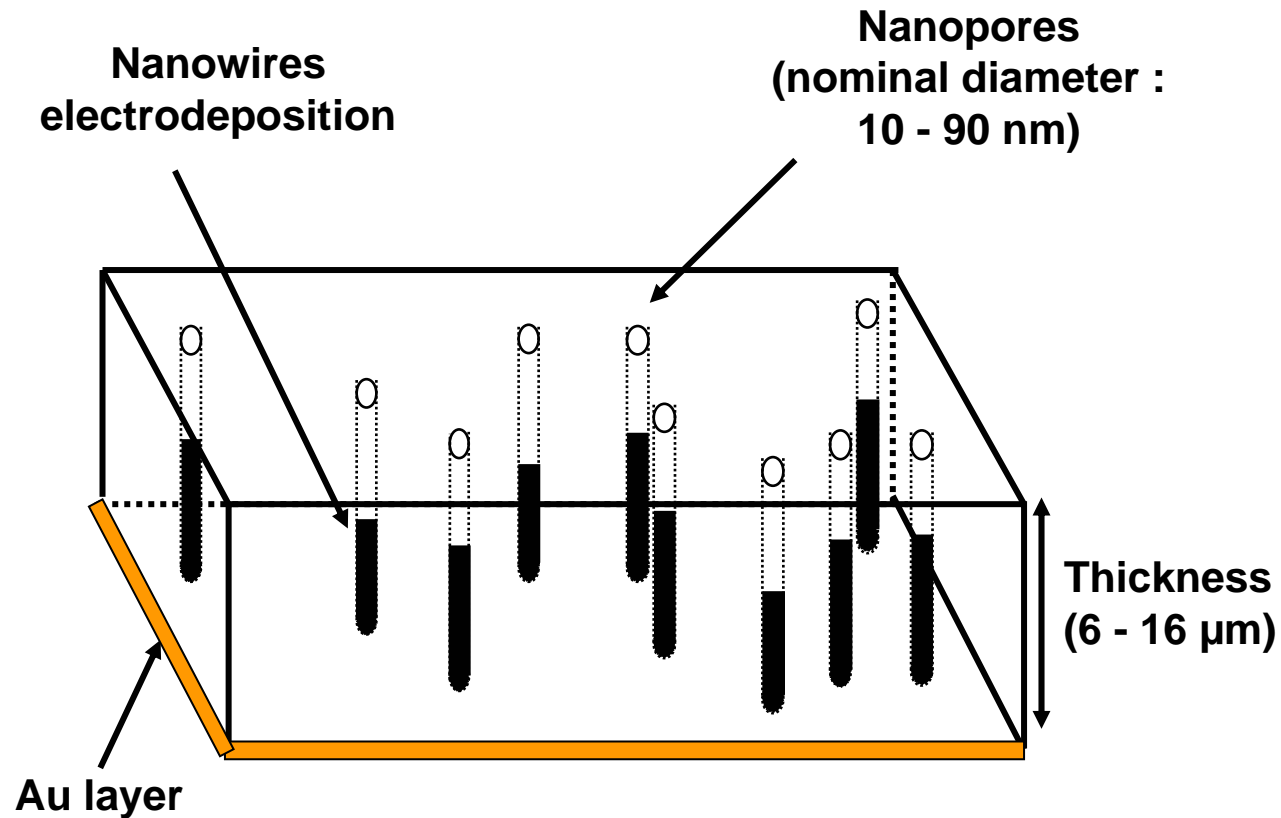


2. La réaction globale de dépôt de ZnO en présence de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> peut être résumée ainsi :



