

# L'AVENIR DES COMPOSITES EN FABRICATION ADDITIVE

## Colloque RICQ-CDCQ Colloque Bisannuel sur les matériaux composites

Kambiz CHIZARI,

Associé à la recherche  
Département de génie mécanique  
[www.polymtl.ca/lm2](http://www.polymtl.ca/lm2)  
[Kambiz.chizari@polymtl.ca](mailto:Kambiz.chizari@polymtl.ca)



Daniel THERRIAULT,

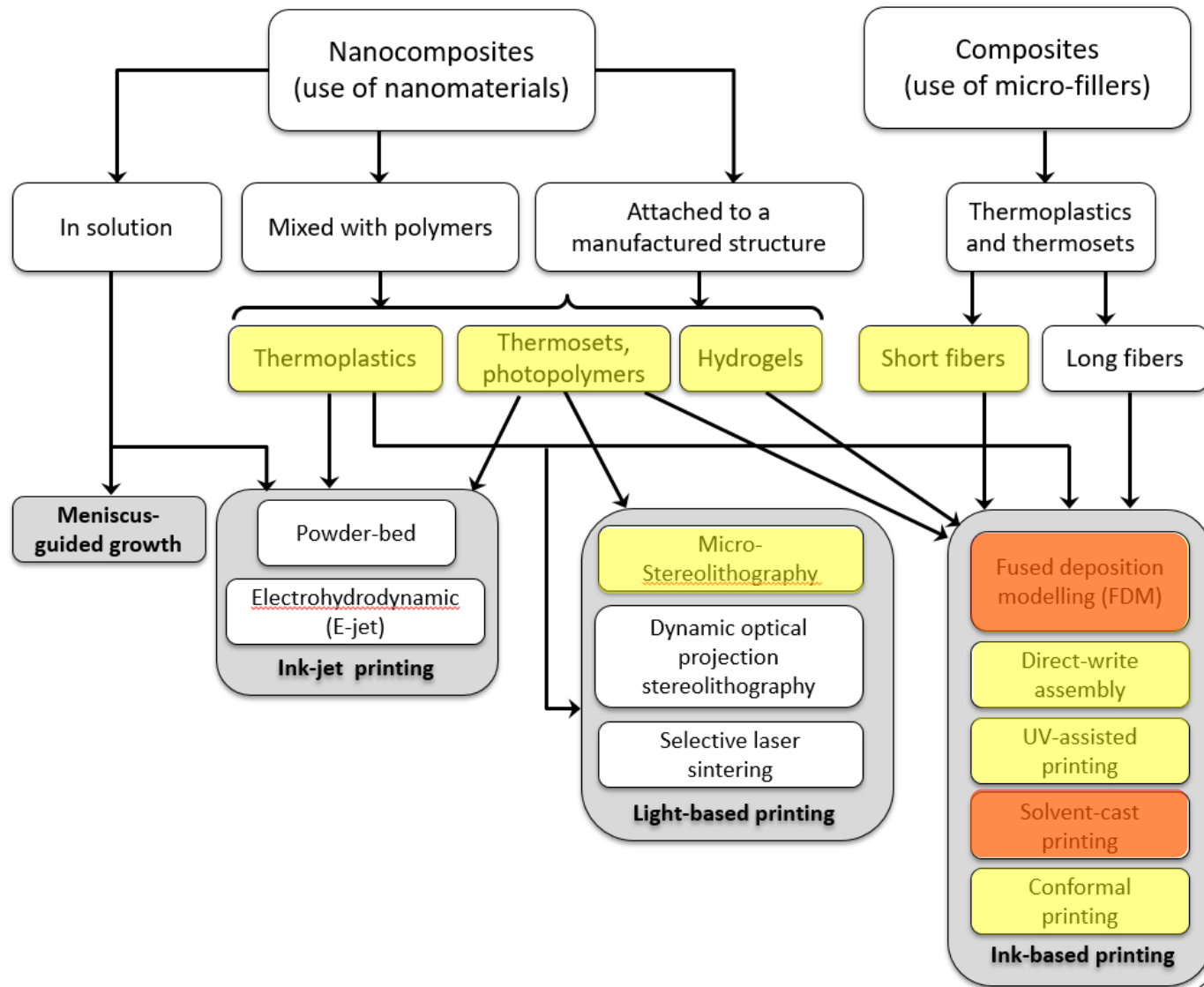
Professeur  
Département de génie  
mécanique  
[www.polymtl.ca/lm2](http://www.polymtl.ca/lm2)  
[Daniel.therriault@polymtl.ca](mailto:Daniel.therriault@polymtl.ca)



**Canada Research Chair** – Fabrication of  
advanced materials and microsystems



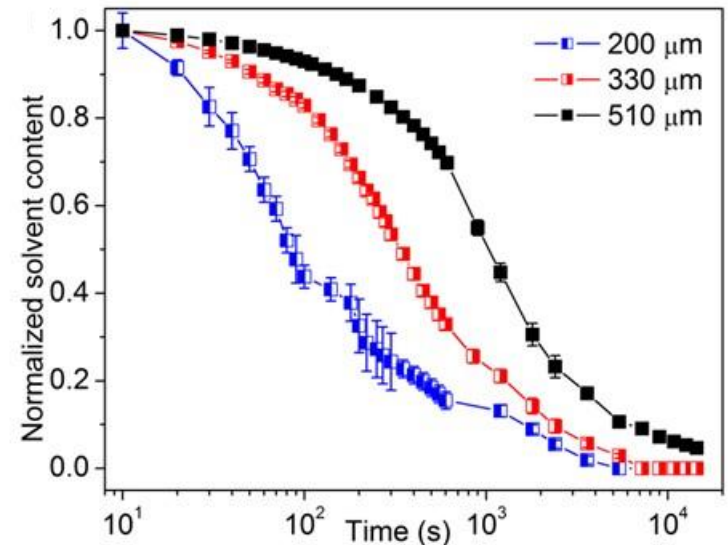
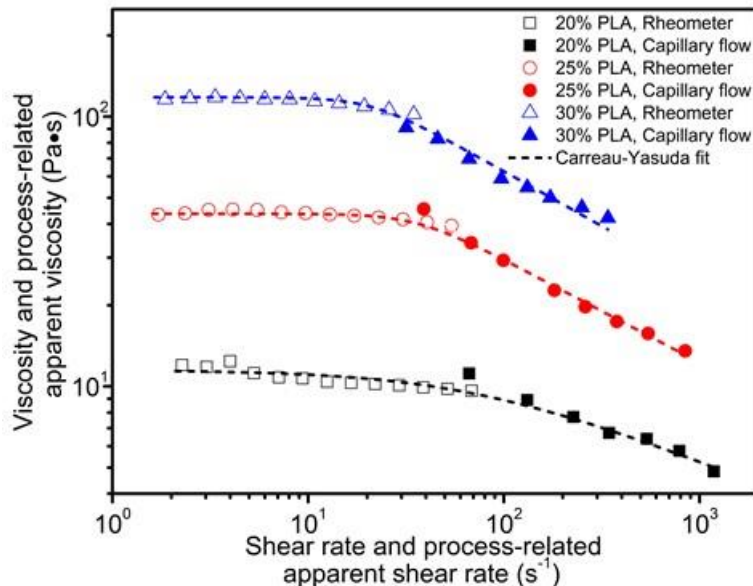
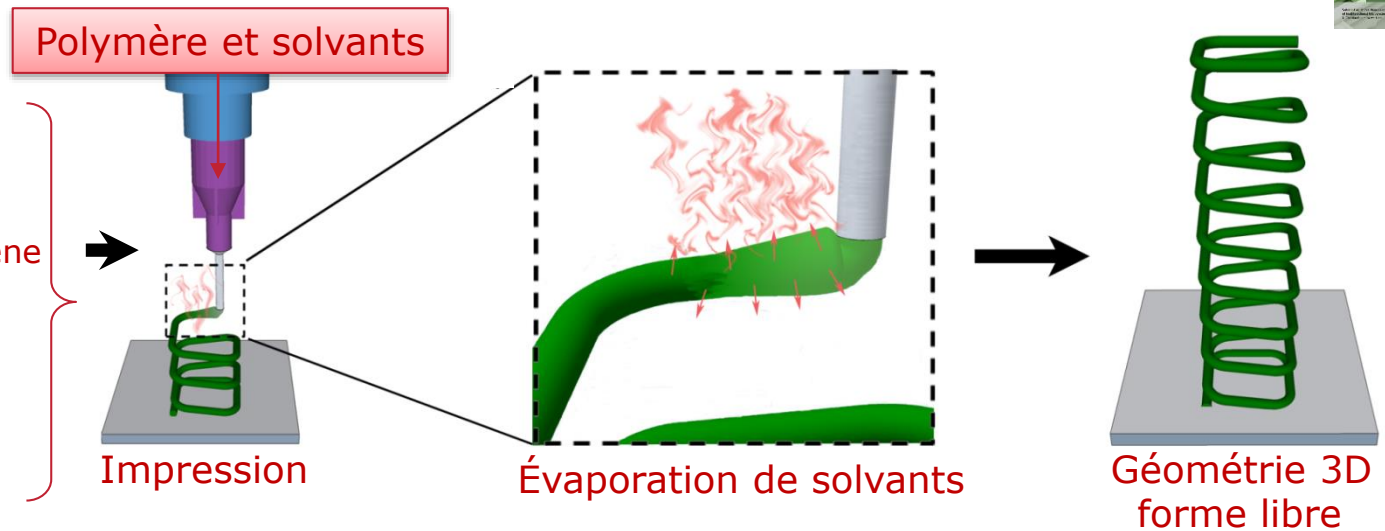
# L' IMPRESSION 3D DES COMPOSITES



