



Prototypage et Validation de Micro et Nanocapteurs pour la Ville Durable

Bérengère Lebental

sense CITY



www.ifsttar.fr

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux

Un projet UPE

UNIVERSITÉ
— PARIS-EST

IFSTTAR

ESIEE
PARIS

CSTB
le futur en construction

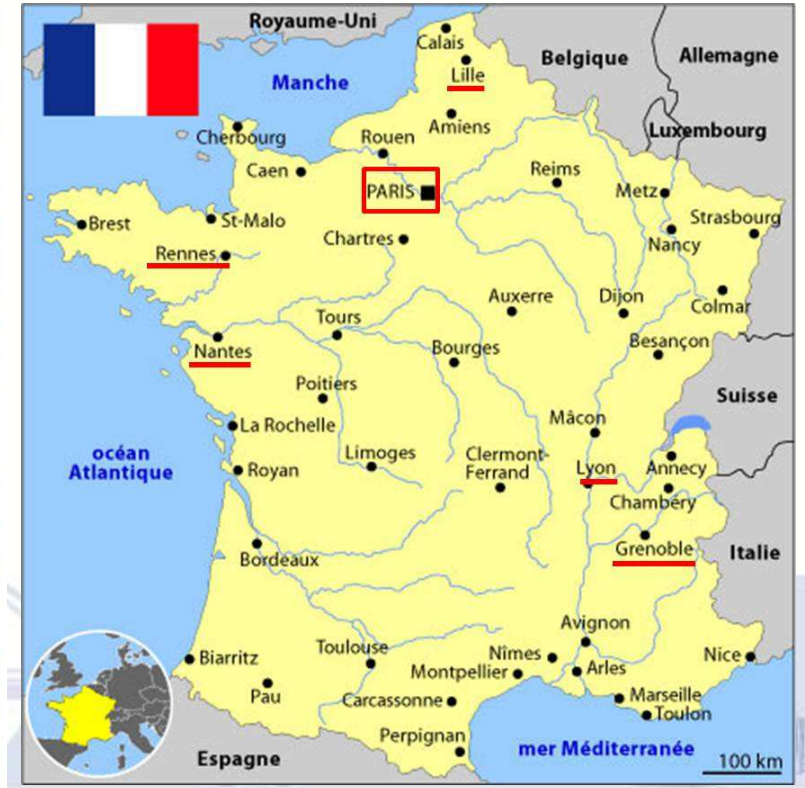
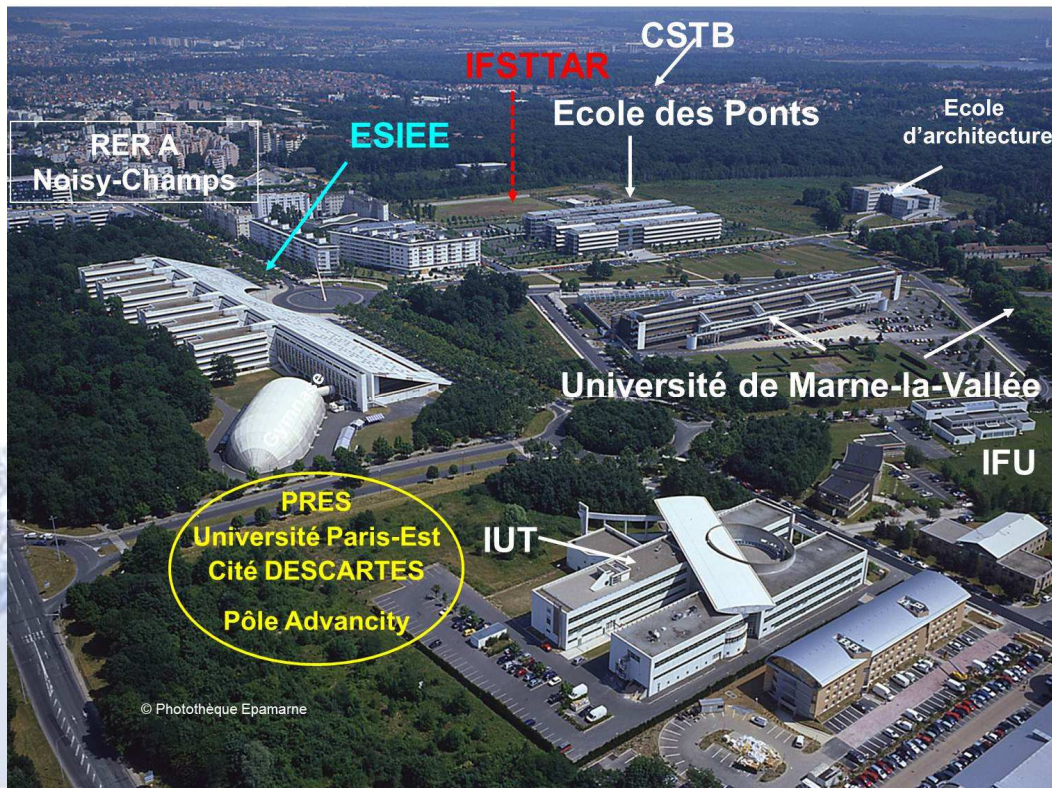
LA PICM

ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

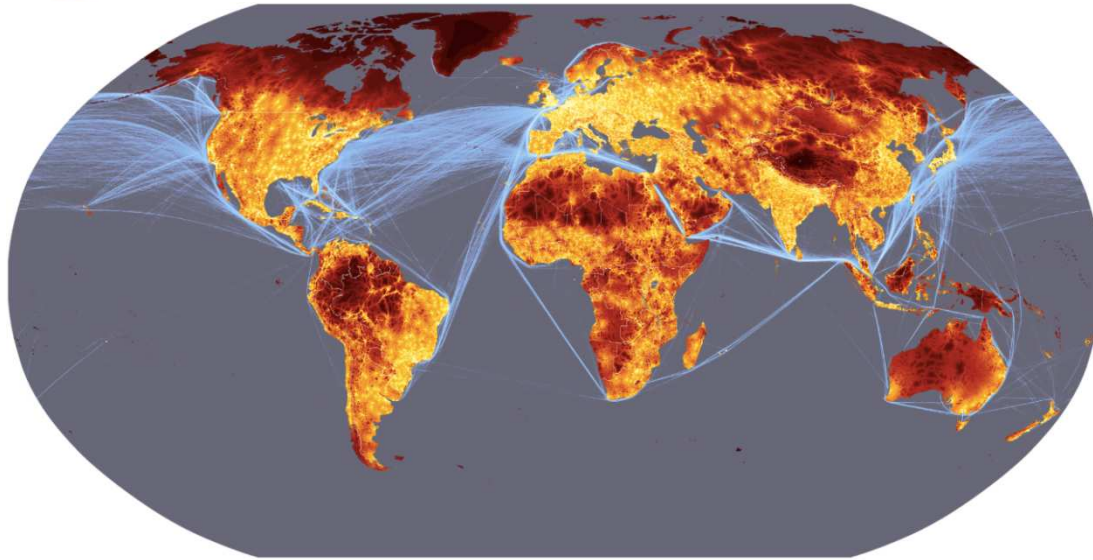
CNRS

Inria
INSTITUT NATIONAL SUPÉRIEUR
DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE

UP
EM
UNIVERSITÉ
PARIS-EST
MARNE-LA-VALLÉE



Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux



54%

La part de la population mondiale urbaine en 2014

350 000 morts/an

Liés à la qualité de l'air en Europe

4000 milliards de kg

de déchets par an

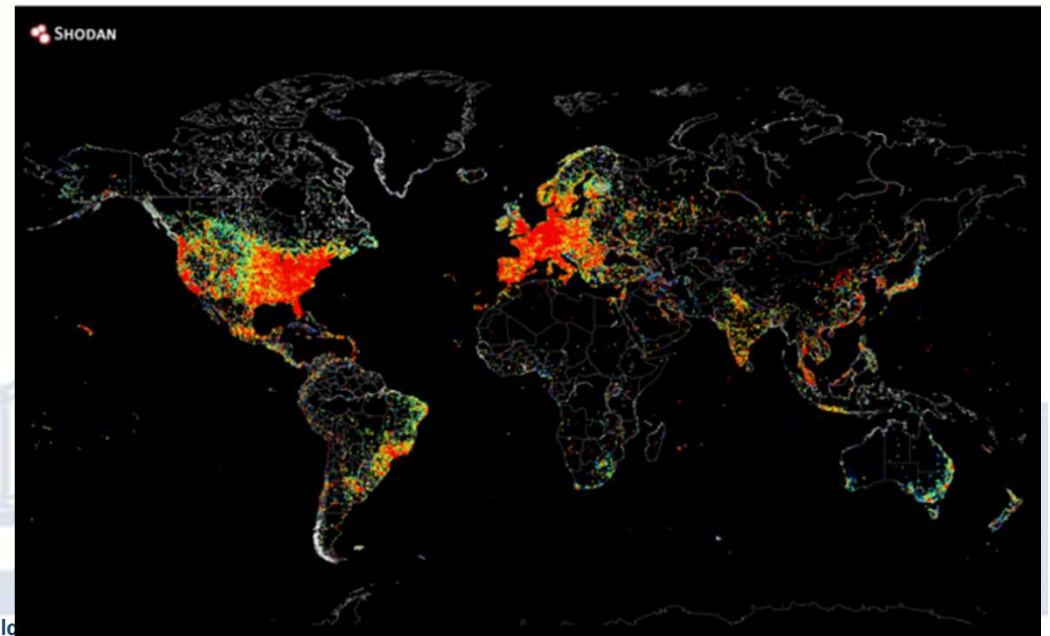
Exploiter la révolution numérique pour rendre nos villes plus respectueuses de l'environnement