# Elaboration des nanofils

## ❖ Méthode Template

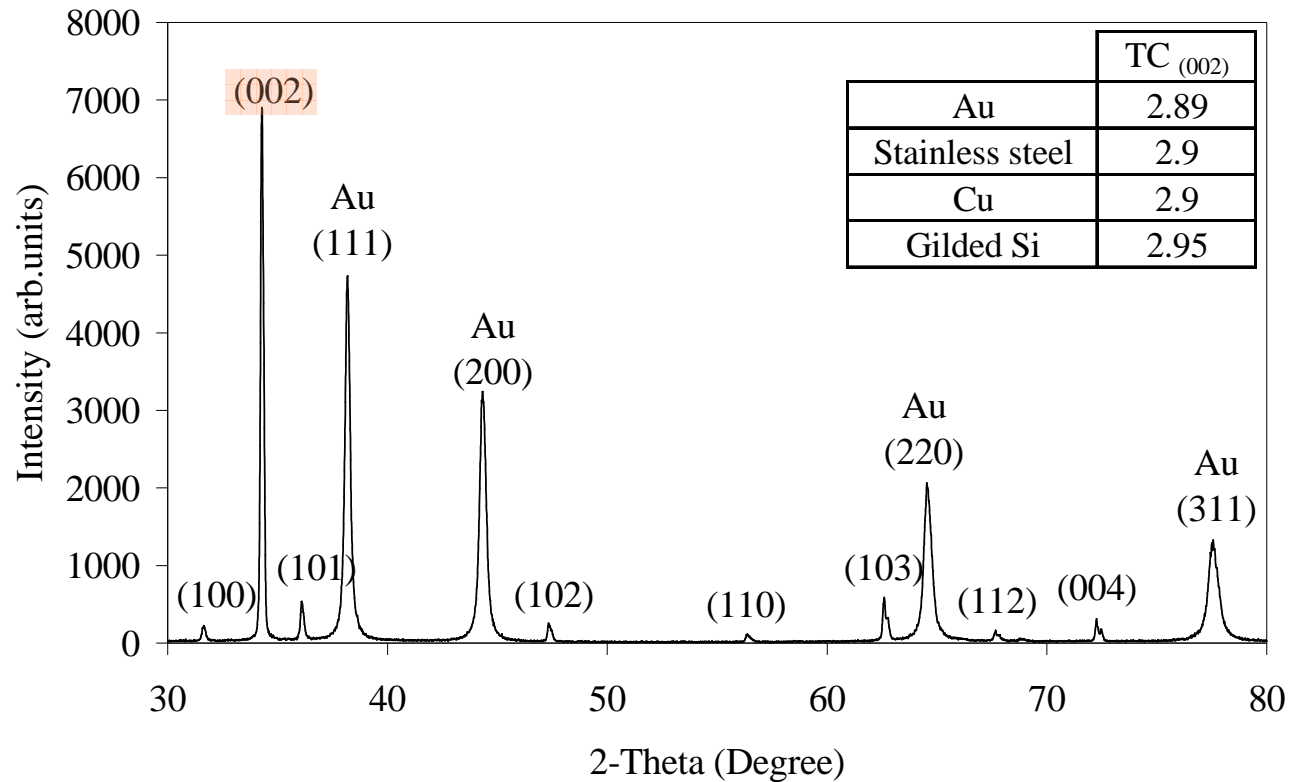


## ❖ Membranes de polycarbonate

Type de membrane	Diamètre des pores (nm)		Densité de pores (pores/cm <sup>2</sup> )	Épaisseur de la membrane (μm)	Δd/d <sub>0</sub> (%)
	Nominal (d <sub>0</sub> )	Expérimental (d)			
<b>M90</b>	90	~ 150	1 × 10 <sup>9</sup>	16	~ 67%
<b>M60</b>	60	~ 100	2 × 10 <sup>9</sup>	16	~ 67%
<b>M30</b>	30	~ 60	2 × 10 <sup>9</sup>	16	~ 100%
<b>M10</b>	10	~ 30	6 × 10 <sup>8</sup>	6	~ 200%

# Résultats sur couches minces ZnO

## DRX



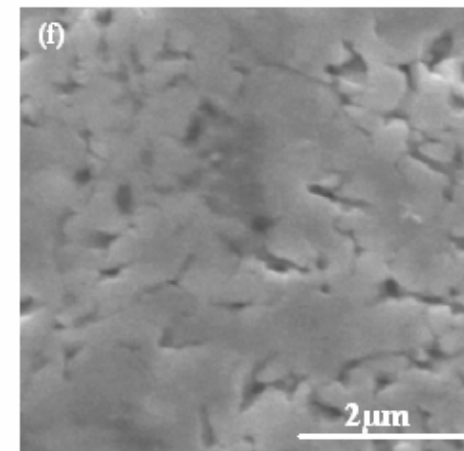
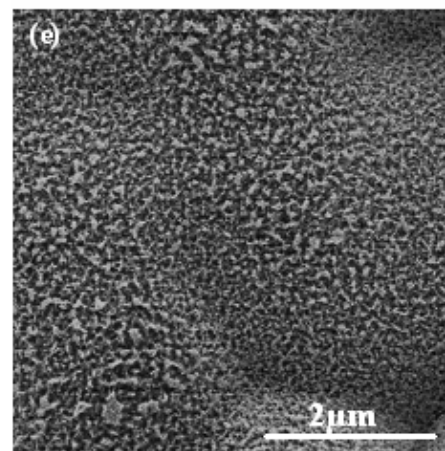
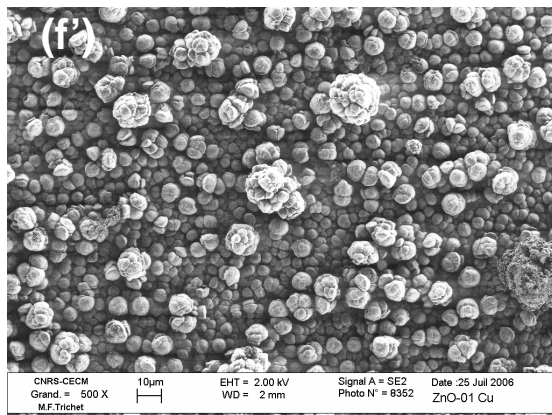
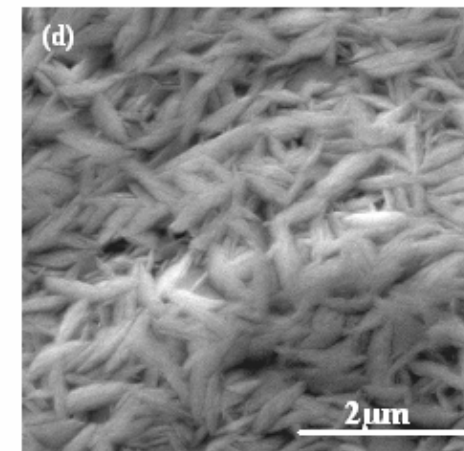
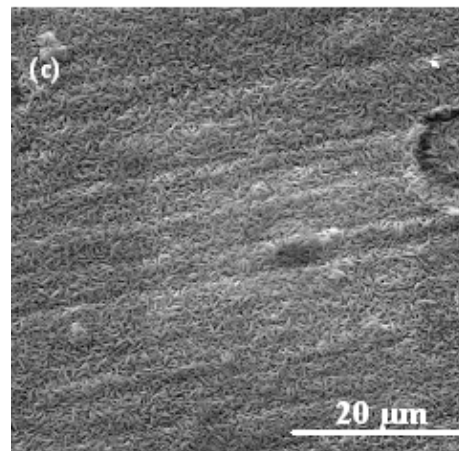
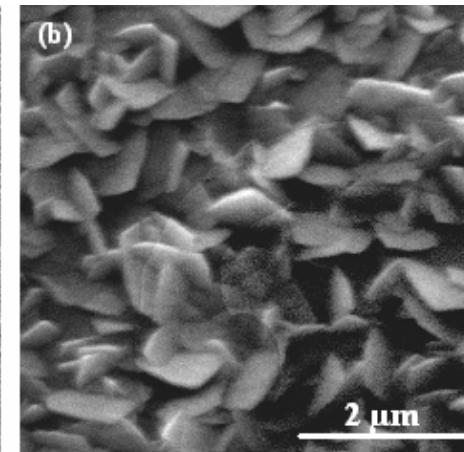
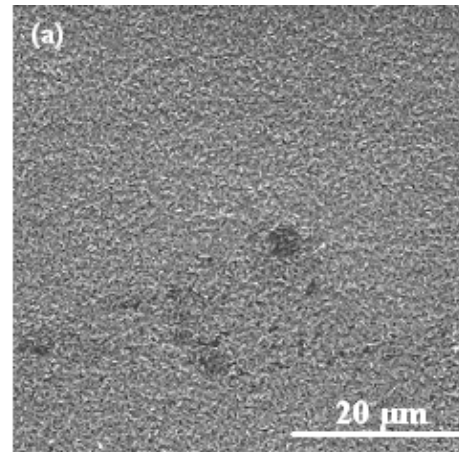
*Le spectre de DRX d'un film de ZnO électrodéposé sur Au.*

*ZnO : élaboration facile par électrochimie ;  
aspect transparent (couche mince) ;  
une excellente adhérence entre le dépôt et le substrat.*