# IMPRESSION 3D ASSISTÉE PAR EVAPORATION DE SOLVANTS\*



- Solution polylactide (PLA) + MWCNTs
- Fluorure de Polyvinylidene (PVDF) + BaTiO<sub>3</sub>
- Particules d'acier inoxydable
- Biomatériau chitosan



Adaptation de PLA à l'encre à propriétés rhéologiques

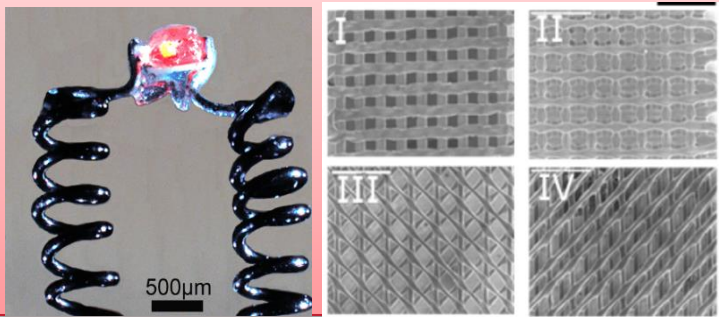
Évaporation rapide de solvants

\*: S.Z Guo et al., (*Small*, 2013) / coll. with M.-C. Heuzey

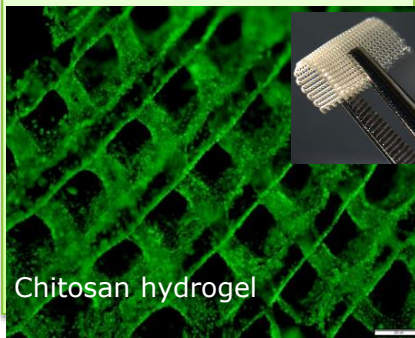


# SÉLECTION DE PROJETS DE RECHERCHE COURANTS

Nanocomposites **électroniquement conductifs** pour blindage EMI, liquide et capteurs de réformation



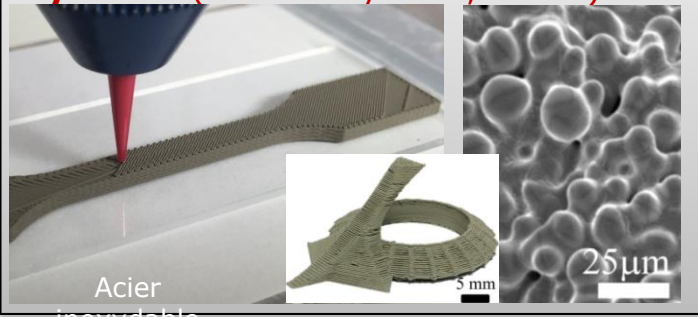
**Biomatériaux** pour croissance de cellules



**Matériaux à fortes résistances** (fibres micro-structures, échelles biomimétiques)



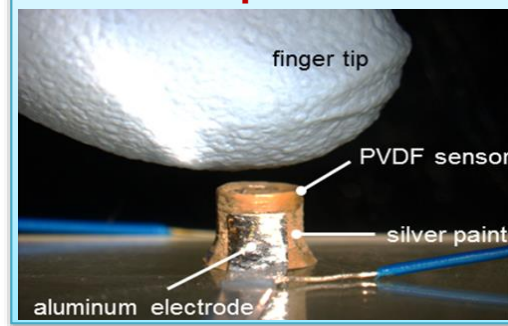
**Microstructures métalliques et hybrides** (acier inoxydable, cuivre)



**Procédé avancé de fabrication additive**

- Forme libre
- Évaporation de solvants
- FDM
- Rayons UV
- SLA
- Moulage de film
- Haute-résolution

**Polymères et nanocomposites Piézoélectriques**



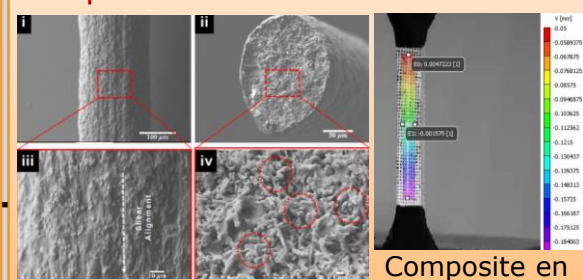
Conception d'**enrobage conducteurs** légers pour protection contre la foudre.



Impulse strike emulator (jusqu'à 50kA)

Enrobages conducteurs légers

Propriétés de nano-composites et composites multifonctionnels



Microstructure

Composite en courtes fibres

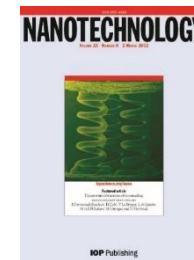
# PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

- But: Systèmes mécaniques d'impression 3D haute performance

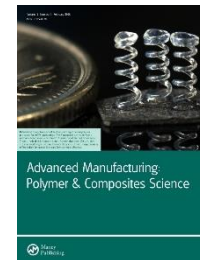
- Ajout de

- nanofibres

- TS: UV polyuréthane, époxy et CNTs (jusqu'à 2 wt%)
- TP: PLA et CNTs (petits et grands chargements)
- Méthodes d'impression: Rayons UV ou évaporation de solvants
- Applications: **capteurs de déformations**, super ressorts



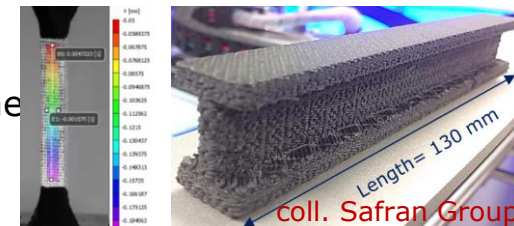
Mar 2013



Jan 2014

- microfibrés

- Thermoplastiques: Nylon et fibres courtes de carbone
- Méthode d'impression: FDM
- Applications: structural aerospace components



- Combinaison de plusieurs matériaux

- Époxy et verre, carbone ou SiC fibres
- Méthode d'impression: direct-write
- Applications: structures protectrices bio-inspirées

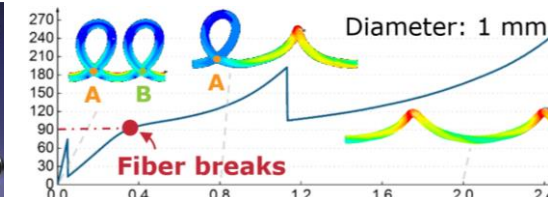


- Fibre microstructurées

- Acide polylactide (PLA)
- Impression 3D Instability-assisted
- Méthodes: Évaporation de solvants et FDM
- Applications: composites haute rigidité

