

Colloque Hauts de France Universités

« *Transition Energétique et Universités : enjeux, défis, forces et structuration* »

**Matériaux fonctionnels organiques, inorganiques, composites
Pour l'énergie.**

Prof. Denis Rémiens



24 mai 2024, Polytech Lille, Université de Lille

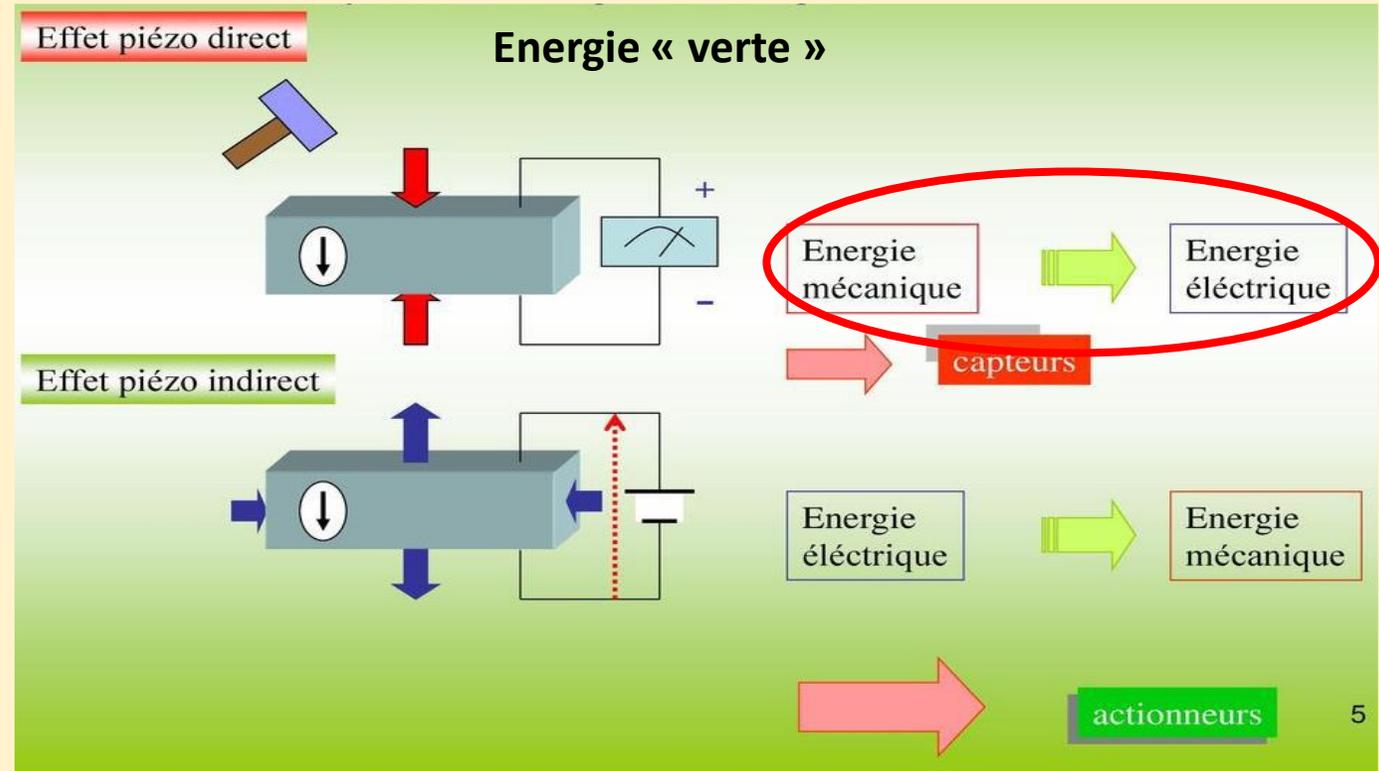
Matériaux → Energie Très vaste sujet

Choix: matériaux piézoélectriques

Conversion vibration mécanique en énergie électrique

La piézoélectricité consiste à transformer un mouvement mécanique en électricité

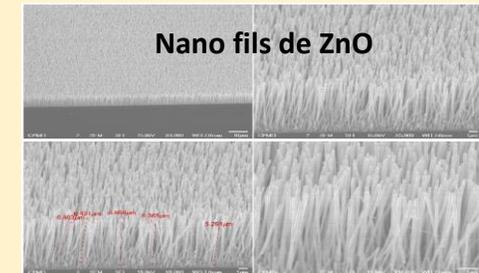
La piézoélectricité (du grec « piézein » presser, appuyer) découverte en 1880 par les frères Pierre et Jacques Curie est une propriété que possèdent certains corps de se polariser électriquement sous l'action de forces mécaniques (effet direct) et réciproquement de se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique (effet inverse)



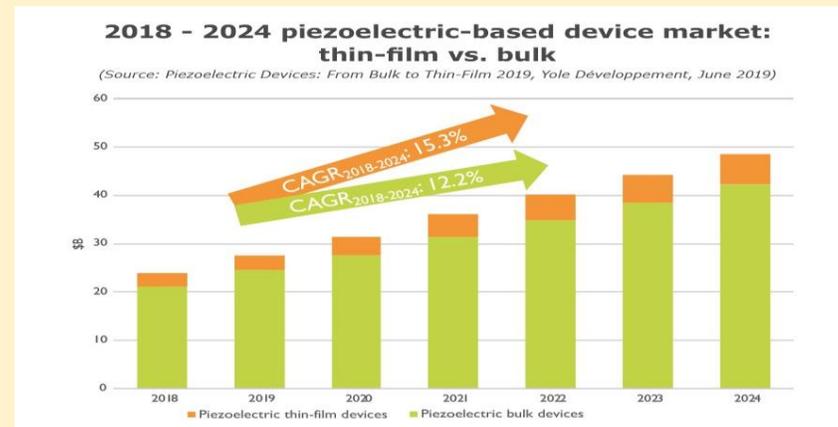
Stratégie écoresponsable: on transforme en énergie des vibrations mécaniques « perdues »

Les matériaux:

- Organiques: PVDF, PVDF-TrFE, polymères bio-sourcés comme PLA,.. souple, synthèse basse température, compatible micro électronique flexible. Faible coef. piézo, incompatible environnement sévère,...
- Inorganiques: ZnO, BaTiO₃, PZT, PMN-PT,..... Monocristaux, Céramiques, films, nano fils. Fort coef. piézo, compatible haute température (T_c)
- Composites: Inorganique/Organique: polymères chargés de nano particules piézo,.....



