



# Sense-City, un démonstrateur réaliste de technologies innovantes pour la ville durable

Bérengère Lebental

**sense** CITY



[www.ifsttar.fr](http://www.ifsttar.fr)

# Un projet UPE

UNIVERSITÉ  
— PARIS-EST



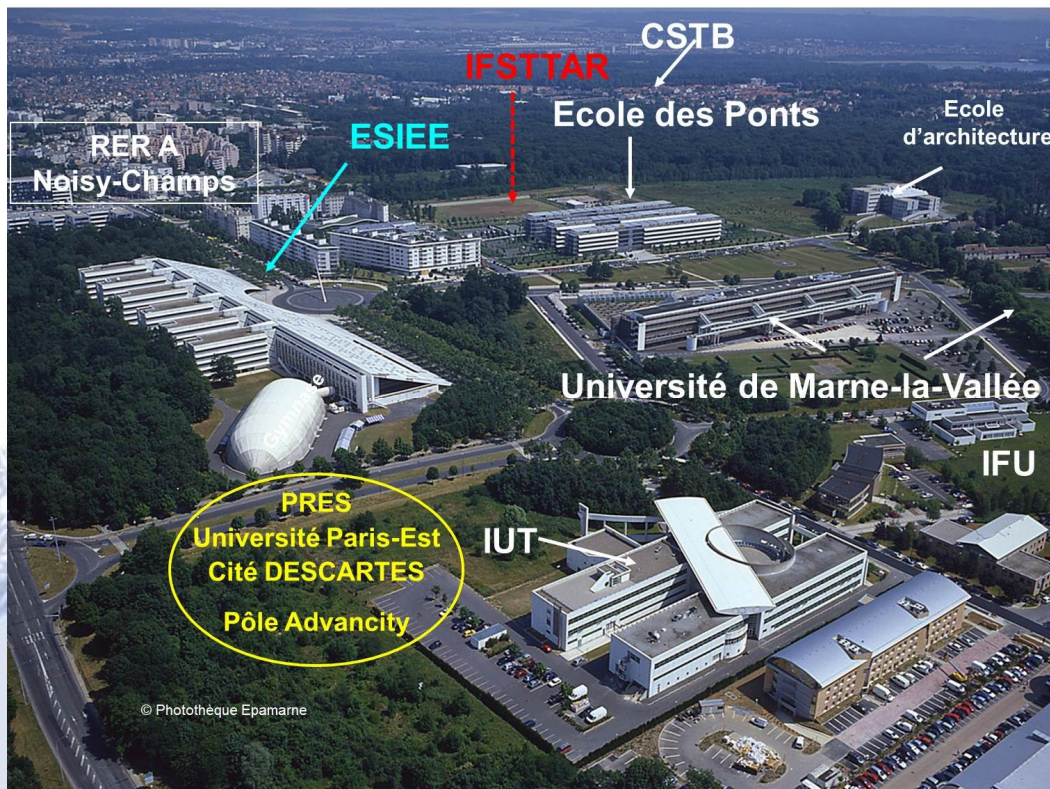
ESIEE  
PARIS

CSTB  
le futur en construction

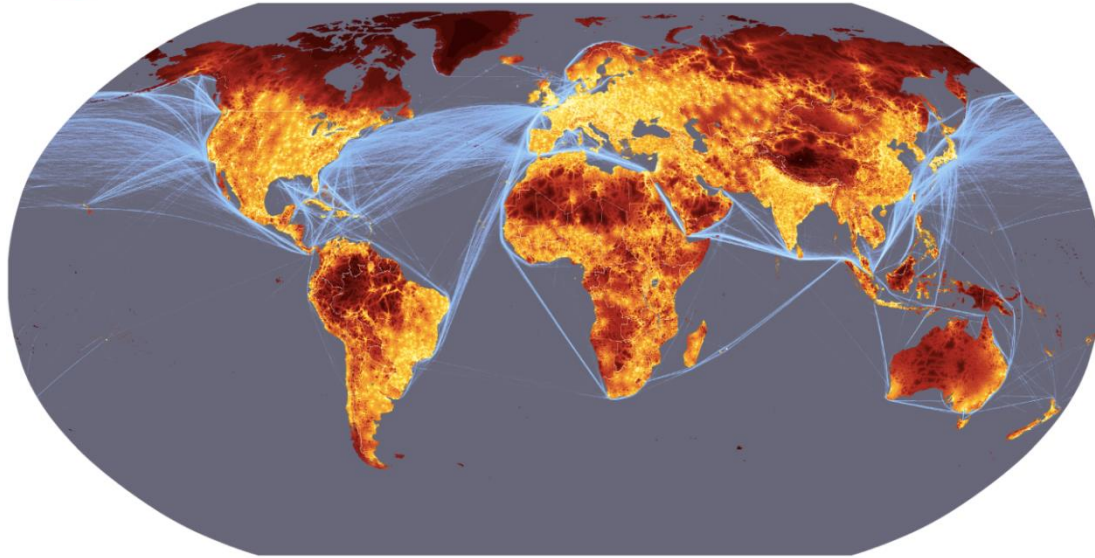


Inria  
INVENTEURS DU MONDE NUMÉRIQUE

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

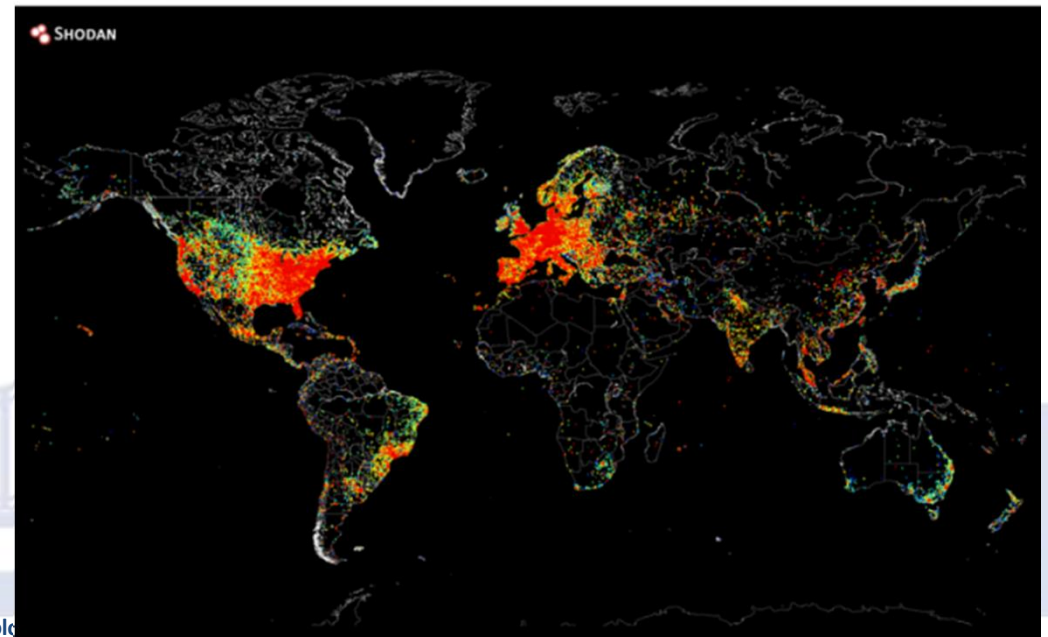
## Exploiter la révolution numérique pour rendre nos villes plus respectueuses de l'environnement