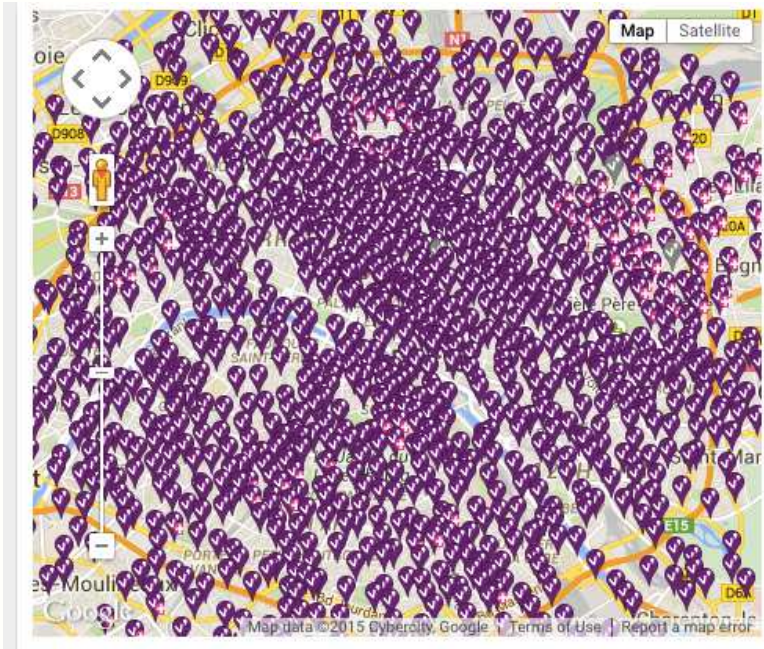
7 Milliards

Le nombre de téléphones portables en 2014

20 Milliards de \$

Le marché des objets connectés en 2014





Créer un Internet des Capteurs

Pour mesurer massivement la ville au plus près des citoyens

Rendre la Ville Sensible pour améliorer son fonctionnement au quotidien

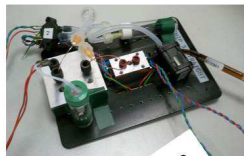
Construire des outils d'aide à la décision pour le citoyen, l'aménageur et le gestionnaire





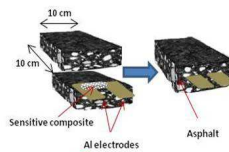
Une démarche en 3 temps pour de nouveaux outils d'aide à la décision

Du capteur (1) à la modélisation (2) jusqu'à la représentation des phénomènes (3)

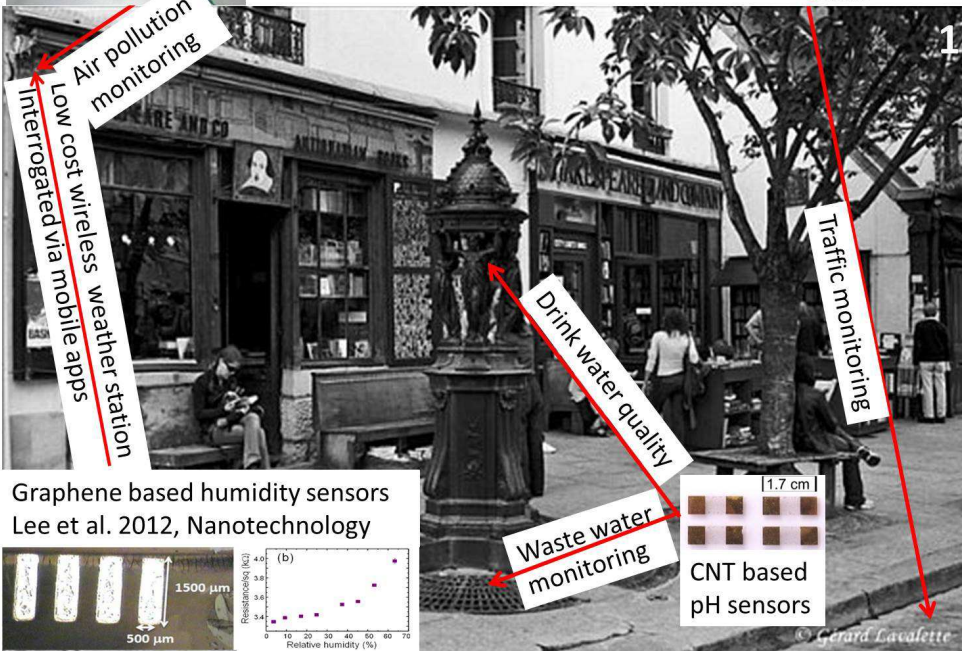
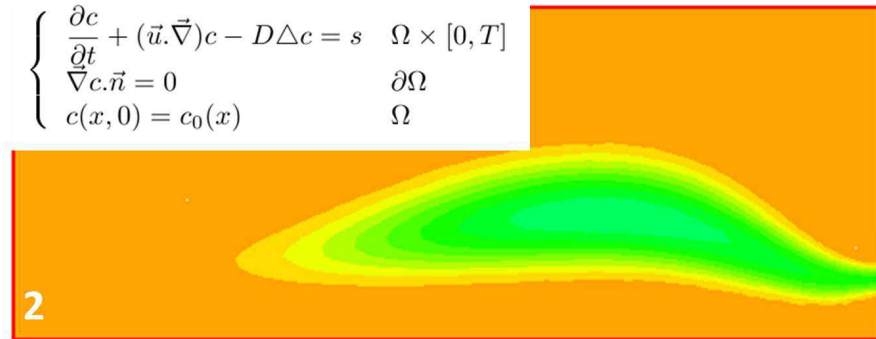


Microchromatograph
Cesar et al., IEEE MEMS 2013

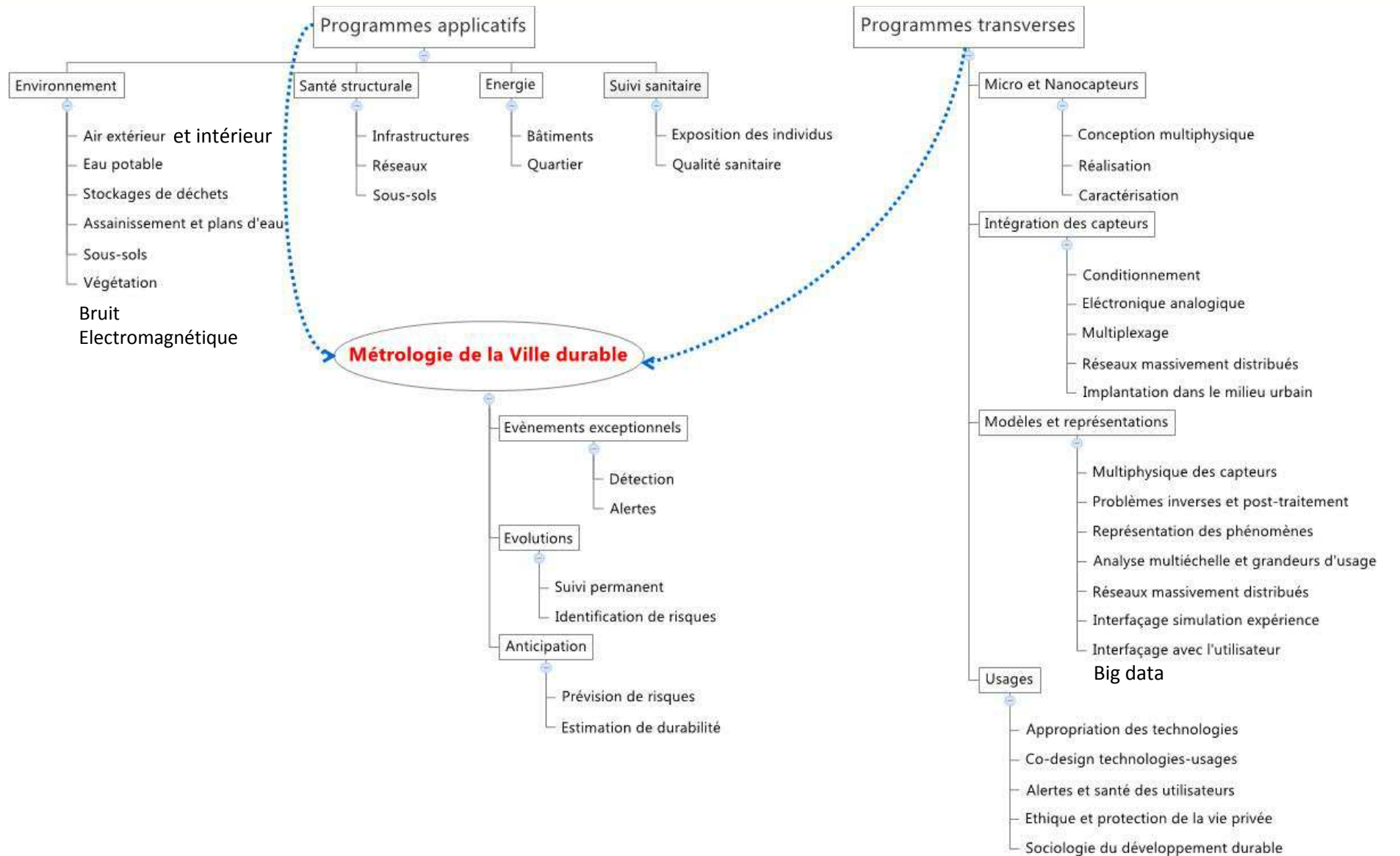
Smart asphalt
B. Lebental et al. Patent 2014