Selon Yole développement, cabinet d'étude de marché sur le domaine des technologies avancées du semi-conducteur, le marché mondial des dispositifs piézoélectriques a été estimé à plus de 23 milliards de dollars en 2018 et un doublement est attendu pour 2024.



Les dispositifs fabriqués à base des matériaux piézoélectriques « bulk » (céramiques ou monocristaux) constituent une grande partie du marché (environ 20 milliards de \$). De plus, on prévoit une croissance considérable dans les prochaines années avec un taux de croissance annuel de 12,2% entre 2018 et 2024.

Le meilleur matériau piézoélectrique en terme de coef. piézo est le PZT ($\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$)

MAIS IL CONTIENT DU PLOMB QUI EST UN ELEMENT TOXIQUE

Décision de la commission européenne: Le concept RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances) depuis 2006, exige que bons nombres d'équipements électriques et électroniques ne doivent plus contenir une concentration en poids atomique de plus de 0,1% de Pb, Me, Cr (hexavalent) etc, à cause de leur dangerosité pour l'environnement.

Quelques exceptions où la concentration en poids en Pb de plus de 0,1% est tolérée :

- Soudures, verres de tube cathodique, tube fluorescent, pièces électroniques en céramiques



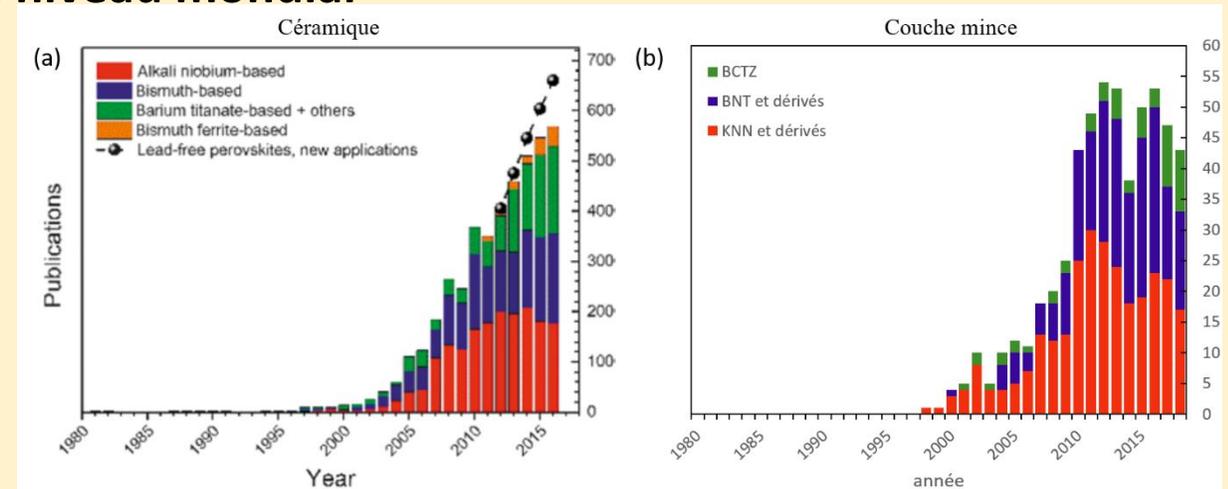
Recherche de nouveaux matériaux inorganiques sans plomb avec des performances similaires au PZT:

C'est une « course » au niveau mondial

Green piezoelectric materials:

ZnO, BaTiO₃, BNT (Bi,Na)TiO₃,
BNT-BT(BaTiO₃), BNT-BKT (K= Potassium),
KNN (N= Niobium), BCTZ (C=Ca, Z= Zr)

Tout comme le PZT ces matériaux présentent des structures de type Perovskite



A ce stade des recherches, on ne peut pas dire que l'équivalent du PZT a été trouvé. Les meilleurs candidats sont: **BNT, BNT-BT et KNN.**