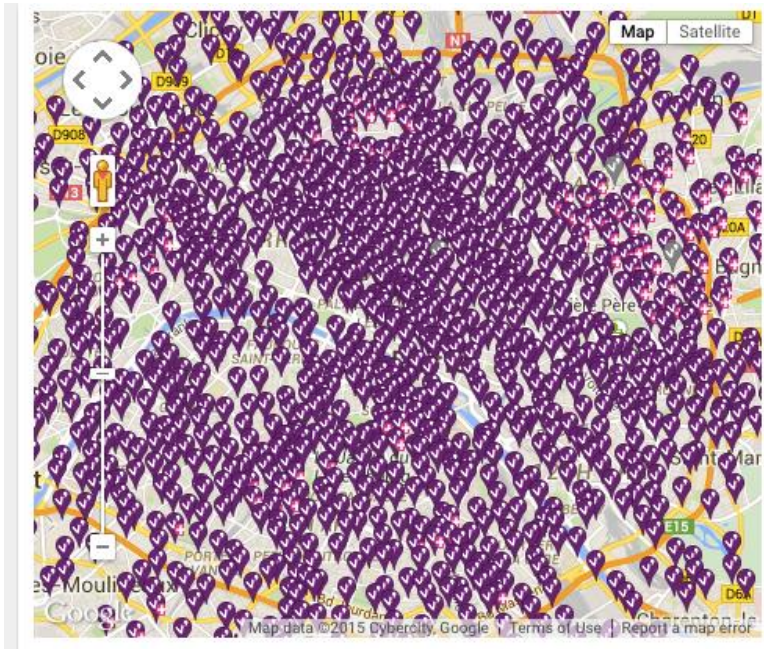
7 Milliards

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**

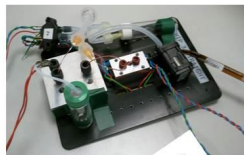
Construire des outils d'aide à la décision pour le citoyen, l'aménageur et le gestionnaire





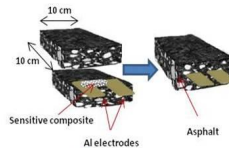
# Une démarche en 3 temps pour de nouveaux outils d'aide à la décision

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

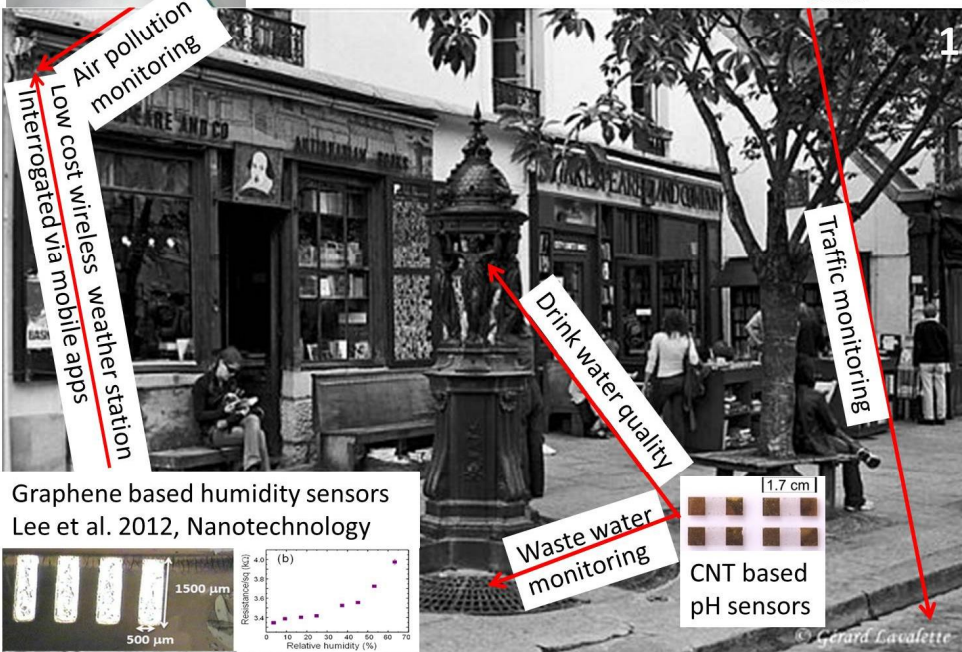
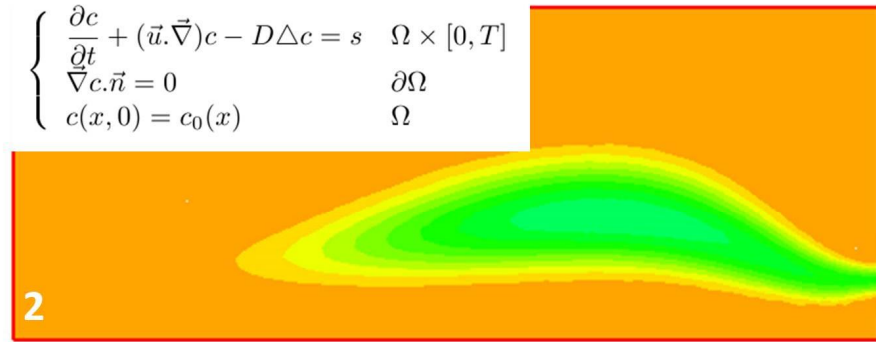


Microchromatograph  
Cesar et al., IEEE MEMS 2013

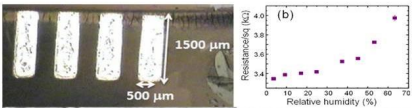
Smart asphalt  
B. Lebental et al. Patent 2014



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



Graphene based humidity sensors  
Lee et al. 2012, Nanotechnology



CNT based pH sensors





## Les enjeux applicatifs

- ” Environnement: les pollutions invisibles
  - ” Qualité de l'air (intérieur/extérieur), eau, sols;
  - ” Ondes acoustiques (bruit) et électromagnétiques;
  - ” Impact sanitaire des pollutions
- ” Performances énergétiques
  - ” du bâtiment (ressource, confort, santé) au quartier (îlots de chaleur...)
  - ” inclus constructions alternatives – biosourcées; grands projets (gare)
- ” Durabilité des infrastructures et des réseaux





# Les enjeux transverses

- “ Du micro/nanocapteur à l’objet connecté
  - “ Conception – Fabrication - Caractérisation
  - “ Fiabilité compatible aux applications urbaines
  - “ Intégration à des objets communicants (Internet of Things)
- “ Modélisation, représentation, exploitation des données
  - “ Modélisations physiques (directes et inverses) des phénomènes; Positionnement optimal des capteurs; Calcul temps réel
  - “ Big Data: Cloud-based data management, techniques d'apprentissage; prédiction sans modèle
- “ Usages
  - “ User-centered design des nouvelles technologies
  - “ Interactions technos-utilisateurs
  - “ Nouveaux marchés et modèles économiques