$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \vec{\nabla})c - D\Delta c = s & \Omega \times [0, T] \\ \vec{\nabla}c \cdot \vec{n} = 0 & \partial\Omega \\ c(x, 0) = c_0(x) & \Omega \end{cases}$$

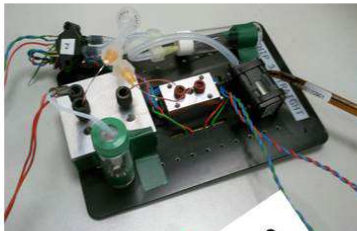


Les enjeux scientifiques et métiers



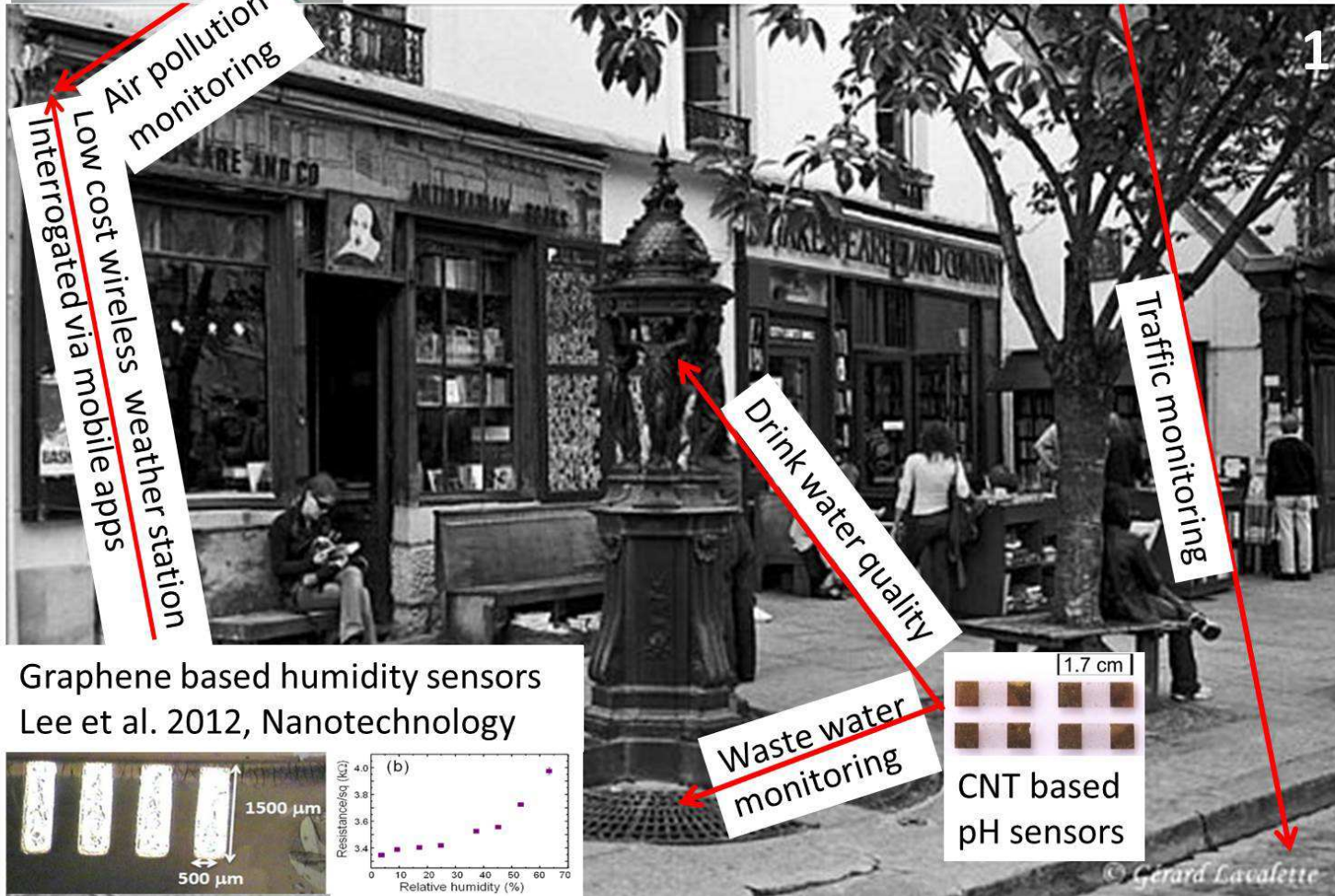
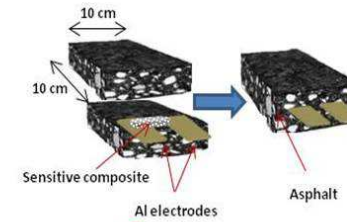


Enjeu 1 : Un répertoire de capteurs pour la Ville



Microchromatograph
Cesar et al., IEEE MEMS 2013

Smart asphalt
B. Lebental et al. Patent 2014



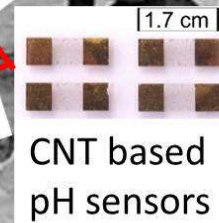
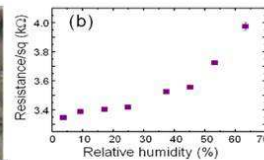
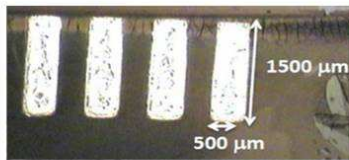
Air pollution monitoring
Low cost wireless weather station
Interrogated via mobile apps

Traffic monitoring

Drink water quality

Waste water monitoring

Graphene based humidity sensors
Lee et al. 2012, Nanotechnology



CNT based pH sensors

1

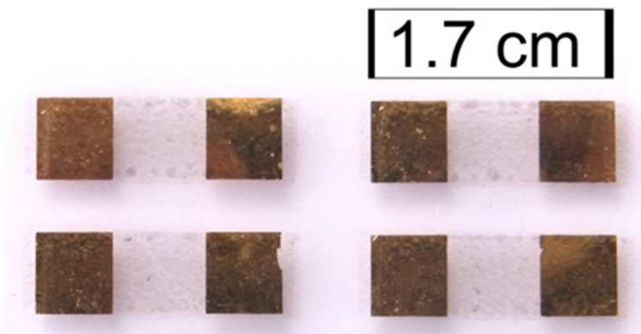
© Gérard Lavolette



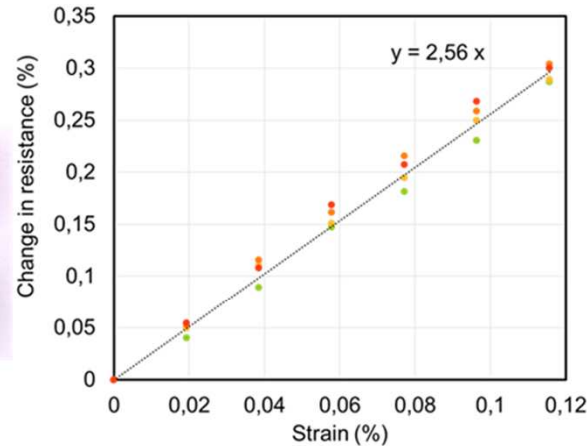
Enjeu 1 : Un répertoire de capteurs pour la Ville

