

Séminaire PUCA-LATTS : « Ville intelligente »
Eau et assainissement : les effets de la multiplication des capteurs
04/05/2017

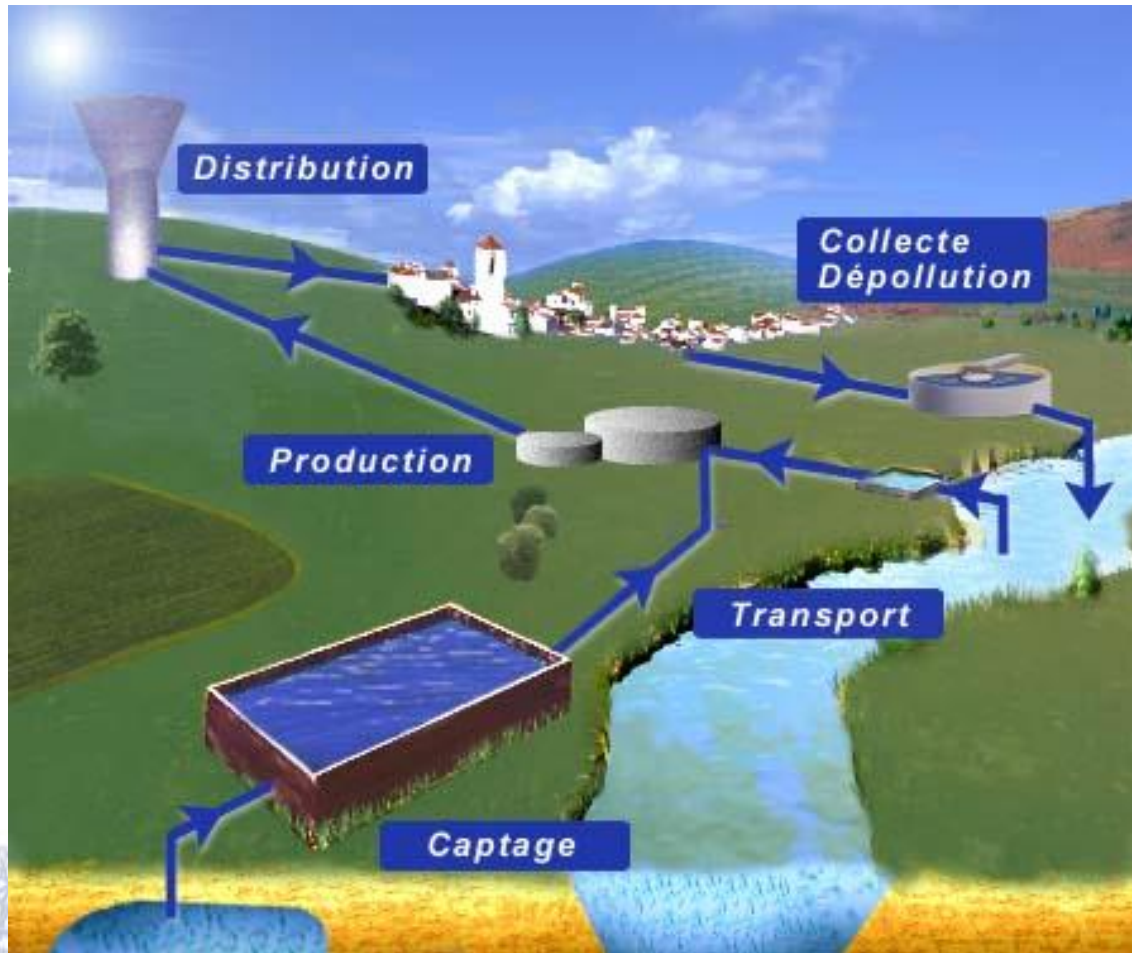
Mesure et Modèle pour les réseaux d'eau potable