## 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 l'aménageur et l'utilisateur

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

### Pour les académiques

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

### Pour les financeurs

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





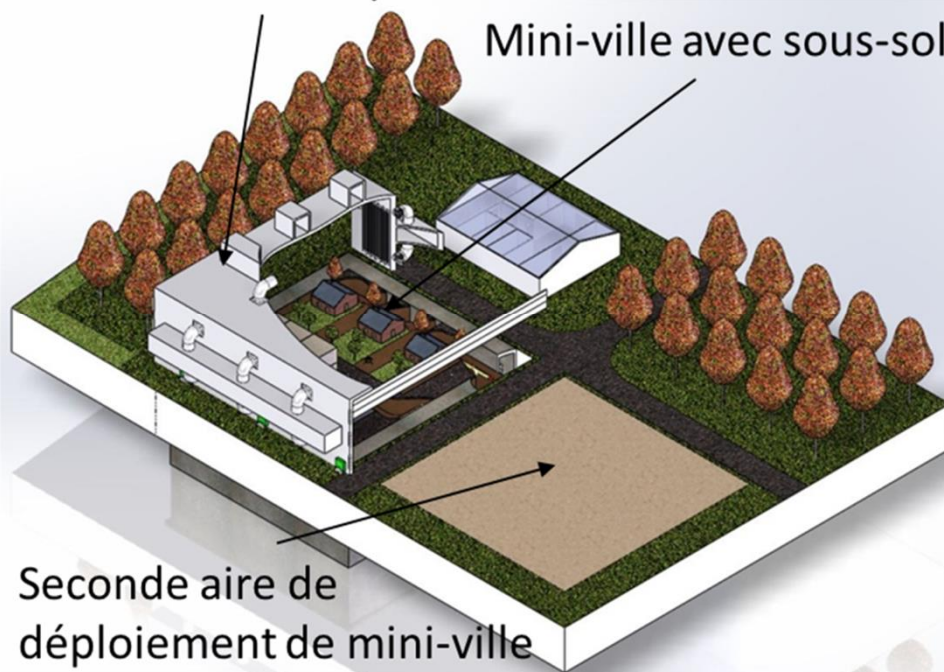
# Sense-City, un démonstrateur pour la Ville Sensible

Dès 2017, 400m<sup>2</sup> de scénarios urbains instrumentés en environnement climatique contrôlé

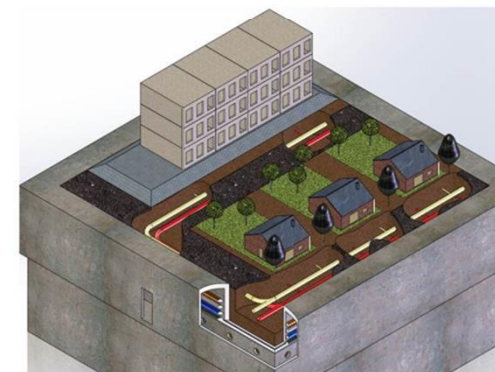
**Un espace de validation unique en Europe**

Chambre climatique mobile

Mini-ville avec sous-sol

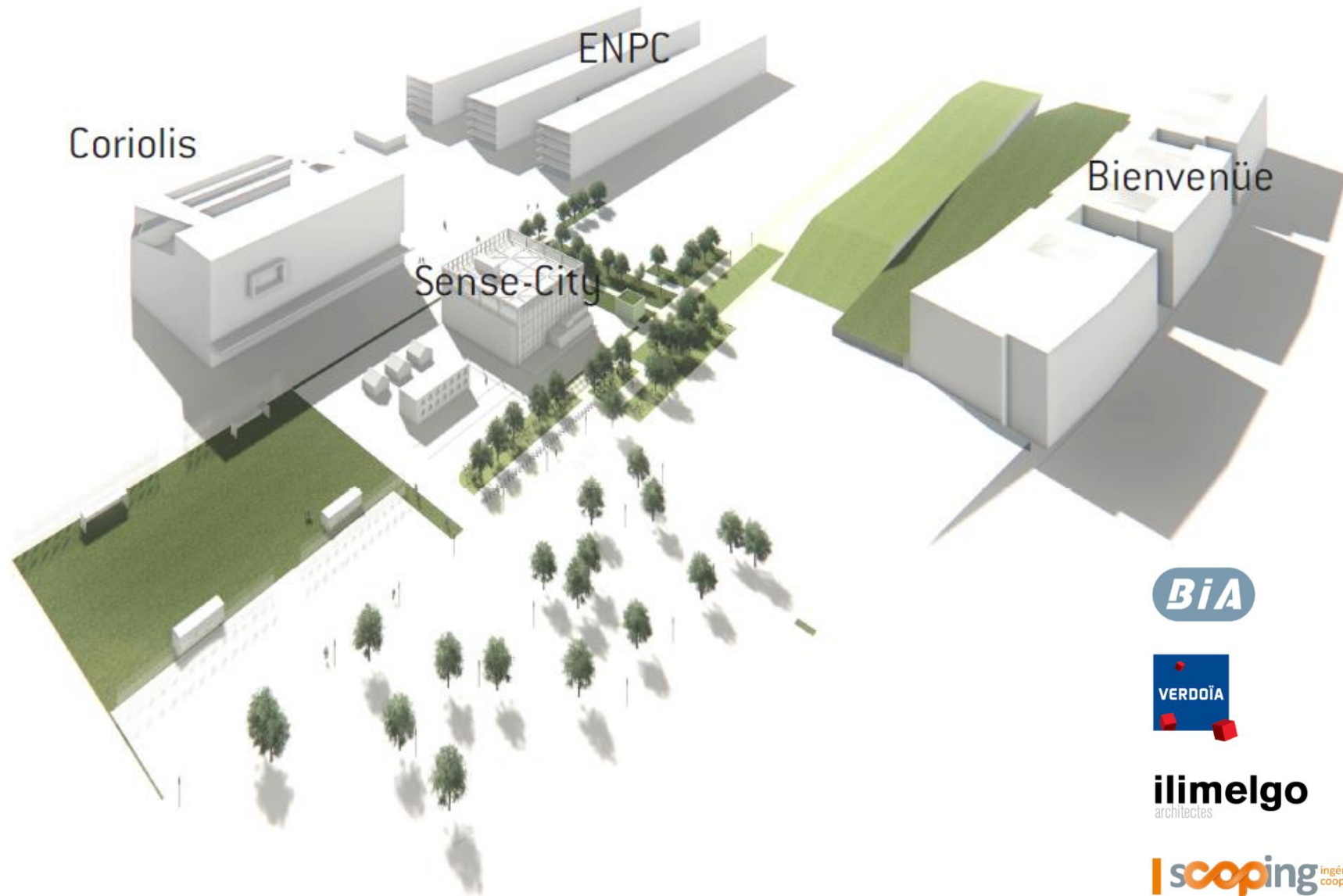


Seconde aire de déploiement de mini-ville





# Implantation





## La mini-ville communicante

### Le 1<sup>er</sup> scénario urbain instrumenté de Sense-City

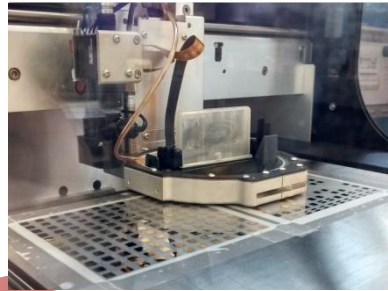
- ” 250m<sup>2</sup> à ciel ouvert autour de la maison et de la route intelligente
- ” 200+ k€ de budget
- ” 60+ capteurs connectés
- ” 15 expérimentations en cours ou en préparation