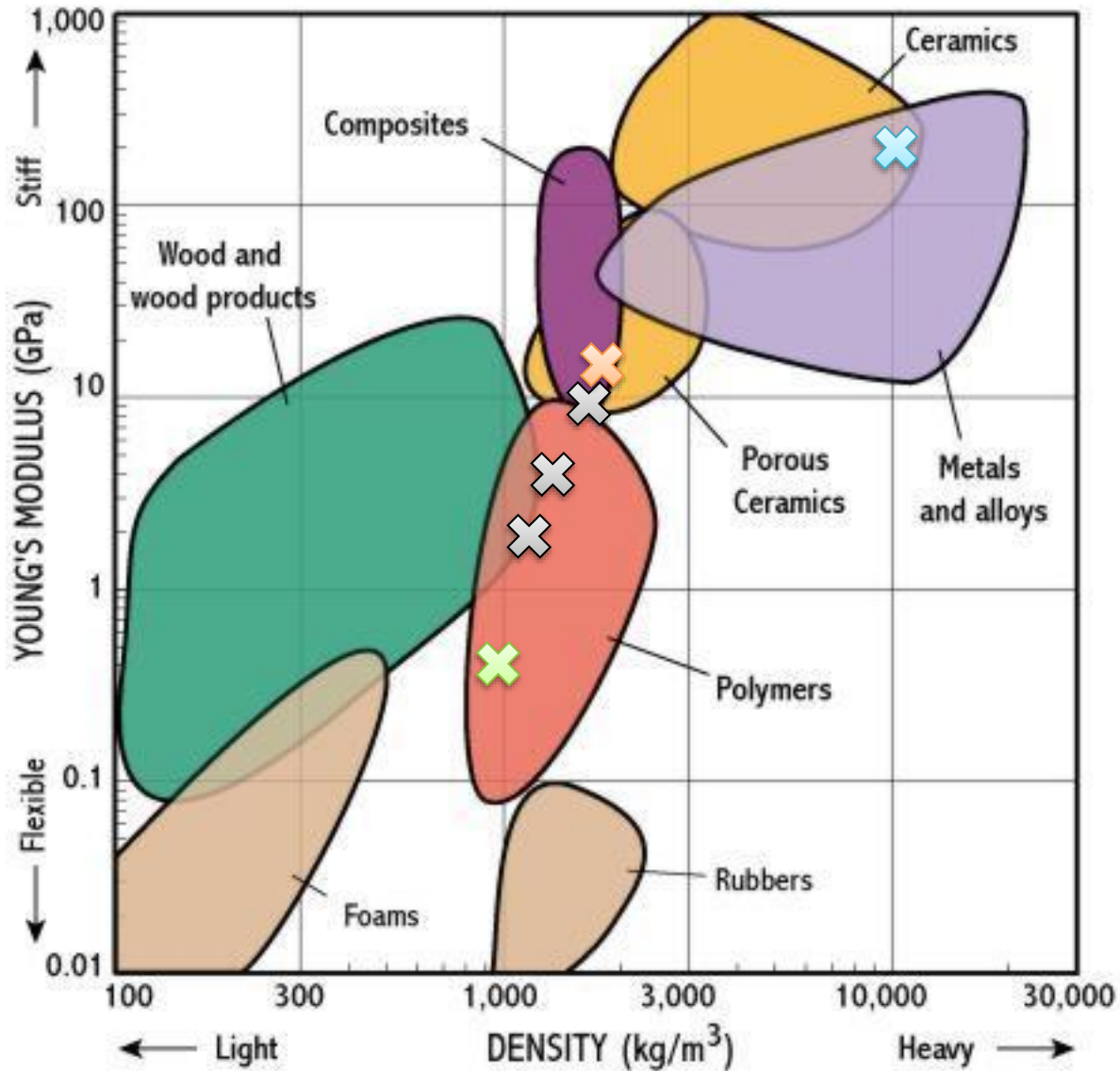


June 2015



coll. F. Gosselin

# MECHANICAL PROPERTIES

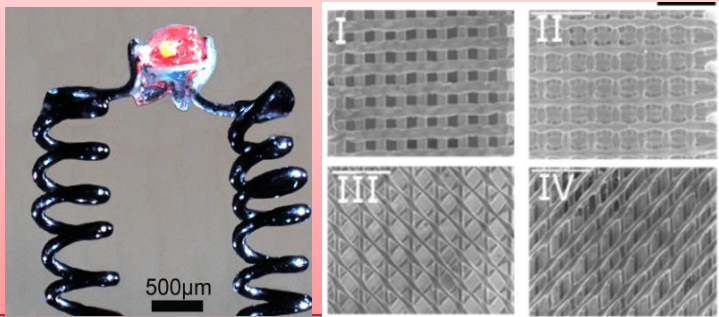


Impression 3D de composites chez Lm<sup>2</sup>

- ✕: Hydrogel
- ✕: PLA+fibres courtes - carbone
- ✕: Époxy+fibres courtes-carbone
- ✕: Acier inoxydable

# SÉLECTION DE PROJETS DE RECHERCHE COURANTS

Nanocomposites **électroniquement conductifs** pour blindage EMI, liquide et capteurs de réformation



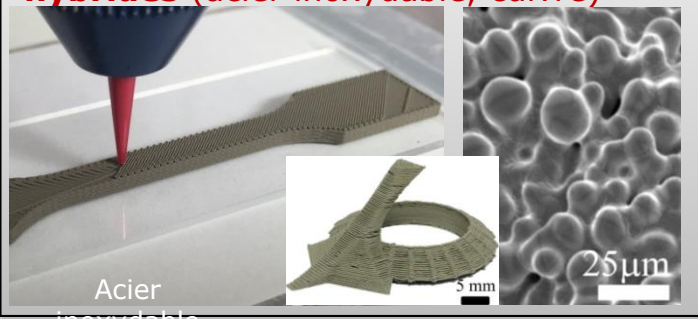
**Biomatériaux** pour croissance de cellules



**Matériaux à fortes résistances** (fibres micro-structures, échelles biomimétiques)



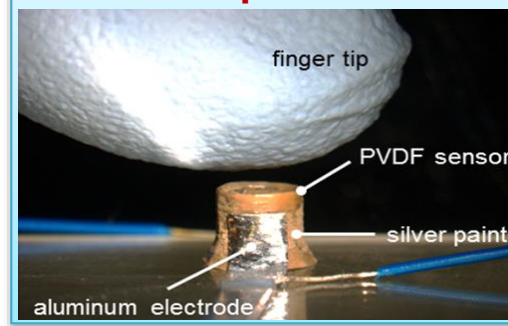
**Microstructures métalliques et hybrides** (acier inoxydable, cuivre)



**Procédé avancé de fabrication additive**

- Forme libre
- Évaporation de solvants
- FDM
- Rayons UV
- SLA
- Moulage de film
- Haute-résolution

**Polymères et nanocomposites Piézoélectriques**



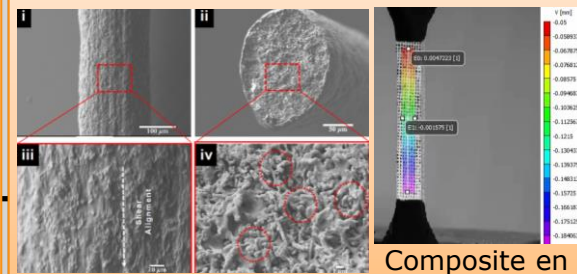
Conception d'**enrobage conducteurs** légers pour protection contre la foudre.



Impulse strike emulator (jusqu'à 50kA)

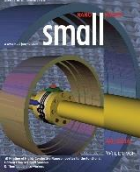
Enrobages conducteurs légers

Propriétés de nano-composites et composites multifonctionnels



Microstructure

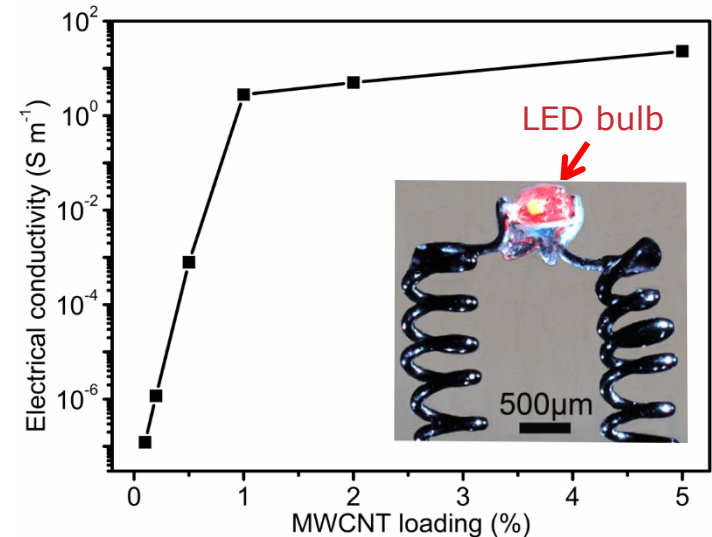
Composite en courtes fibres



## Conductivité électrique

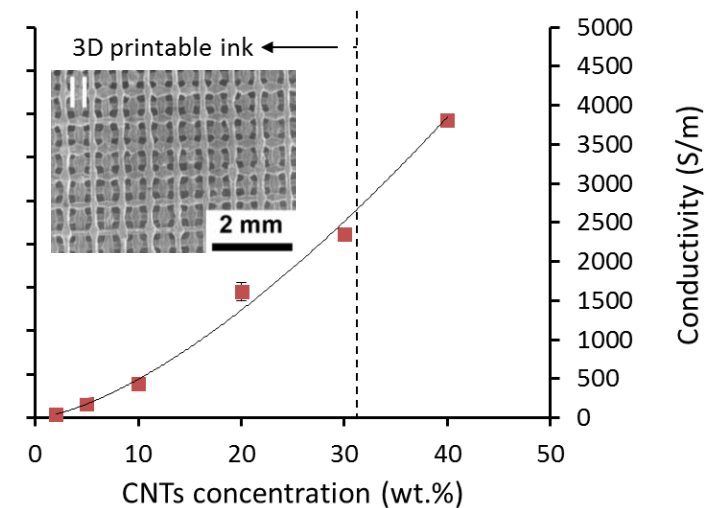
Solutions de PLA et nanotubes de carbone multi parois (MWCNTs)

- Mélange à l'état fondu de différentes fractions de poids (de 0.1 jusqu'à 5 wt%)
- Réseau percolatif à faible concentration  $\sim 0.5$  wt%.
- Conductivité électrique  $\sim 23 \text{ S m}^{-1}$
- Impression 3D libre forme



## Conductivité de microstructure hélicoidales\*

- Mélange par broyage à bille dans la solution
- Fractions de poids jusqu'à 40wt%
- Imprimable jusqu'à 30wt%
- Conductivité maximum  $\sim 4000 \text{ S m}^{-1}$
- Conductivité d'impression maximum  $\sim 2350 \text{ S/m}^{-1}$
- Impression couche par couche
- Propriétés mécaniques améliorées
  - Module d'élasticité de Young de  $\sim 200\%$



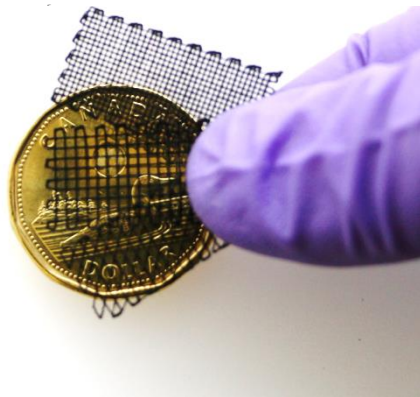
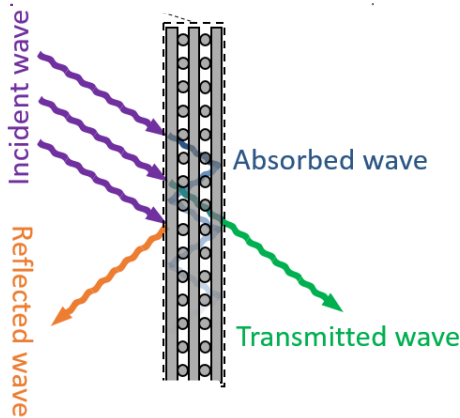
## Conductivité de CNT/PLA multicouches\*\* (filament, dia. $\sim 150 \mu\text{m}$ )