Julien WAEYTENS
Chargé de recherche



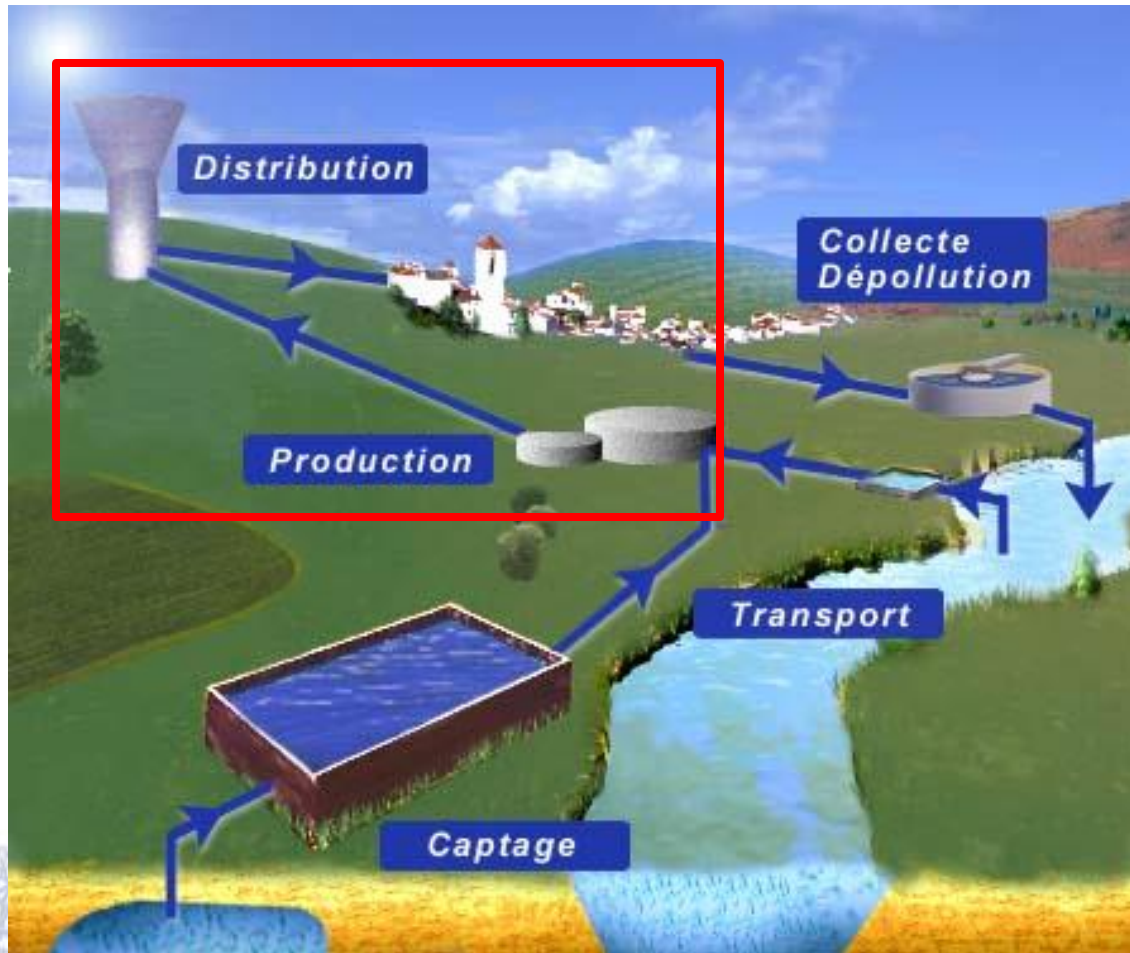
IFSTTAR

Petit cycle de l'eau potable



[Image CNRS]

De la production d'eau à l'utilisateur



[Image CNRS]

Constat réalisé par les gestionnaires d'eau potable :

HYDRAULIQUE

- **20 à 30% de l'eau potable est perdue due à des fuites**



QUALITE DE L'EAU

- Difficulté de connaître la concentration en chlore en tout point du réseau

Plan de la présentation

- Introduction
- Problématique hydraulique : les fuites d'eau
- Problématique qualité de l'eau
- Conclusions & Perspectives



Comment lutter contre les fuites ?

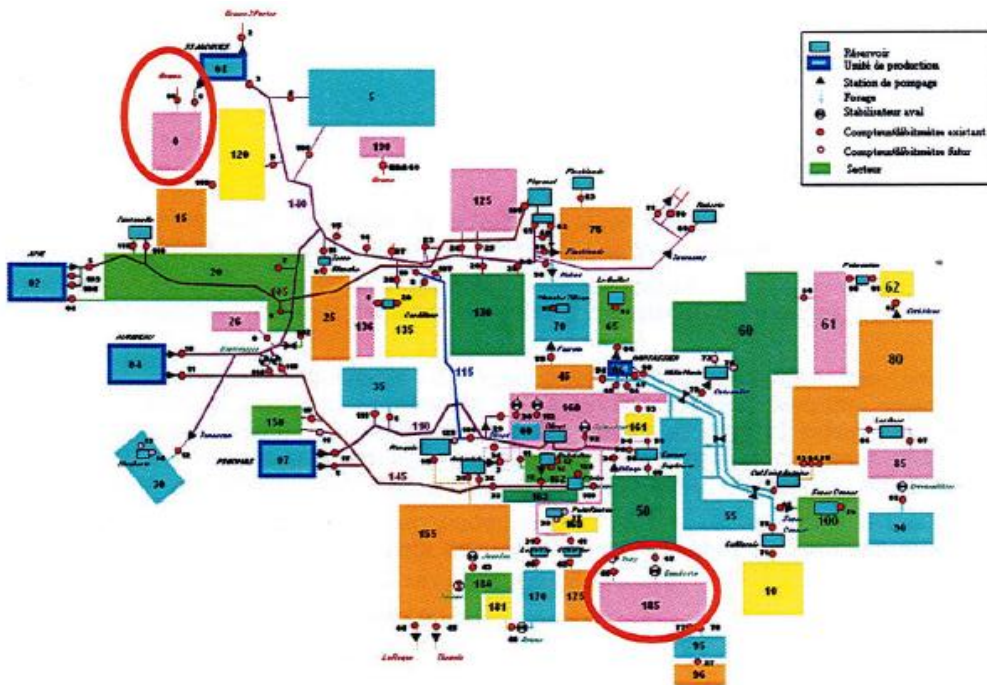
Première approche mise en place par les gestionnaires :