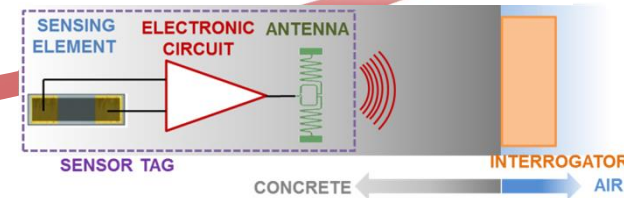


# Instrumentation du béton par nanocapteurs noyés

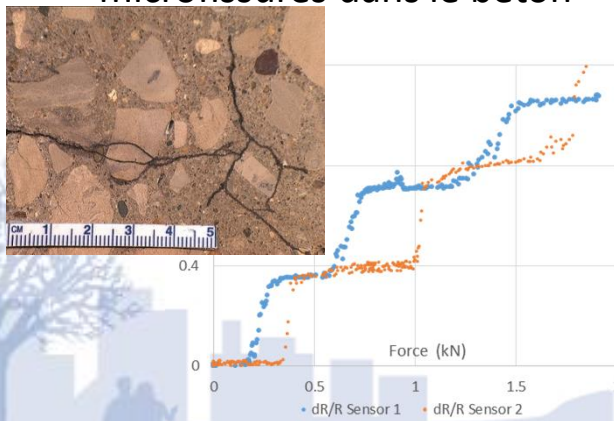
Fabrication en série  
de nanocapteurs par jet d'encre



Electronique noyée pour  
communication sans-fil



Détection de l'ouverture de  
microfissures dans le béton



Installation des capteurs  
noyés dans Sense-City

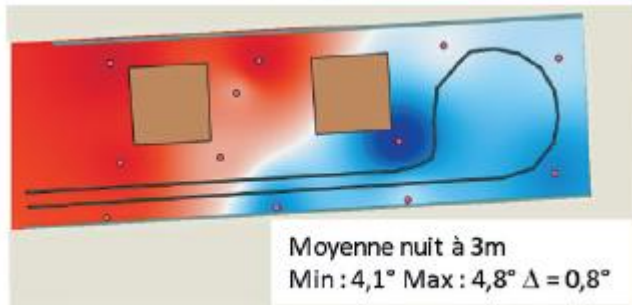
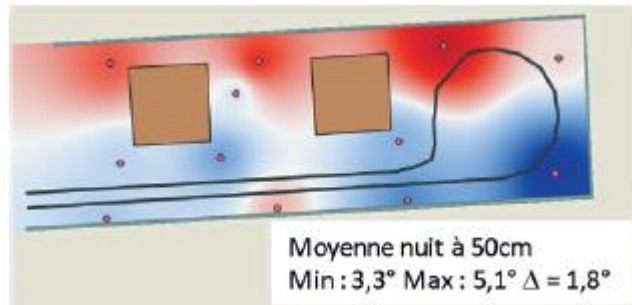
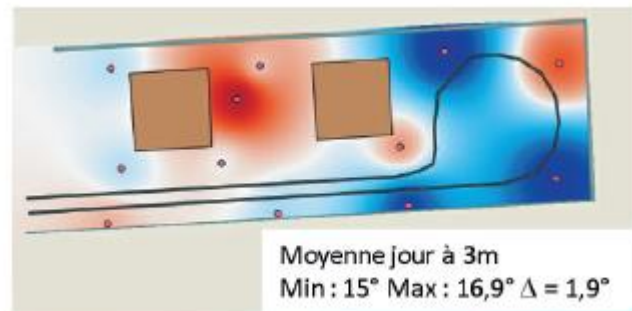
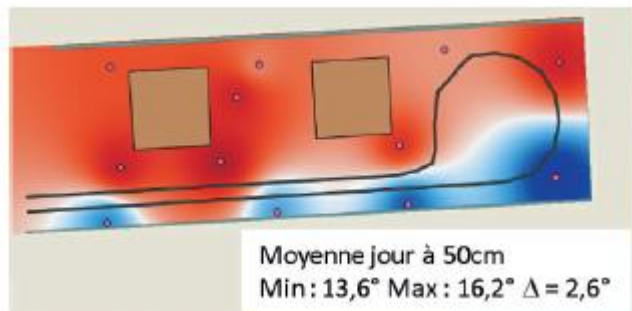
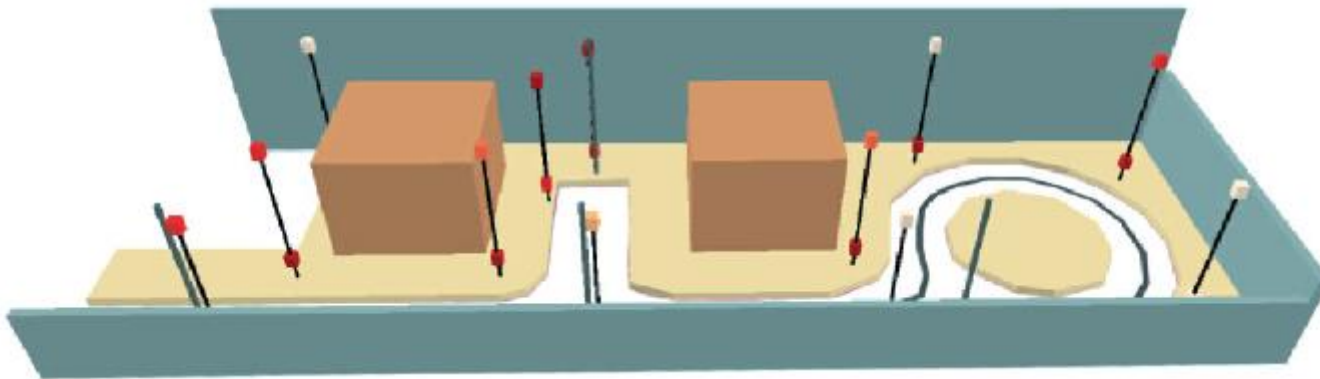


