



**sense** CITY

## Un démonstrateur de la ville sensible

Remerciements :

Anne Ruas

Berengère Lebental

Frédéric Bourquin

Pierre Perrin

*Présentation par : Yves Brosseau  
Directeur de Recherche à l'IFSTTAR*

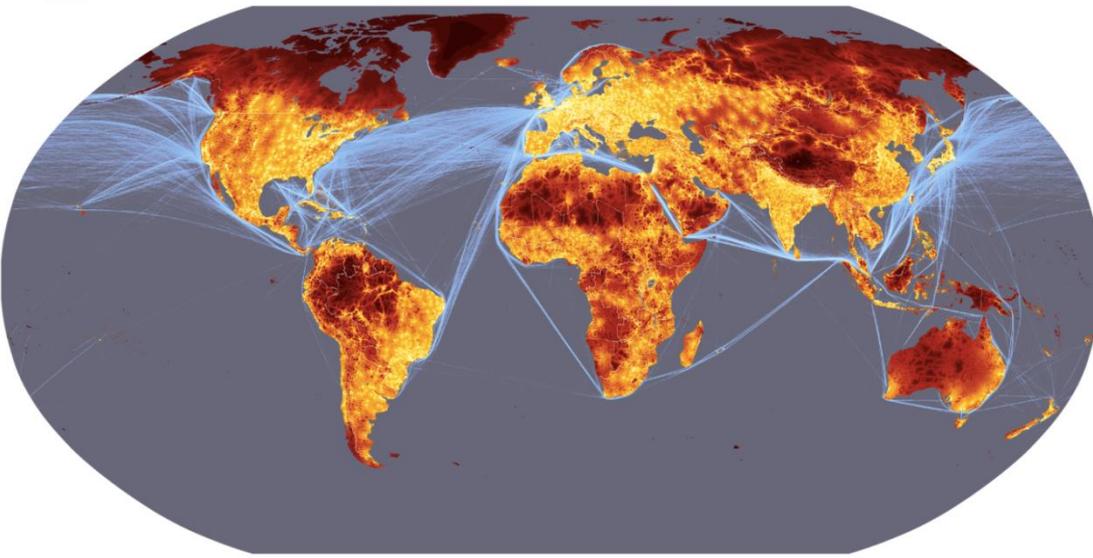
# sommaire

- Les enjeux
- Les moyens et particularités de SenseCity
- Exemples de projets
- Du démonstrateur à la chambre climatique
- Les perspectives, en savoir plus



# ENJEUX ET OBJECTIFS





**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

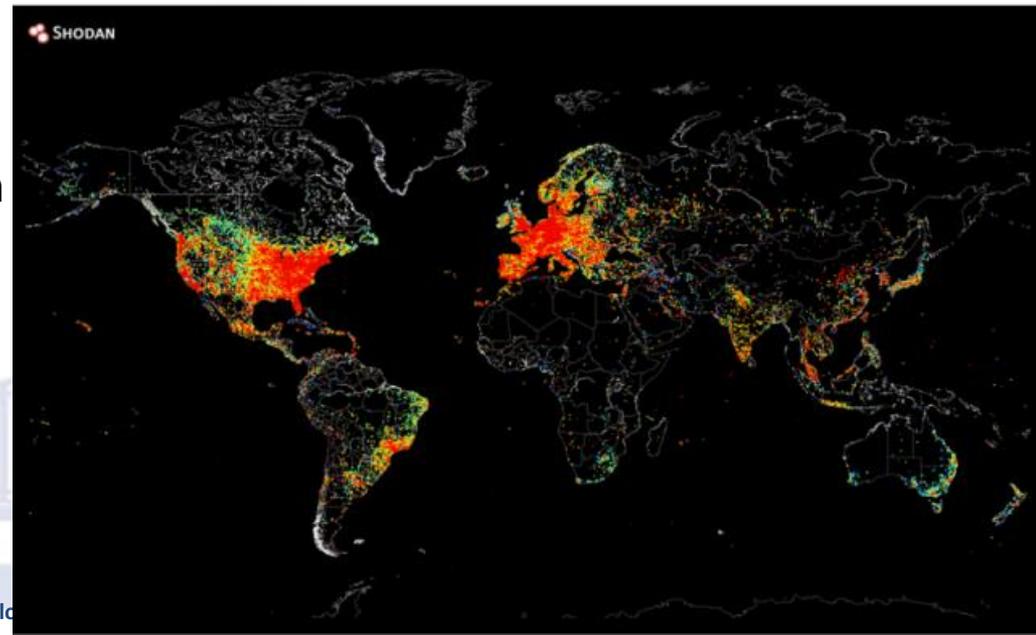
## Exploiter la révolution numérique pour rendre nos villes plus respectueuses de l'environnement

**7 Milliards**

Le nombre de téléphones portables en 2014

**20 Milliards de \$**

Le marché des objets connectés en 2014



# Du laboratoire au monde réel



Recherches en laboratoire  
et chambre isolée

SenseCity



Capteurs urbains et  
conception  
d'infrastructures en  
situation réelle

Sense  
city

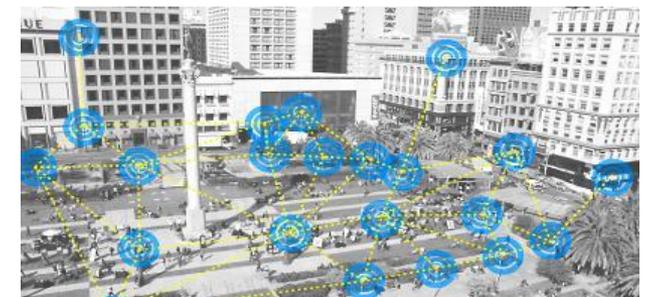
New solutions  
& Knowledge  
for cities

Living lab  
Experimental field

Analytics



Collecte de données , développement  
d'un modèle, analyses et représentation  
des résultats



Quelles instrumentations dans la réalité ?  
Quels sont le besoins des usagers et retour d'expérience ?