LA SECTORISATION

Idée : Diviser un réseau d'eau en plusieurs sous-réseaux et mesurer les volumes d'eau dans ces sous-réseaux



L'observation des débits nocturnes peut donner une information sur les fuites d'eau



Sectorisation d'un réseau d'eau en région PACA

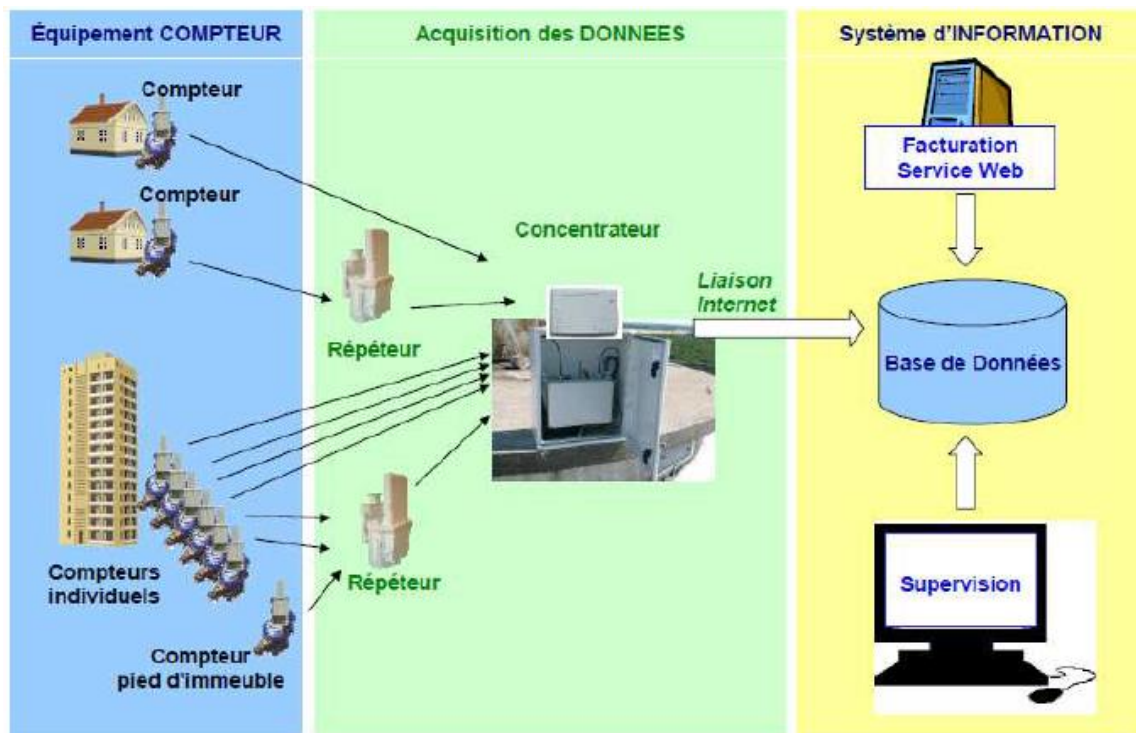
Présence de débitmètre à l'entrée de chaque sous-réseau

Comment lutter contre les fuites ?

Approche 2 : Mesure en quasi-temps réel des consommations d'eau

Idée : Récupérer les débits d'eau mesurés par tous les **compteurs d'eau** par un **système de télérelève**.

Une **analyse statistique** des données de consommation permet d'alerter par SMS l'utilisateur sur une consommation anormale (fuite).



[Eau de Paris]

Comment lutter contre les fuites ?

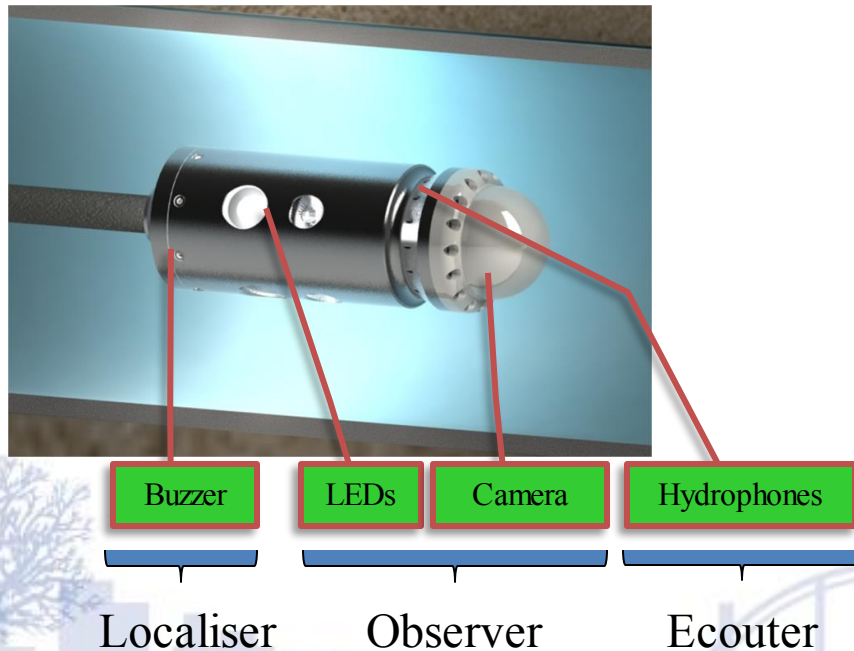
Approche 3 : Inspection des canalisations par un « smart-fish »