Vers des structures connectées  
plus en sécurité et plus vertes





# De la mesure à la représentation des phénomènes: de la températures à la qualité de l'air

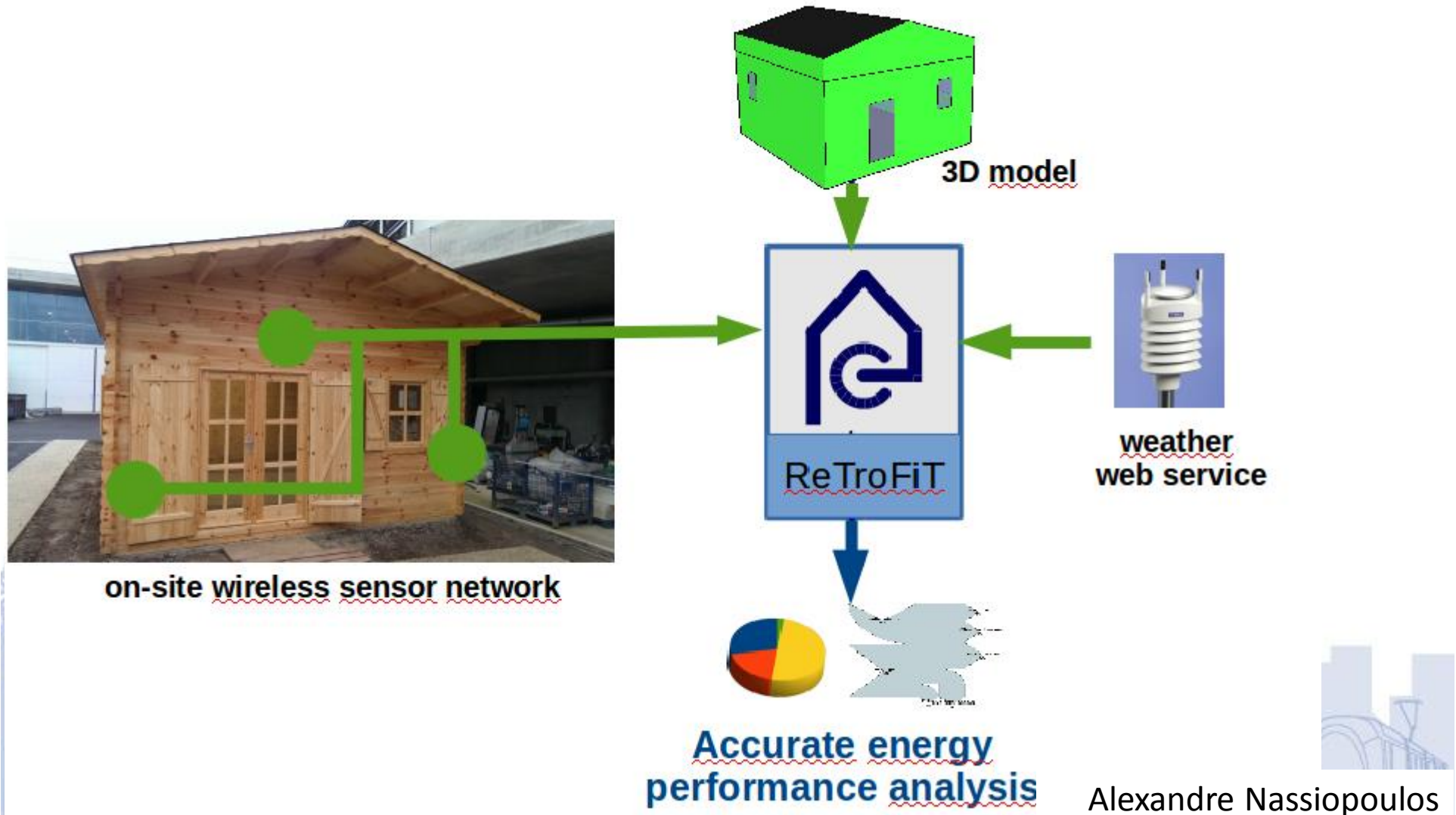


IFSTTAR

Anne Ruas

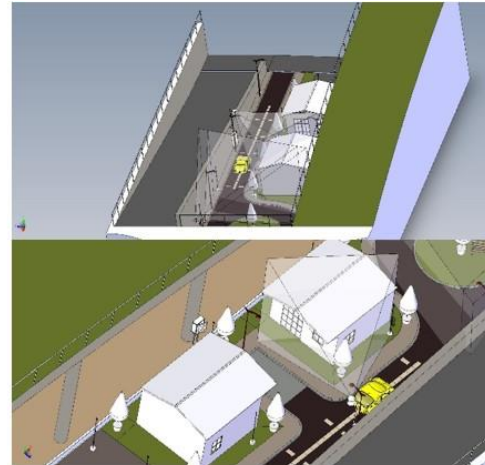


# Instrumentation en temps réel du comportement énergétique d'un bâtiment





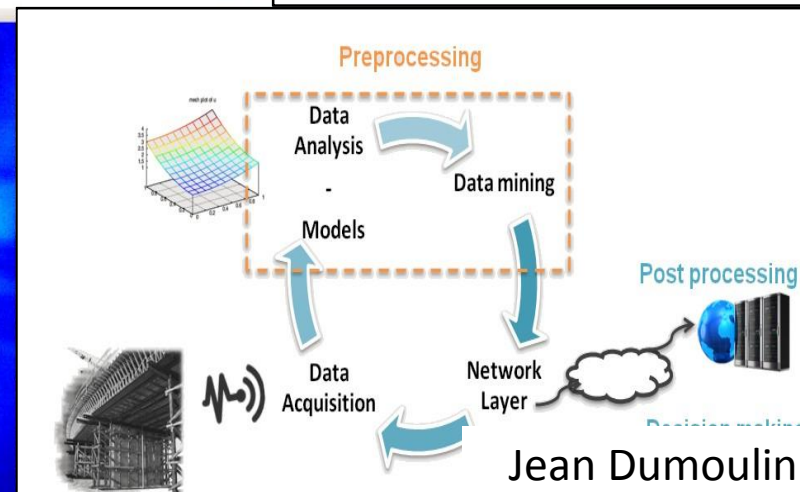
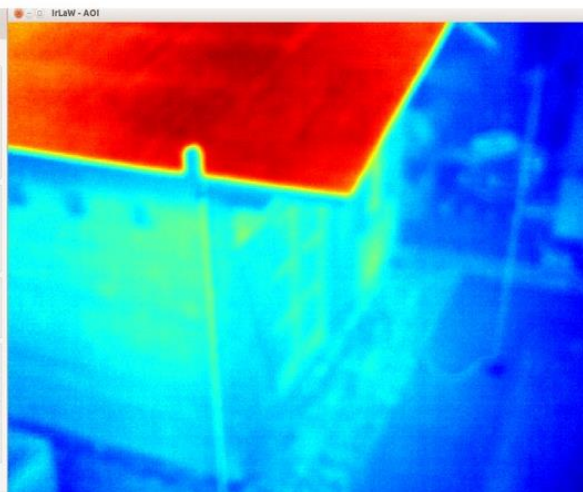
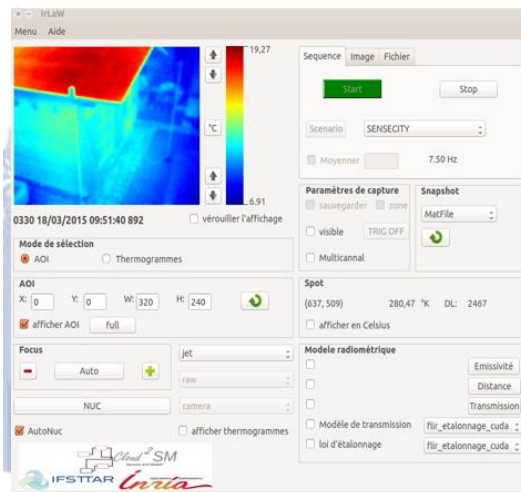
# Instrumentation thermique en extérieur par thermographie infrarouge connectée



sense CITY

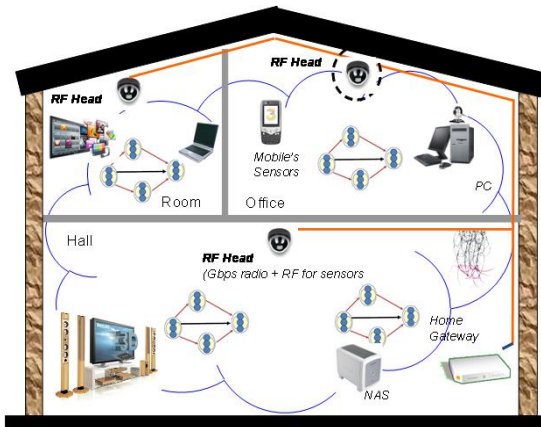


**Alimentation de BDD  
Etude, Développement,  
Intégration et mise en  
œuvre de Modèles et de  
Ressources de calcul  
Interopérabilité via portail  
Web**