## 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 durables des produits de la R&D urbaine
- Faciliter l'appropriation des technologies par les usagers, collectivités et exploitants
- Favoriser la co-conception des produits de la R&D
- Imaginer de nouveaux produits et usages



# Sense-city des objectifs sociétaux

**Améliorer la Résilience, Durabilité, Sécurité des usagers, Attractivité des villes**

- **Pollution**

- Qualité de l'air : intérieur et extérieur
- Qualité de l'eau
- Pollution / dépollution : matériaux, végétation, sols,...
- Expositions aux bruits et ondes électromagnétiques
- Santé : exposition et impacts

- **Performances énergétiques**

- Des immeubles (optimisation des ressources, confort, santé) au niveau ville (îlots de chaleur,...)
  - Isolation, diagnostique, géothermie, enregistrements énergétiques
  - Techniques/structures alternatives de construction : bio construction,

- **Planification des Infrastructures urbaines**

- Suivi des données urbaines: lumière, énergie, chaleur, poids,...
- Développement éco systémique des matériaux, végétation, eau, déchets,...
- Routes solaires

# Sense-city de la science dans les innovations

- Des micro/nano capteurs aux équipements connectés
  - Conception / fabrication / caractérisation performancielle
  - Compatibilité : environnement urbain et fiabilité
  - Intégration dans des équipements connectés (multi capteurs)
- De la modélisation des phénomènes à l'exploitation des données géo-activées
  - Modélisation des phénomènes physiques (direct & inverse);
  - Localisation optimale des capteurs; calculs en temps réels.
  - Représentation et cartographie
  - Big Data: Cloud-based gestion de données; techniques d'apprentissage; prédiction sans modèle
- Utilisations et usagers
  - De la mesure à l'exposition
  - Conception centrée sur l'utilisateur des nouvelles technologies
    - Acceptation versus approbation
  - Interactions entre technologies et parties prenantes



# 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

10 cm  
10 cm  
Sensitive composite  
Al electrodes  
Asphalt

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

500 μm  
1500 μm

Resistivity (kΩ)  
Relative humidity (%)

1.7 cm  
CNT based pH sensors

Genard Lavalette

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

2

3

# 5 enjeux majeurs

## Enjeu 1 : Un répertoire de capteurs pour la Ville

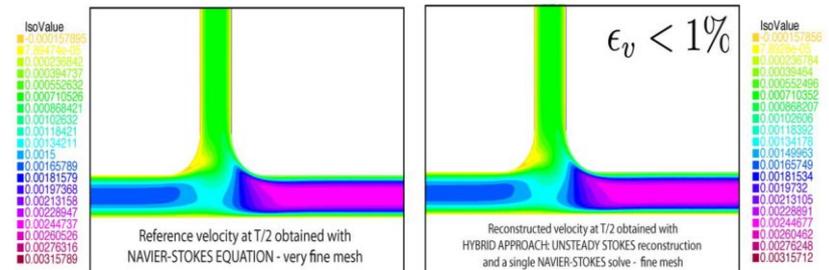
- Pourquoi de nouveaux capteurs?
  - Seules quelques observables (temperature, humidity, GPS data, accelerometers...) sont mesurables de façon fiable avec une taille raisonnable et à cout (énergétique et financier) abordable dans une approche moyen/grand public,
  - Nécessité d'explorer de nouveaux domaine: Qualité de l'air ou de l'eau, pollution électromagnétique, de nouveaux capteurs,
  - Réduire les prix : capteurs à bas coûts, augmenter le volume et la pertinence, mais évaluer la précision ,
  - Transmission des données sans fils RFID
  - Alimentation faible ou nulle
  - Etc

## Enjeu 2 : Du nanocapteur à l'objet connecté, vers la centralisation des données (Big data) ouverte à tous

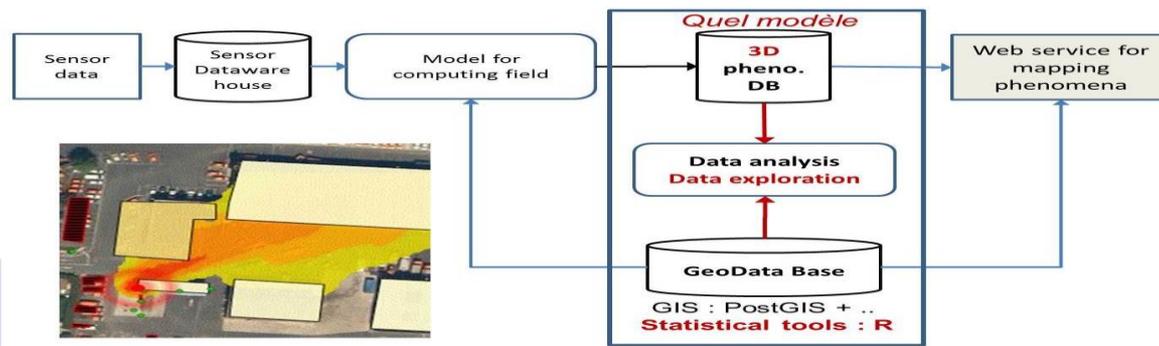
## Enjeu 3 : Modélisation, reconstruction des phénomènes et optimisation du positionnement des capteurs, fiabilité des modèles

Find boundary conditions minimizing data misfit functional:

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



## Enjeu 4 : Analyse et visualisation des données



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

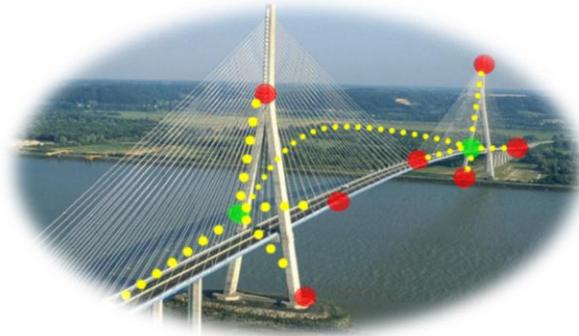
Réseau d'eau : 1 an



Route : 5 ans



Pont : 50 ans



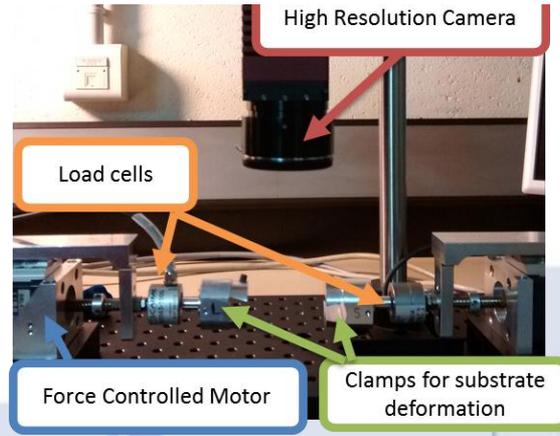
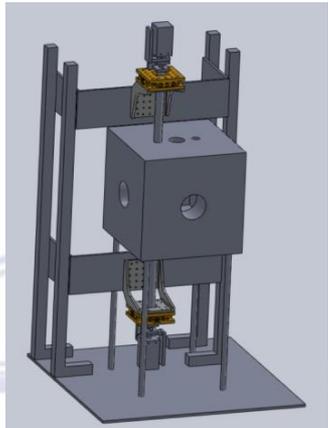
Durée de l'infra : 50 à 100 ans