Idée :

1) **Pré-localiser une éventuelle fuite** sur une portion limitée du réseau

Ingrédients: Mesure + Analyse statistique + Modélisation hydraulique

2) **Localiser la fuite** par des méthodes acoustiques et/ou un « smart-fish »



Projets Smart Water Network/ Micad'Eau
Advitam, Suez-Environnement, ESIEE, IFSTTAR, ...

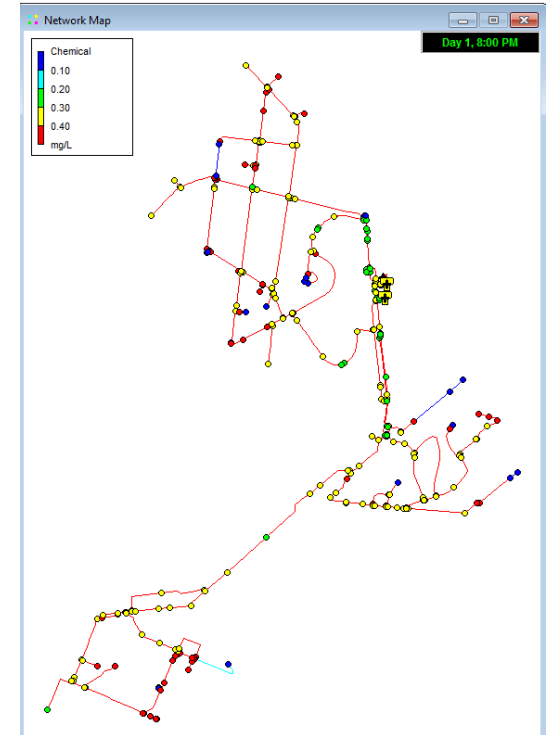
Qualité de l'eau potable

Objectif : Cartographier la concentration en chlore dans un réseau d'eau potable

Première approche : Simuler la concentration en chlore dans le réseau en s'appuyant sur un modèle de transport-diffusion-réaction.



Vue aérienne partielle d'une ville francilienne



Maquette et simulation numérique

Constat : Des écarts de plus de 50% peuvent être observés entre la concentration prédite par simulation et la concentration mesurée.

Solution : **Privilégier une approche couplant mesure et modèle**

Qualité de l'eau potable

Modèle pour la qualité de l'eau :

équations de **transport**-diffusion-réaction

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \boxed{v} \cdot \nabla C - v \Delta C + \boxed{k} C = 0$$

Comment expliquer un écart important entre mesure de chlore et concentration prédite par un modèle physique ?

1) Approximation sur l'écoulement d'eau simulé par un modèle hydraulique

-> besoin de connaître les consommations clients (utilité des mesures de télérelève)

2) Mauvaise connaissance de la réaction du chlore dans le réseau

-> besoin de mesurer la concentration de chlore dans le réseau en quelques points



Recours à la **modélisation inverse** : stratégie couplant mesure et modèle

Qualité de l'eau potable

Objectif : Réaliser une **cartographie détaillée et représentative** de la concentration en chlore dans un réseau d'eau potable

Solution : **Combiner les mesures et la modélisation physique**

Contraintes :

- **Déploiement d'un nombre limité de capteur**
- **Capteur précis, peu encombrant, autonome en énergie, ... et peu coûteux**
- **Réalisation de la cartographie en temps-réel**



Qualité de l'eau potable

Objectif : Réaliser une cartographie détaillée et représentative de la concentration en chlore dans un réseau d'eau potable

Solution : Combiner les mesures et la modélisation physique

Contraintes :

- **Déploiement d'un nombre limité de capteur**
 - **Outil de positionnement optimal des capteurs dans un réseau**
- **Capteur précis, peu encombrant, autonome en énergie, ... et peu coûteux**
 - **Travaux sur la technologie des capteurs**
- **Réalisation de la cartographie en temps-réel**
 - **Méthodes numériques couplant mesure et modèle**