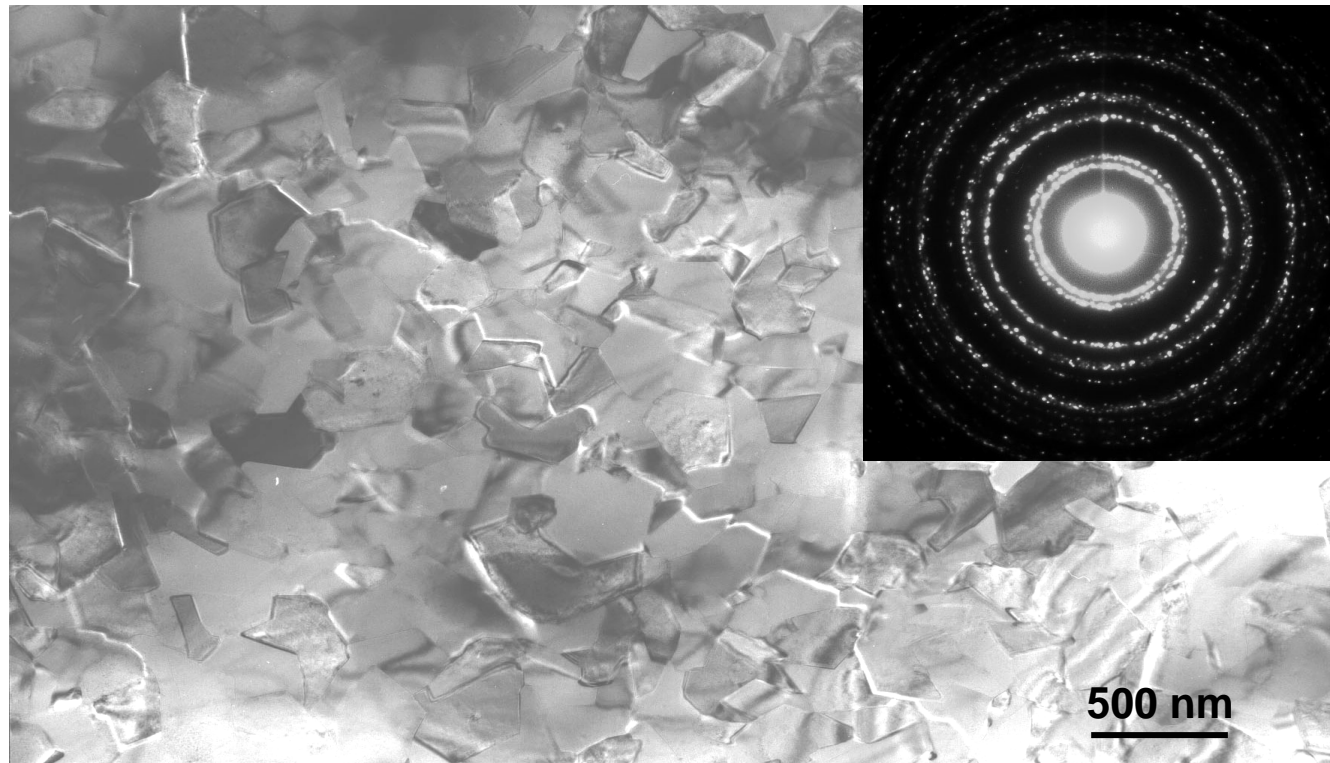
# MEB

## Substrats :

- (a) & (b) Si doré ;
- (c) & (d) Au polycristallin ;
- (e) Inox ;
- (f) & (f') Cu.