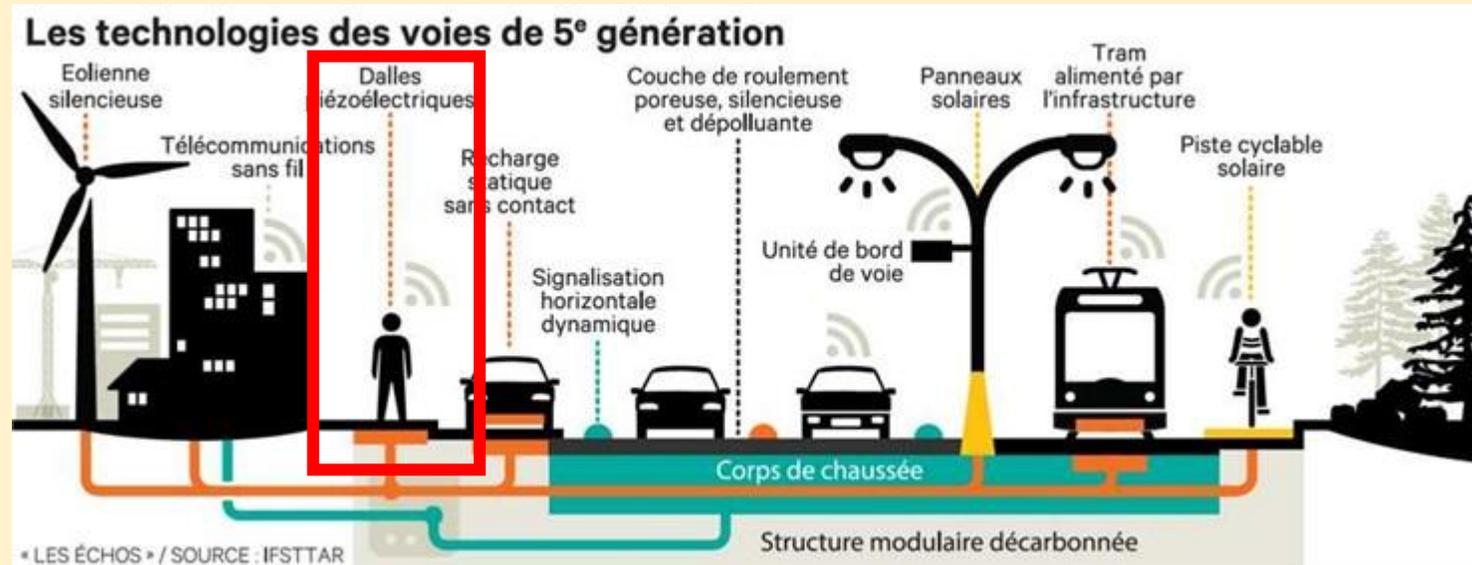
Exemples d'applications: smart city

Applications dans l'environnement urbain

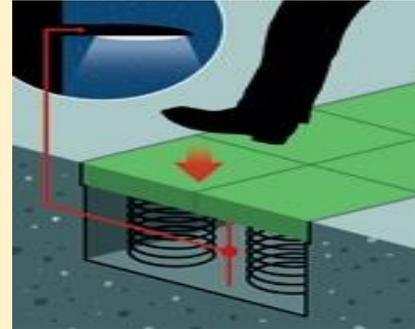
Le besoin électrique des infrastructures routières est très important :

La consommation annuelle d'énergie liée à l'éclairage en France est de 56 TWh. L'éclairage représente 19 % de la consommation électrique mondiale et environ 6 % des émissions de gaz à effet de serre.

La piézoélectricité pourrait produire de l'électricité et alimenter ces différentes infrastructures : dalles piézoélectriques sur les trottoirs pour alimenter des foyers lumineux, bruits de la ville convertis en électricité grâce à des panneaux publicitaires équipés de capteurs acoustiques piézoélectriques et qui permettent de recharger les véhicules électriques.



A Toulouse, un trottoir produit de l'électricité,....

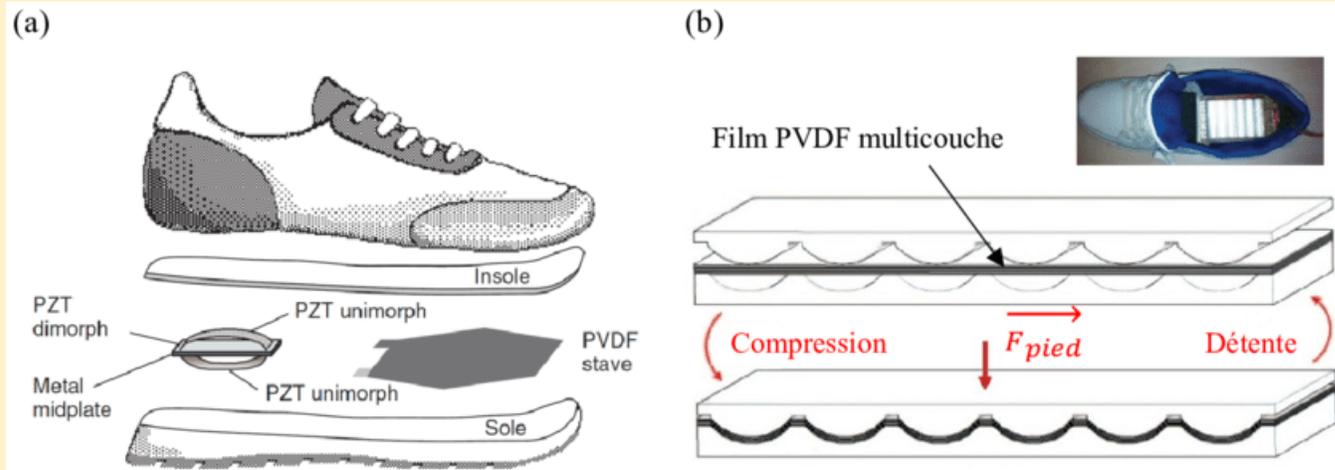


des dalles transforment l'énergie cinétique produite par le poids des piétons et des vélos en énergie renouvelable. Chaque pas fournit ainsi entre 4 à 7 watts en fonction du poids.



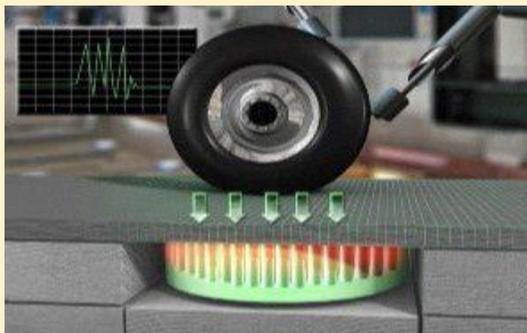
200 plaques, qui ont été installées sous la pelouse artificielle du terrain, alimentent ainsi six projecteurs LED du terrain de football.

Eclairage rue piétonne, boîte de nuit, piste cyclable, stade de foot...

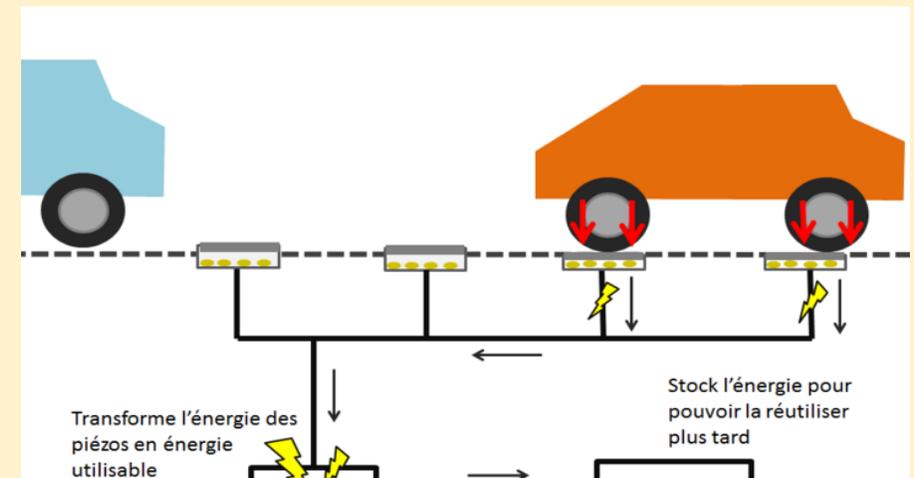


Raquette de tennis avec cordage piézo

L'énergie récupérée permet d'alimenter son iphone



Intégration de dalles piézo sur la route



Autoroute piézoélectrique



Technologies au service de l'IoT sans batterie

Micro-générateurs d'énergie miniatures accessibles à partir de faibles mouvements