# Dense and energy efficient wireless sensors networks



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



Motivations for the Radio-over-Fibre Infrastructure:

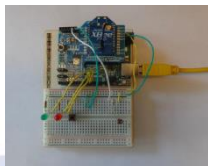
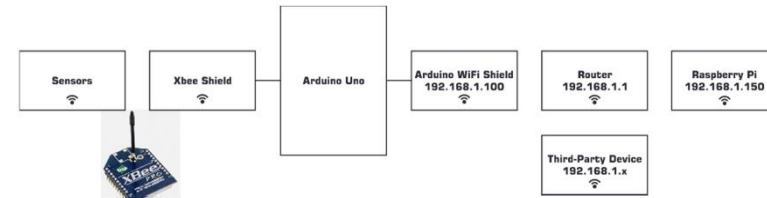
- Rationalize the required EM emission
- Increase Sensors/devices autonomy
- Guarantee the reception anywhere
- Transparent to protocols and standards
- A single and flexible infrastructure for all home services (phone, WiFi, sensors...)



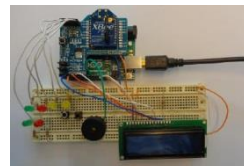
- Temp/Light/Humidity sensors
- motion sensor
- moisture sensor
- adjustable lights



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





## Vers un maillage dense de capteurs pour la QAI et QAE

- ” Déploiement T4 2015
- ” Financement via projet URBACLIM (CPEP)
- ” 6 nœuds QAI: COV/PM/NO<sub>2</sub>
- ” 12 nœuds QAE: PM/NO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>
- ” 2 ans de maintenance (=recalibration)
- ” Collecte des données en WIFI et envoi vers superviseur générique



IFSTTAR





# 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



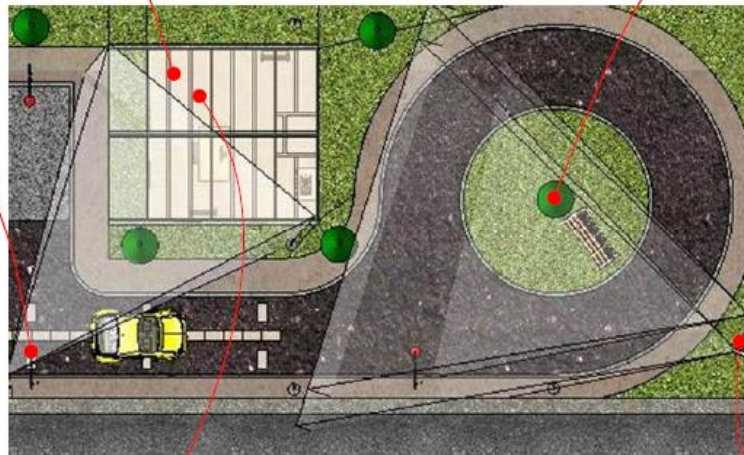
### Open-Data

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)



### Internet gateway

Connect cities to internet of things



Thousands of sensors  
Billions of measure points  
Mathematical models

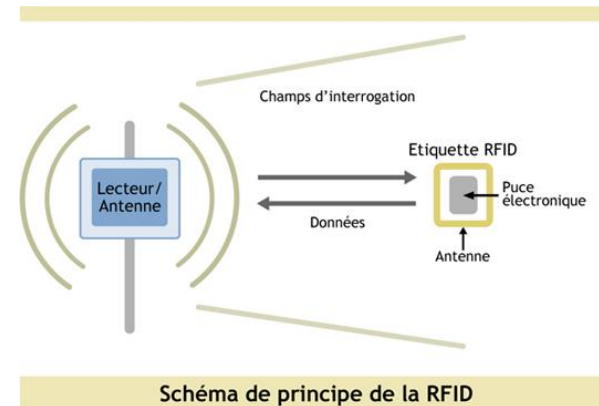
Vincent Le Cam



# RFID au service du monitoring urbain

## Monitoring urbain par RFID (Radio Frequency IDentification)

- Monitoring urbain = Capteurs + transmission d'information sans fil
- Etiquettes ou tags RFID noyées dans les infrastructures urbaines
- Tags alimentés à distance par lecteur (**pas de pile**)
- Information = Identification de l'infrastructure + données de capteurs
- Remontée des informations par des lecteurs fixes ou mobiles



## Problématique

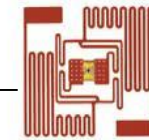
- Distances de lecture réduite (quelques mètres)
  - Antennes très basses entre 10 cm et 150cm au-dessus du sol
- ⇒ Utiliser les ondes de sol pour augmenter les distances de lecture

## Plate-forme expérimentale Sense City

- Lecteur RFID placé au voisinage de la route
- Tag RFID placé sur un robot télécommandé "LEGO"
- Cartographie 2D de la puissance réémise par le tag