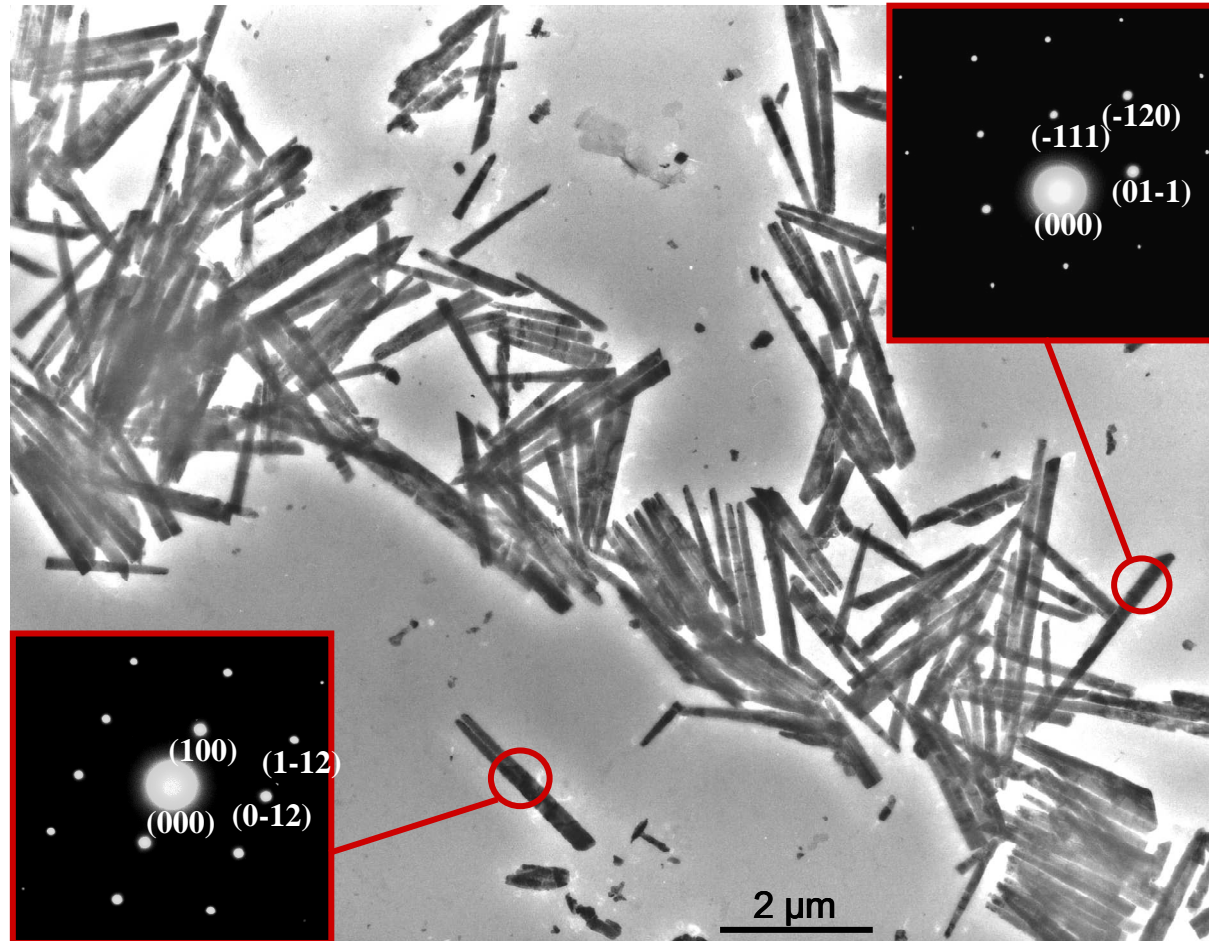


# TEM

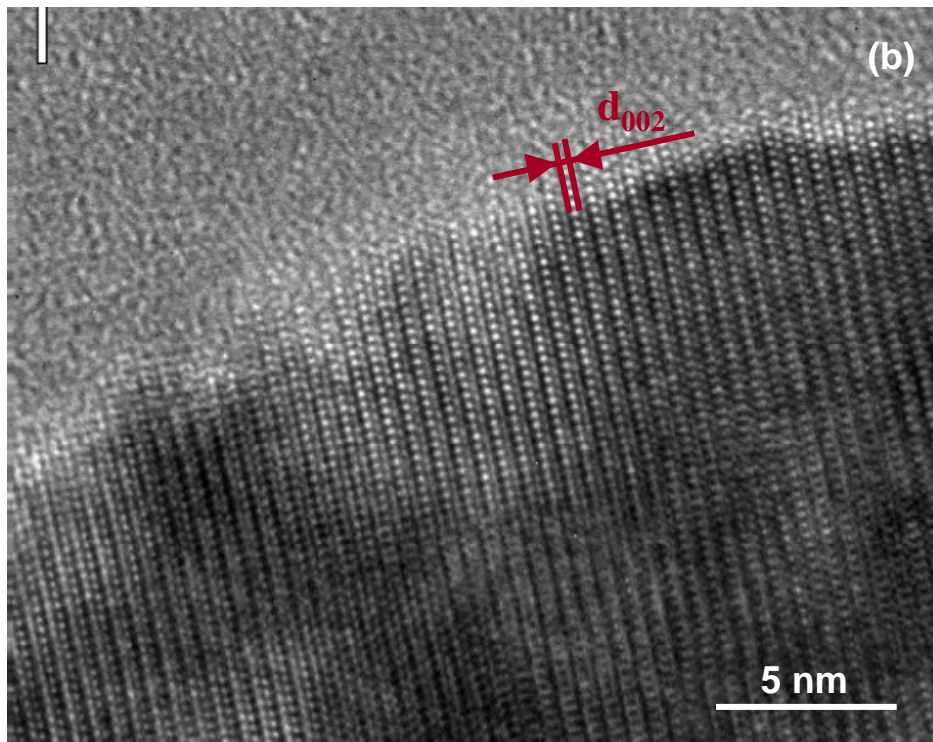
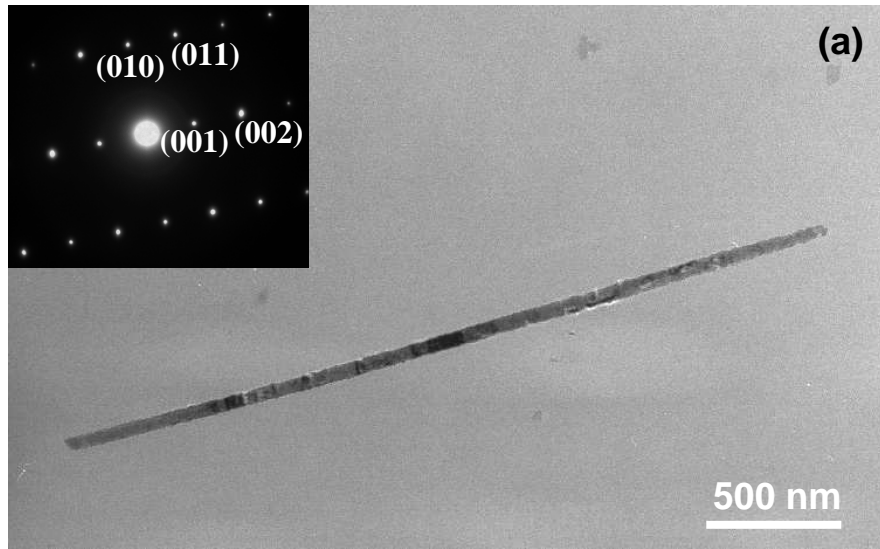


Plan view TEM image and electron diffraction pattern of electrodeposited ZnO thin film showing a polycrystalline structure with a grain size various from 100 to 300 nm.