20 à 40 ans

> 70 ans

## PLATINE

Une plateforme pour la fiabilité des nanocapteurs



# LE PREMIER DÉMONSTRATEUR ET QUELQUES EXEMPLES DE PROJETS



# Démonstrateur de 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 avec premiers résultats



# Expérimentations opérationnelles

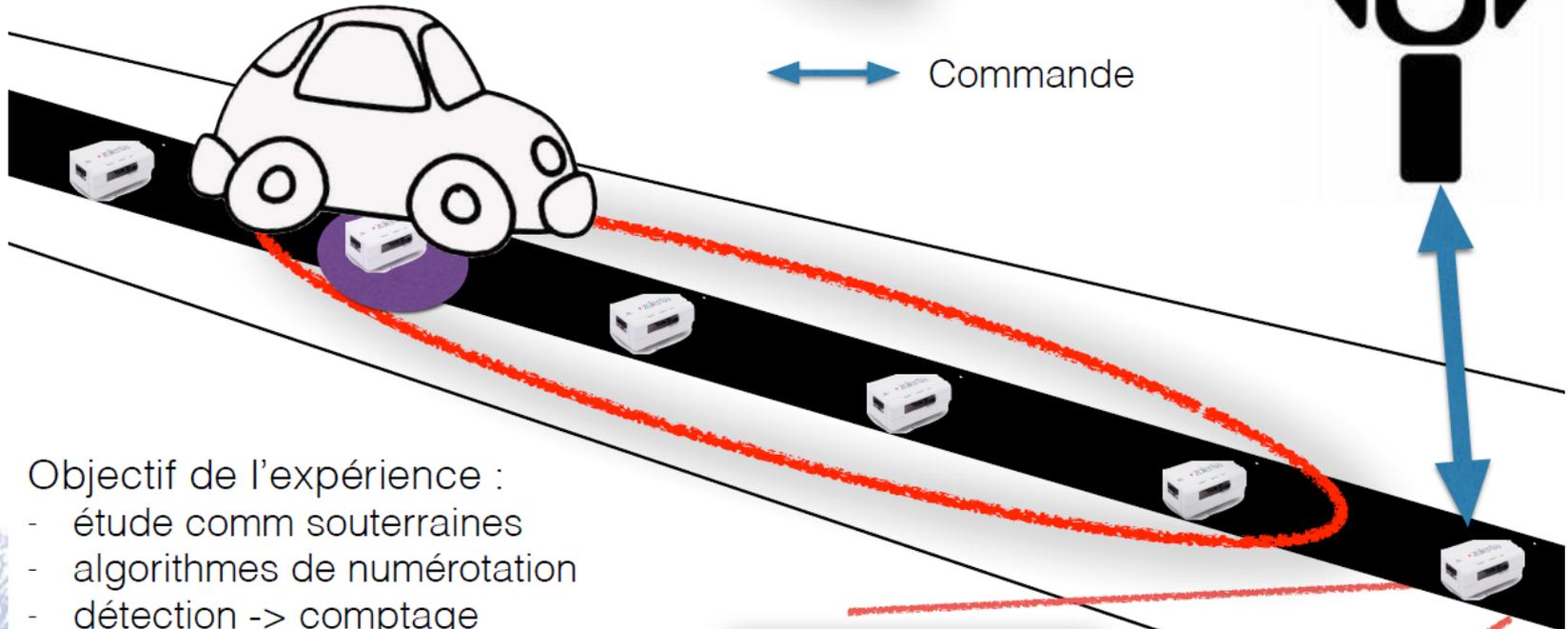
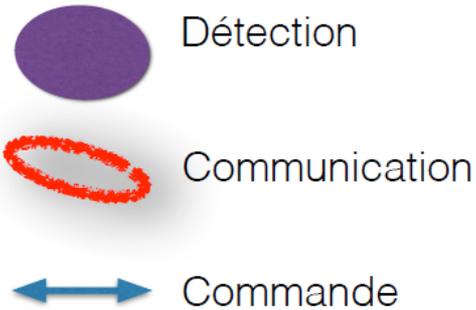
1. Suivi des **performances énergétiques** dans les bâtiments (IFSTTAR);
2. **Enregistrement thermique** par thermographie infrarouge connectée (Inria-IFSTTAR);
3. **Architecture de données** pour un cloud de gestion (IFSTTAR)
4. **Détection of de canalisations enterrées** par géoradar (IFSTTAR)
- 5. **Instrumentation du béton par des nanocapteurs (LPICM, IFSTTAR)**
6. **Réseau auto configurable** pour la détection automatique des véhicules (Inria)
7. **RFID** pour suivi des informations urbaines (UPEM)
- 8. **Interactions piétons / conducteurs** (IFSTTAR)
9. Des mesures ponctuelles à la cartographie (IFSTTAR)
10. **Analyse des réseaux d'eau** (PROTEUS);
11. **Qualité de l'air intérieur** cartographie et positionnement des capteurs (MIME-SYS);
- 12. **Photovoltaïque** pour voie cycable (IFSTTAR)
- 13. **Nano capteurs dans les enrobés pour le pesage en marche** (LPICM, IFSTTAR)
14. **Qualité de l'air extérieur** moyen de validation (INRIA)

→ *En relation avec les techniques routières*

# Réseaux autoconfigurés pour la détection de véhicules

Route intelligente à bas coût

- capteurs au sol
- communications radio
- auto-configuration



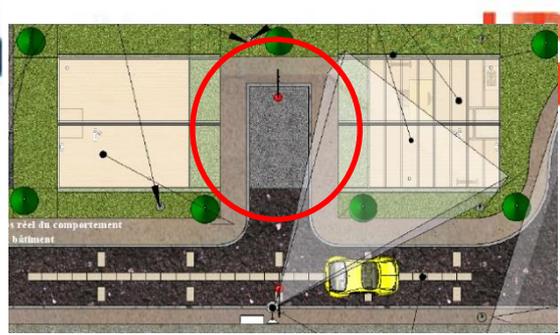
Objectif de l'expérience :

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

Matériel :

