

Capteurs à nanotubes de carbone imprimés : manufacturabilité et fiabilité pour les applications

Bérengère Lebental – Laurence Bodelot

berengere.lebental@ifsttar.fr ; laurence.bodelot@polytechnique.edu

Fulvio Michelis – Yvan Bonnassieux

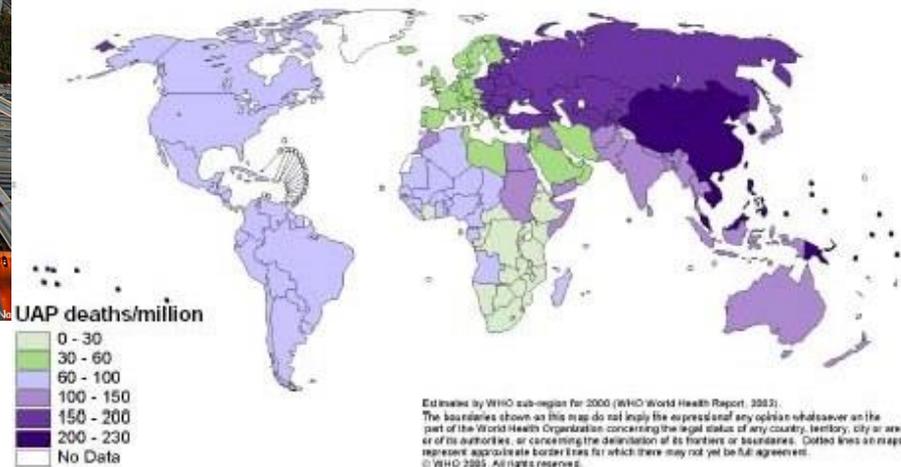
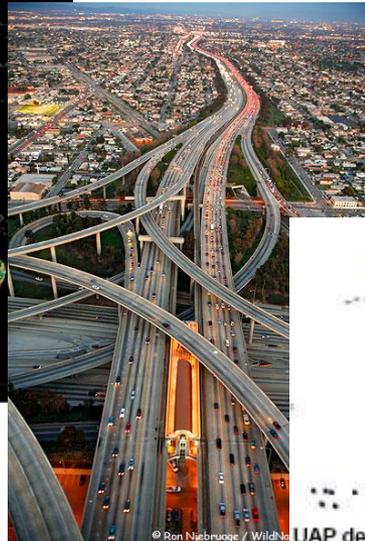
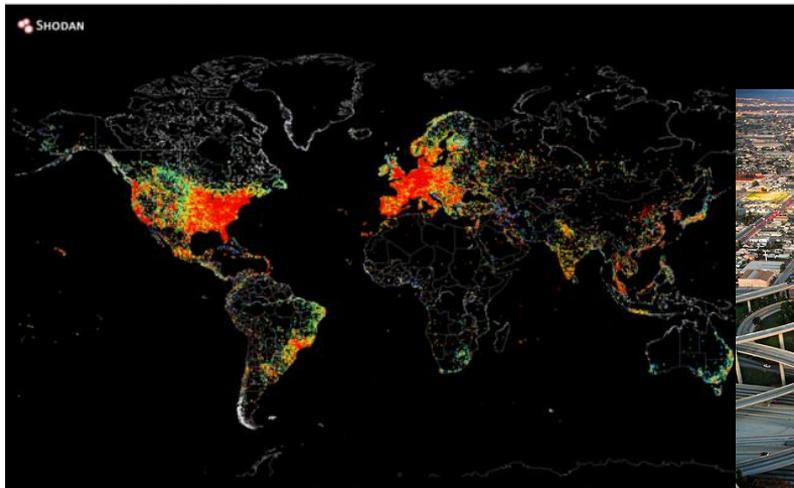
fulvio.michelis@ifsttar.fr ; yvan.bonnassieux@polytechnique.edu

Inauguration Sense-City

23 mars 2015

La ville connectée est-elle durable?

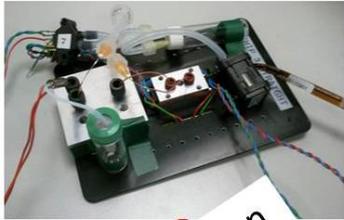
- Depuis 2014, le nombre de téléphones mobiles a dépassé celui d'êtres humains
- En 2014, 54% de la population mondiale était urbaine.



Quelle place pour les nanocapteurs?

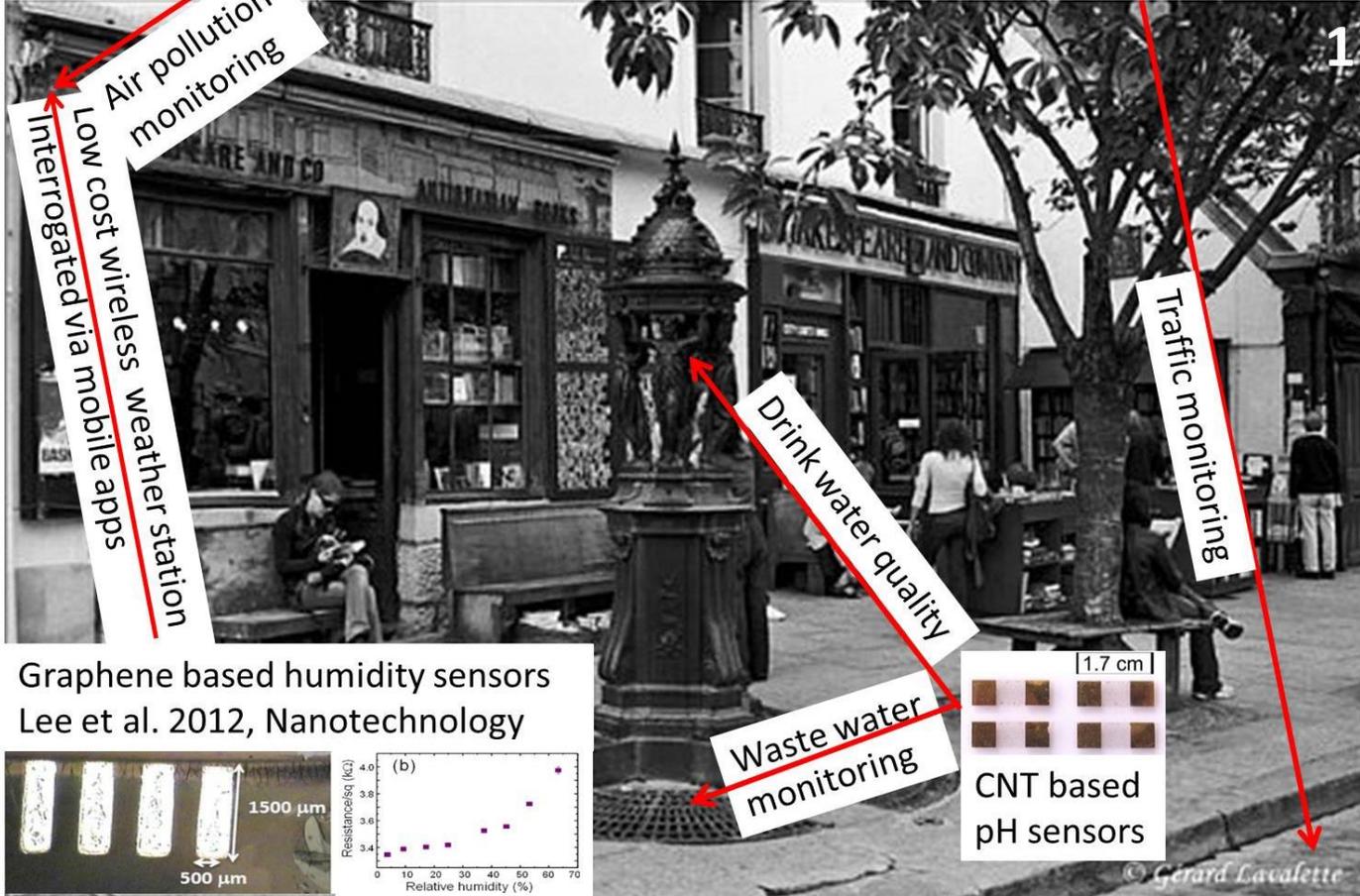
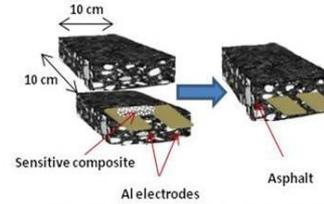
- Exploiter la révolution numérique pour évoluer vers une urbanisation durable
- Perception-décision-action
 - **Mesurer la ville : Capteurs précis, fiables et robustes** mis en réseaux **massivement distribués**
 - **Comprendre pour décider** : Modélisation fine des phénomènes, exploitation de grands volumes de données, liens avec urbanisme, usages et politiques publiques
 - **Agir en boucle courte** : Matériaux intelligents et actifs
- **Des nanocapteurs pour la ville durable**
 - Sensibilité accrue
 - Nouvelles observables
 - Bas coût à grand échelle