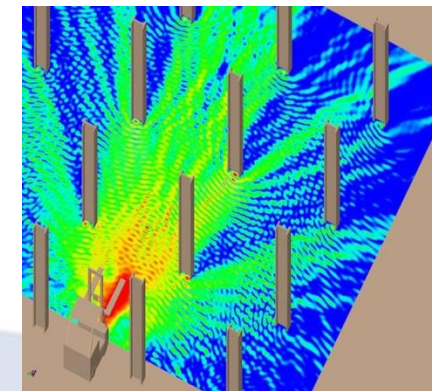
Robot LEGO



Tag RFID sur Robot



Antenne et lecteur RFID

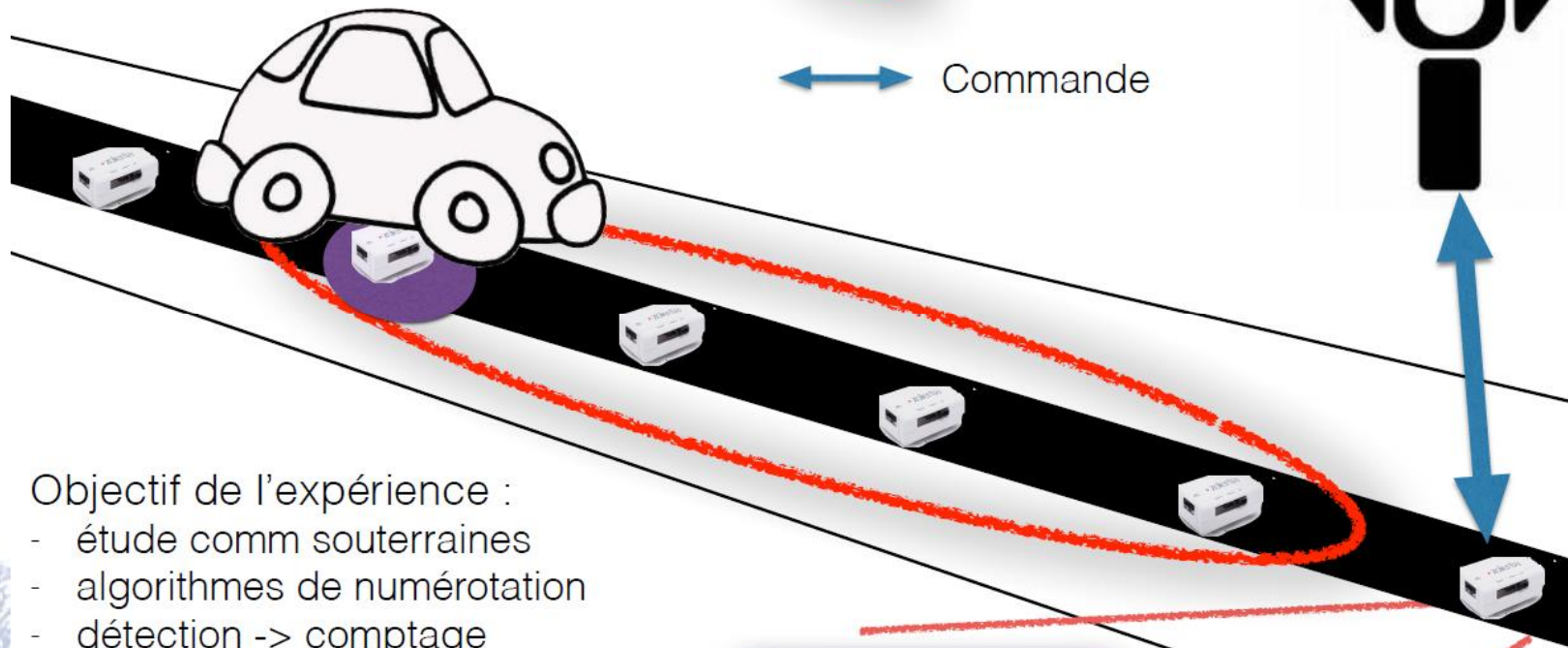
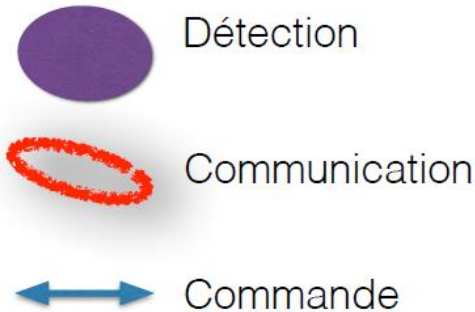


Cartographie de puissance tag

# Réseaux autoconfigurés pour la détection de véhicules

Route intelligente à bas coût

- capteurs au sol
- communications radio
- auto-configuration



Objectif de l'expérience :

- étude comm souterraines
- algorithmes de numérotation
- détection -> comptage

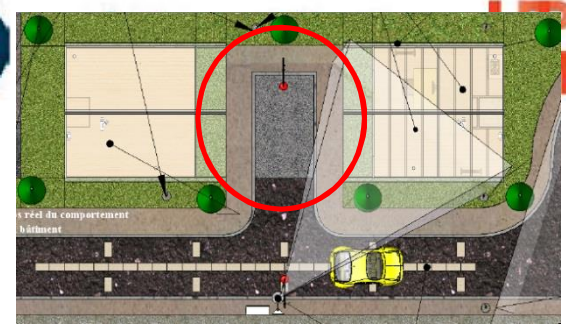
Matériel :

- capteurs commerciaux
- infrastructure d'instrumentation

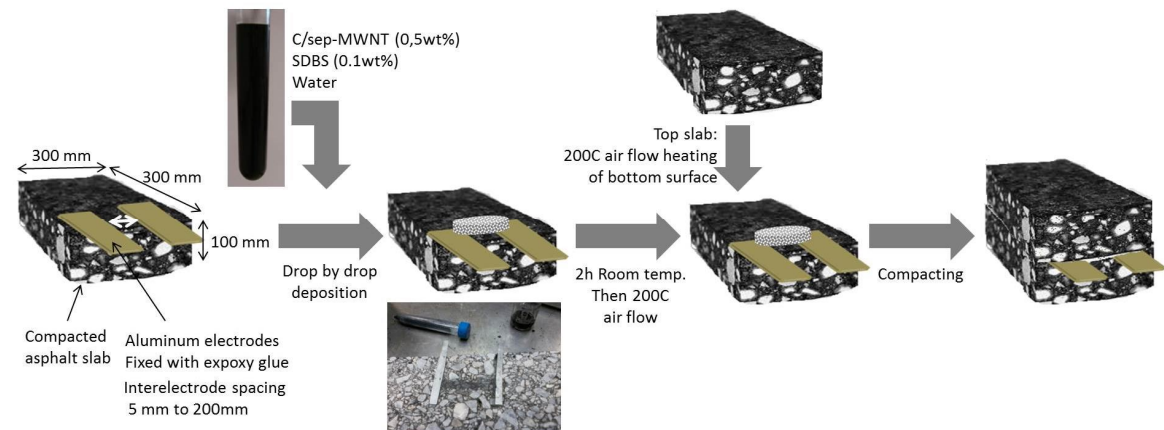




# Route PV/Nanoasphalt



- “ Deux démonstrateurs métriques
- “ Avec MAST/MIT à Nantes, contexte R5G
- “ Espace réservé, entre les chalets





# Étude des interactions Cyclistes Piétons



IFSTTAR



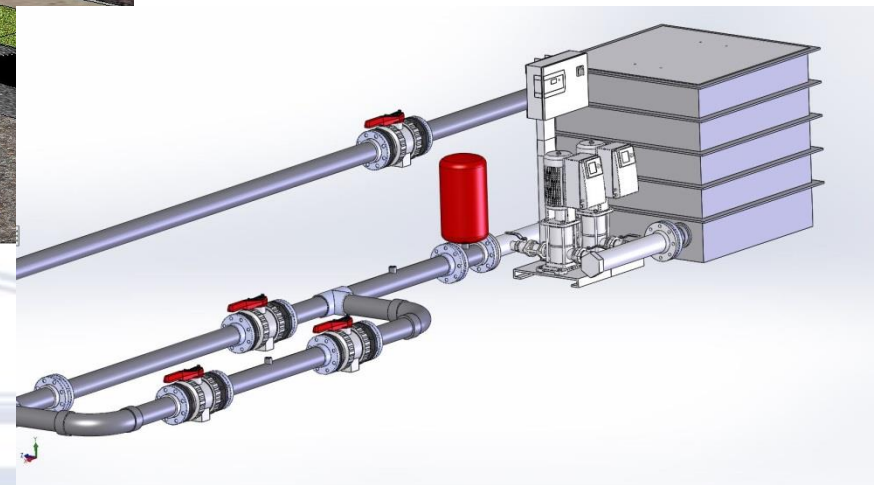
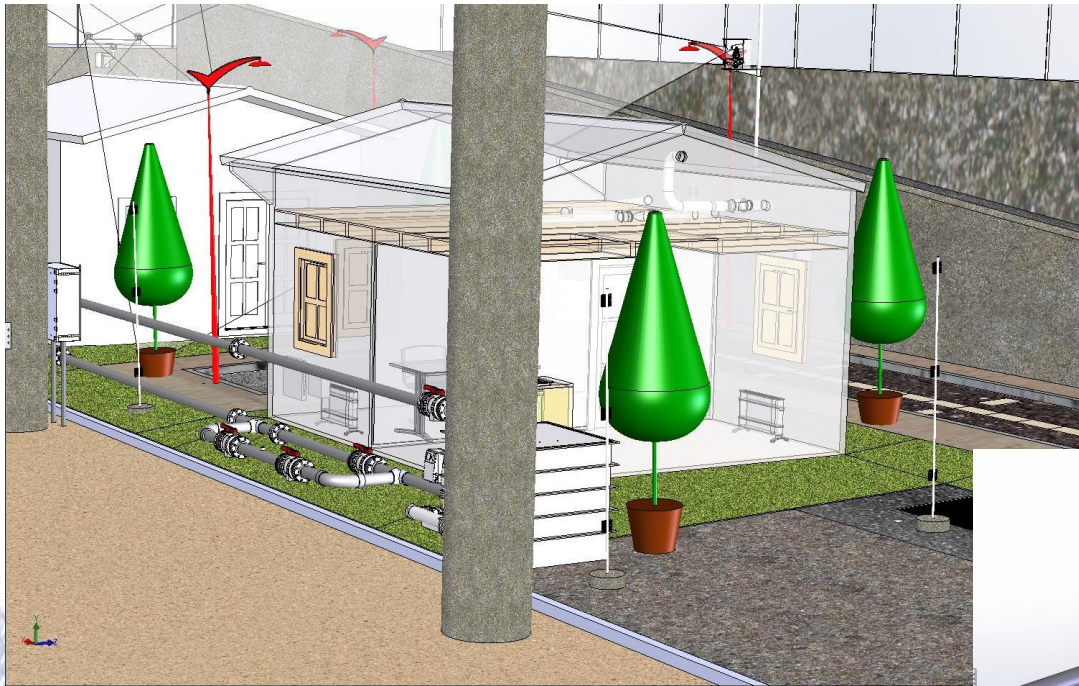
Interaction cycliste – piéton étudiée selon différents points de vues, le cycliste, le gestionnaire, et le piéton. Deux approches complémentaires, l'angle de la perception subjective au travers de questionnaires sur la perception et l'évaluation individualisées des interactions par les piétons et les cyclistes, et l'angle comportemental par le développement d'un observatoire vidéo stéréoscopique des trajectoires dédié aux cyclistes et aux piétons.