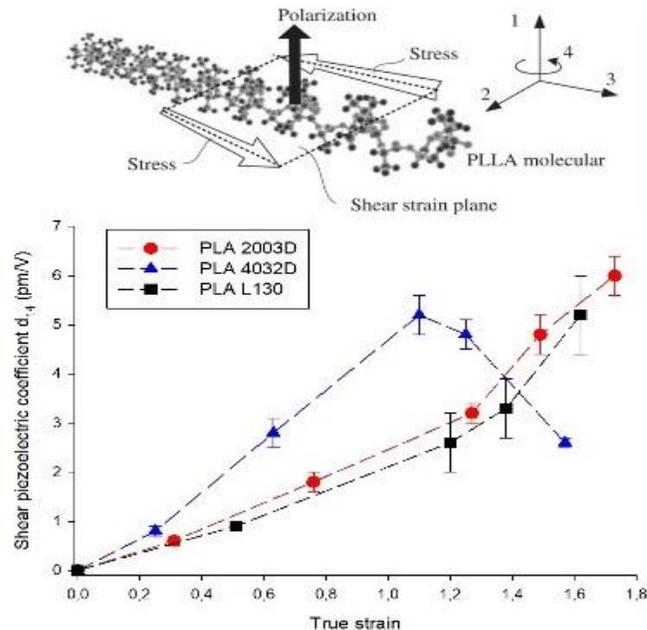
Le développement rapide des objets connectés est aujourd'hui ralenti par le problème de leur alimentation en énergie. Aujourd'hui, **plus de 30 milliards de « piles boutons »** sont vendues dans le monde chaque année, ce qui représente un important impact environnemental et pose la question du recyclage.

La société **EnerBee Technology**, fabrique des générateurs électriques miniatures en France sur sa propre ligne de production, elle cible un marché très large de plusieurs milliards d'objets connectés à internet ou communicants sans fils tels que les dispositifs portables médicalisés ou sportifs, les montres, les maisons et bâtiments intelligents, etc. Cette entreprise a su utiliser à profit la piézoélectricité avec ce micro générateur d'énergie renouvelable, mais la piézoélectricité (et des matériaux magnétiques) est utilisée pour de nombreux autres projets novateurs.

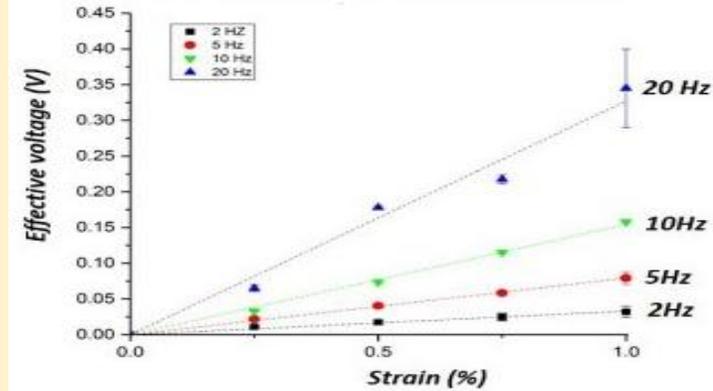
Le matériau piézoélectrique permet au dispositif de générer de l'énergie, peu importe la vitesse de mouvement. Le matériau magnétique permet au générateur d'être actionné par des mouvements à très faibles couples.



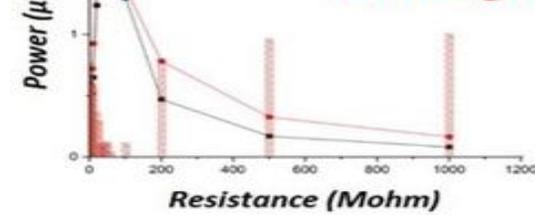
Production de PLA piézoélectrique & caractérisations structurales



Capteurs de déformation, de vibration et d'impact



Micro-générateurs d'énergie



ANR TILPAC

- Towards an Industry compatible high performances **Lead free Piezoelectric thin film material for MEMS **AC**tuator applications**
- Partenaires: CEA-LETI, ISCR, IEMN – site de Valenciennes et INL
- Date de début du projet : 15/01/2023
- Durée : 36 mois

BNT, BNT-BT, KNN

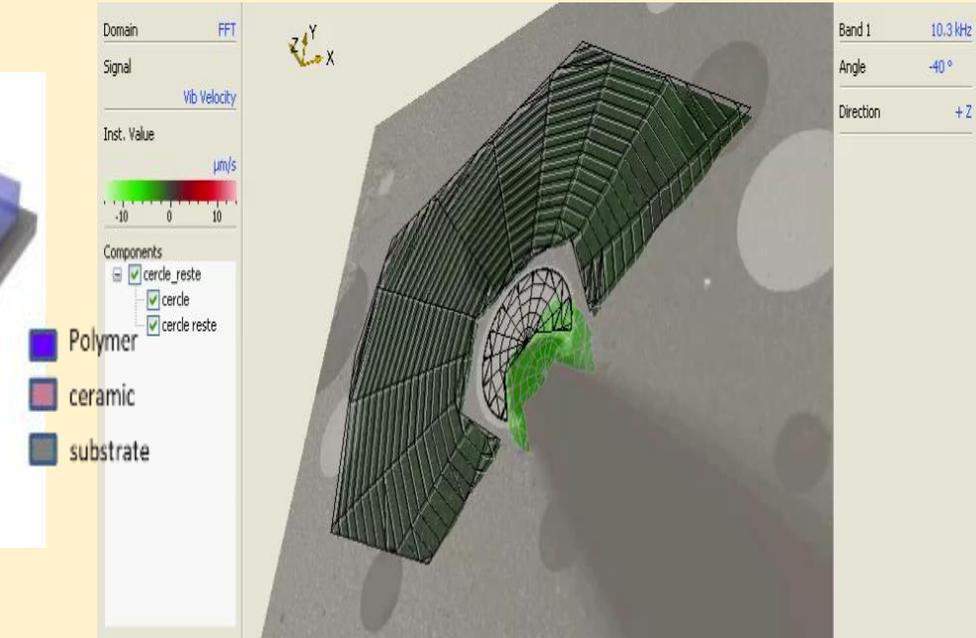
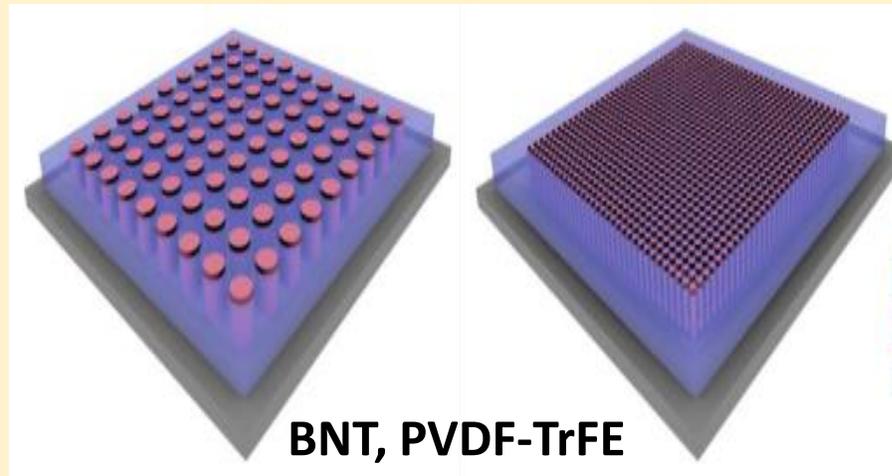
Sputtering, ablation laser, sol gel