Enjeu 1 : Un répertoire de nanocapteurs pour la Ville

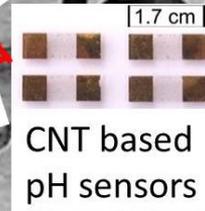
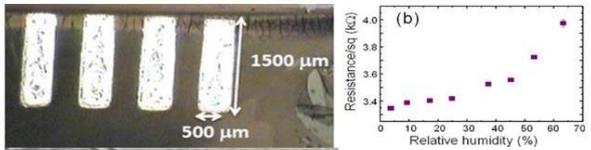


Microchromatograph
Cesar et al., IEEE MEMS 2013

Smart asphalt
B. Lebental et al. Patent 2014

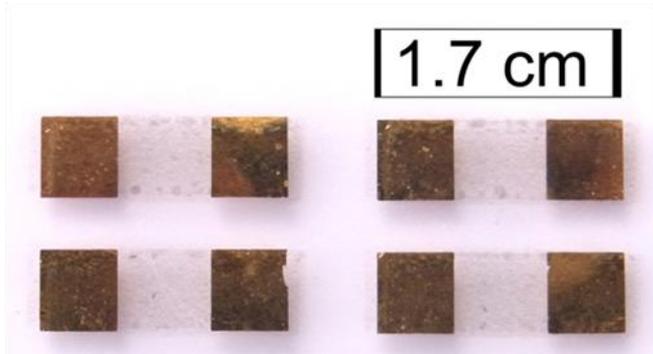


Graphene based humidity sensors
Lee et al. 2012, Nanotechnology

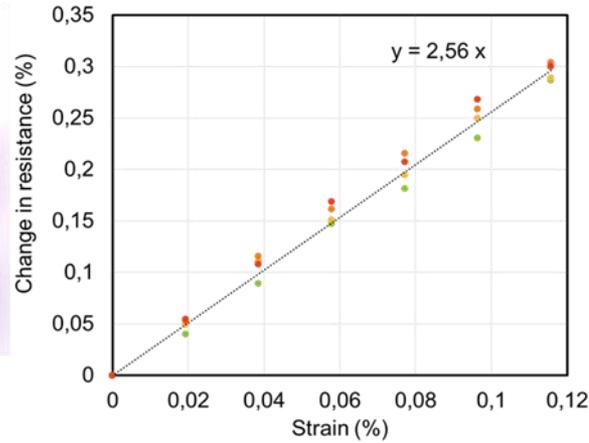


- Qualité de l'air
- Qualité de l'eau
- Suivi du trafic
- Etat des infrastructures

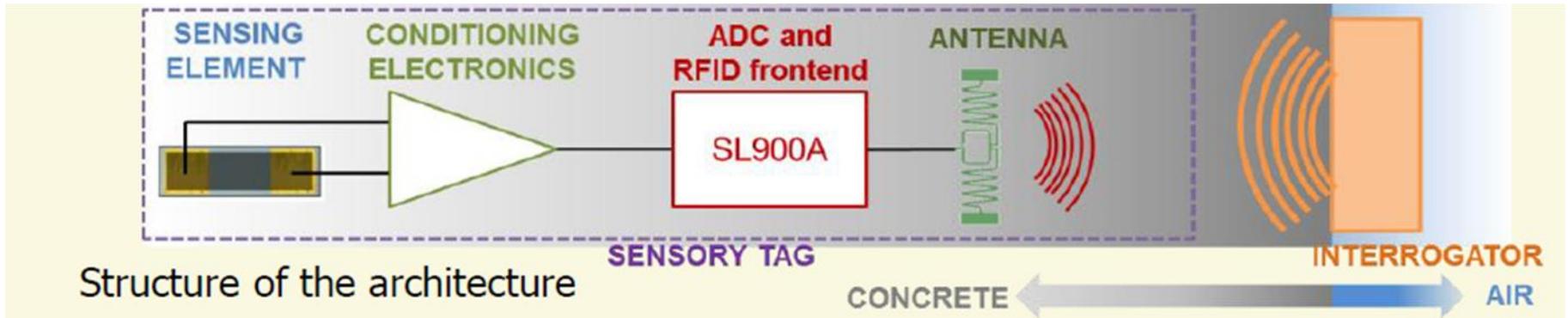
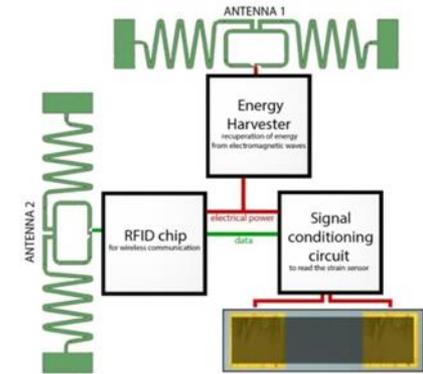
Enjeu 2 : Du nanocapteur à l'objet connecté