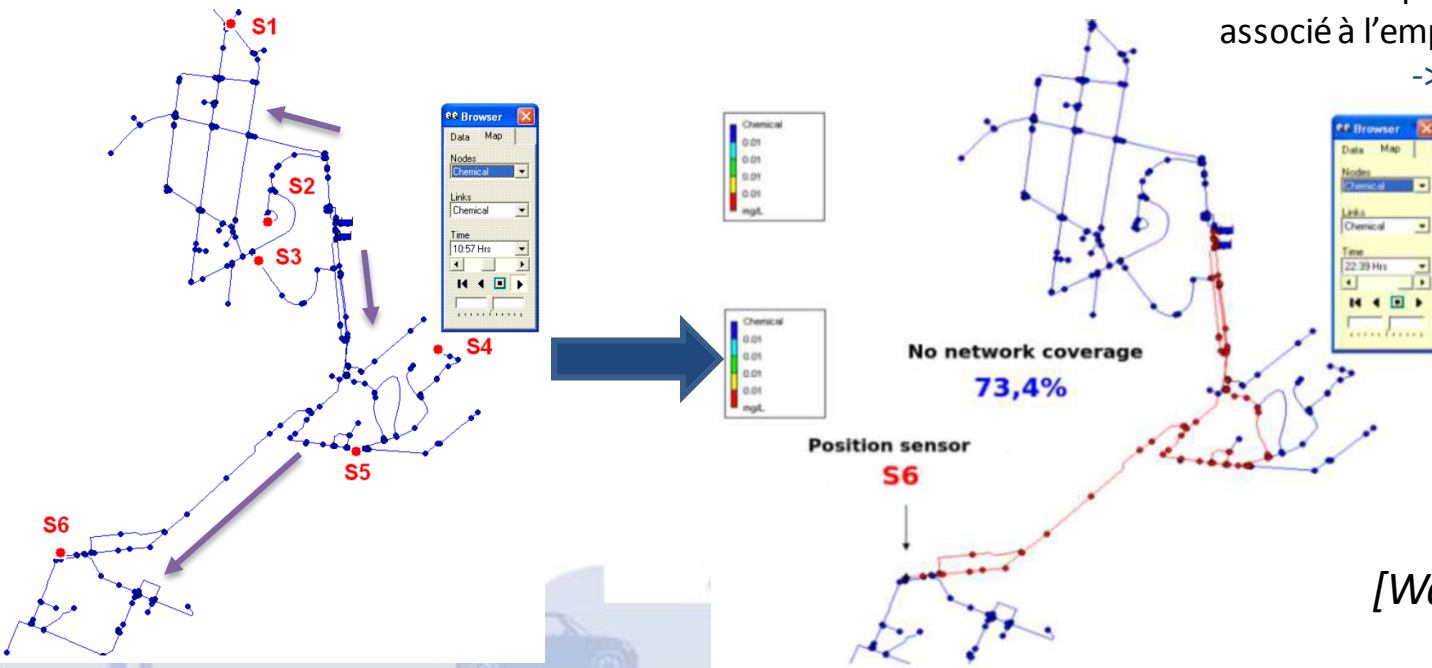


Positionnement optimal des capteurs

Objectif : Avoir un outil d'aide à la décision pour positionner des capteurs dans un réseau d'eau potable

Contraintes : Les contraintes techniques limitent le nombre d'emplacements

Idée : **Utilisation de la modélisation physique** pour localiser et quantifier la **zone géographique observable par un capteur donné**



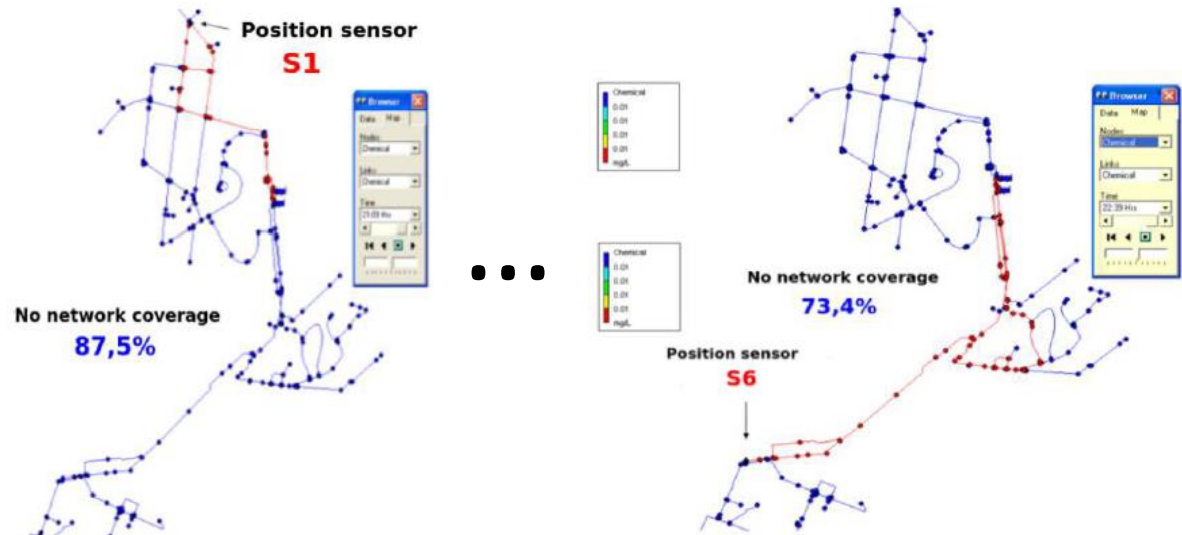
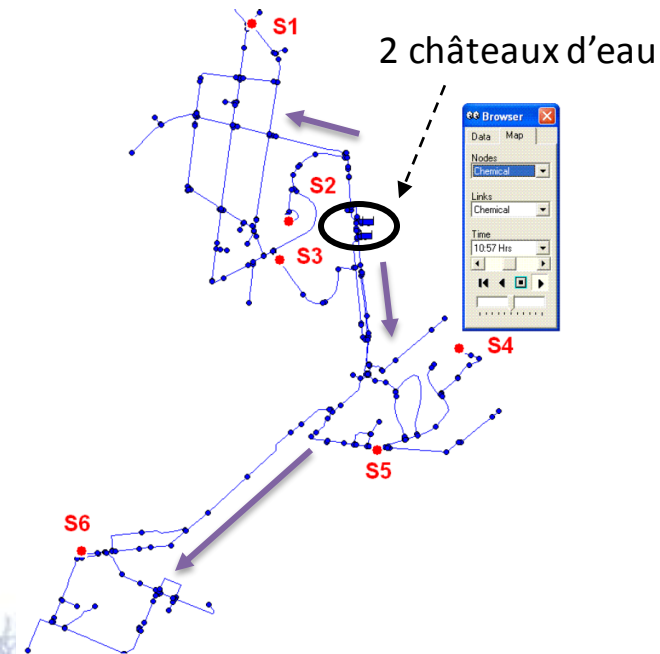
[Waeytens et al 2017]