National project: NanoPiC



Fabrication of micro and nanostructured ceramic polymer composite thin film



Souplesse de la structure (rendement énergétique), adaptation de l'impédance acoustique

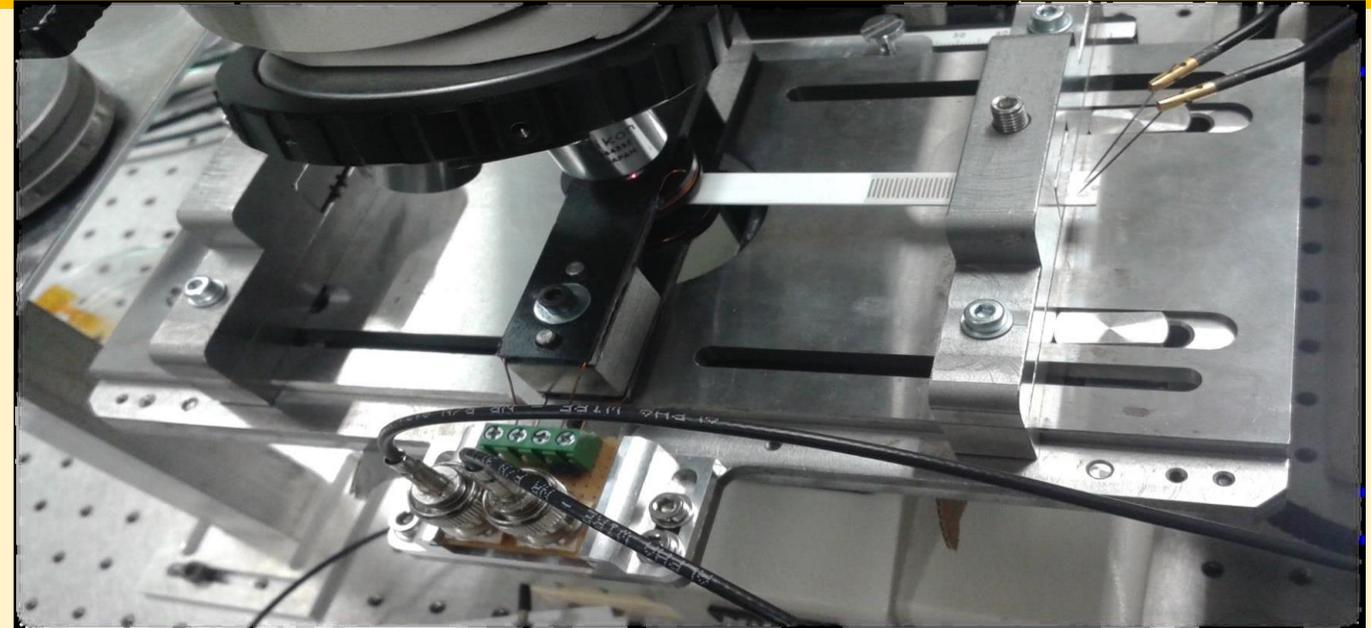
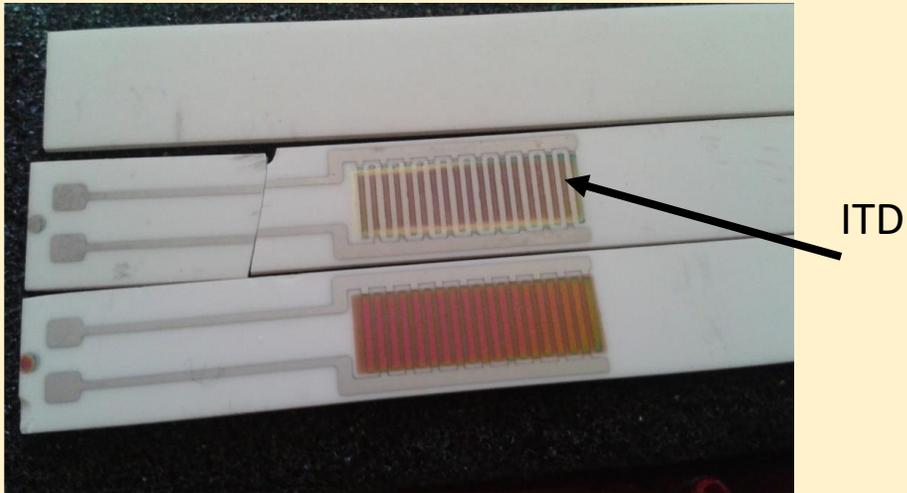