Resistive devices batch-fabricated by ink-jet printing of CNT

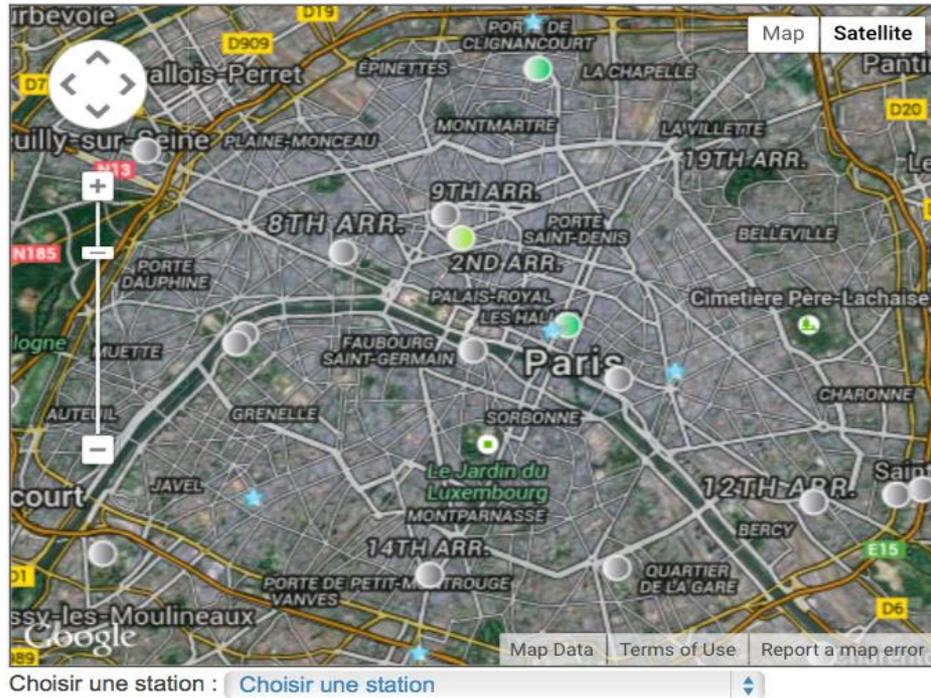


- Sensor 1
- Sensor 2
- Sensor 3
- Sensor 4



Enjeu 3 : Manufacturabilité pour des déploiements massifs

► Carte des stations automatiques d'Airparif



<http://www.airparif.asso.fr/stations/index>

CAPMINI AAP Paris 2030



<http://www.velib.paris/Plan-stations>

Enjeu 4 : Fiabilité pour des applications de longue durée

Réseaux d'eau potable : 1 an et plus



Route : 5 ans et plus

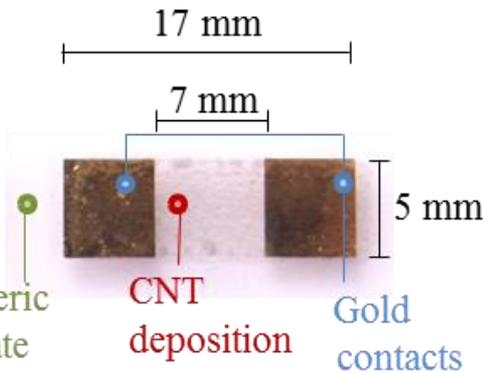


Pont : 50 ans et plus



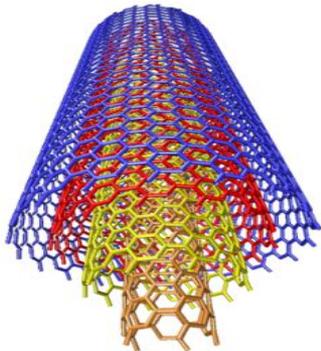
Cas concret: capteurs de déformation à nanotubes de carbone sur plastique

Fabrication en série



Concept

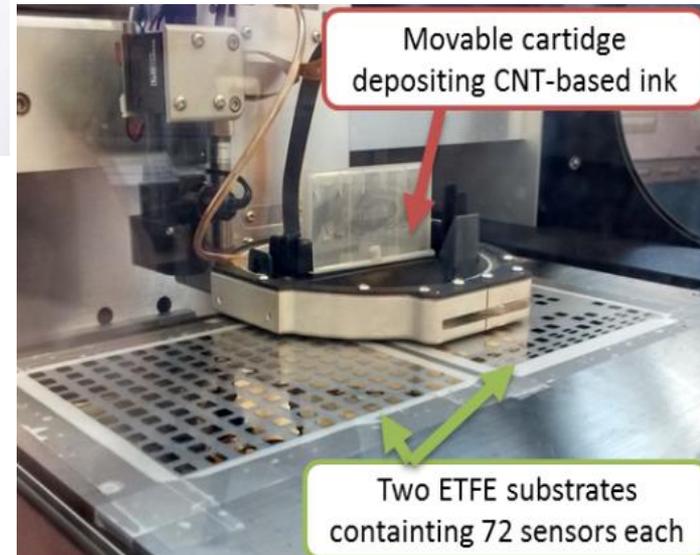
Dispositif ohmique
Réseau dense, aléatoire de nanotubes de carbone



Encre à nanotubes

Nanotubes de carbone (Arkema)
Dichlorobenzene
Sonication
Centrifugation

Fabrication en série
Imprimante jet d'encre Dimatix
Material 2800
Cartouche DMP-11601