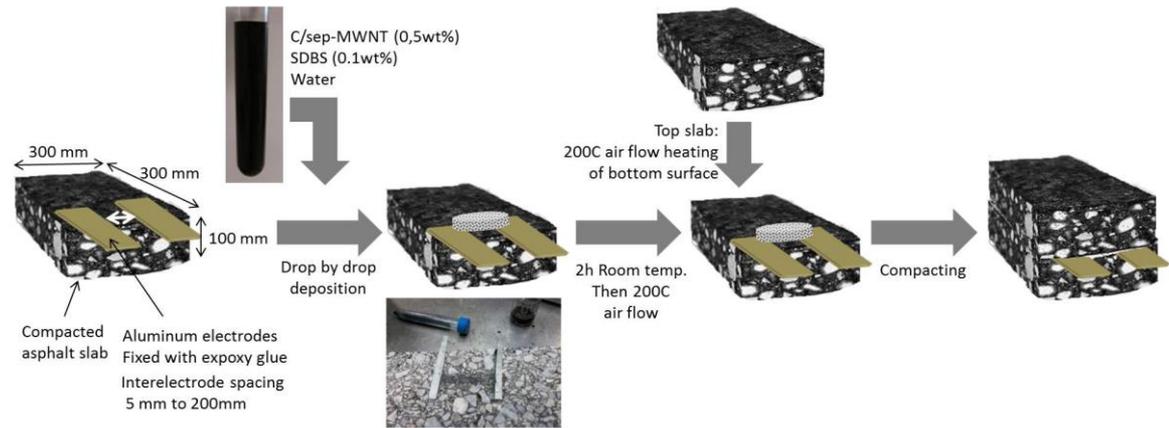
- capteurs commerciaux
- infrastructure d'instrumentation



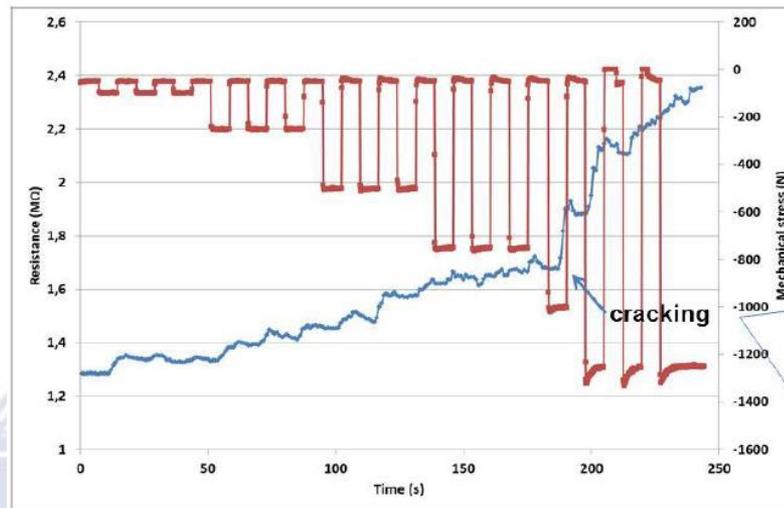
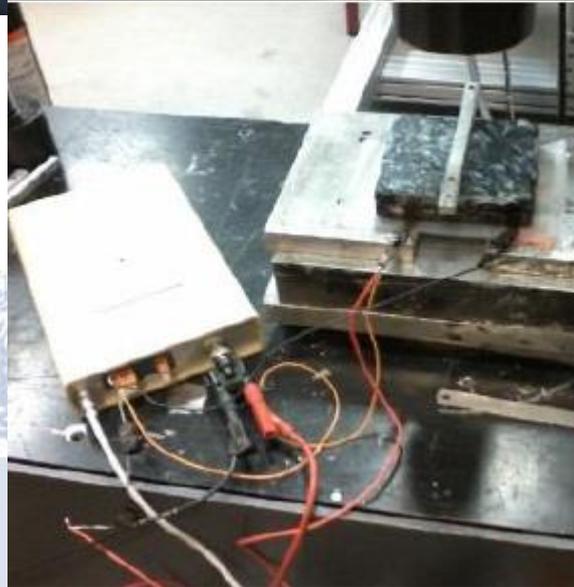
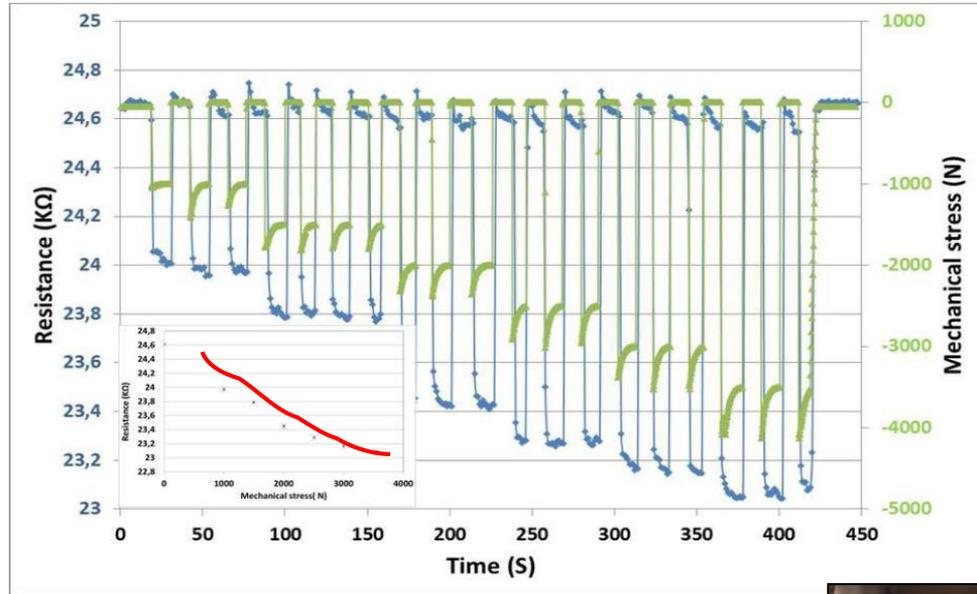
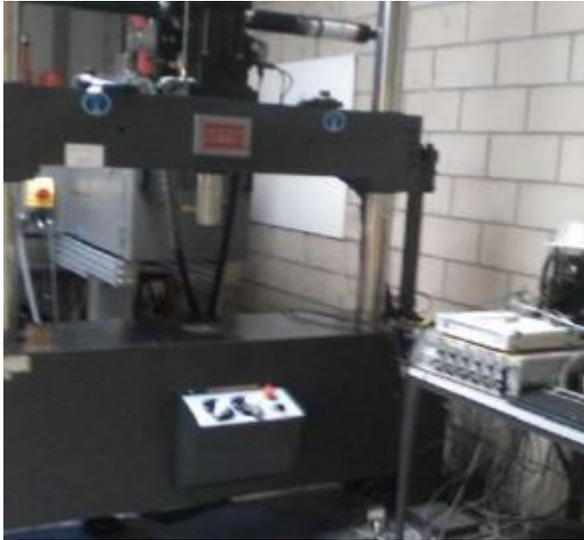