Projet Stimule partenarial

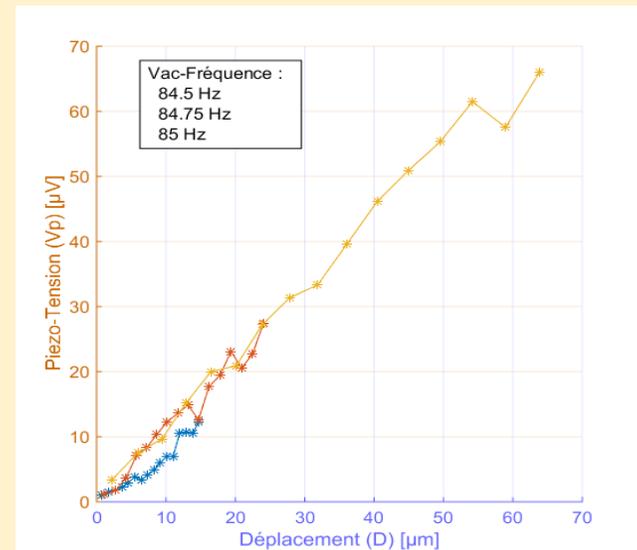
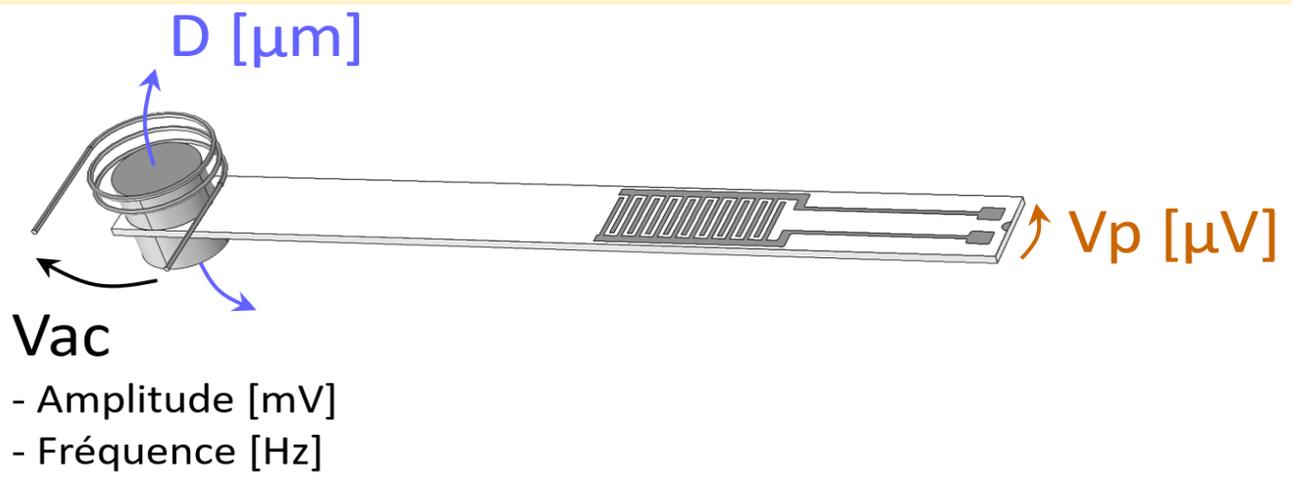
OPPEN: OPTIMISATION DES PROPRIETES PIEZOELECTRIQUES D'OXYDES FONCTIONNELS ECO ACCEPTABLES POUR LA RECUPERATION D'ENERGIE

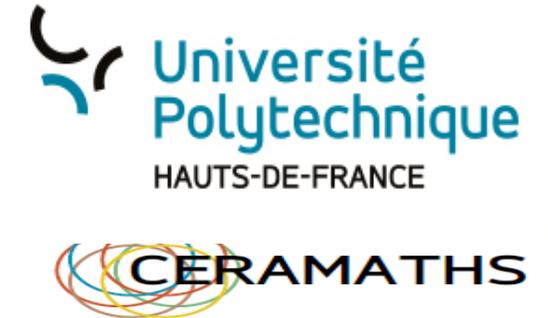
Matériaux sans Pb: BCTZ et BNT-BT par sol gel, ablation laser





Mise en vibration d'une poutre





CPER EE 4.0:

Ecosystème visant à développer une recherche d'excellence en Génie Électrique, perméable aux avancées dans le domaine des nouvelles technologies, en y intégrant les sciences humaines et sociales.

Projet SOUTENAVIB - AAP de Novembre 2023 pôle Médee CPER « Energie Electrique 4.0 »
CERAMATHS –DMP- UPHF-INSA HDF / IEMN site de Valenciennes /Roberval - UTC

Axes scientifiques:

- ☐ Axe 1 - Matériaux et composants du génie électrique
- ☐ Axe 2 - Convertisseurs d'énergies intelligents
- ☐ Axe 3 - Intégration système, gestion de l'énergie et stockage

Projet SOUTENAVIB: Soutenabilité d'un système de récupération vibratoire pour la maintenance prédictive des machines électriques (ouverture vers de nouvelles technologies)

MULTIDISCIPLINARY DAYS ON PIEZOELECTRICITY at UPHF

Colloque de 2 jours: 02-03/10/2024.

12 exposes de scientifiques internationaux.

Deux séances de posters

Contexte

Les matériaux présentant des propriétés piézoélectriques sont actuellement étudiés à UPHF par CERAMATHS (DMP et DMATHS) et à l'EMN.

Buts

Rapprocher les différentes communautés.

Pérenniser l'évènement. Promouvoir des échanges scientifiques portant notamment sur la récupération d'énergie et la modélisation.

Organisateur: Prof. Serge Nicaise

Enjeux scientifiques

Objectifs:

Développer des activités de recherche sur la piézoélectricité pour la récupération d'énergie

Attendus:

Mise en place de collaborations pluridisciplinaires.

Co-encadrements de thèses.