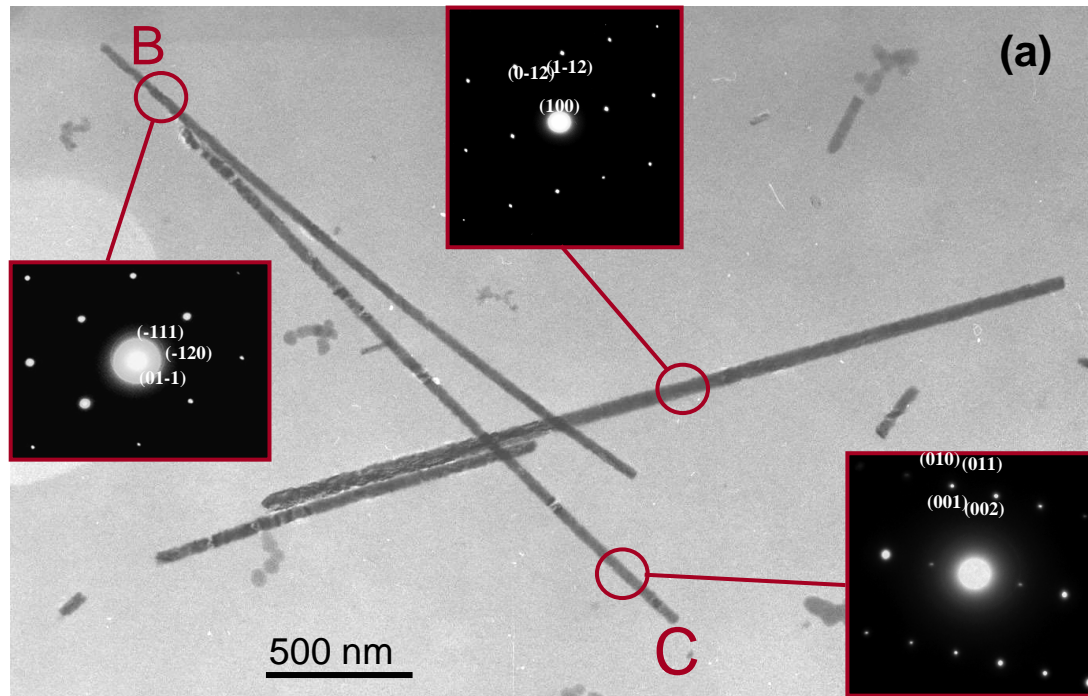
# Résultats sur nanofils ZnO



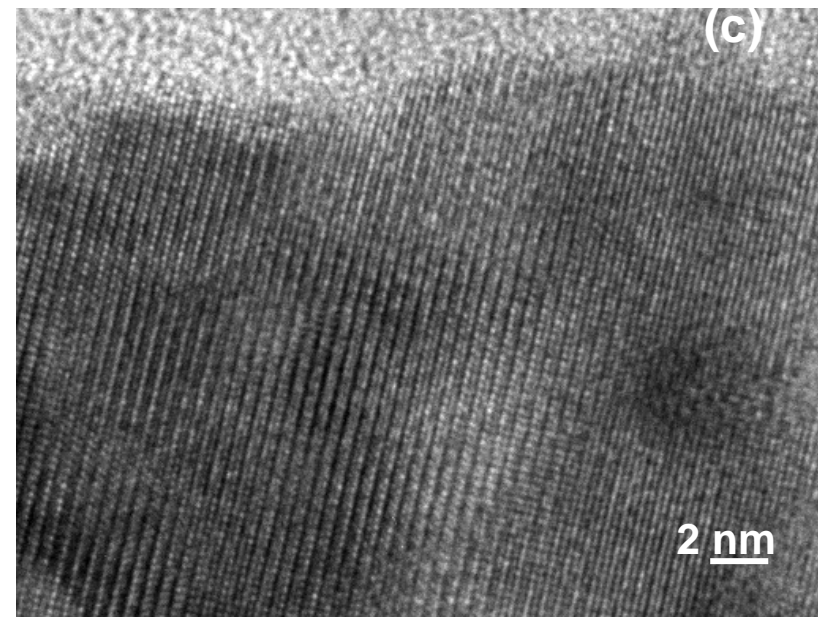
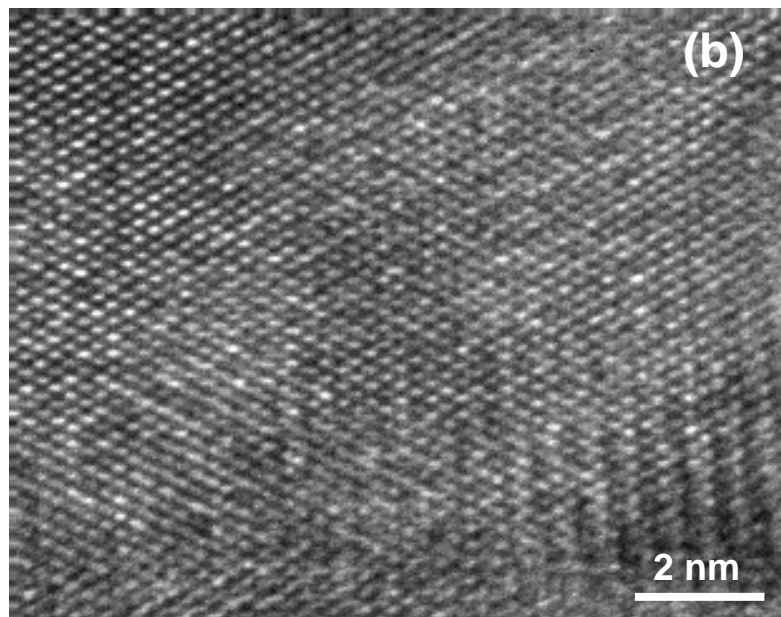
Images TEM montrent les vues générales des nanofils de ZnO électrodéposé (type **M90**).



Images TEM (a) et HRTEM (b) d'un nanofil monocristallin de type **M30** montrent la direction de croissance proche de l'axe  $c$ .