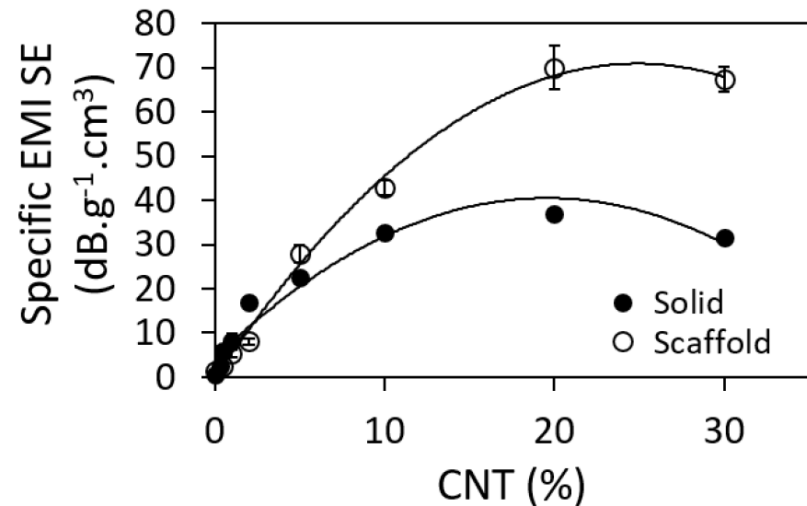
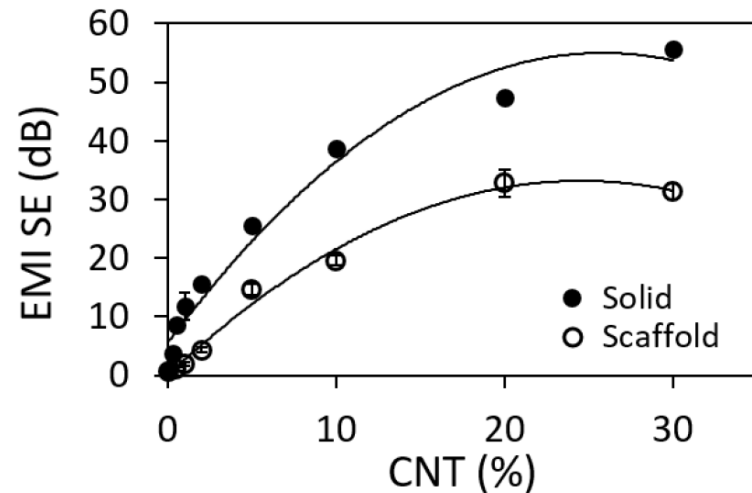


# CONCEPTION D'IMPRESSION DE NANOCOMPOSITES MULTIFONCTIONNELS

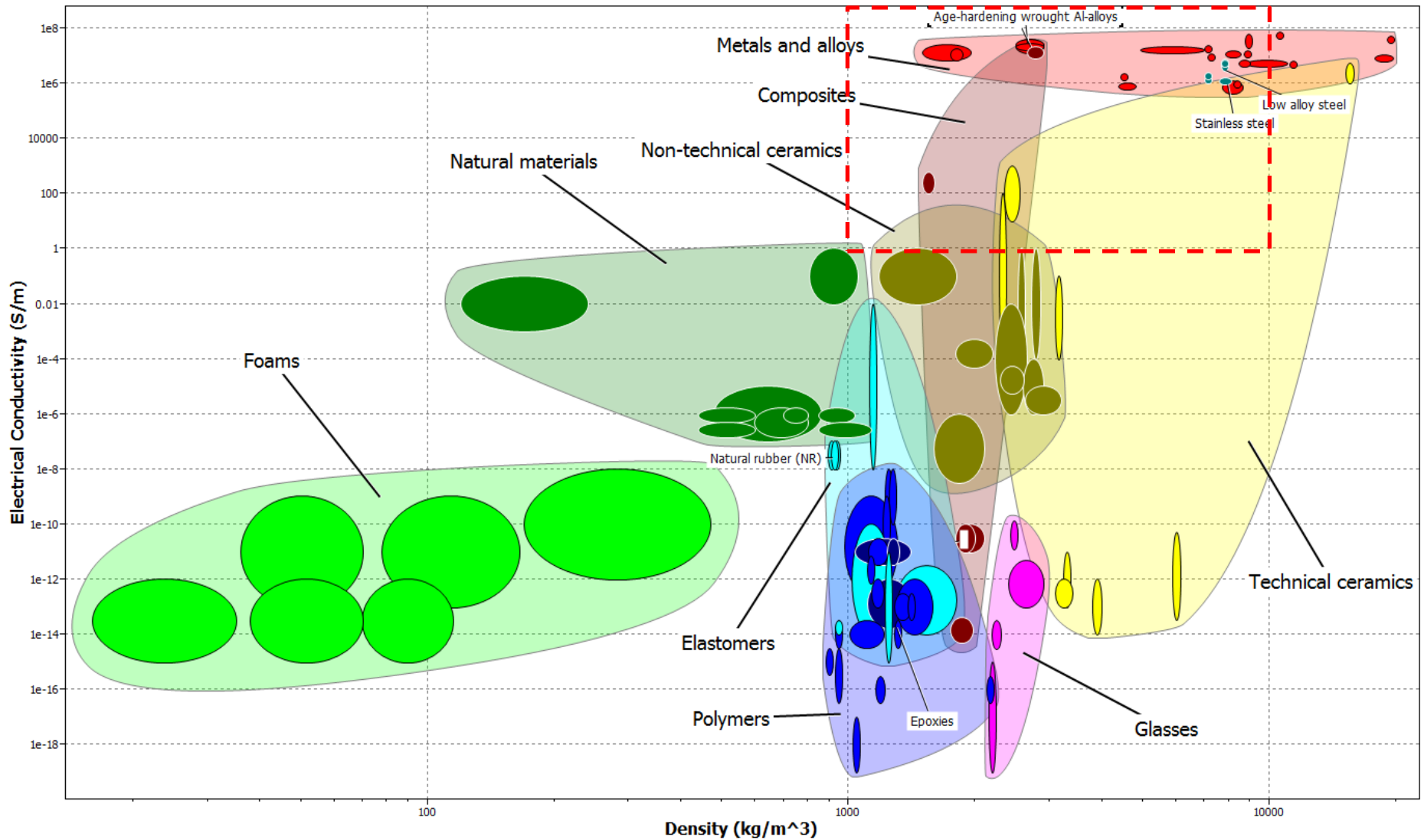
Conductivité électrique: Impression 3D avec grille conductrice transparente (Interférence électromagnétique (EMI) lorsque blindage\*)



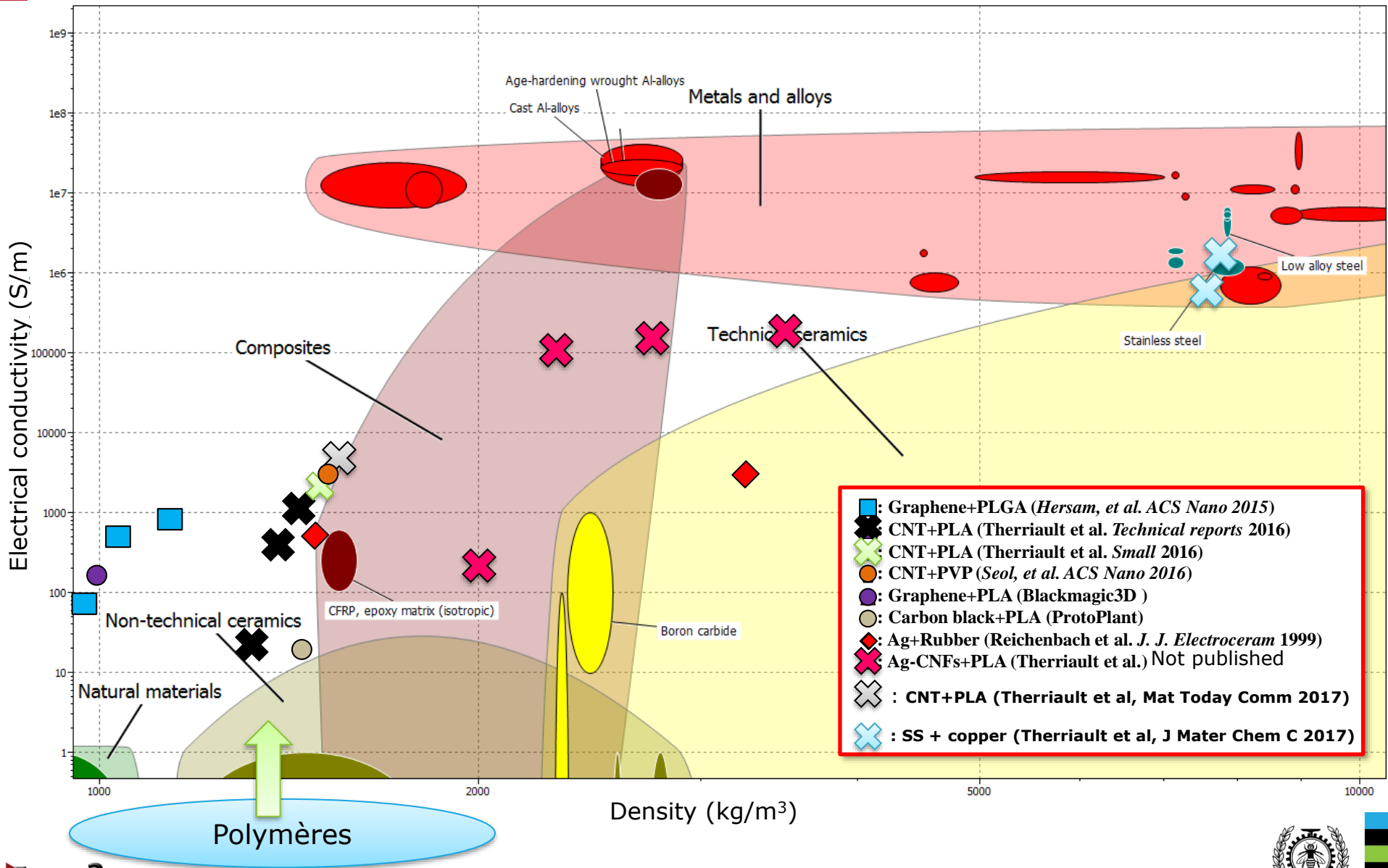
Impression 3D de la grille multi-couches(PLA/MWCNTs)