Cas concret : capteurs de déformation à nanotubes de carbone sur plastique

Banc d'essai électromécanique



High Resolution Camera

Load cells

Force Controlled Motor

Clamps for substrate deformation

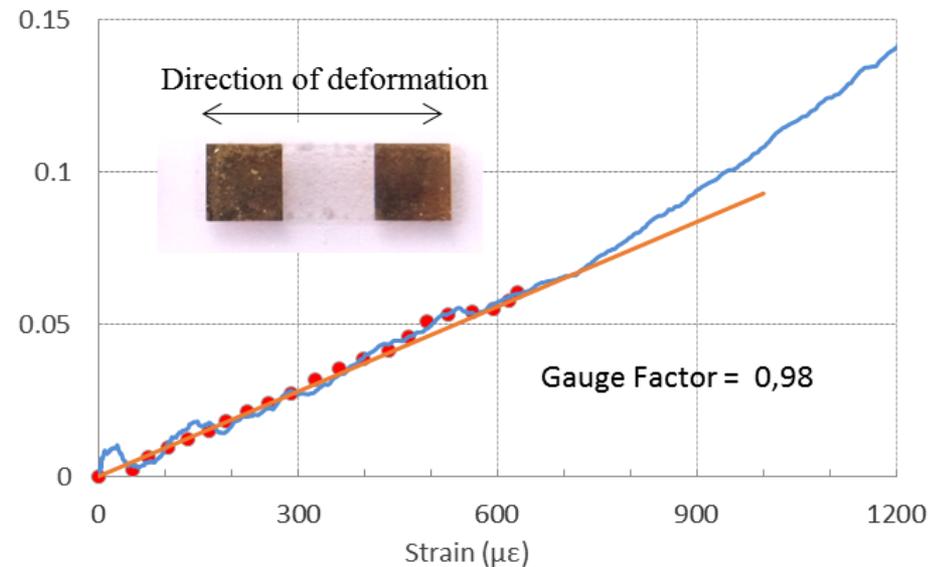
dR/R (%)

**Collage
mors de traction**



Preuve de concept

Preuve de piézorésistivité



● Data for small deformation

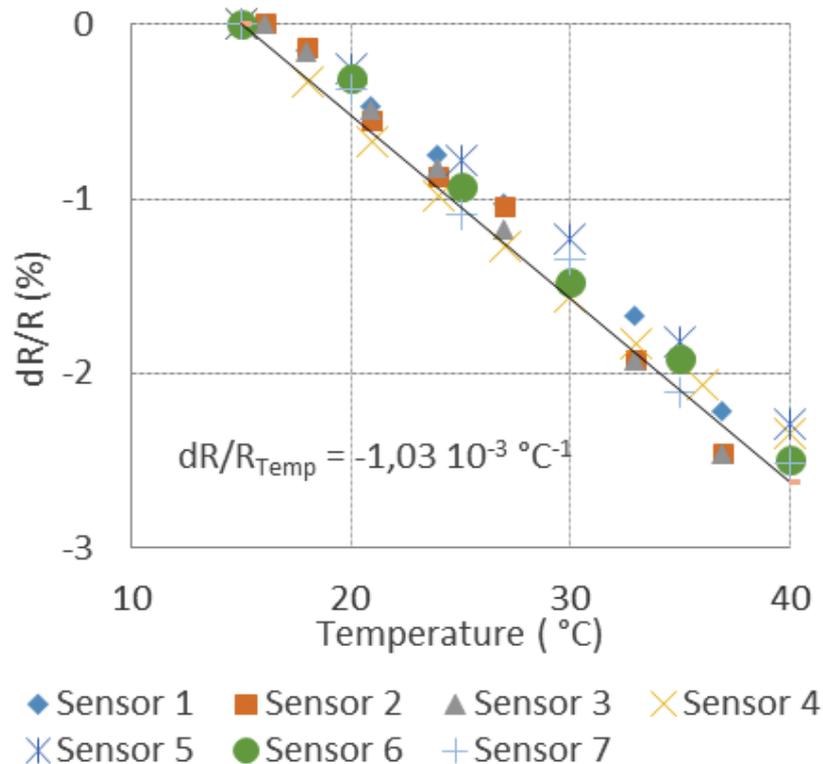
— Response to a big deformation

— Linear approximation for small deformations

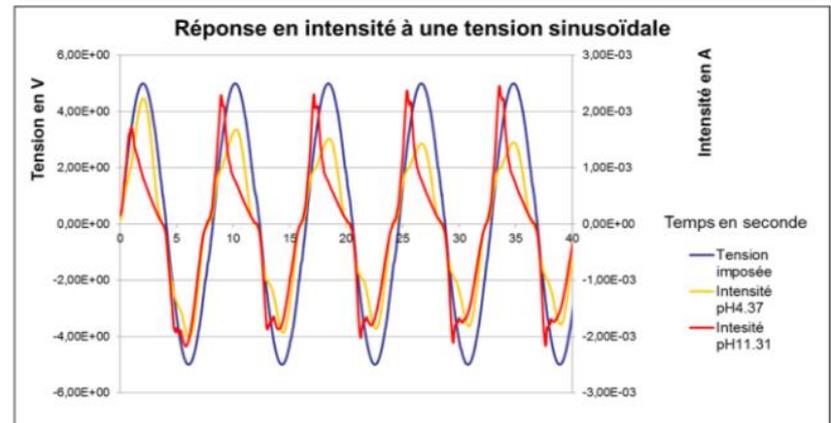
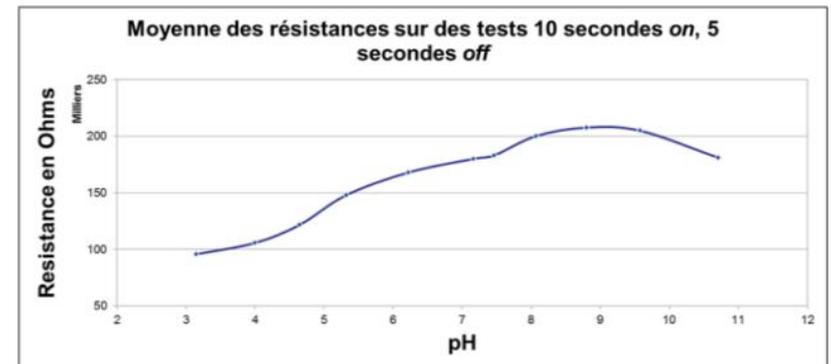
Cas concret : capteurs de déformation à nanotubes de carbone sur plastique

Les enjeux

1 : Les facteurs perturbateurs (T)