Nanofils **M10**



# « Conception d'un dispositif de récupération d'énergie ambiante à base de nanofils de ZnO »

## \* *Problématique :*

Dispositifs miniaturisés → réaliser les implants

→ autonome & longue durée

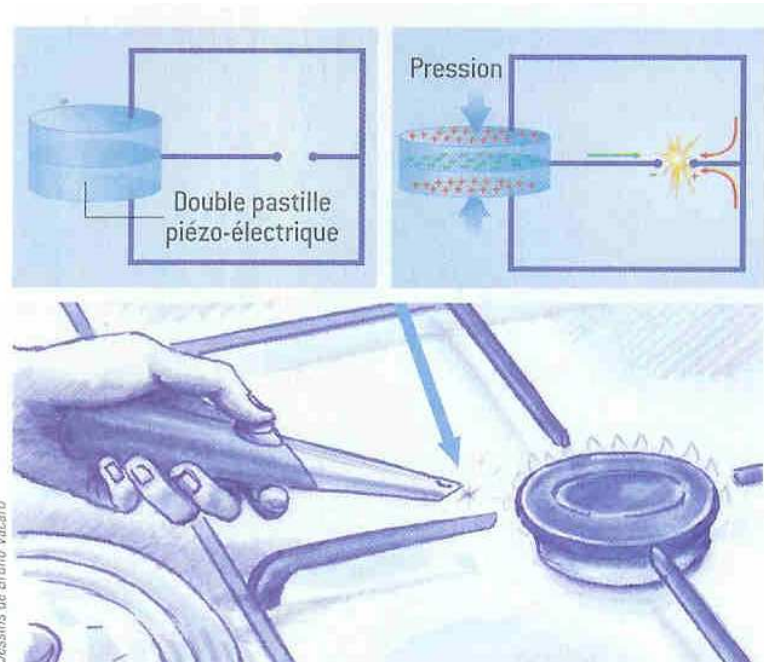
*Énergie ?*

**Convertir l'énergie ambiante en énergie électrique.**

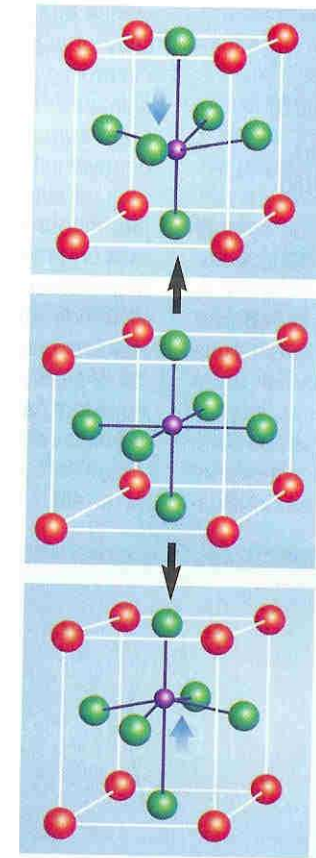
**Effet piézoélectrique** → convertisseur mécano–électrique basé sur les propriétés vibrationnelles de nanofils de ZnO.

**Choix de ZnO : ... piézoélectricité & biocompatibilité.**

**Piézoélectricité** : la propriété qu'ont certains matériaux à se polariser sous l'action d'une contrainte (*effet direct*) et, réciproquement, à se déformer sous l'action d'un champ électrique (*effet inverse*).



Exemple :  
un allume-gaz.



## Élaborations de ZnO en milieu confiné dans un réseau à géométrie contrôlée.

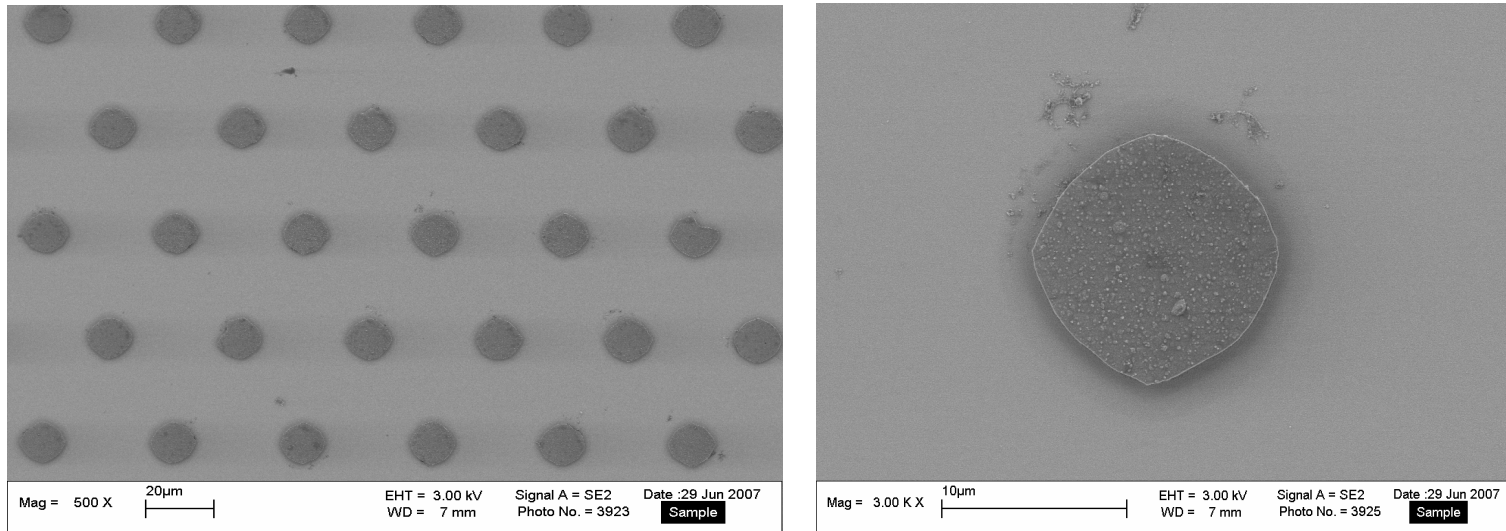
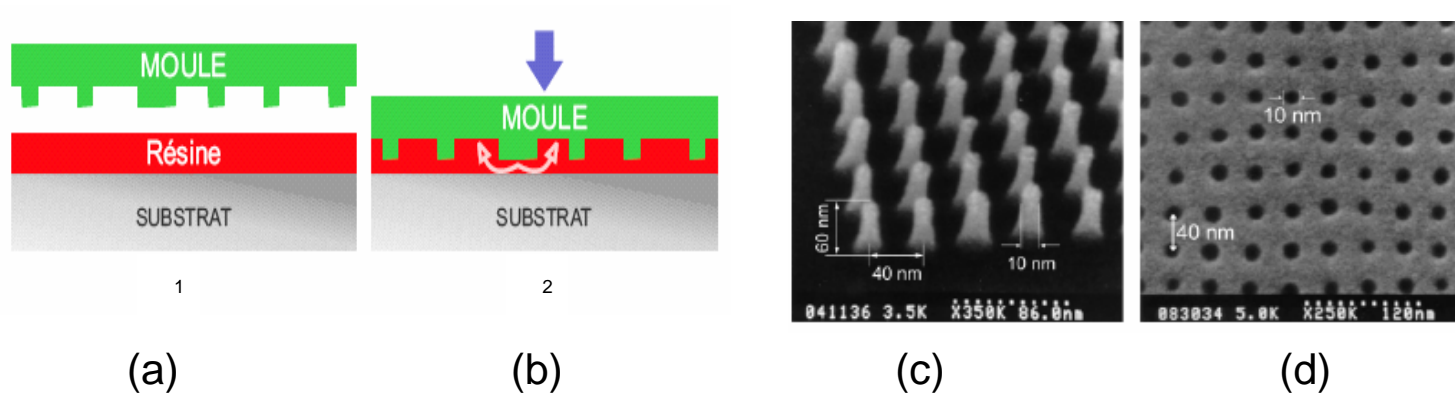


Image MEB de domaines ( $\sim 10 \mu\text{m}$ ) de ZnO électrodéposé via méthode "Template".