- Pourquoi de nouveaux capteurs?
 - Seules quelques observables (temperature, humidity, GPS data, accelerometers...) sont mesurables de façon fiable avec une taille raisonnable et à cout (énergétique et financier) abordable dans une approche moyen/grand public
 - Exemple: Qualité de l'air ou de l'eau? Pollution électromagnétique?
- Quelques approches:
 - La voie Silicium: technologies plus complexes; bas cout, mais seulement en grand volume; meilleure précision
 - La voie Bas Cout: bas cout dès la petite série; mais précision limitée

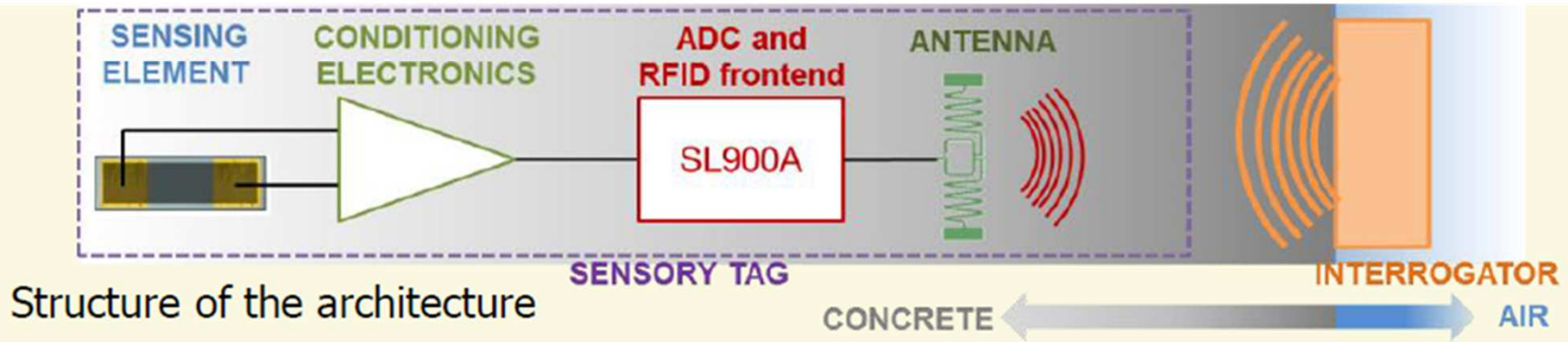
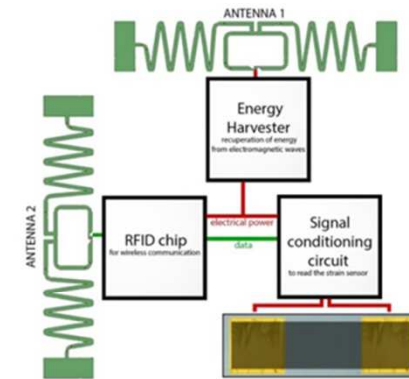
Enjeu 2 : Du nanocapteur à l'objet connecté



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



• Sensor 1 • Sensor 2 • Sensor 3 • Sensor 4



Enjeu 3 : Reconstruction des phénomènes et optimisation du positionnement des capteurs

Direct problem: Navier-Stokes + incompressibility

$$\rho \frac{\partial \underline{v}}{\partial t} + \rho \underline{\nabla} \underline{v} \cdot \underline{v} + \underline{\nabla} p - \mu \Delta \underline{v} = \underline{0} \quad \text{in } \Omega \times [0, T]$$

$$\text{div}(\underline{v}) = 0 \quad \text{in } \Omega \times [0, T]$$

$$\underline{v} = \underline{v}_c \quad \text{on } \partial \Omega$$

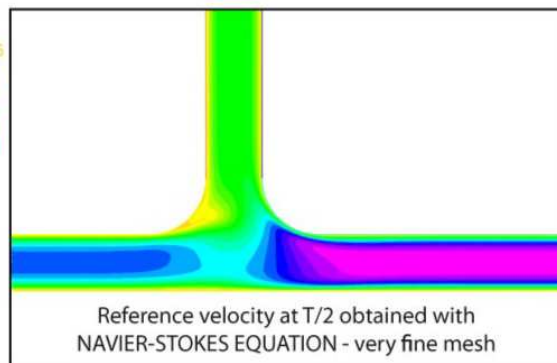
$$\underline{v} = \underline{0} \quad \text{on } \partial \Omega$$

$$\underline{v}(t = 0) = \underline{0}$$

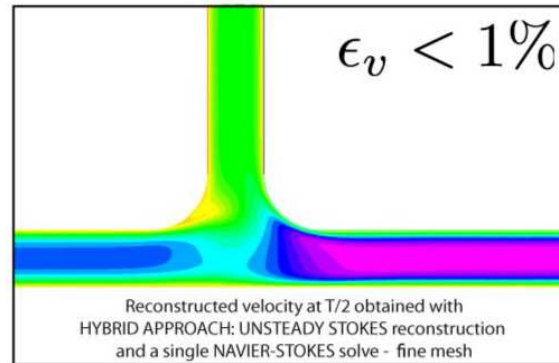
Ecoulements dans les réseaux d'eau potable

Find boundary conditions minimizing data misfit functional:

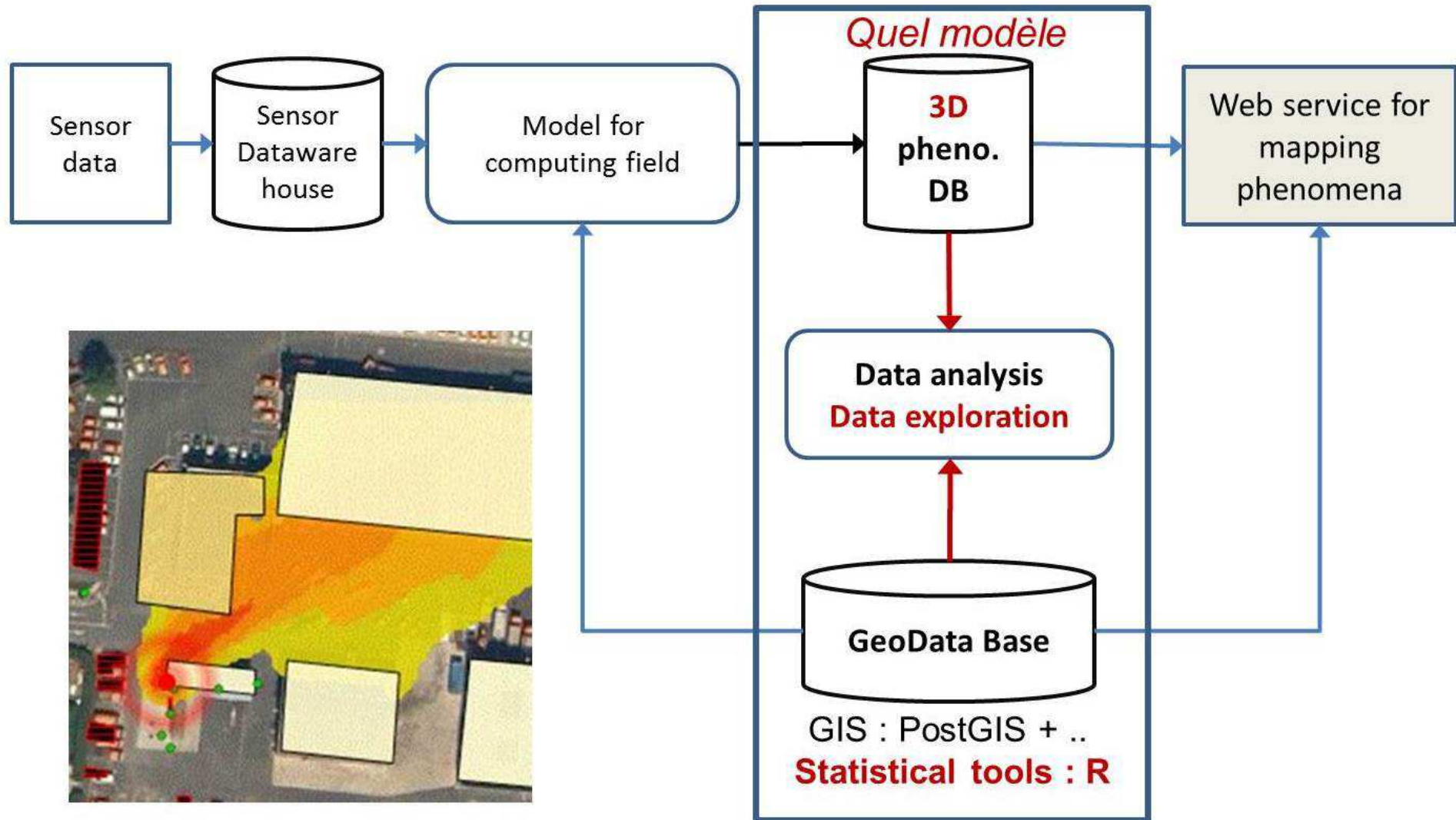
$$\min_{V_c \in \mathcal{V}_c} J(V_c) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_s} \int_0^T \left(\int_{\Omega} \psi_j^r \underline{v}(V_c) \cdot \underline{d} \, d\Omega - v_j^{mes} \right)^2 dt$$