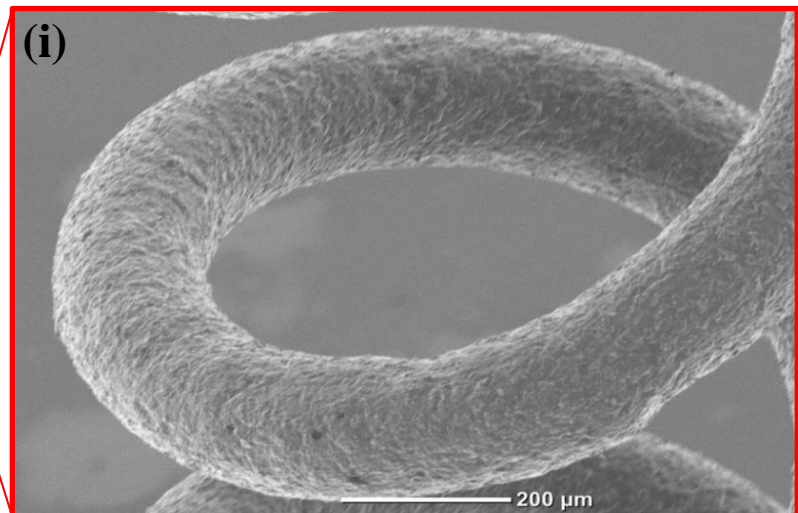
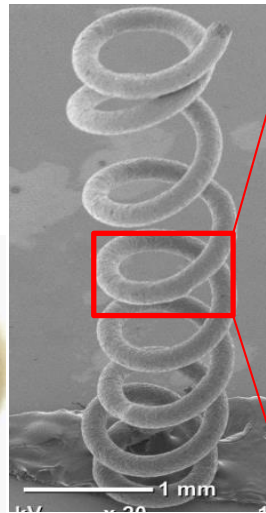
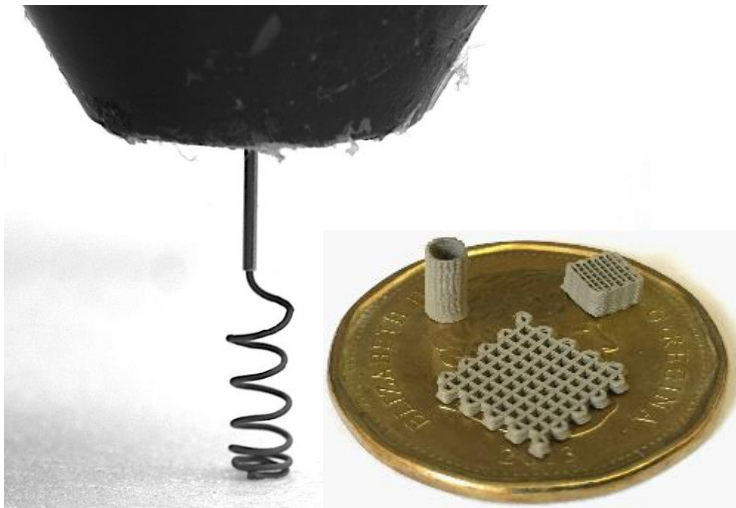
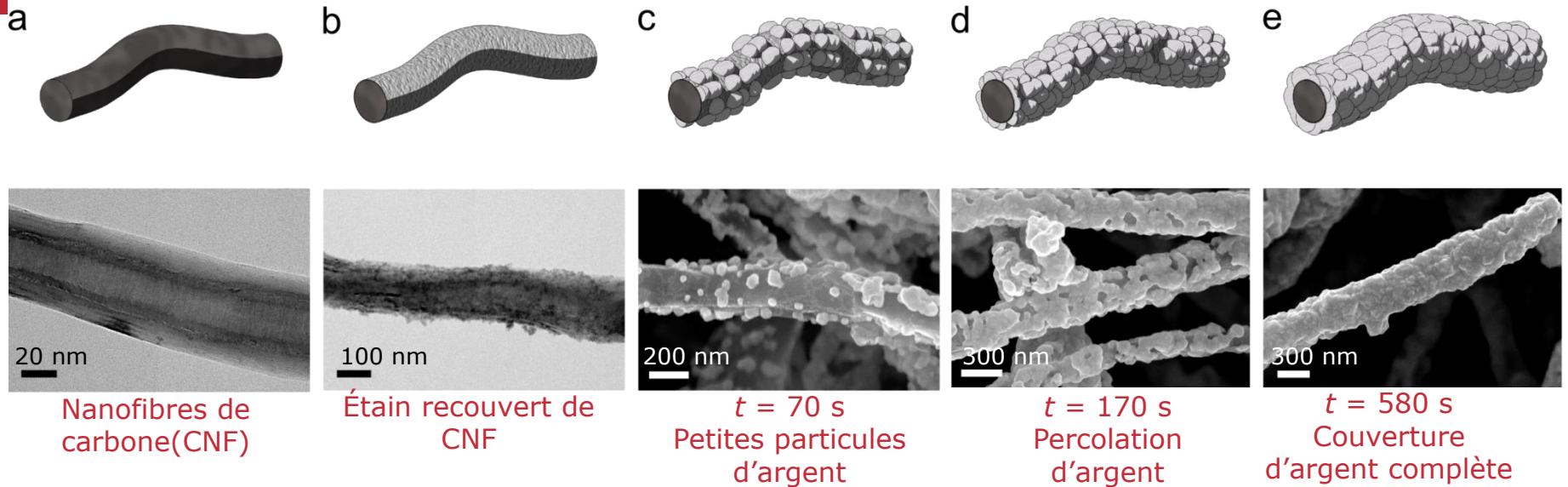
# CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE



# CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE



# IMPRESSION 3D DE CHARGES HYBRIDES HAUTEMENT CONDUCTRICES\*

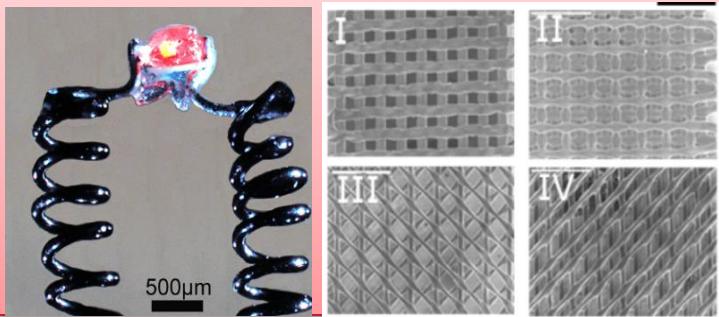


Impression 3D libre de forme de nanofibres de carbone recouvertes d'argent  
(jusqu'à 220 000 S/m)

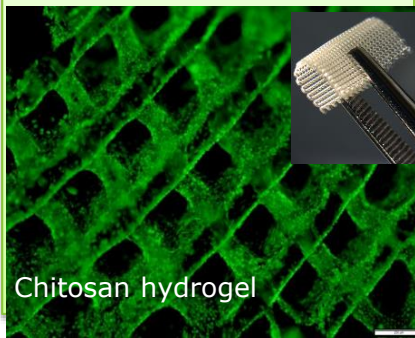
07/11/2017 \*: X. Cauchy, H. Wei / Ag coated CNF , (ACS am&I 2017)

# SÉLECTION DE PROJETS DE RECHERCHE COURANTS

Nanocomposites **électroniquement conductifs** pour blindage EMI, liquide et capteurs de réformation



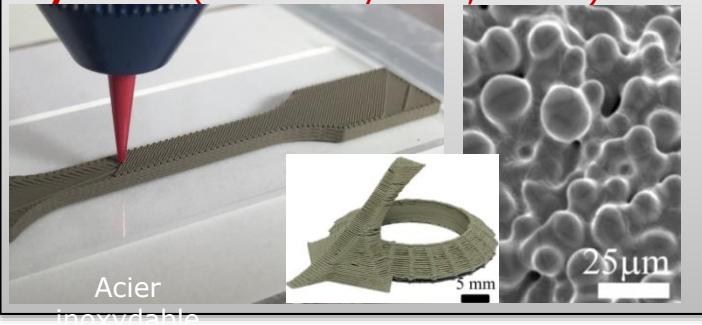
**Biomatériaux** pour croissance de cellules