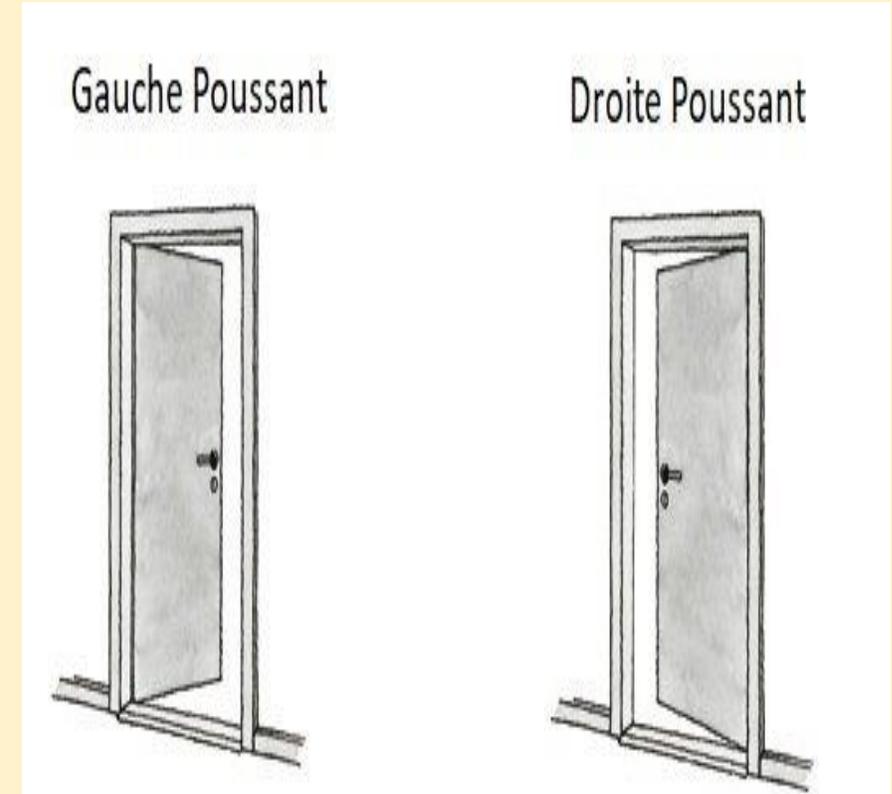
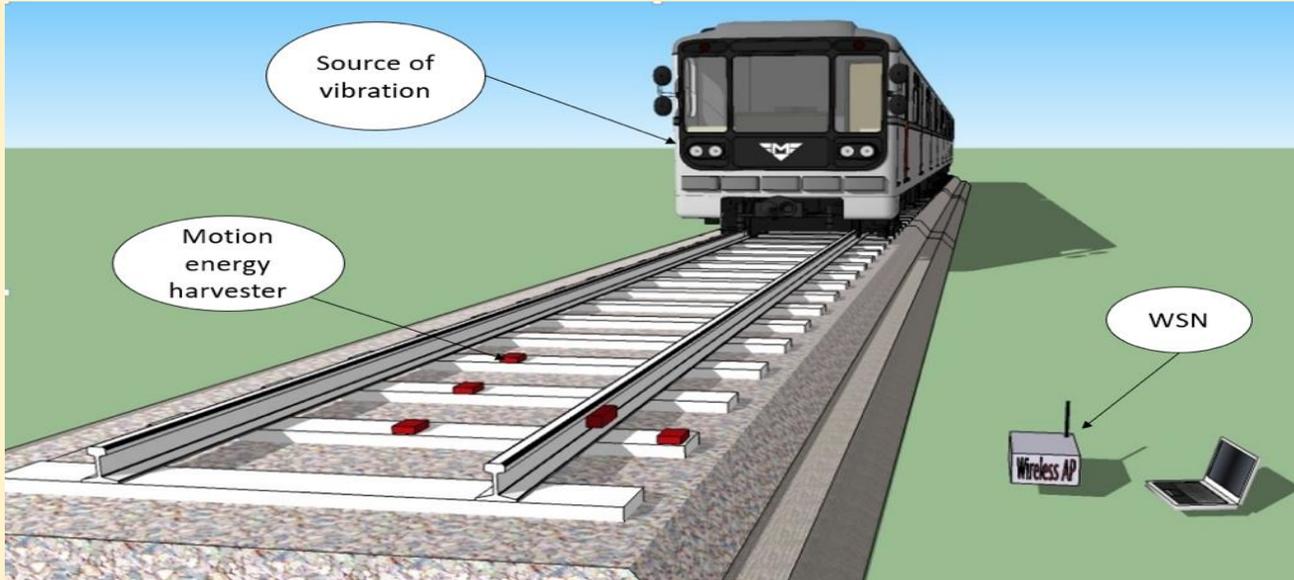
Enjeux régionaux et internationaux

Attirer des talents dans les laboratoires de la région Hauts-de-France.

Asseoir la réputation et la visibilité régionale et internationale de nos laboratoires et de nos universités sur cette thématique.



De nombreuses autres sources de vibrations



Vibration de l'air à l'ouverture ou fermeture d'une porte
→ Alimentation capteur autonome

Un panneau piézoélectrique monté sur une falaise est utilisé pour collecter la force des vagues et la convertir en électricité.

Pôle Matériaux multi fonctionnels & applications UMONS-UPHF



IEMN
DOAE

Université
Polytechnique
HAUTS-DE-FRANCE
Site de Valenciennes

UMR CNRS 8520



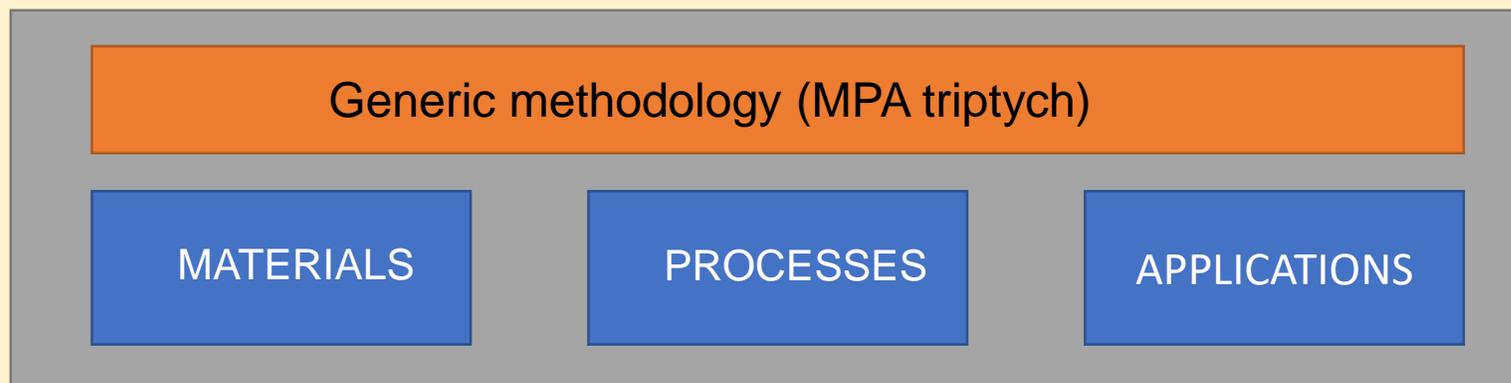
Université
Polytechnique
HAUTS-DE-FRANCE

Laboratoire de matériaux
céramiques et de mathématiques

matériaux
INSTITUT DE RECHERCHE
EN SCIENCE ET INGENIERIE DES MATERIAUX
DE L'UMONS

Université
Polytechnique
HAUTS-DE-FRANCE

Build a generic methodology Triptych Materials/Processes/Applications



UMONS
Université de Mons

MATERIA
NOVA Materials
R&D Center

Matériaux fonctionnels et applications multi-systèmes / multi-échelles

Green Materials

Eco conception, Eco fabrication

Intégration de capteurs, actionneurs pour le contrôle santé des structures, contrôle de l'usure, fatigue,... systèmes intégrés autonomes assistés par l'IA.