$\epsilon_v < 1\%$



Enjeu 4 : Analyse et visualisation des données



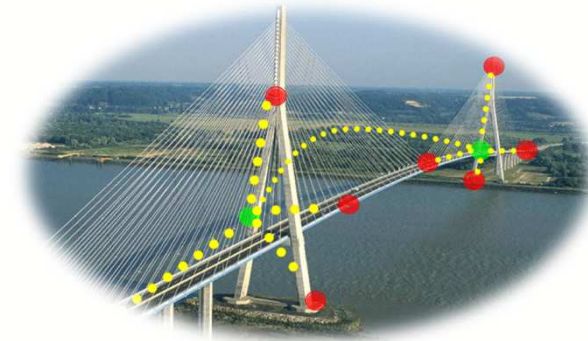


Enjeu 5 : vers une fiabilité accrue pour des applications de longue durée

Réseau d'eau : 1 an

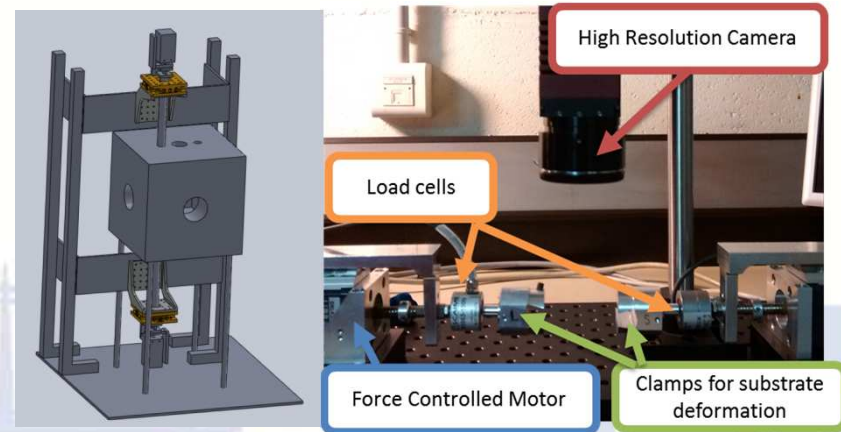
Route : 5 ans

Pont : 50 ans



PLATINE

Une plateforme pour la fiabilité des nanocapteurs



www.ifsttar.fr



Quels sont les freins?

Pour les industriels

- Modèles économiques et marchés complexes et/ou nouveaux
- Solutions technologiques complexes à prototyper rapidement
- Méconnaissance des performances réelles

Pour les académiques

- Eloignement du domaine urbain
- Faible maturité des technologies
- Faible accès à la chaîne de valeur
- Difficultés de financement

Pour l'aménageur et l'utilisateur

- Méconnaissance ou incompréhension des solutions
- Solutions mal adaptées
- Risques potentiels des nouvelles technologies

Pour les financeurs

- Difficile évaluation des résultats
- Faible généralisation et répliquabilité
- Transferts technologiques limités
- Cycles de développement trop lents



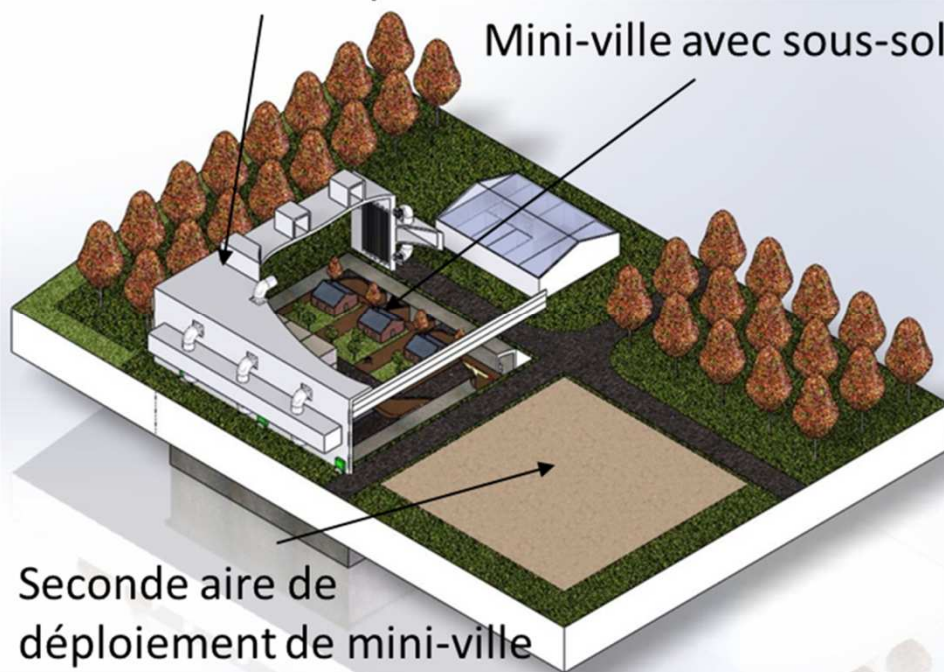
Sense-City, un démonstrateur pour la Ville Sensible

Dès 2017, 400m² de scénarios urbains instrumentés en environnement climatique contrôlé

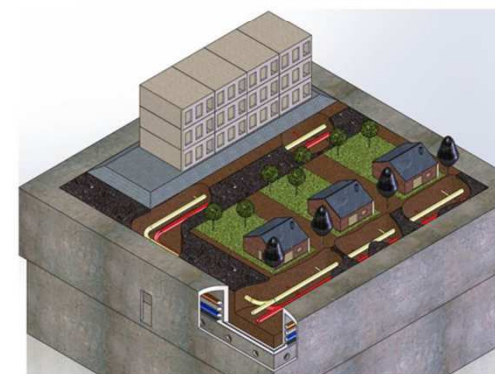
Un espace de validation unique en Europe

Chambre climatique mobile

Mini-ville avec sous-sol



Seconde aire de déploiement de mini-ville

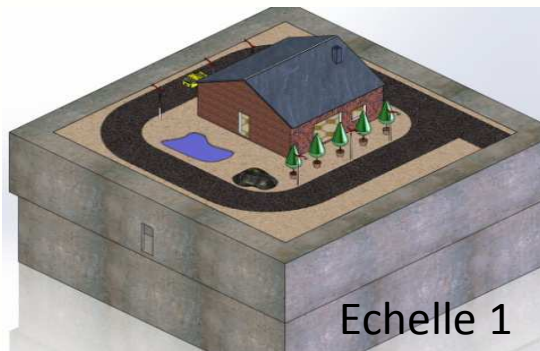


La complexité d'un quartier...