# Route PV/Nanoasphalt

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



# Réponses des nano capteurs sous charge

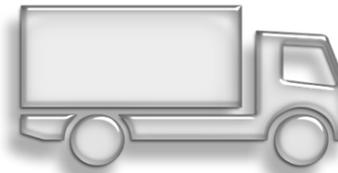
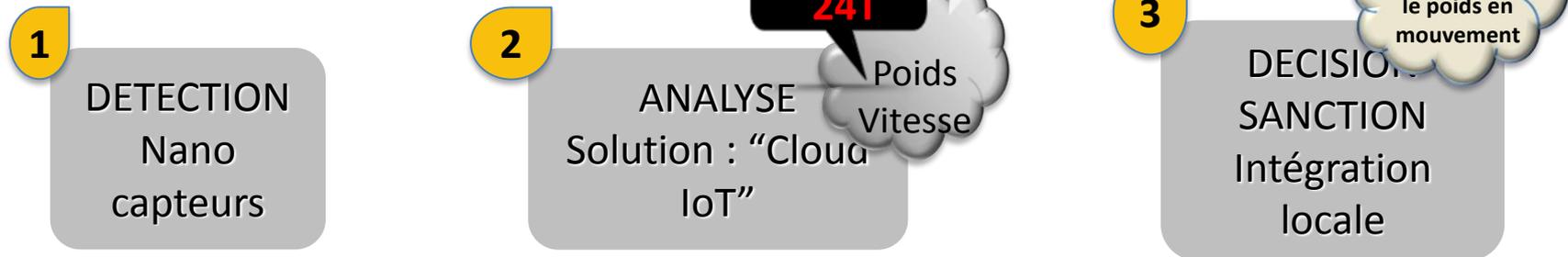


# Emploi logistique d'Altaroad



ALTAROAD fournit un service connecté pour la logistique, la maintenance prédictive et la gestion du trafic

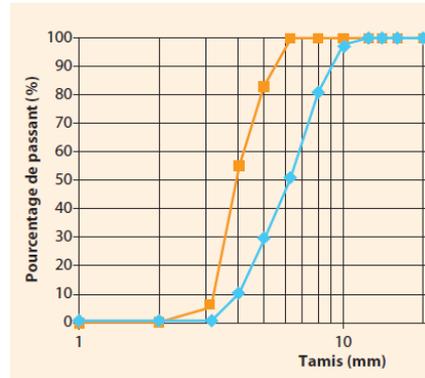
Exemple: cas d'emploi logistique



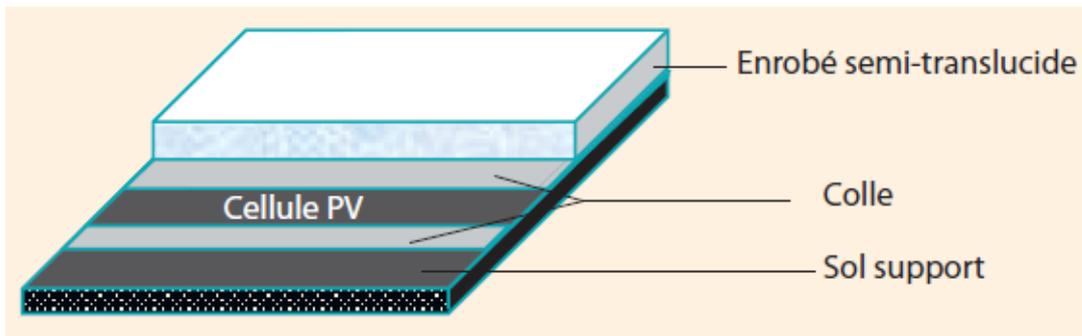
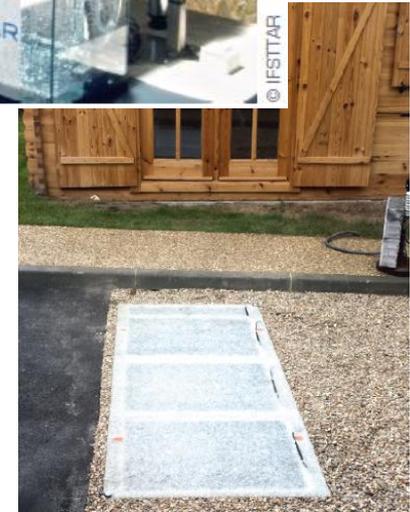
Empreinte du véhicule, vitesse, inter-distance, trajectoire, poids par essieu, état des pneus.

Endommagement de la chaussée et vieillissement.

# Démonstrateur la route solaire

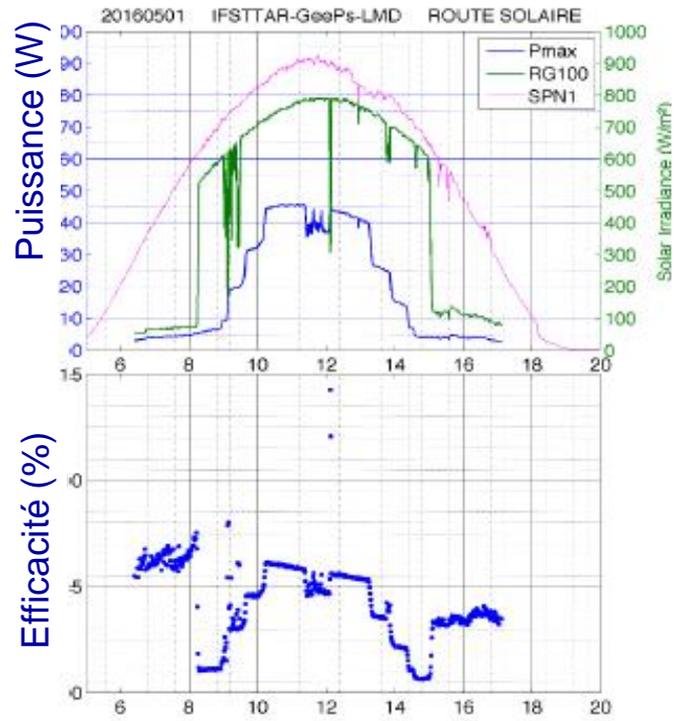


Démonstrateur « Route solaire hybride » à la COP21.