Positionnement optimal des capteurs

Mise en œuvre sur le réseau d'eau potable d'une ville d'Ile de France

Positionnement d'un seul capteur

Résolution de 6 problèmes de transport avec EPANET



Sensors	Network no coverage
S1	87,5 %
S2	97,5 %
S3	88,5 %
S4	81,9 %
S5	86,3 %
S6	73,4 %

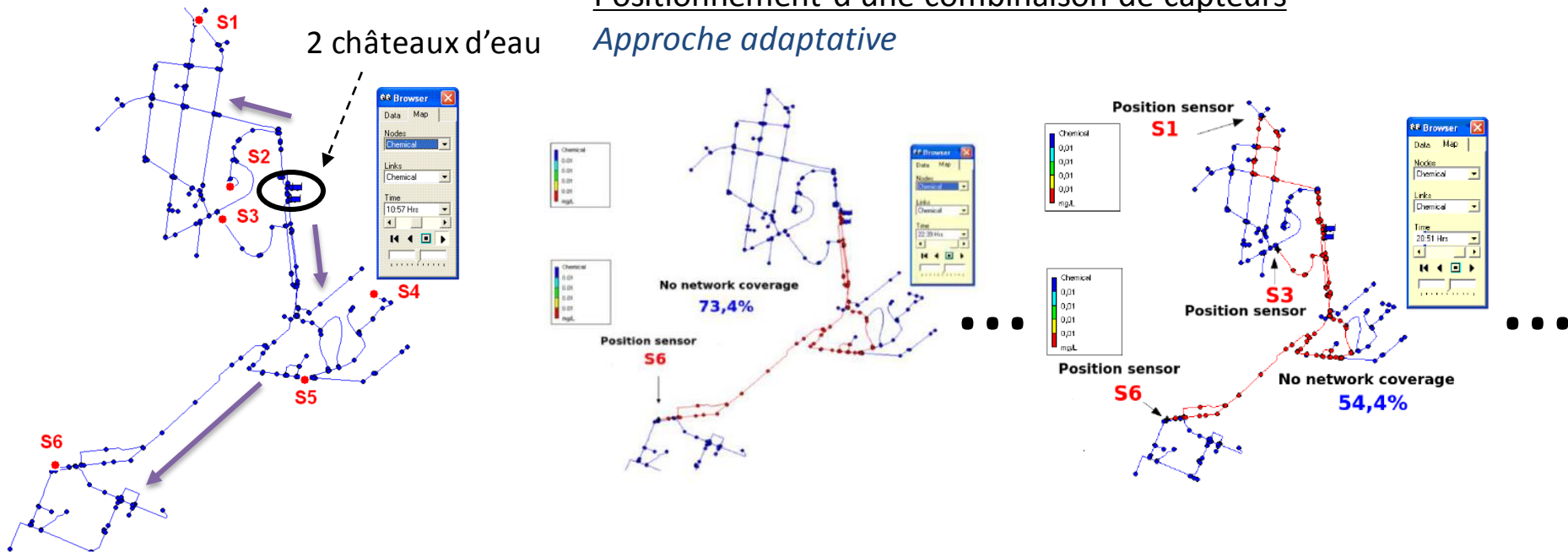
Meilleur candidat: S6

Positionnement optimal des capteurs

Mise en œuvre sur le réseau d'eau potable d'une ville d'Ile de France

Positionnement d'une combinaison de capteurs

Approche adaptative



Nombre of Sensors	Top sensors	No-network coverage
1	S6	73,4 %
2	S6-S1	61,7 %
3	S6-S1-S3	54,4 %
4	S6-S1-S3-S4	48,8 %
5	S6-S1-S3-S4-S2	48,1 %
6	S6-S1-S3-S4-S2-S5	48,1 %