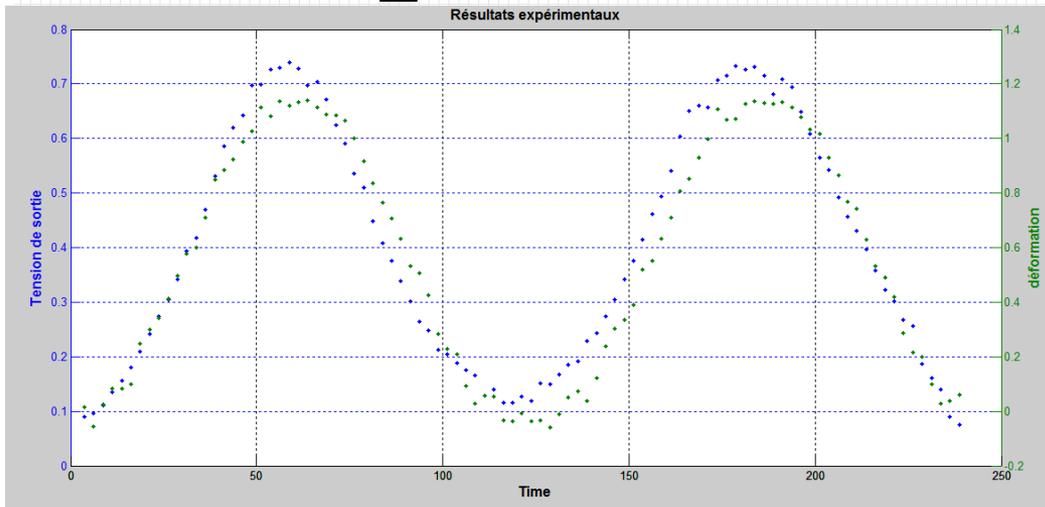
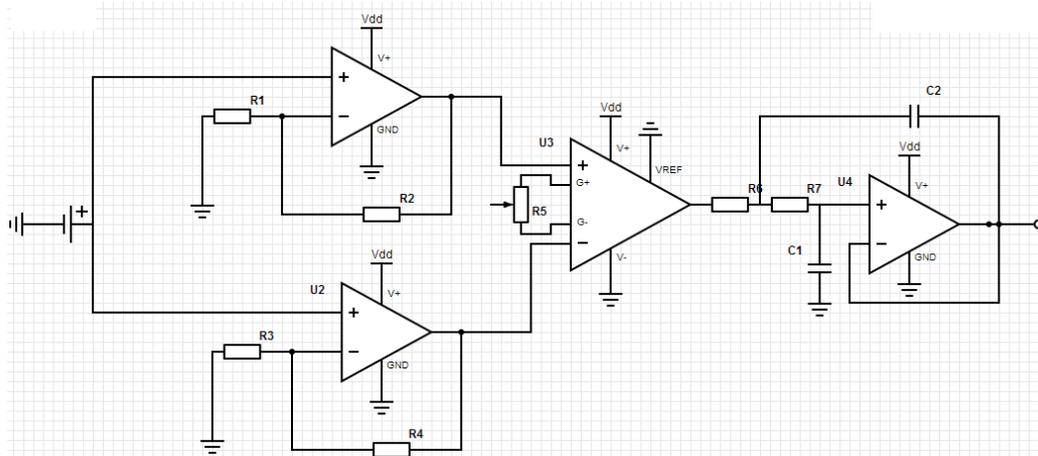


1 : Les facteurs perturbateurs (pH)

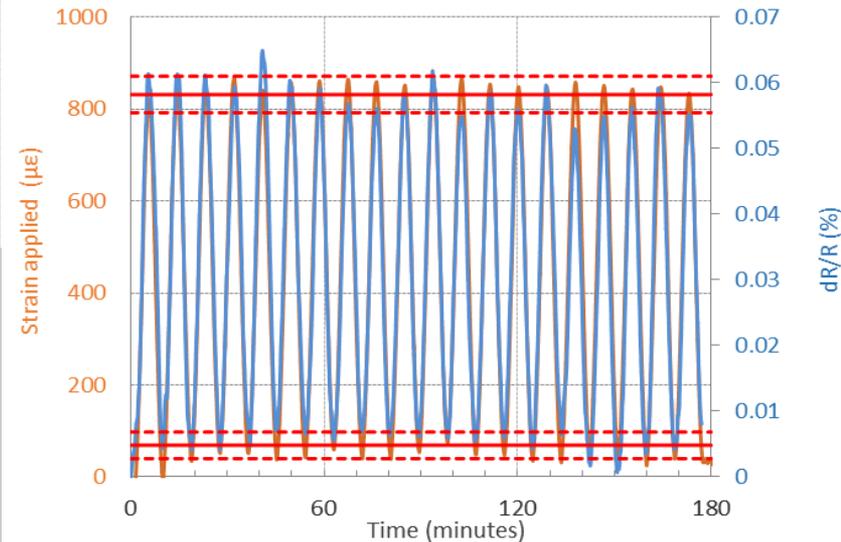


Cas concret : capteurs de déformation à nanotubes de carbone sur plastique

2 : Electronique de lecture basse consommation robuste aux perturbations



Les enjeux



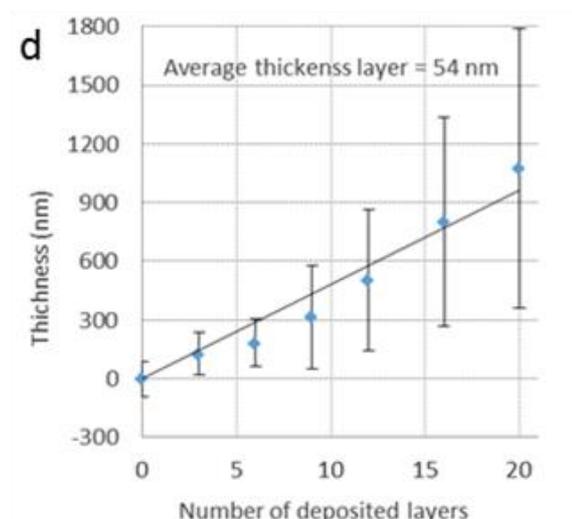
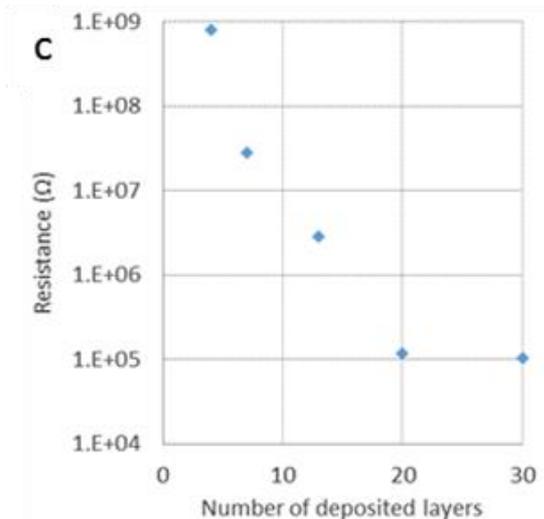
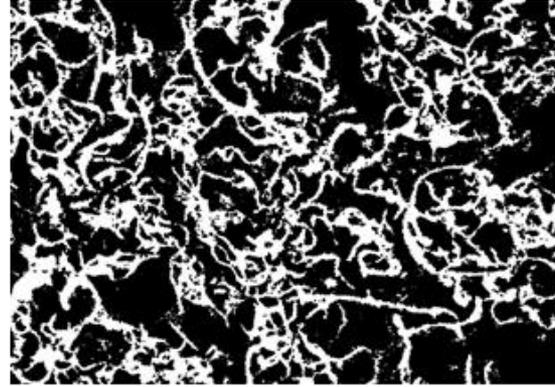
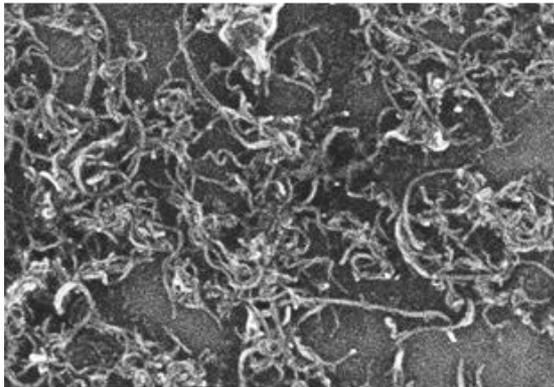
3 : Durée de vie et cyclabilité

Cas concret : capteurs de déformation à nanotubes de carbone sur plastique

4 : L'analyse des mécanismes

Couche rugueuse ou réseau percolant?