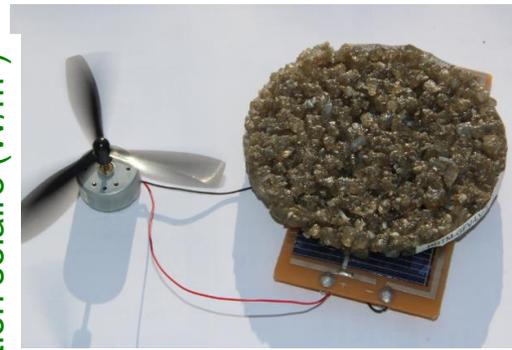


- Étude en laboratoire des matériaux
- Test en site propre sur une durée d'un an

# La route photovoltaïque



Radiation solaire (W/m<sup>2</sup>)



- Efficacité
- Les améliorations envisagées

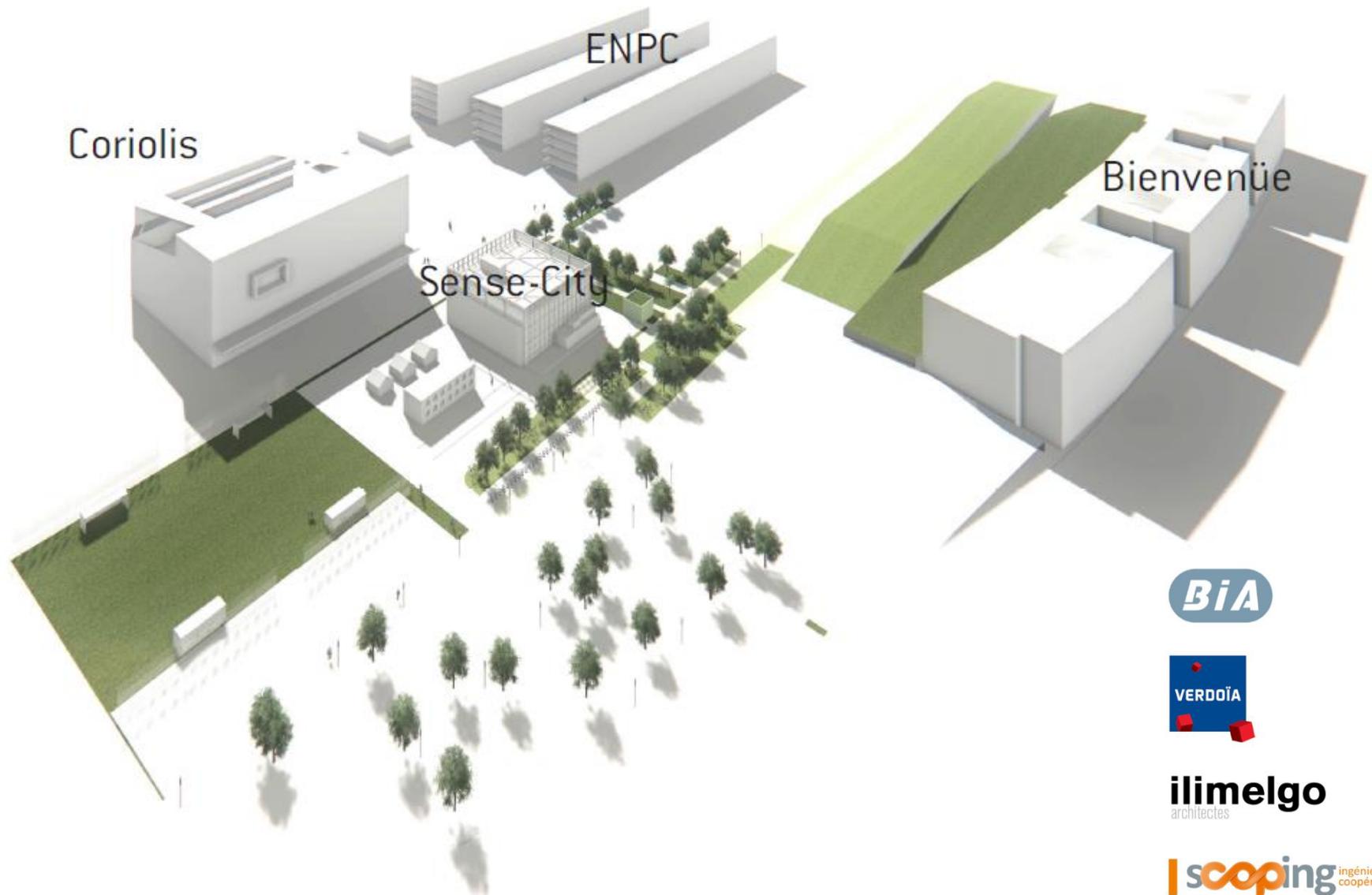
# LA CHAMBRE CLIMATIQUE ET LE PREMIER SCÉNARIO



## Du démonstrateur à la chambre climatique

- Une **chambre environnementale** pour maîtriser les **conditions expérimentales**,
- Répéter les expérimentations,
- Connaitre les facteurs d'influences et leurs impacts
  - T°, Hygrométrie, Pluies, Ensoleillement,
  - Tester des pollutions courantes!
    - au moins: SO<sup>2</sup>, CO<sup>2</sup>, NO, VOC (Iso butylène)
- Une chambre climatique pour tester les spécificités du climat, et ses changements, vers la simulation d'évènements extrêmes
  - Pics de chaleurs
  - Fluctuations fréquentes et rapides,...
- **Financement : 9 M€**

# Implantation



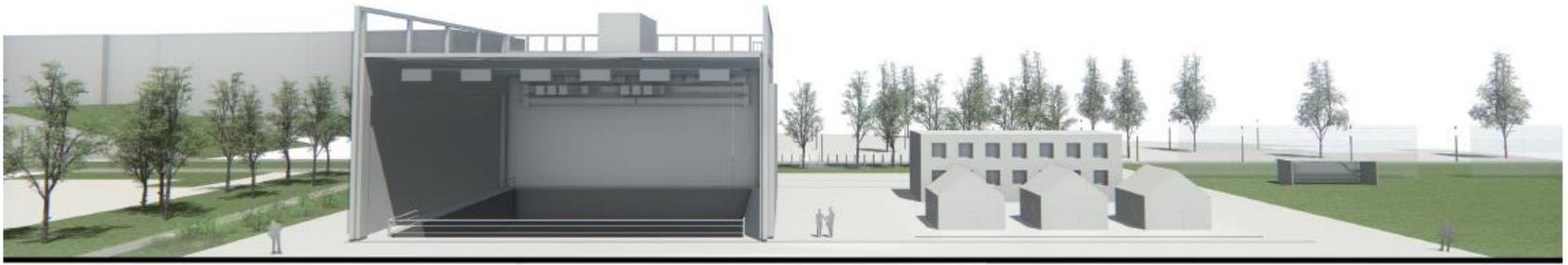
**BiA**

**VERDOÏA**

**ilimelgo**  
architectes

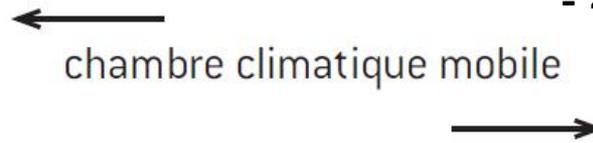
**scoping** ingénierie coopérative

# Projet architectural



scénario 1

Chambre climatique:  
 - mobile, déplaçable en 45 mn  
 - 400 t, sur 18 bogies



scénario 2

# Sense-City, un démonstrateur pour la Ville Sensible

Dès 2018, 400 m<sup>2</sup> de scénarios urbains instrumentés en environnement climatique contrôlé