Bilan :

- Gain en couverture faible pour plus de 4 capteurs

Evolution technologique des capteurs

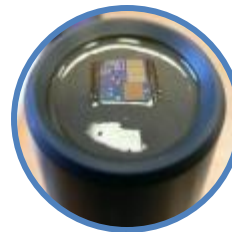
Analyseur de chlore



Sonde multi-paramètres (ELS) :
*Chlore, débit, pH,
pression, température*
[Projets SWN-Micad'Eau]



« Lab on a chip »

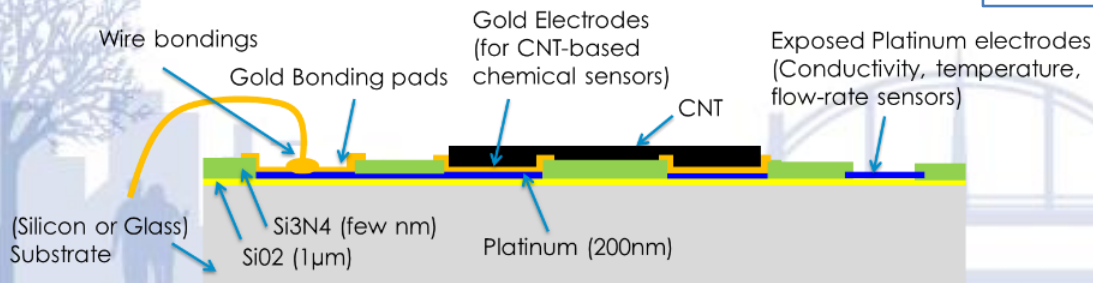


PROTEUS Sensor
[Projet Européen]

Evolutions :

**Encombrement, autonomie,
coût, communicant,**

Technologie Nano et MEMS



EquipEx « Sense-City »

But de l'équipement :

- Validation des technologies de micro et nano capteurs
- Utilisation combinée « mesure » et « modèle » pour améliorer les descripteurs physique de la Ville

Domaine d'intérêt : énergie bâtiment, qualité air/eau, durabilité et sécurité des infrastructures, ...

Utilisation : Recherche et Enseignement

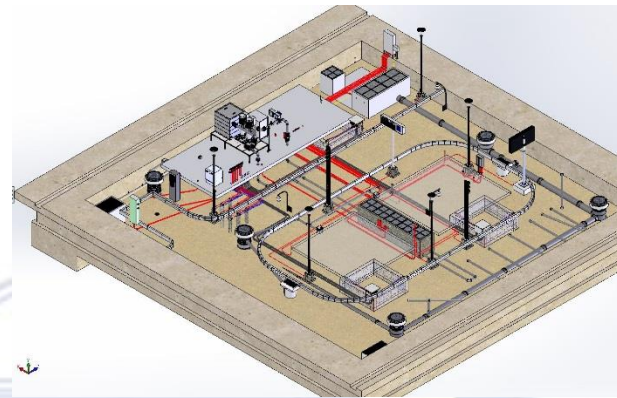
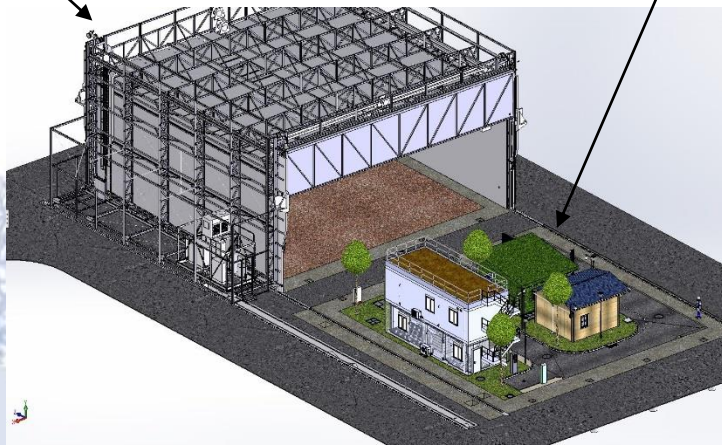
Localisation : IFSTTAR, campus de l'Université Paris-Est

Livraison : début 2018

Instrumentation & Modélisation
pour la ville de demain

Chambre climatique mobile

Mini-quartier
en environnement contrôlé



Sous-sol
Instrumenté et contrôlé

EquipEx « Sense-City »

Dispositifs dans l'EquipEx :

- Scénario d'ensoleillement
- Scénario de pluie
- Injection de polluants : CO₂, NO, ...
- Température et humidité contrôlées