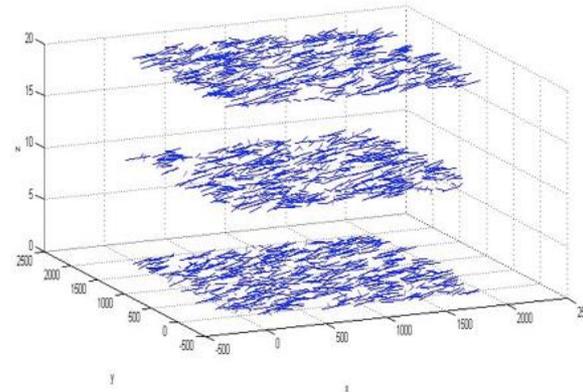
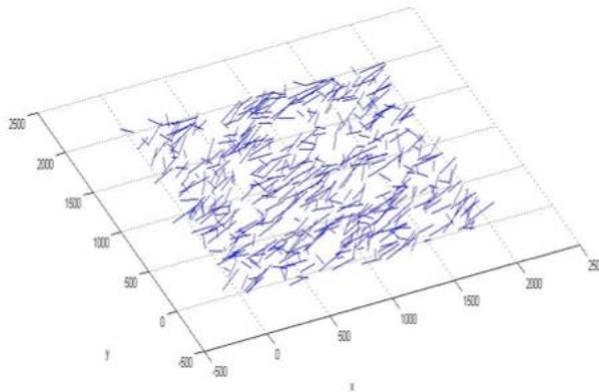
Les enjeux



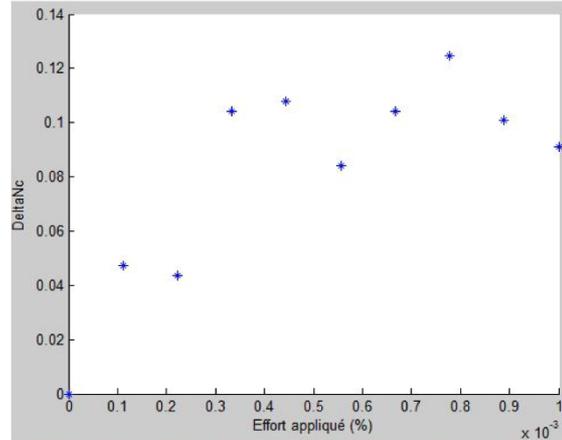
Cas concret : capteurs de déformation à nanotubes de carbone sur plastique

5 : La modélisation des phénomènes
L'impression jet d'encre, du jeter de bâton en multi-couches?

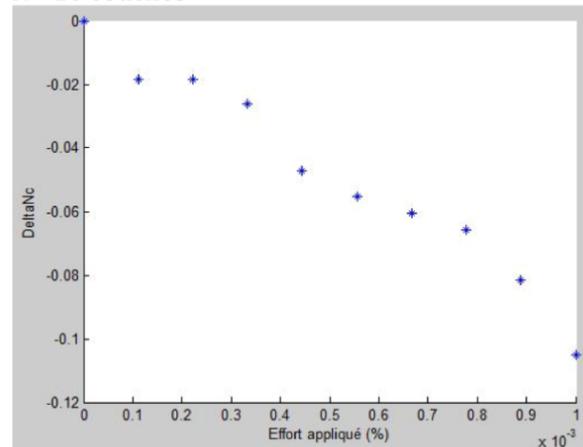
Les enjeux



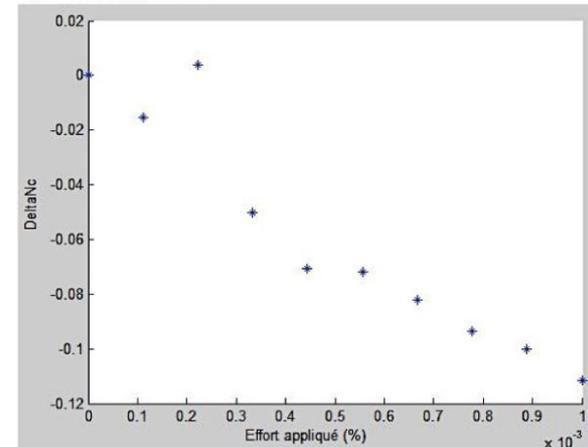
N=8 couches



N= 10 couches



N= 20 couches



Plateforme PLATINE

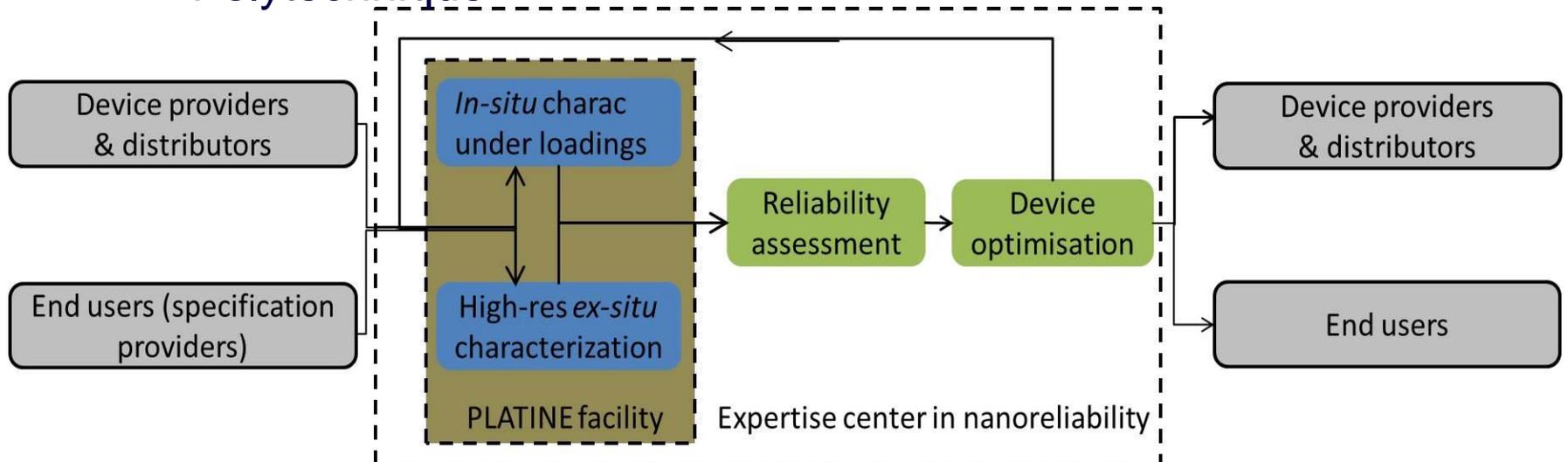
des outils pour une fiabilité multiéchelle