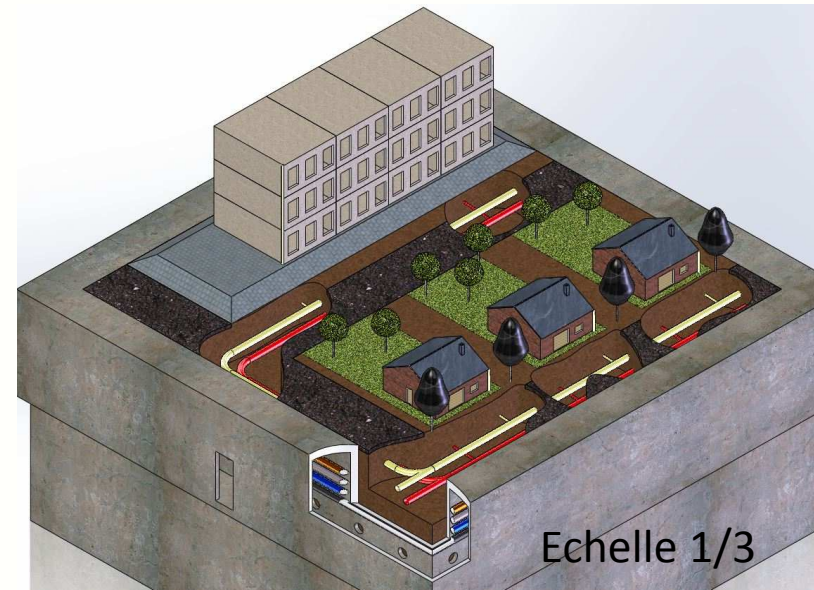
- Aménagement urbain



- Maison instrumentée



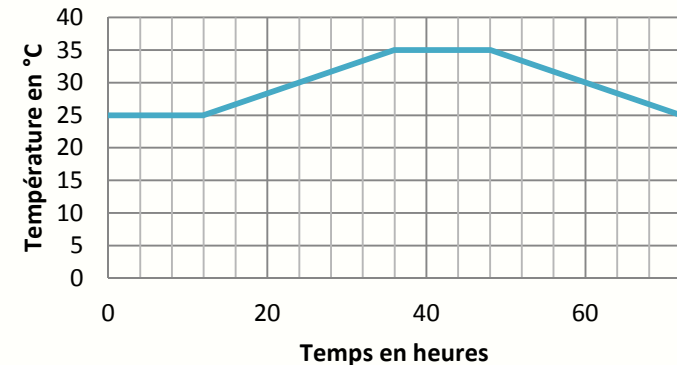
Aménagement filtration
imperméabilité des sols





...soumis aux aléas du climat

- Un environnement climatique contrôlé
 - Température,
 - Humidité
 - Rayonnement solaire
 - Pluie
 - Polluants



➔ Vers la simulation d'évènements climatiques extrêmes (URBACLIM)





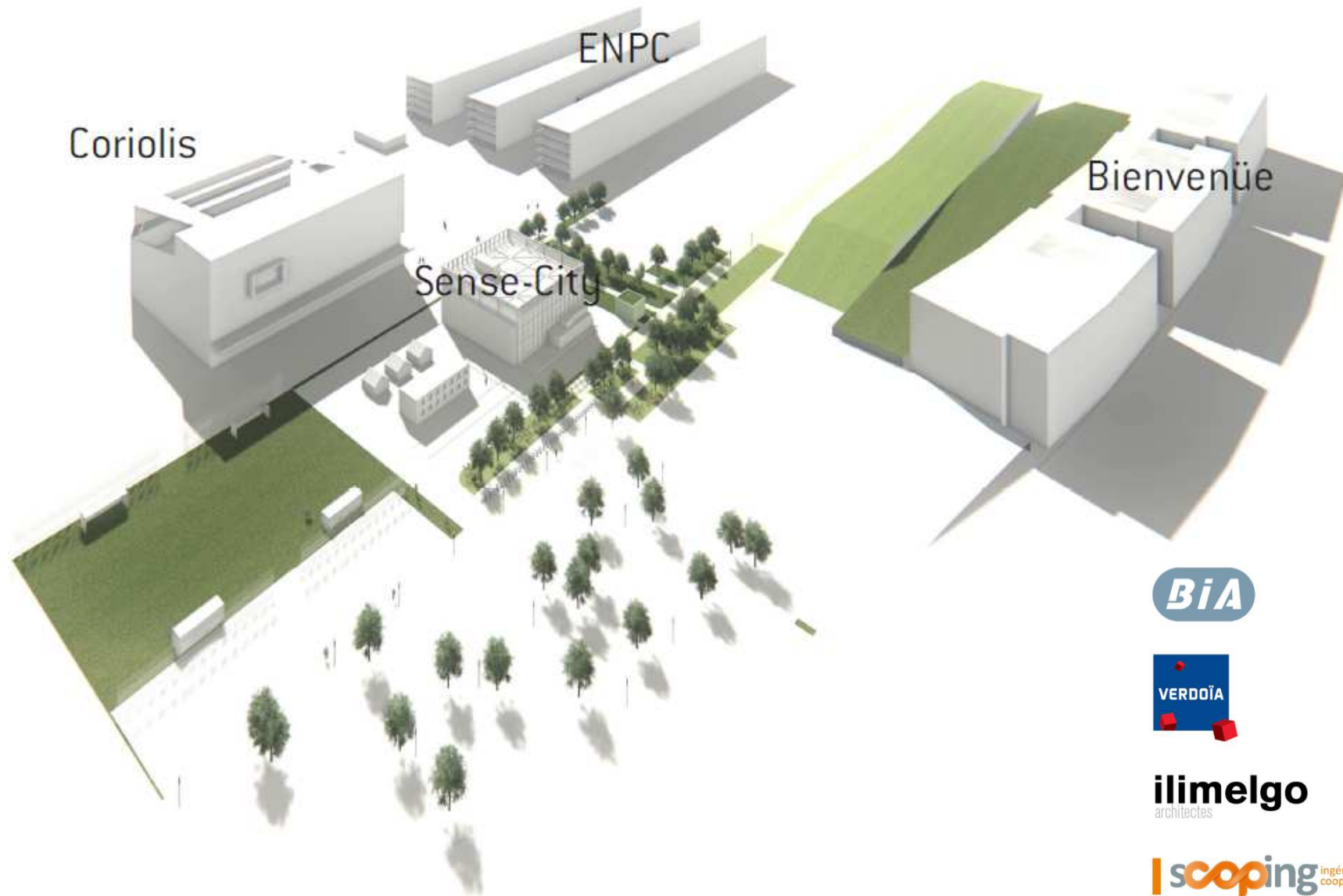
Sense-City, un accélérateur de transfert technologique pour la ville

- Rapprocher les acteurs de la R&D des acteurs de l'urbain
- Garantir les performances de longue haleine des produits de la R&D urbaine
- Faciliter l'appropriation des technologies par usagers, collectivités et exploitants
- Favoriser la co-conception des produits de la R&D urbaine
- Imaginer de nouveaux produits et usages





Implantation





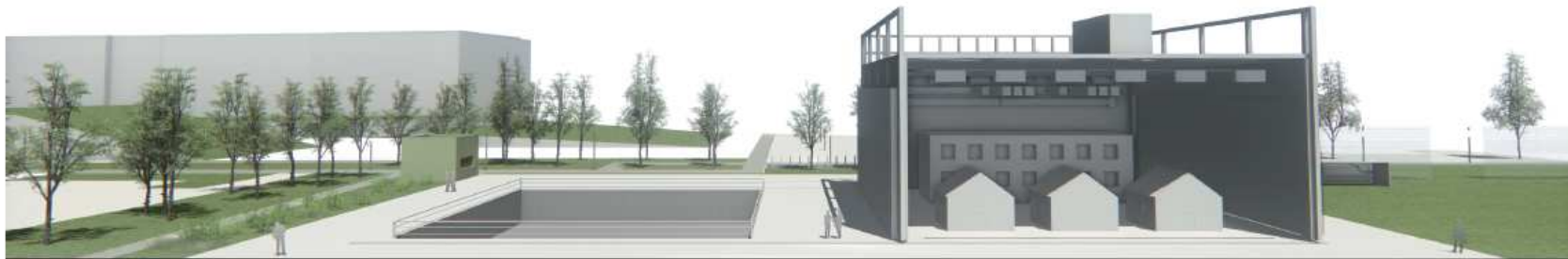
Projet architectural



scénario 1



chambre climatique mobile



scénario 2



La mini-ville communicante

Le 1^{er} scénario urbain instrumenté de Sense-City

- 250m² à ciel ouvert autour de la maison et de la route intelligente
- 200+ k€ de budget
- 60+ capteurs connectés
- 15 expérimentations en cours ou en préparation





sense CITY

Architecture de collecte de donnée
Internet of Things for smart cities



Air Quality
T, Hr, NO2, CO, O3, Dust
4x Air Quality Egg



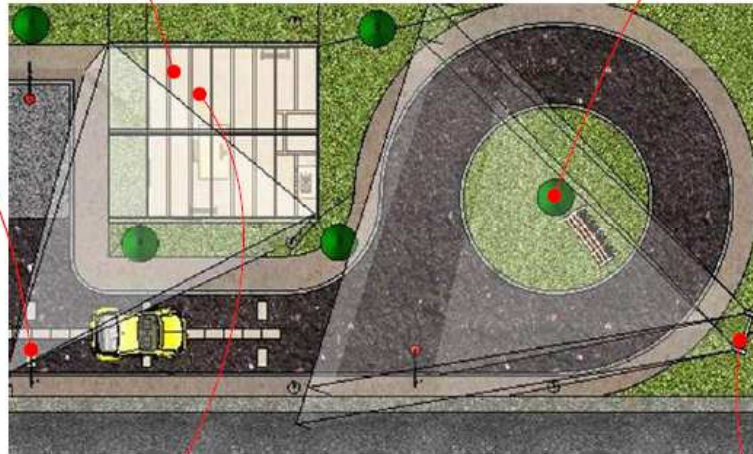
Air Temperature
24x PT100



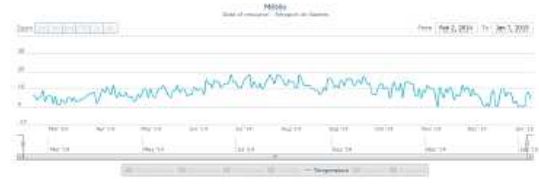
Open-Data
Airport weather reports (METAR)
Météo-France observations (SYNOP)