Fonctionnalités UPHF

Acoustique, Adhésion, Biologique, Design, Electrique, Mécanique, Mouillabilité, Optique, Piézoélectrique, Rupture, Sensorielle, Thermique, micro fluide, Tribologique.

Traitement de surface:

fonctionnalisation – fonctionnalité – structuration

Transport, Santé, Energie, Bio médical, Télécom,....

Caractérisations physico-chimiques, structurales, micro structurale des surfaces, interfaces, volumes,... Mécaniques, électriques,..... Sous divers environnement

Mesures, tests sur bancs d'essais

Vers une économie circulaire

Durée de vie, recyclage, Coût de fabrication,...

Elaboration Matériaux- Mise en forme: métaux, organiques, inorganiques
Massif, revêtement (films et nano fils),...

les activités de recherche sont très vastes et se traduisent par de nombreuses applications:

Quelques exemples:

- Des matériaux et/ou revêtements développés afin d'augmenter la durabilité de pièces, structures métalliques: adhésion, résistance à la corrosion et à l'usure, surface super-hydrophobe,...
- Des matériaux et/ou traitement de surface pour une fonctionnalisation par texturation, structuration,...
- De nouveaux capteurs, actionneurs, transducteurs acoustique obtenus à partir de « Smart Materials » (électro-actif, pyro électrique, magnéto-électrique, ...)
- Matériaux polymères pour le transport (allègement des structures), contrôle santé des structures,
- Systèmes Micro fluidique dédiés à la santé,
- Récupération (solaire, vibrations mécaniques) et stockage de l'énergie,
- Fabrication additive de matériaux hautes performances et intelligents (par ex. capteurs intégrés pour monitoring santé)
- Capteurs et systèmes intégrés autonomes assistés par l'IA.
- Développement et optimisation de transducteurs et des méthodes ultrasonores pour la caractérisation et le contrôle non destructifs

This Pôle was initiated between 2 EUNICE partners and it is intended to expand to all EUNICE partners on the « Materials Science » Topics.



This is the starting point of the desire to build collaborative research within EUNICE on all the major issues identified in REUNICE.



Relancer ValoRIS ??

Reprise des discussions entre

UMET, UCCS (Lens), IMT Douai, ENSAIT, CERAMATHS, UPJV, ULCO, IEMN-Site de Valenciennes

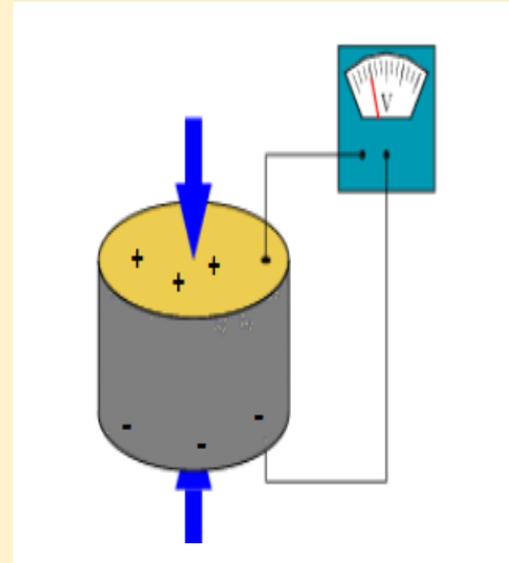
Merci pour votre attention



La piézoélectricité consiste à transformer un mouvement mécanique en électricité

La piézoélectricité (du grec « piézein » presser, appuyer) découverte en 1880 par les frères Pierre et Jacques Curie est une propriété que possèdent certains corps de se polariser électriquement sous l'action de forces mécaniques (effet direct) et réciproquement de se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique (effet inverse)

Les cristaux (quartz, topaze, tourmaline) composant les matériaux piézoélectriques sont composés de cations (ions chargés positivement) et d'anions (ions chargés négativement) qui génèrent un courant électrique lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique, comme une pression ou une déformation.



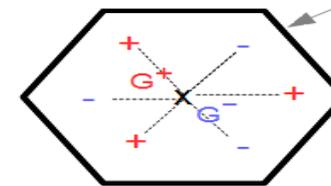
Effet direct de la piézo-électricité :

FORCE ⇒ DEFORMATION ⇒ TENSION

Effet inverse de la piézo-électricité :

TENSION ⇒ DEFORMATION

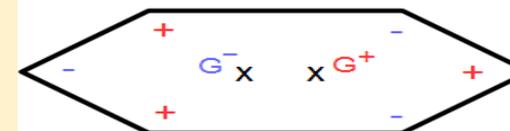
Cristal piézo-électrique



Au repos, les barycentres des charges positives et négatives sont confondus



L'impulsion électrique déforme le cristal



Les barycentres ne sont plus confondus, le cristal est alors polarisé

Matériaux fonctionnels et applications multi-systèmes / multi-échelles **UMONS**

Green Materials

Eco conception, Eco fabrication

Intégration de capteurs, actionneurs, contrôle santé des structures, l'usure, fatigue, ... assistés par l'IA

Fonctionnalités UPHF
Acoustique, Adhésion, Biologique, Design, Electrique, Mécanique, Mouillabilité, Optique, Piézoélectrique, Rupture, Sensorielle, Thermique, micro fluide, Tribologique.

Traitement de surface: fonctionnalisation – fonctionnalité – structuration

Transport, Santé, Energie, Bio médical, Télécom,....

Vers une économie circulaire

Caractérisations physico-chimiques, structurales, micro structurale des surfaces, interfaces, volumes, ... Mécaniques, électriques, Sous divers environnements

Mesures, tests sur bancs d'essais

Durée de vie, recyclage, Coût de fabrication, ...

Elaboration Matériaux- Mise en forme: métaux, organiques, inorganiques
Massif, revêtement (films et nano fils), ...