➤ Démarche

- Caractérisation de la réponse sous sollicitations multiphysiques
- Evaluation du vieillissement
- Développement de modèles de comportement et de fiabilité

➤ Montage financier et humain

- SESAME IDF 2014, Fonds propres Ecole Polytechnique, Paris 2030
- DGA, FCS Paris-Saclay, H2020 Proteus, Apprentissage Ecole Polytechnique

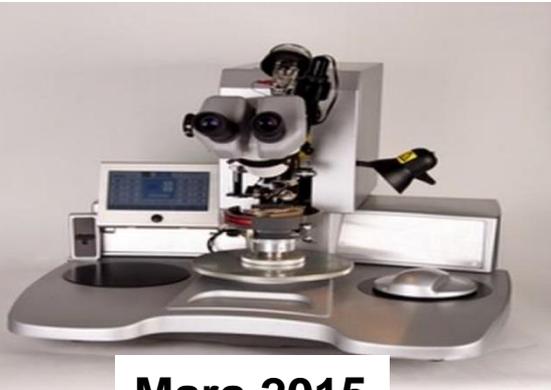


Plateforme PLATINE

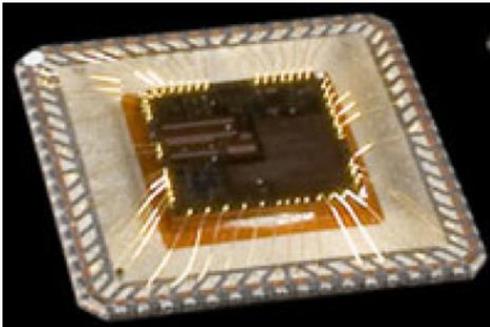
des outils pour une fiabilité multiéchelle

1) Préparation échantillon

- Wire Bonder
- Microscope optique

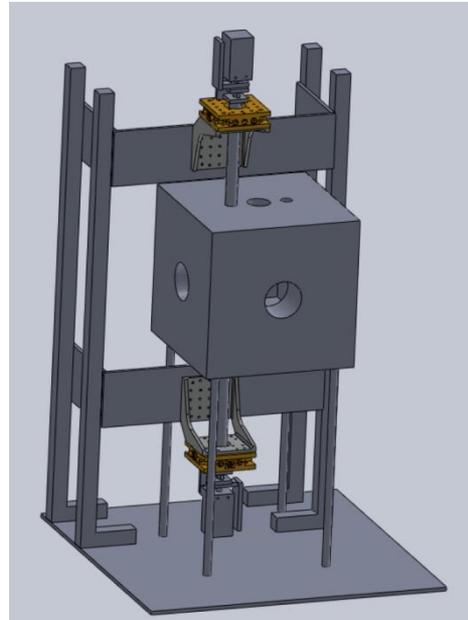


Mars 2015



2) Banc de caractérisation multiphysique instrumenté

- Sollicitation mécanique
- Contrôle température/humidité
- Mesure réponses mécanique, électrique, thermique



3) Caractérisation ex-situ

- AFM
- MEB
- Raman
- TEM



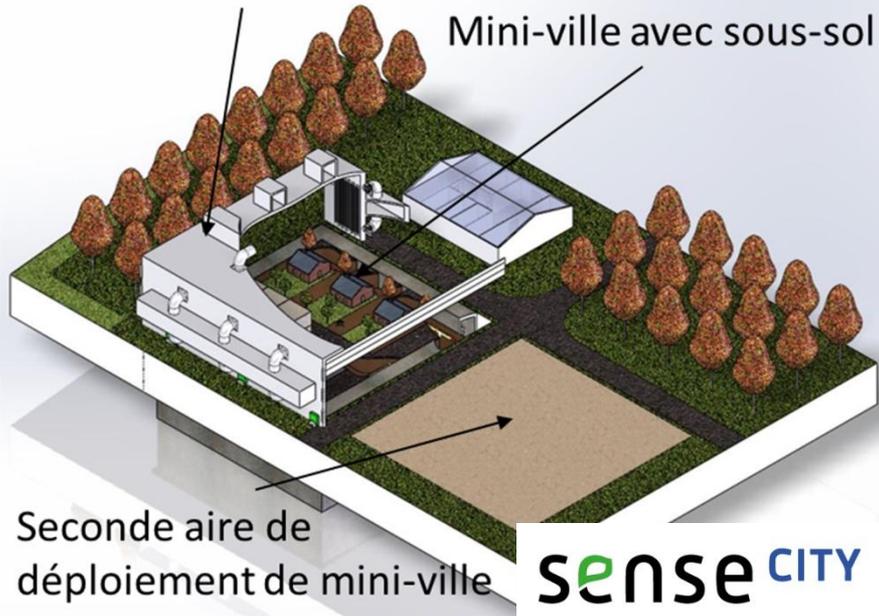
Septembre 2015

Sense-city : vers des déploiements réalistes des nanocapteurs

Sense-city, un espace réaliste de validation en environnement contrôlé des nouvelles technologies pour la ville durable

Chambre climatique mobile

Mini-ville avec sous-sol



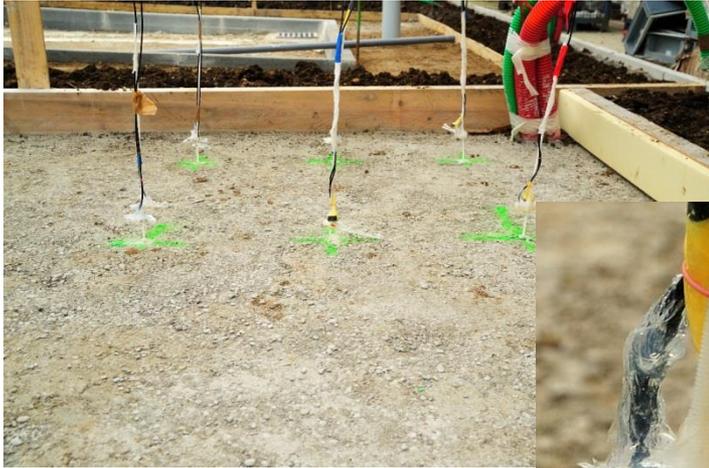
Seconde aire de déploiement de mini-ville

sense CITY



La première mini-ville communicante, dédiée à la maison et à la route intelligentes. 9 expériences. 200k€; 250m²; 60 capteurs

Sense-city : vers des déploiements réalistes de nanocapteurs



Cadre pour le positionnement des capteurs



Protection des capteurs et de leur électronique

Coulage du béton



Sense-city : vers des déploiements réalistes de nanocapteurs

De l'acquisition temps réel des données avec accessibilité en ligne...

