

## 2. Infrastructures réseaux pour les systèmes urbains

- Les réseaux dans la ville
- L'accès au médium
- Le routage
- Les réseaux cellulaires
- **Le déploiement des réseaux sans fil dans la ville**

# Les réseaux sans fil urbains

## Réseaux capillaires

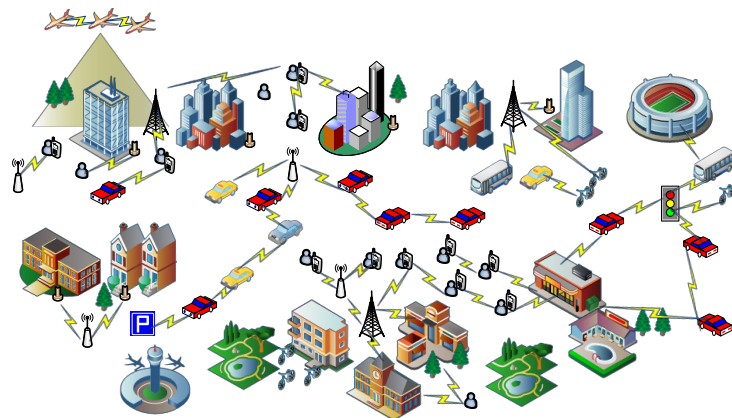
- Architectures hétérogènes
  - ✓ cellulaire et multi-sauts
- Diversité : fonctionnement, déploiement

## Réseaux opérés

- Topologie et paramétrage maîtrisés
- Réseaux cellulaires, réseaux maillés, hot-spots

## Réseaux non-opérés

- Auto-organisation, adaptation à l'environnement
- Réseaux de capteurs, de véhicules, maillés *spontanés*



# Déploiement des réseaux cellulaires

## Stations de bases « imposantes »

- Déploiement administré
- Objectif de couverture
- Points hauts, avec électricité et réseau filaire

## Small cells en renfort

- de couverture pour zones difficiles (vieilles villes)
- de capacité dans les zones de forte densité
- Electricité nécessaire
- Connexion radio fréquente



# Déploiement de réseaux Wifi

## Déploiement institutionnel

- Forte couverture de lieux publics (gares, centres commerciaux)
- De plus en plus de villes couvrent les parcs, zones piétonnes, etc.
- Besoin d'électricité et réseau (radio ou filaire)



# Déploiement de réseaux Wifi

## Déploiement institutionnel

- Couverture des lieux publics

## Déploiement résidentiel

- Réseaux publics partageant une « box » résidentielle
- Forte disponibilité dans les zones d'habitat dense
- Performances très variables



# Déploiement de réseaux Wifi

## Déploiement institutionnel

- Couverture des lieux publics

## Déploiement résidentiel

- Réseaux publics partageant une « box » résidentielle

## Réseaux maillés communautaires

- Peine à émerger dans les pays développés
- Peut être un outil de dissidence/résistance



# Les réseaux de capteurs sans fil

Au cœur de la ville intelligente

- Mesure de l'environnement et de l'activité
- Continuum entre monde physique et monde numérique

Un mythe : le déploiement aléatoire

- Hypothèse classique des travaux académiques
- Coût d'installation d'un capteur dans la chaussée : 1k€
  - ✓ Capteur + configuration + **travaux de voirie**
- Déploiement optimisé



# Déploiement contraint

La mesure a une pertinence spatiale

- Télémétrie : installation au compteur
- Smartparking : places de stationnement
- Phénomène physique :
  - ✓ Modèle prédictif ou historique de mesures
  - ✓ Identification et sélection de points pertinents

Intégration dans l'espace urbain

- Support d'installation
- Acceptation sociale / intrusion technologique
- Robustesse et protection



# Fonctionnement autonome

## Autonomie énergétique

- Déploiement plus libre
- Mécanismes d'endormissement



# Fonctionnement autonome

Autonomie énergétique

Collecte cellulaire ou multi-sauts

- Cellulaire basse consommation (Sigfox, Lora)
  - ✓ Applications spécifiques
- Multi-sauts théoriquement meilleur, complexe en pratique
- Architectures hybrides



# Fonctionnement autonome

Autonomie énergétique

Collecte cellulaire ou multi-sauts

Auto-configuration – auto-organisation

- Configuration : coût financier, limite capacité de déploiement
- Endormissement, instabilité de l'environnement radio
- Résilience mais topologie non maîtrisée
- Routage important



# Fonctionnement autonome

Autonomie énergétique

Collecte cellulaire ou multi-sauts

Auto-configuration – auto-organisation

Emergence d'opérateurs urbains ?