**→ 1  $\mu\text{m}$ , masque en cours**

## Limite de lithographie optique → Nanoimpression

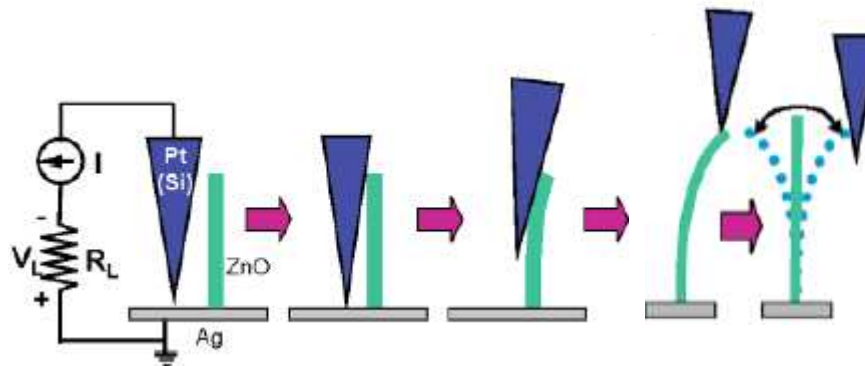


### Principe de la nanoimpression.

- (a) Différents éléments nécessaires à la nanoimpression,  
(b) Application d'une pression, (c) Micrographe du moule  
et (d) Un exemple de résine structurée.

**Collaboration avec l'équipe Y. Chen du LPN - Marcoussis**

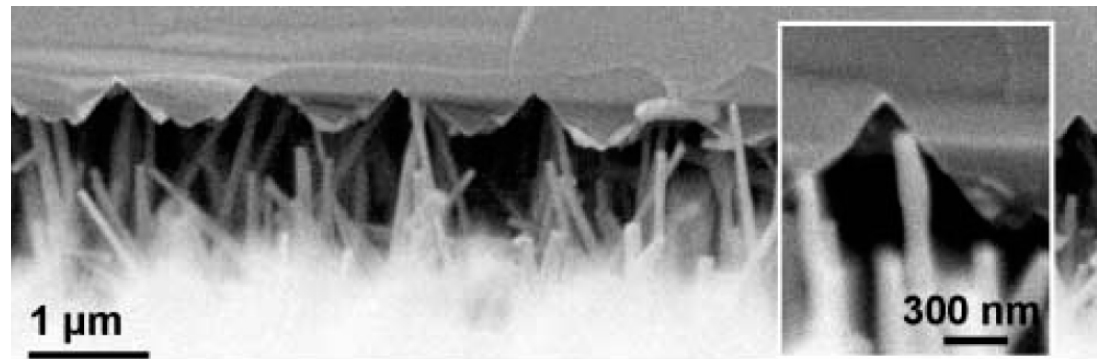
## Piézoélectricité des nanofils de ZnO :



Mise en évidence des propriétés piézoélectriques à des échelles nanométriques

(ZL. WANG, Georgia Tech. USA)

1 nanofil de ZnO  $\rightarrow$   $\sim 10$  mV (force nécessaire  $\sim$  nanoNewton / nanofil)



Signal collectif :  $\sim 10$  mW,  $\sim 800$  nA /  $\sim 6 \text{ mm}^2$

## Nanogénérateur d'électricité à base de nanofils de ZnO

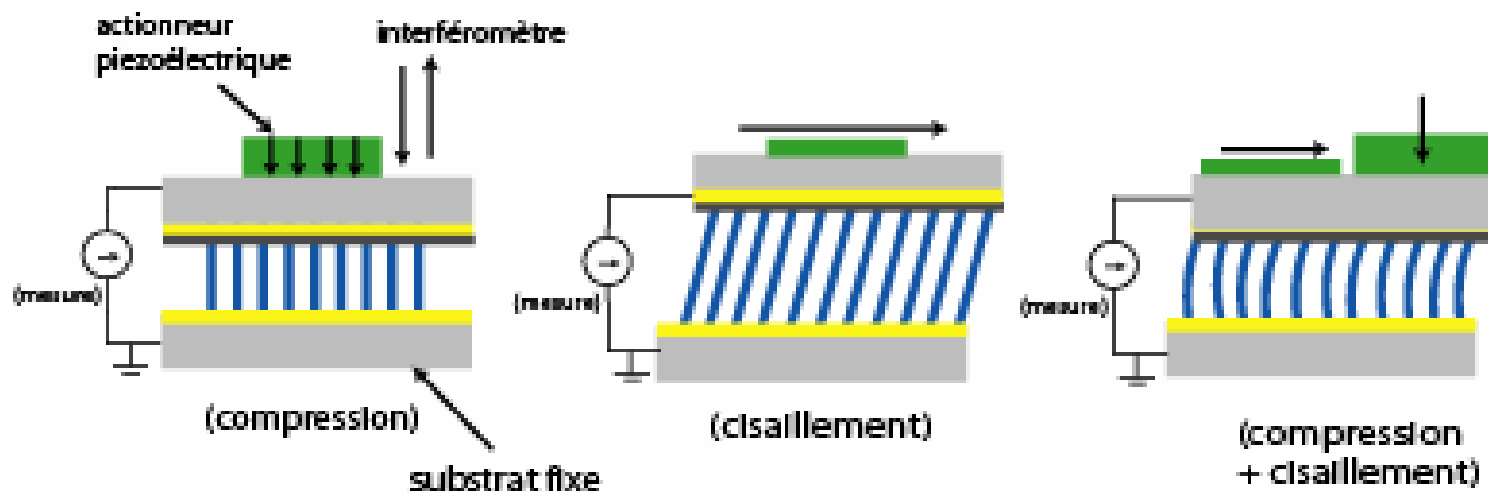
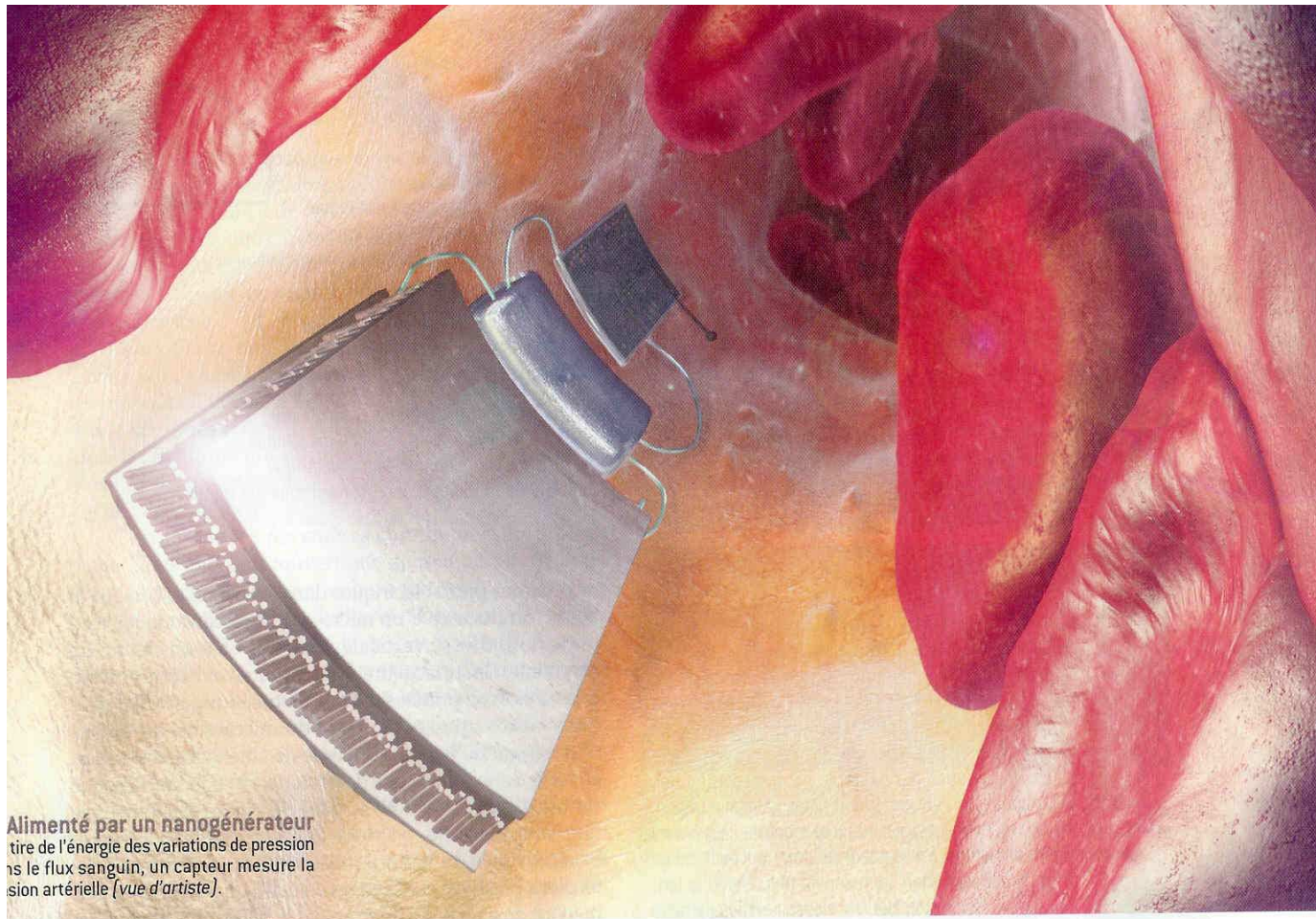