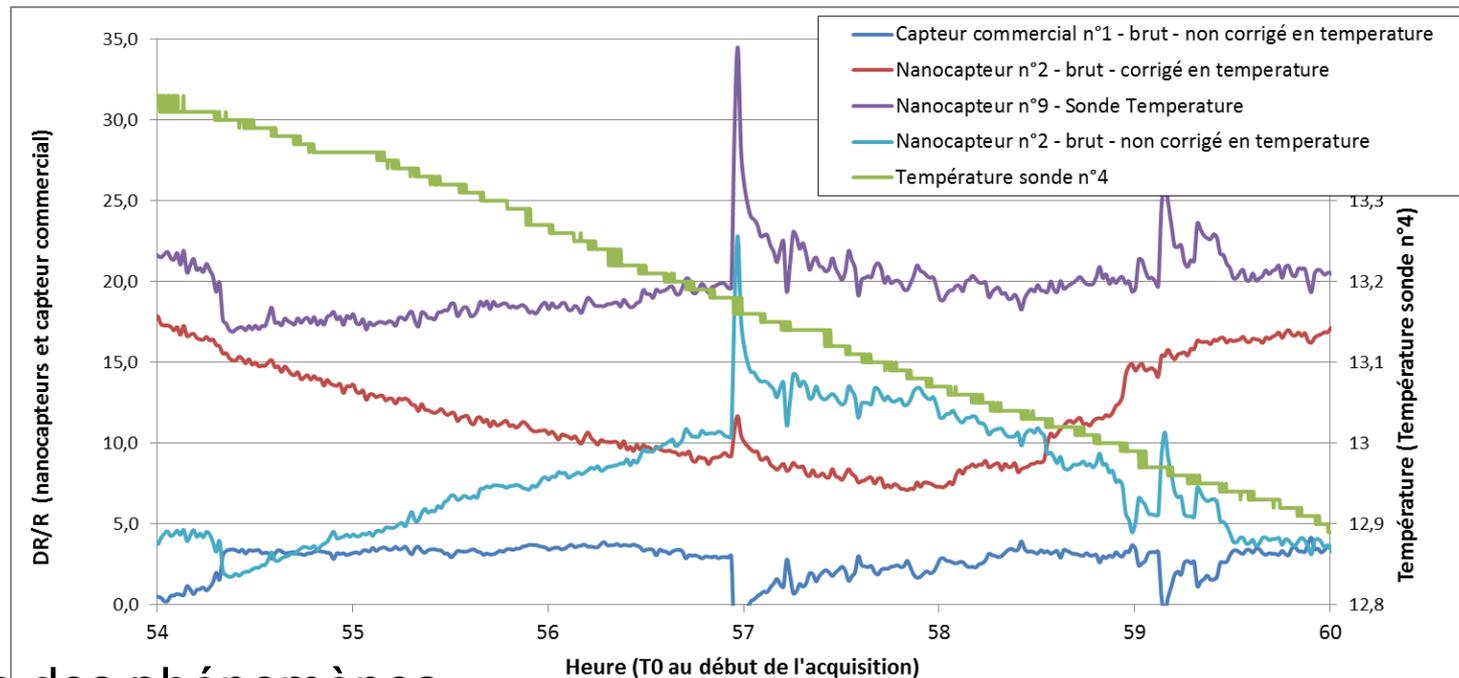
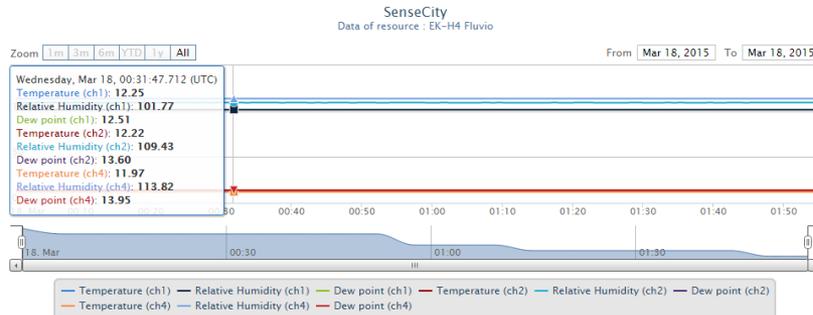
[Back to the project summary](#)

SHOW / HIDE SERIES
You can show and hide series by clicking on their name in the box on the right of the chart.

ZOOM
You can select a period of view by clicking on time duration in the box on top of the chart. You can also zoom in by selecting with the mouse a period directly in the chart.

CHANNELS (CONTINUOUS DATA)
Data channel can contains more data than the chart can display, if you select a too large period compared to the data acquisition frequency. In this situation, the envelope of the signal is shown on the chart.

CHANNELS (TRIGGERED DATA)
Each point displays an acquisition sequence. You can click on it to view all data triggered in the same time.



... à l'interprétation des phénomènes

Conclusion et perspectives

- Contexte applicatif : la ville durable
- Des enjeux scientifiques pluridisciplinaires
- Un cas concret : les capteurs de déformation à base de CNT, de la fabrication au déploiement réaliste
- Un problème transverse, la fiabilité
 - Conception d'une plateforme dédiée
 - Développements méthodologiques, expérimentaux et théoriques

Remerciements

- IFSTTAR: F. Derkx, F. Bourquin, H. Van Damme, B. Ghaddab, A. Ruas, E. Merliot, F. Bouanis, J. Waeytens, R. Chakir, V. Le Cam, A. Nassiopoulos, J.-L. Sorin, N. Hautiere
- LPICM: P. Roca, J.-C. Vanel, G. Zucchi, I. Florea, C. S. Cojocaru, G. Rose, E. Caristan
- LMS: A. Constantinescu, M. Jabbour
- UPEM: J.-M. Laheurte.
- Les collègues du consortium Sense-City

Remerciements