Embedded sensors for concrete
Inside temperature and humidity
4x SHT75
8x Strain gauges (nano and commercial)



Sensors supervisor
Big data
Models processing (Matlab)



Thousands of sensors
Billions of measure points
Mathematical models

Internet gateway
Connect cities to internet of things



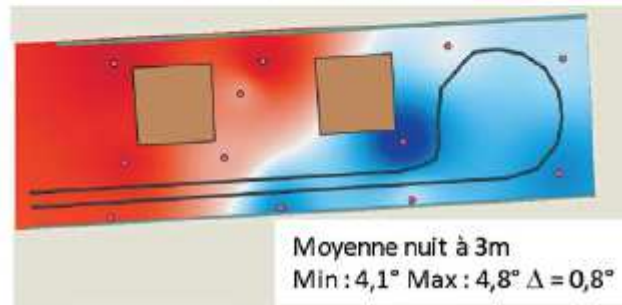
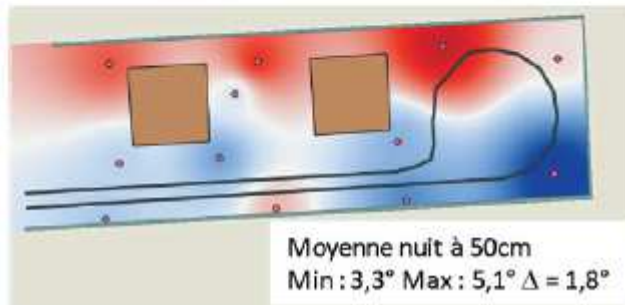
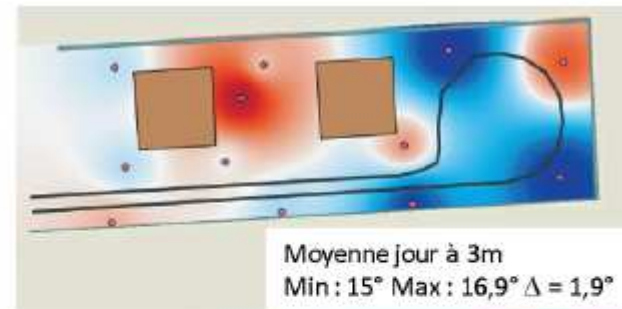
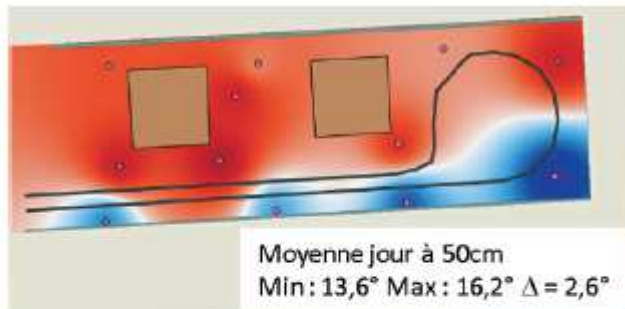
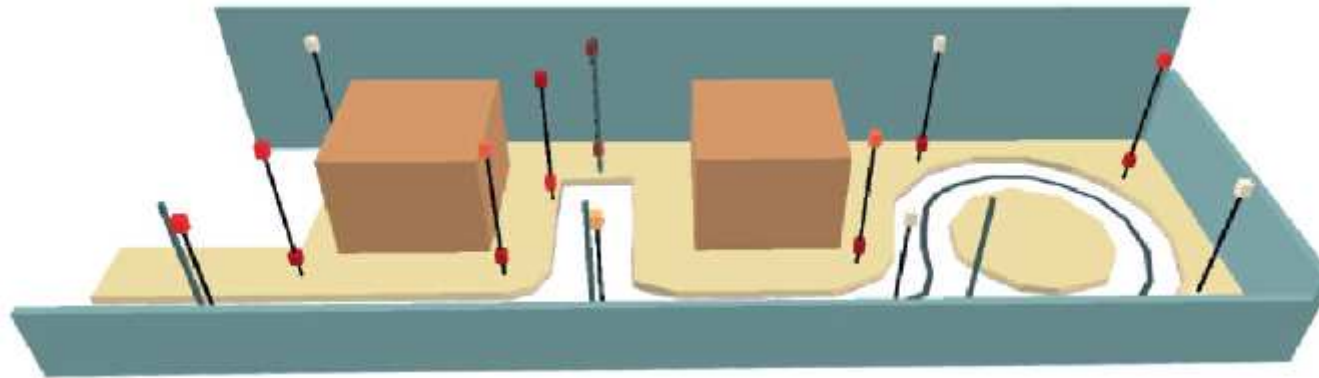
Vincent Le Cam



De la mesure à la représentation des températures



IFSTTAR



Anne Ruas



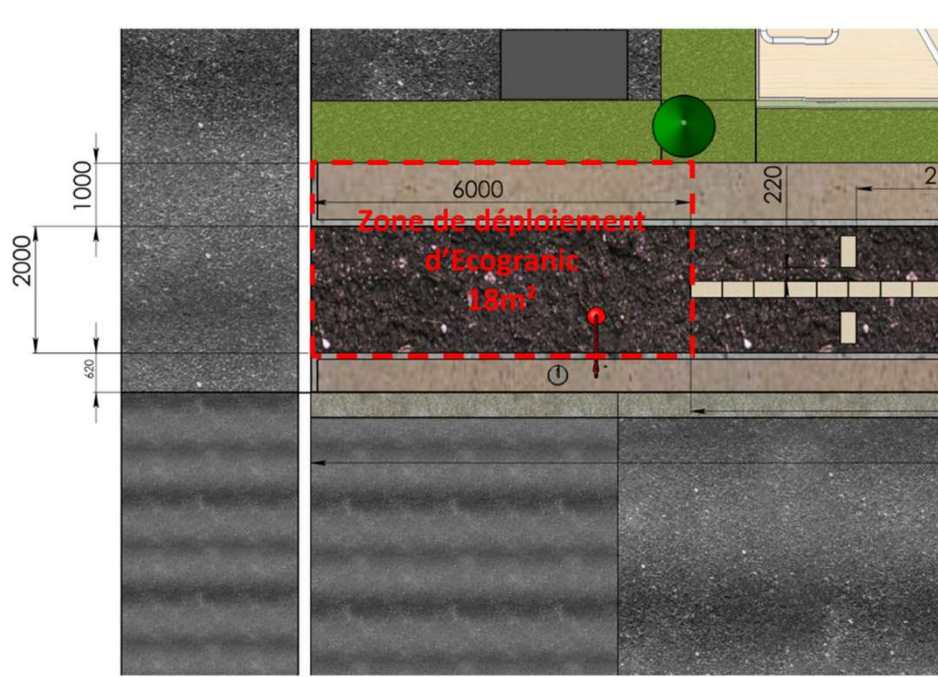
Vers un maillage dense de capteurs pour la QAI et QAE

- Déploiement T4 2015
- Financement via projet URBACLIM (CPEP)
- 6 nœuds QAI: COV/PM/NO₂
- 12 nœuds QAE: PM/NO₂/O₃
- 2 ans de maintenance (=recalibration)
- Collecte des données en WIFI et envoi vers superviseur générique