- 1 mesure – 1 réseau => réseau multi-applications
- « Service Level Agreement »
- Propriété et sécurité des données



# Quel futur nous attend ?

Remplacer la précision par le nombre

- Aujourd'hui : quelques capteurs chers
  - ✓ Forte résolution numérique, faible résolution spatiale et temporelle
- Nano/micro électronique => capteurs low cost
  - ✓ Plus fortes erreurs de mesure, forte résolution spatio-temporelle
- Peut-on gagner en précision ?
  - ✓ Exploiter corrélations et redondance, re-calibration

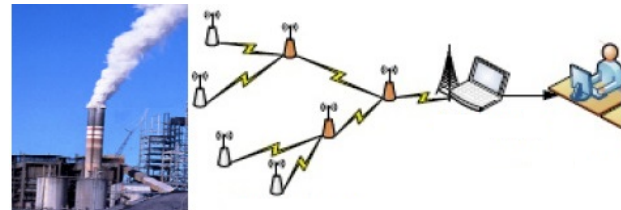


# Quel futur nous attend ?

Remplacer la précision par le nombre

Un exemple : mesure de pollution

- Dizaine de capteurs AirParif ou AirRhoneAlpes
  - ✓ Quelques mesures par heure
  - ✓ Centaine de milliers d'euros
- Capteurs ~ 1k€, qq mesures par minutes
  - ✓ Possibilité d'en installer 100 fois plus
  - ✓ Nécessité d'une infrastructure de collecte



# Encore plus dense ?

## Surveillance d'infrastructure

- Planification de maintenance
- Enjeu économique pour grands ouvrages (ponts, tours)
- Aujourd'hui : mesures rares, coûteuses et intrusives

## Nano-électronique et technologie RFID

- Capteurs peu chers, alimenté/connecté comme RFID
- Noyés dans le béton, déploiement quasi-aléatoire

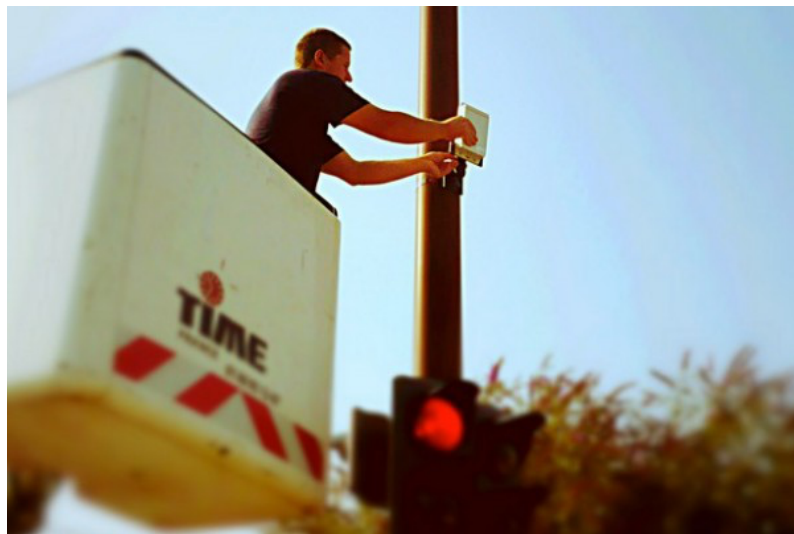
## Campagnes de mesure plus fréquentes

- Plus d'intervention massive, voire d'interruption de fonctionnement
- Résolution spatiale et temporelle compense qualité de mesure ?



# Les défis du déploiement

- Concernent principalement les capteurs
  - Et les points de collecte
- Faire émerger des opérateurs urbains
- Remplacer la précision par le nombre



Comprendre les phénomènes et activités urbaines  
Obtenir un maillage dense de mesures

# Illustrations & photos : crédits

p. 2, p. 3 : droits réservés

p. 4-6 : clipart Microsoft

p. 7-8 : droits réservés IOT-Lab : <https://www.iot-lab.info/new-m3-testbed-in-lille/>

p. 9-12 : droits réservés

p. 13-14 : droits réservés

p. 15 : droits réservés

p. 16 : crédit photo Hikob ©