**Un espace de validation unique en Europe**



## 2 espaces de travail

Surface

Sous sol



20\*20 m<sup>2</sup> surface  
 20\*20 m<sup>2</sup>\* 2.5 m profondeur (700 m<sup>3</sup>)

## 1 chambre mobile

23\*23 m<sup>2</sup> - 11 m haut (3200 m<sup>3</sup>)  
 Exp : 20\*20 m<sup>2</sup> - 8 m



$\theta$  -10 à 40°C\*;  
 Pluies : crachin / orage (+5 à +30°C\*\*)  
 Rayonnement solaire (30 lampes)  
 A la demande (programmation)

\* Plafond thermorégulé indépendant de la chambre = cycle jour/nuit et ciel variable

\*\* thermalisation de la pluie

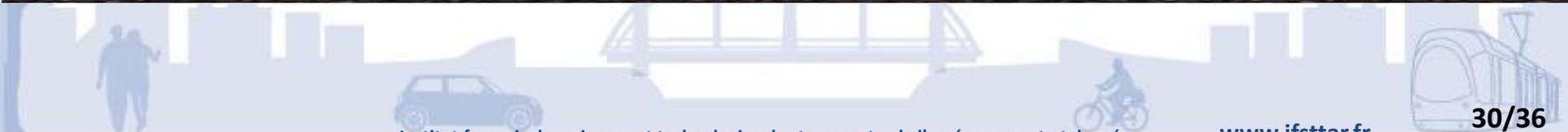
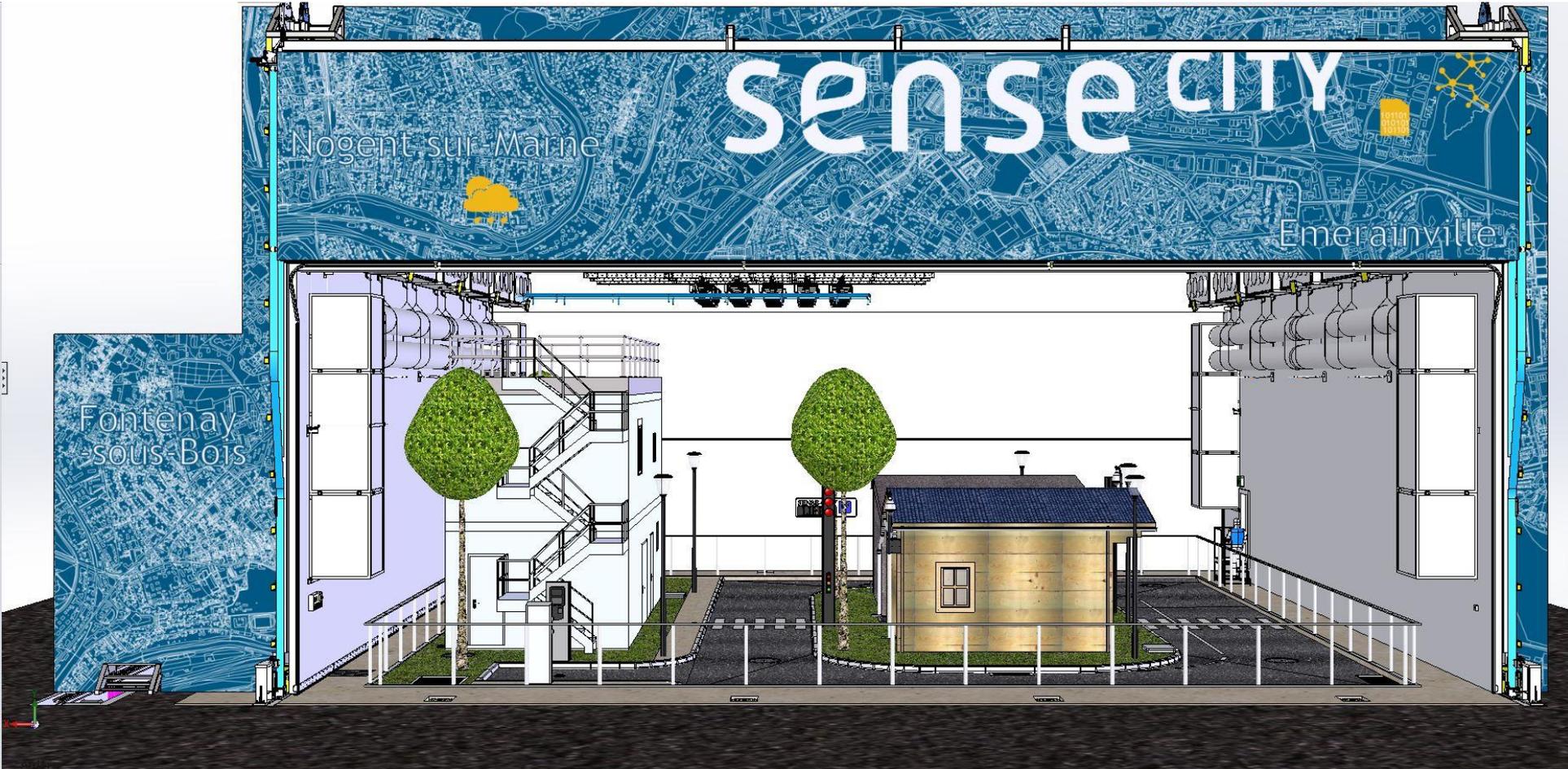
# Chambre climatique