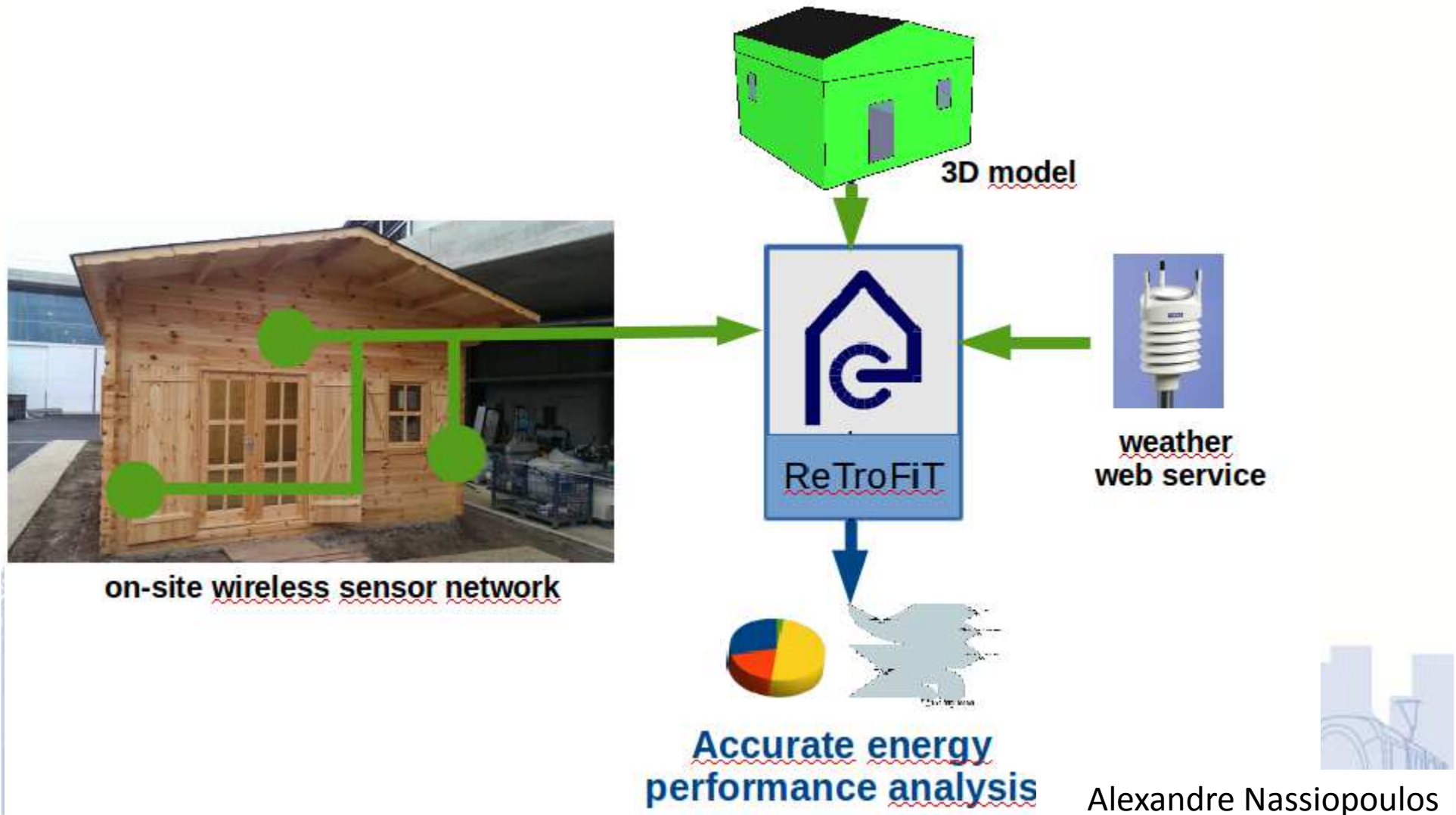


Ecogranic - Béton dépolluant URBATP



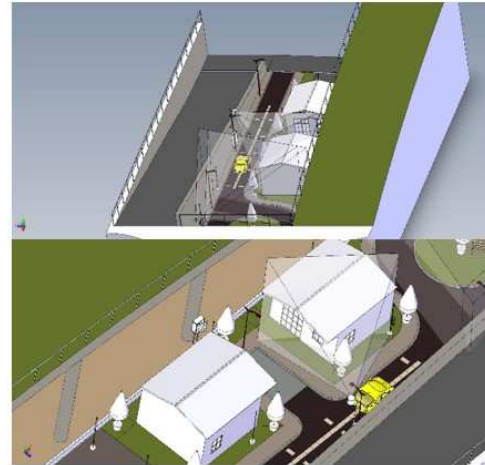


Instrumentation en temps réel du comportement énergétique d'un bâtiment





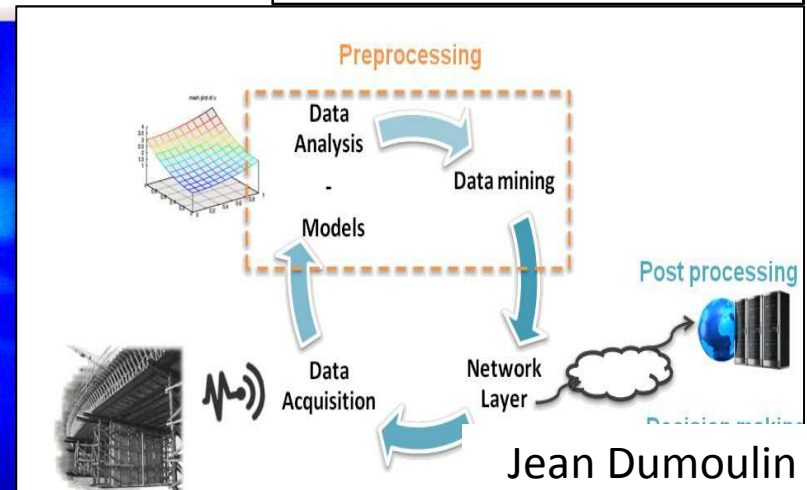
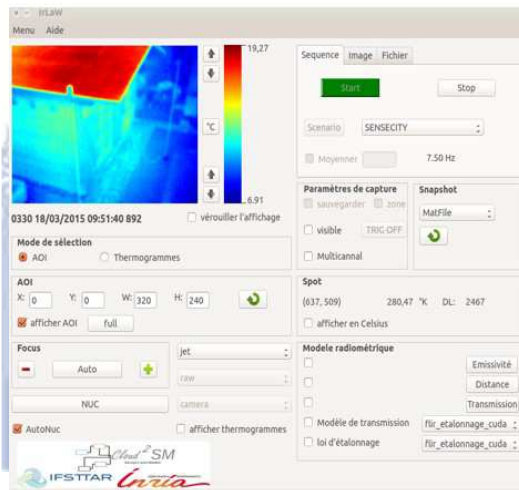
Instrumentation thermique en extérieur par thermographie infrarouge connectée



sense CITY

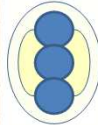
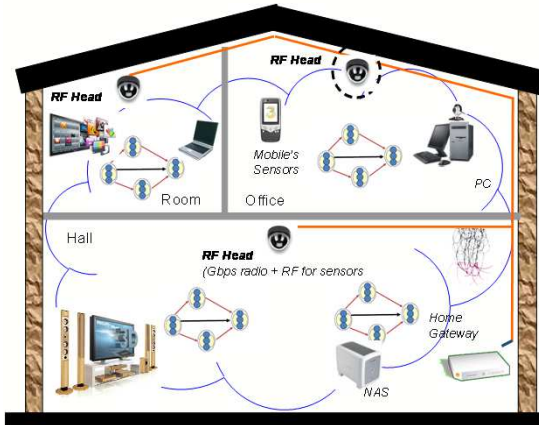


**Alimentation de BDD
Etude, Développement,
Intégration et mise en
œuvre de Modèles et de
Ressources de calcul
Interopérabilité via portail
Web**





Dense and energy efficient wireless sensors networks



- Wireless Sensors**
- Environmental
 - Automation
 - Ambiance
 - Health



Motivations for the Radio-over-Fibre Infrastructure:

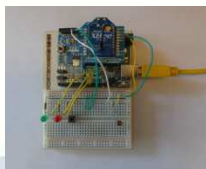
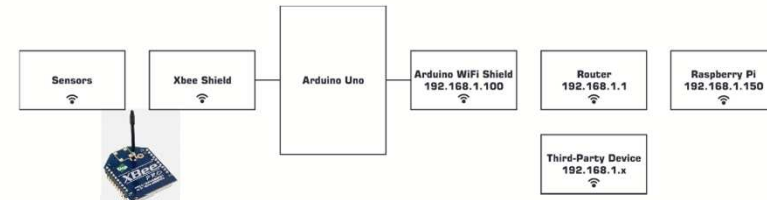
- Rationalize the required EM emission
- Increase Sensors/devices autonomy
- Guarantee the reception anywhere
- Transparent to protocols and standards
- A single and flexible infrastructure for all home services (phone, WiFi, sensors...)



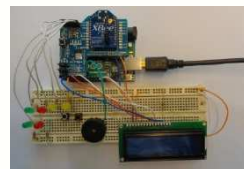
- Temp/Light/Humidity sensors
- motion sensor
- moisture sensor
- adjustable lights



Zigbee Sensor + WiFi network and server installed



T/L/H sensors



Xbee coord.



2.45GHz antenna



Optical infra



Android app



- **Next step:** packaging and onsite implementation, power efficiency monitoring



Merci pour votre attention

- Questions?



www.ifsttar.fr