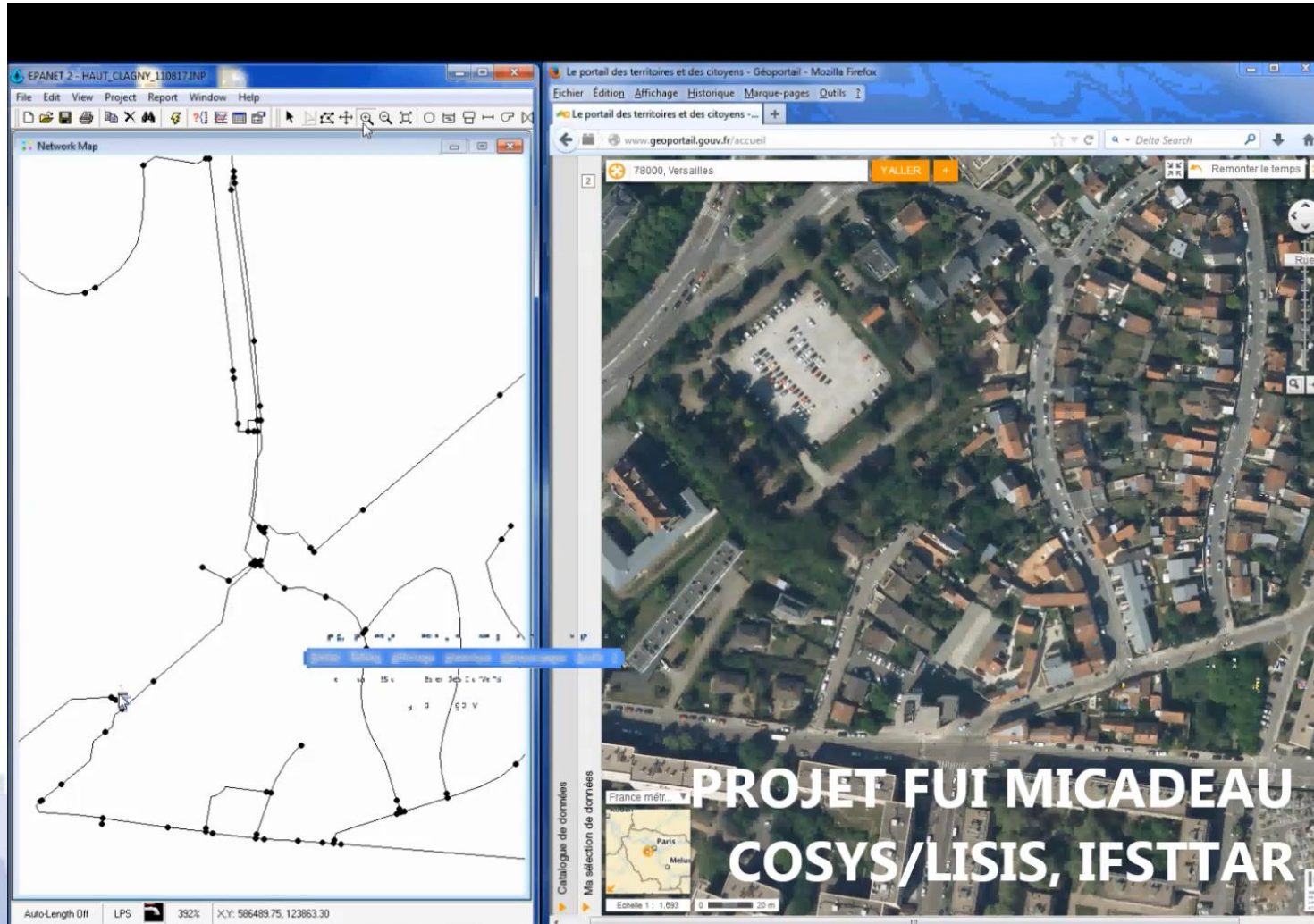


Première Maquette dans l'EquipEx :

- Bâtiment avec :
 - Injection de polluants pour des applications en qualité de l'air
 - contrôle optimal du chauffage et des ventilations
- Maison en béton de chanvre
- Réseau d'eau potable instrumenté avec des nano-dispositifs
- Route instrumentée

Stratégie numérique de modélisation inverse

Cartographie « espace-temps » de la concentration en chlore dans quelques km de réseau par couplage mesure/modèle (modélisation inverse)



Conclusions & Perspectives

Utilisation du couplage instrumentation / modélisation pour la Ville de demain

- *Intérêts :*
 - + Ce couplage permet d'obtenir des **descripteurs physiques plus représentatifs**
 - + La modélisation permet de **limiter le nombre de capteurs**
 - + La modélisation permet de **prédire** l'évolution espace-temps des descripteurs physiques de la ville
- *Applications à de nombreux domaines :*
 - Structural Health Monitoring (SHM)
 - Energétique du bâtiment
 - Qualité de l'eau
 - Qualité de l'air
 - Trafic