*construction en juin 2017*



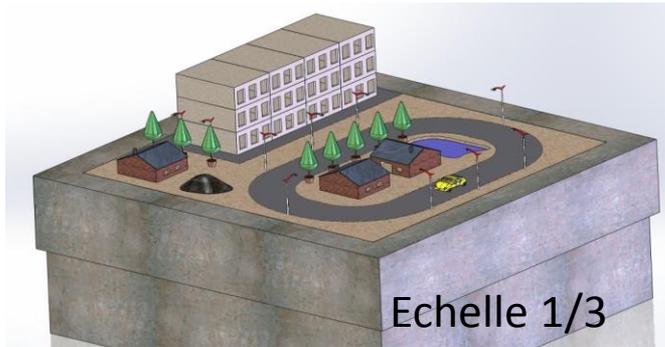
# Première mini ville (maquette)

début 2018



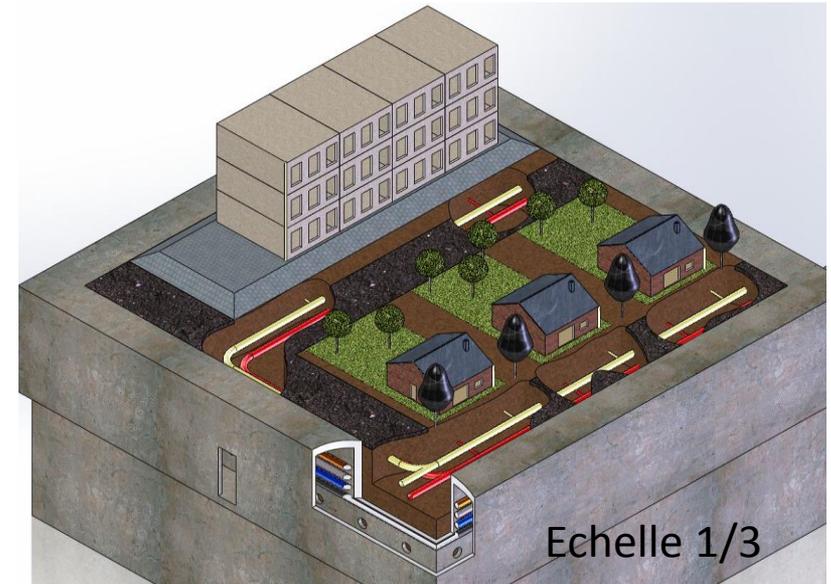
# La complexité d'un quartier...

- Aménagement urbain



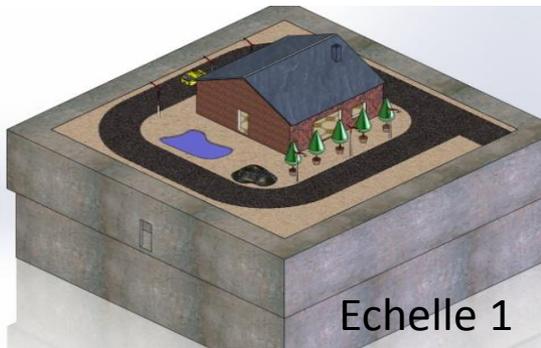
Echelle 1/3

Aménagement filtration  
imperméabilité des sols



Echelle 1/3

- Maison instrumentée



Echelle 1



## Première mini ville (principes) début 2018

Un « élément » de ville construit sur l'espace de travail disposant d'un sous sol instrumenté

Equipé de capteurs, les mesures s'effectuent avec ou sans la chambre climatique

Un centre de contrôle permet de programmer et piloter les équipements de la chambre climatique à distance

Expérimentations de durées variables

Le scénario urbain sera déconstruit pour être remplacé par un nouveau scénario co-construit par les chercheurs



# Perspectives

- Finaliser la construction et l'installation de l'équipement
- Enrichir le système d'information
- Développer le domaine scientifique et les acteurs
- Valorisation internationale des projets et GT sur :
  - Qualité de l'air
  - Réseau de capteurs
  - Micro et nano intégration
  - Matériaux biosourcés
- Intensifier le partenariat industriel



# Communications

- Sense-city événements
- Publications
- Brevets
- Visites & presse
- Echanges industriels, universitaires, chercheurs
- Marque déposée (en cours)
- Site web



# Nouveau concept, contenus

## (soon in English too)

**sense** CITY

<http://sense-city.ifsttar.fr/>

Home / Présentation / Chambre climatique

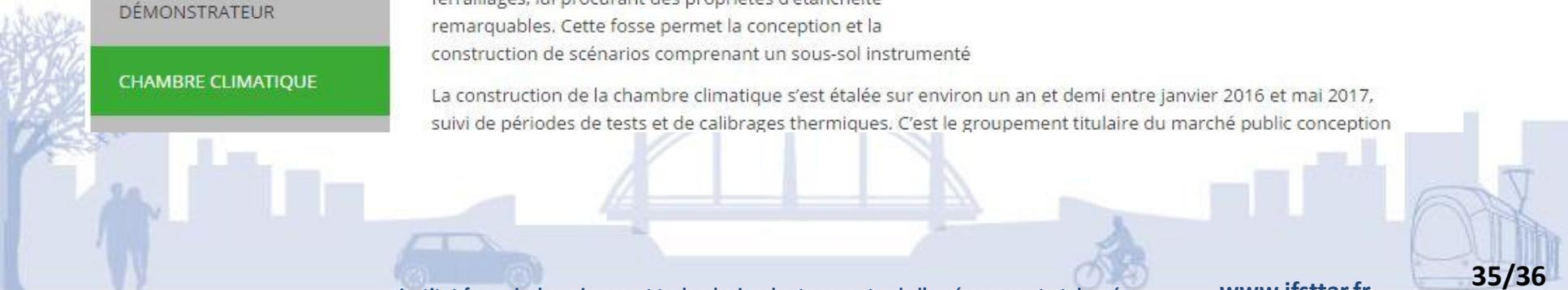
- ACCUEIL
- PRÉSENTATION ▾
- CONSORTIUM
- GROUPES DE TRAVAIL
- HISTORIQUE
- DÉMONSTRATEUR
- CHAMBRE CLIMATIQUE

### Chambre climatique

Le principal équipement de Sense-City produit un climat sous conditions contrôlées. Dotée d'un volume utile de 3 200m<sup>3</sup>, la chambre climatique de 200 tonnes est mobile. Elle repose sur 18 boggies et peut être déplacée d'un espace d'expérimentation à l'autre en moins de 45 minutes.

Ces espaces d'expérimentation font tous les deux 400m<sup>2</sup> au sol. L'un d'entre eux est doté d'une fosse dont la construction a nécessité 700m<sup>3</sup> de béton et 120 tonnes de ferrailages, lui procurant des propriétés d'étanchéité remarquables. Cette fosse permet la conception et la construction de scénarios comprenant un sous-sol instrumenté

La construction de la chambre climatique s'est étalée sur environ un an et demi entre janvier 2016 et mai 2017, suivi de périodes de tests et de calibrages thermiques. C'est le groupement titulaire du marché public conception



Infra 23<sup>e</sup> congrès  
4 au 6 décembre  
2017  
Paris des congrès de Montréal



Merci de votre attention

# SENSE-CITY