**Matériaux à fortes résistances** (fibres micro-structures, échelles biomimétiques)



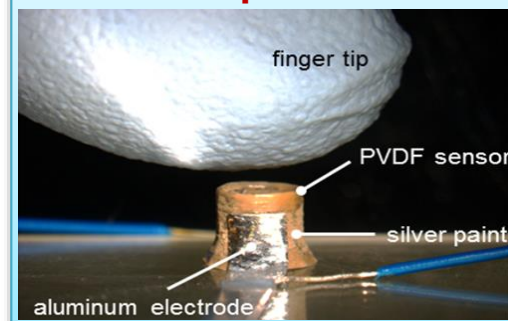
**Microstructures métalliques et hybrides** (acier inoxydable, cuivre)



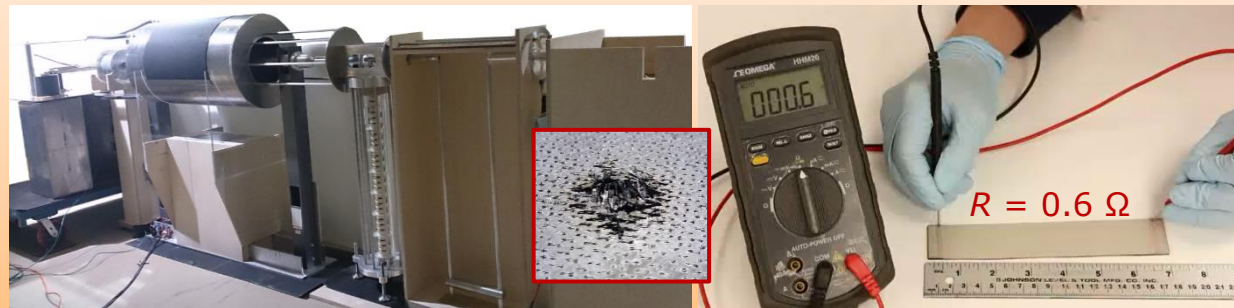
**Procédé avancé de fabrication additive**

- Forme libre
- Évaporation de solvants
- FDM
- Rayons UV
- SLA
- Moulage de film
- Haute-résolution

**Polymères et nanocomposites Piézoélectriques**



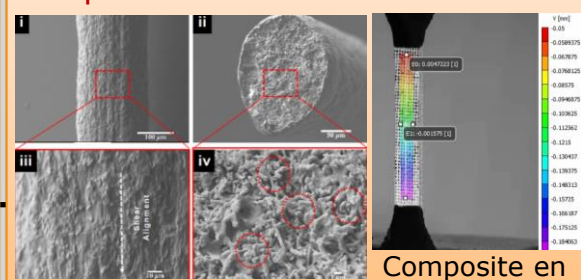
Conception d'**enrobage conducteurs** légers pour protection contre la foudre.



Impulse strike emulator (jusqu'à 50kA)

Enrobages conducteurs légers

Propriétés de nano-composites et composites multifonctionnels

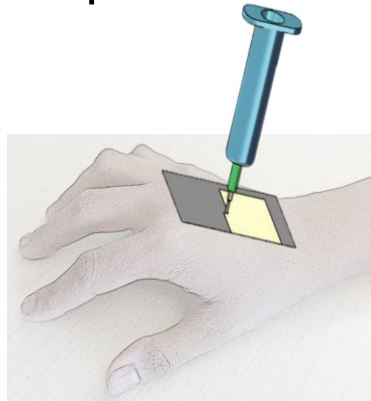


Microstructure

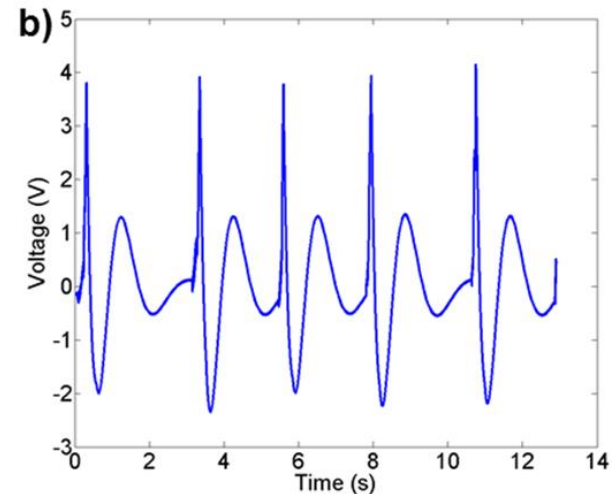
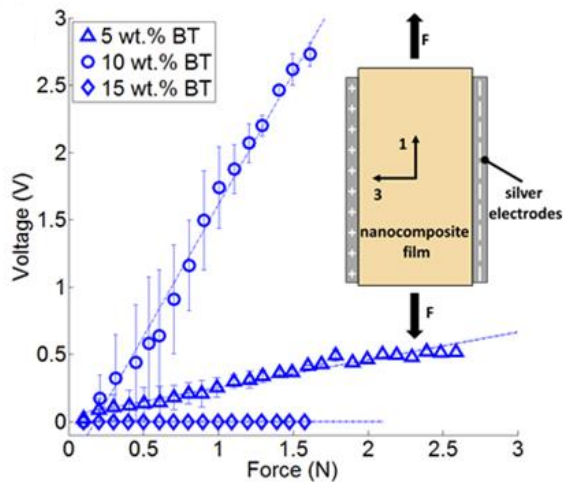
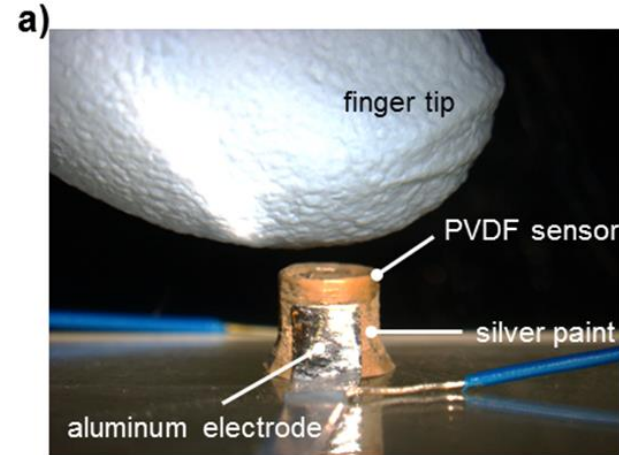
Composite en courtes fibres

# IMPRESSION 3D DE CAPTEURS PIÉZOÉLECTRIQUES

## Propriétés Piézoélectrique et capteur de contact



- ❑ Conformité vérifiable
- ❑ Impression intégrée
- ❑ Formes complexes
- ❑ Faible quantité de déchets



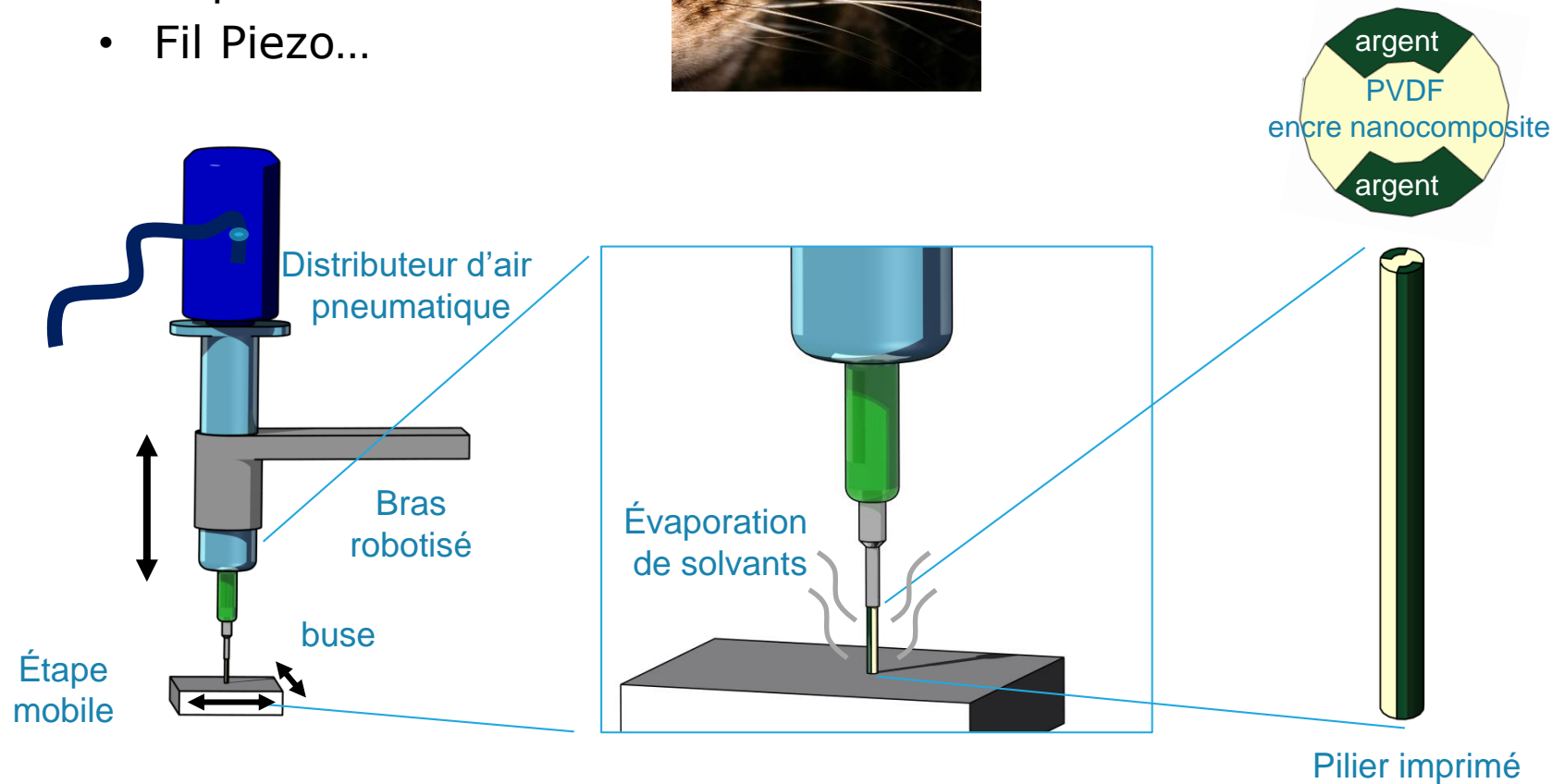
Réponse piézoélectrique d'une d'impression de films composites sur DMA (no poling)