Schéma de prototype de nanogénérateur par effet piézoélectrique et différents modes de sollicitation envisagée pour produire de l'énergie électrique à partir d'un réseau de nanofils ZnO à croissance contrôlée.

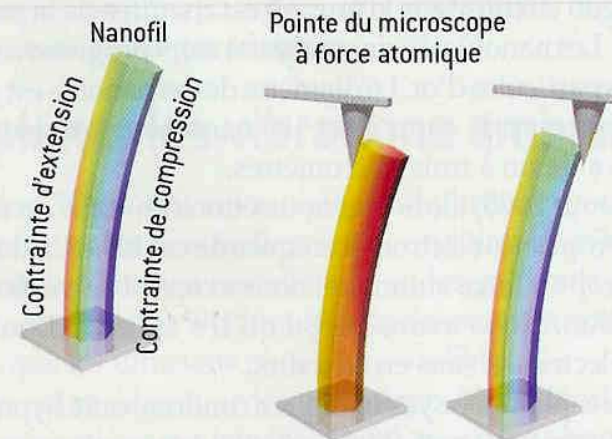
**Merci de votre attention !**



***Alimenté par un nanogénérateur à partir de l'énergie des vibrations de pression  
Dans le flux sanguin, un capteur mesure la tension artérielle (vue d'artiste).***

## Des vibrations à l'électricité

Un nanogénérateur (*ci-dessous*) est constitué d'un réseau de nanofils d'oxyde de zinc verticaux, au-dessus duquel est posée une électrode dont la surface inférieure est rainurée. Les nanofils possèdent à la fois des propriétés piézo-électriques et des propriétés semi-conductrices. Lorsque l'électrode se déplace d'un côté à l'autre, en réponse à des vibrations ou des ondes acoustiques par exemple, la déformation des nanofils engendre un courant électrique. Dans cette illustration, le signal de sortie est emmagasiné dans un condensateur (*cylindre*) et envoyé périodiquement à un capteur (*en vert*), qui peut mesurer la concentration sanguine en glucose ou la tension artérielle. Un minuscule émetteur radio transmet les résultats des mesures.



Lorsque les nanofils piézo-électriques sont courbés d'un côté puis de l'autre, les contraintes mécaniques s'exerçant sur leurs côtés engendrent une tension électrique alternative. Les nanofils semi-conducteurs et l'électrode conductrice redressent cette tension alternative et délivrent un courant continu.

## Combien d'énergie votre corps produit-il ?

### Flux sanguin

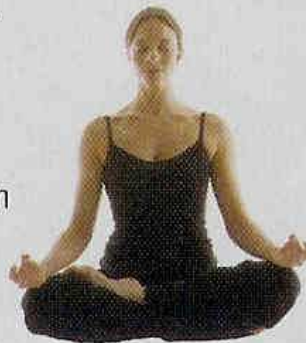
0,93 watt de puissance mécanique  
0,16 watt de puissance électrique  
0,16 joule d'énergie électrique par pulsation

### Expiration

1 watt de puissance mécanique  
0,17 watt de puissance électrique  
1,02 joule d'énergie électrique par expiration

### Inspiration

0,83 watt de puissance mécanique  
0,14 watt de puissance électrique  
0,84 joule d'énergie électrique par inspiration



### Membres supérieurs

3,00 watts de puissance mécanique  
0,51 watt de puissance électrique  
2,25 joules d'énergie électrique par mouvement

### Marche

67,00 watts de puissance mécanique  
11,39 watts de puissance électrique  
18,90 joules d'énergie électrique par pas

### Doigts frappant les touches d'un clavier

6,9-19,0 milliwatts de puissance mécanique  
1,2-3,2 milliwatts de puissance électrique  
226-406 microjoules d'énergie électrique par frappe