Jean-Michel Auberlet



# Réseau d'eau outdoor

” Déploiement mi 2016 pour le projet **PROTEUS**



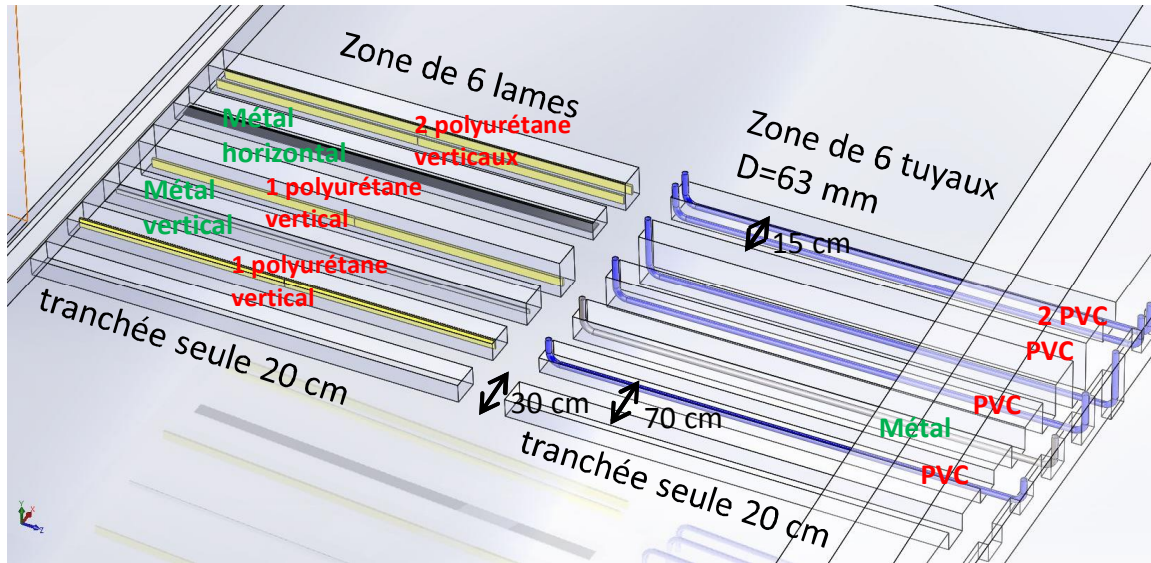


# Détection d'objets enterrés par géoradar

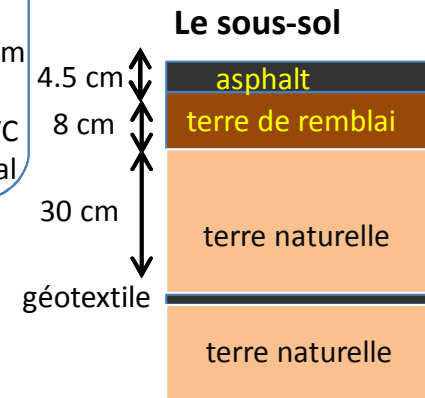
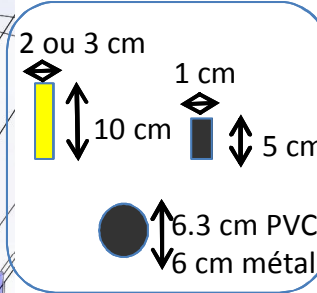


IFSTTAR

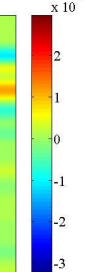
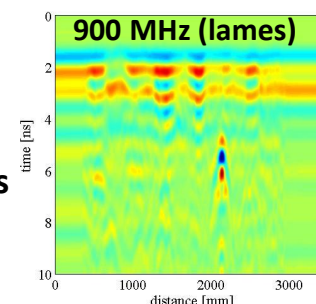
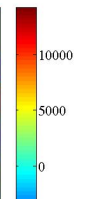
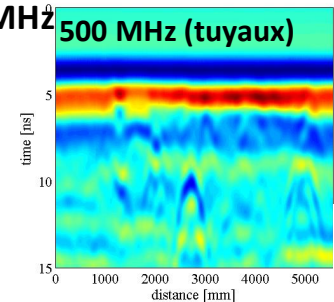
## Plan du site



## Objets diélectriques et métalliques

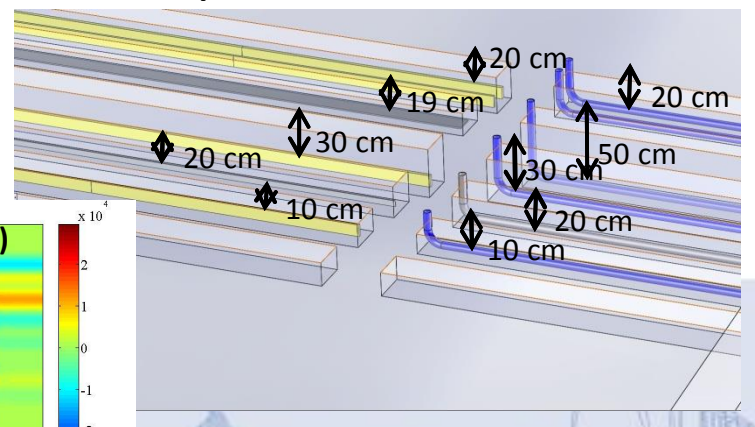


## Mesures à 500, 900, 1500, 2600 MHz



Radargrammes

## Différentes profondeurs







# Merci pour votre attention

” Questions?



[www.ifsttar.fr](http://www.ifsttar.fr)

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