Preuve de conception d'une impression 3D d'un capteur piézoélectrique en composite

# IMPRESION 3D DE CAPTEURS PIÉZOÉLECTRIQUES

Impression simultanée de matériaux conducteurs et Piézo

- Moustaches
- Capteur de débit d'air
- Fil Piezo...

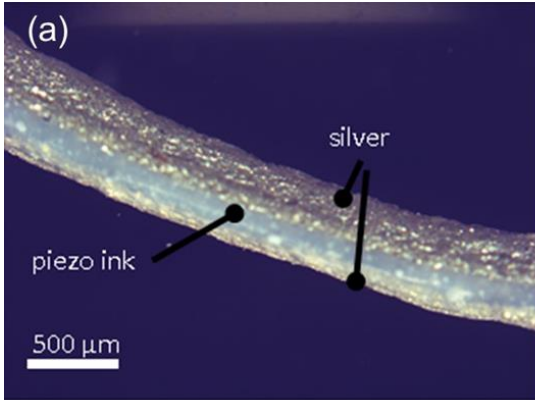


Procédé d'impression 3D d'évaporation de solvant: un bras robotisé procède à l'impression des encres sous forme de pilier vertical avec la pression d'air.

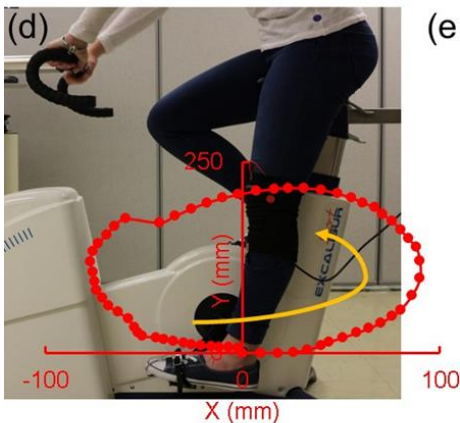
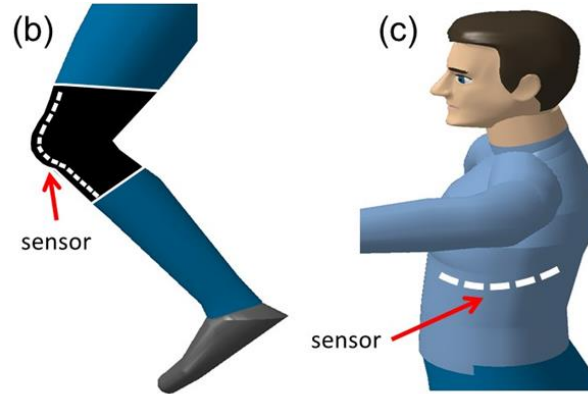
# CAPTEURS CO-EXTRUDÉS

Capteur à un étape avec des électrodes co-extrudées

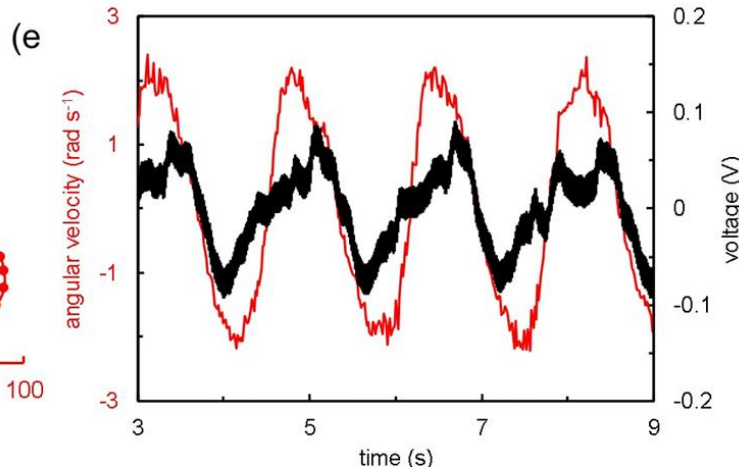
Filament Co-extrudées



Fil Piézo tissé dans un vêtement



Test cyclique



Le tissu génère une tension en se déformant

3D printing process showing a sensor being printed onto a wing. Labels include 'Piézo', 'Noyau composite conducteur', 'sensor', and 'wing'.

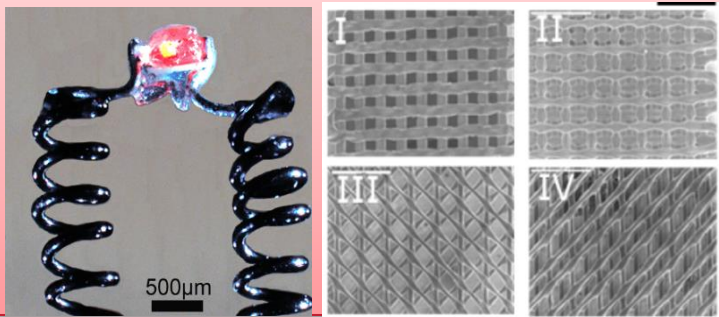
Graph showing voltage (V) versus time (s). The voltage ranges from -0.5 to 0.5, and the time ranges from 10 to 25 seconds. The graph shows a regular oscillating signal with two sharp peaks labeled 'hitting with a pen'.

Détection de perturbation du signal

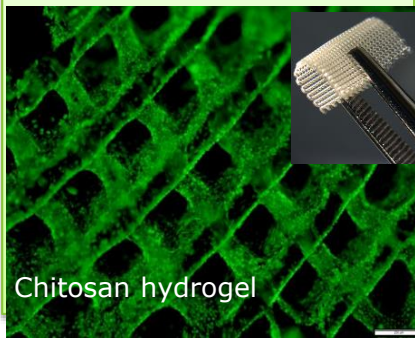


# SÉLECTION DE PROJETS DE RECHERCHE COURANTS

Nanocomposites **électroniquement conductifs** pour blindage EMI, liquide et capteurs de réformation



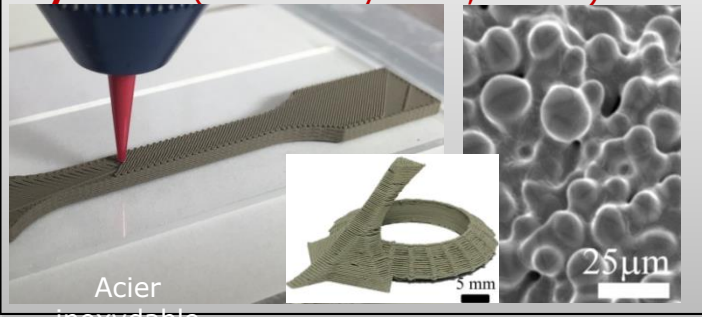
**Biomatériaux** pour croissance de cellules



**Matériaux à fortes résistances** (fibres micro-structures, échelles biomimétiques)



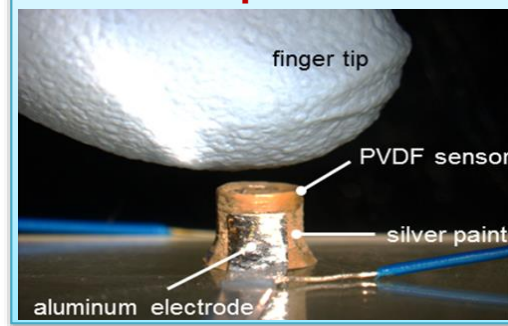
**Microstructures métalliques et hybrides** (acier inoxydable, cuivre)



**Procédé avancé de fabrication additive**

- Forme libre
- Évaporation de solvants
- FDM
- Rayons UV
- SLA
- Moulage de film
- Haute-résolution

**Polymères et nanocomposites Piézoélectriques**



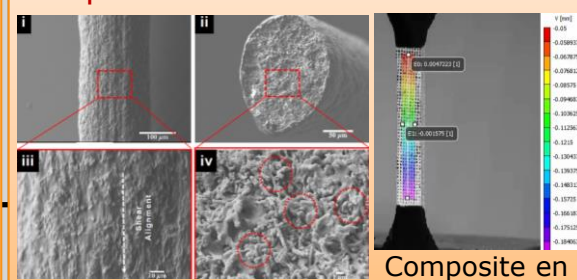
Conception d'**enrobage conducteurs** légers pour protection contre la foudre.



Impulse strike emulator (jusqu'à 50kA)

Enrobages conducteurs légers

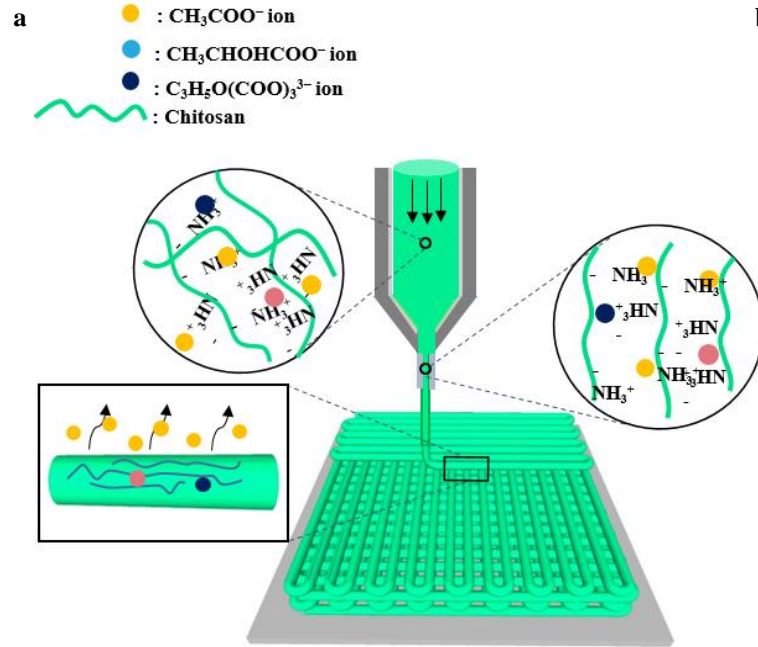
Propriétés de nano-composites et composites multifonctionnels



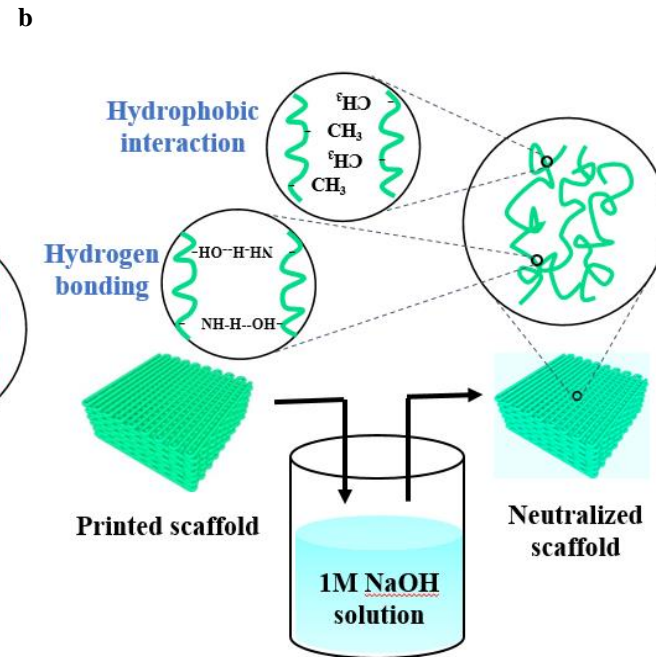
Microstructure

Composite en courtes fibres

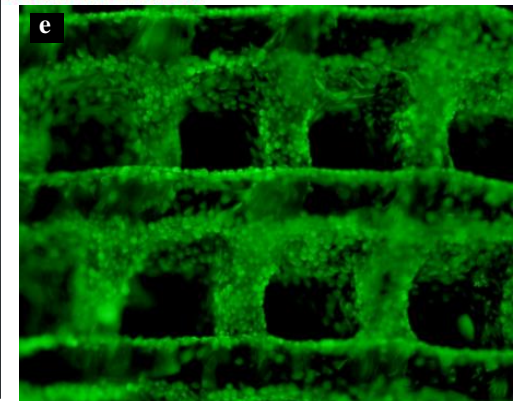
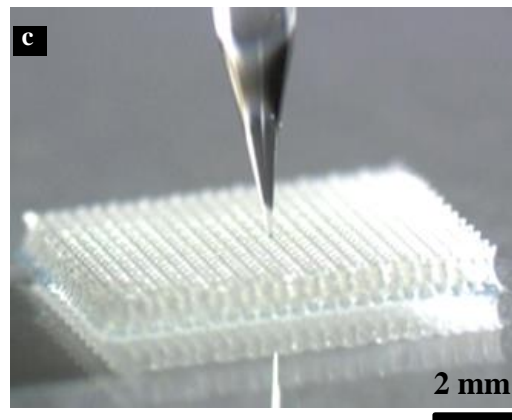
# IMPRESSION 3D D'ÉCHAFAUDAGE D'HYDROGEL CHITOSAN



Solvent-cast 3D printing



Schematic illustration of chitosan scaffold neutralization



Impression 3D – évaporation de solvants

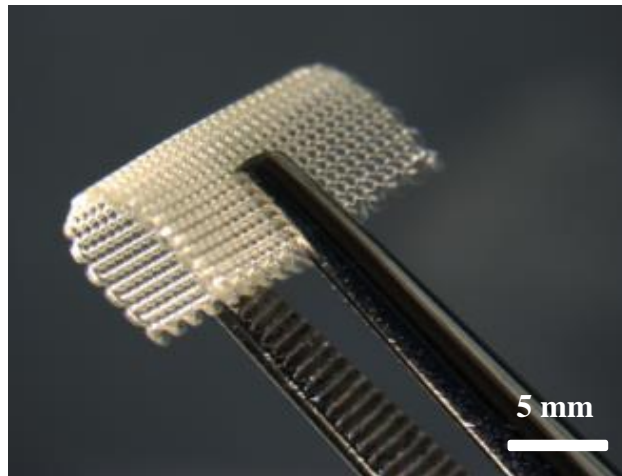
Hydrogel flexible et robuste

Croissance fibroblastique des cellules

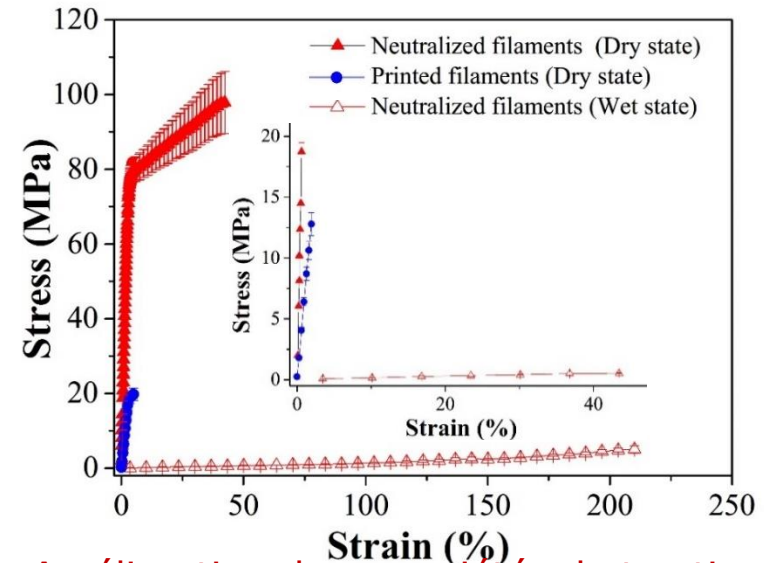
# PROPRIÉTÉ MÉCANIQUE: ÉCHAFAUDAGES ET BRINS OU FILAMENTS



Impression d'échafaudage Chitosan ayant repris sa forme complète



Bonne flexibilité d'une superposition de 10 couches



Amélioration des propriétés de traction pour les filaments neutralisés Chitosan

# REMERCIEMENTS

- Tous les membres de Lm<sup>2</sup>
  - **Diplômés**
  - **Membres post-doctorat**
  - **Internes en voie de graduation**
  - Associé à la recherche (I. Nowlan)
  - Technicien (B. Besner)
- Collaborateurs
  - **Frédéric Gosselin (LM<sup>2</sup> co-directeur)**
  - **Martin Lévesque (LM<sup>2</sup> co-directeur)**
  - Frédéric Sirois (Ing. Élect..)
  - Marie-Claude Heuzey (Ing. Chimie.)
  - L.L. Lebel (Ing. Mécan..)
  - Gilles L'Espérance (Chem. Eng.)
  - Jolanta Sapieha (Ing. Phys.)
  - François Barthelat (Ing. Mécan., McGill)



Équipe de recherche Lm<sup>2</sup> (Automne 2015)

- Partenaires industriels

**BOMBARDIER**

**Bell**  
Helicopter  
A Textron Company

**3M**

**Pratt & Whitney Canada**  
Une société de United Technologies

**MDA**

**VELAN**

**SAFRAN**  
AEROSPACE · DEFENCE · SECURITY

**FieldTurf**  
A Tarkett Sports Company

- Subventions

- Canada Foundation for Innovation (CFI)
- National Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC)
- Gouvernement of Québec
- Canada Research Chair
- CRIAQ
- CREPÉC

**crepec**  
centre de recherche en plasturgie et composites

**Fondation canadienne pour l'innovation**  
Canada Foundation for Innovation

**CRIAQ**

**Canada Research Chair**

**Fonds de recherche**  
sur la nature  
et les technologies  
**Québec**

**CRSNG**  
**NSERC**



# QUESTIONS?

