

**INSA** INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
LYON



*Inria*

INVENTEURS DU MONDE NUMÉRIQUE

# Technologies réseaux sans fil pour la ville intelligente

Hervé Rivano

Agora Citi Lab, Insa Lyon, Inria

# Un monde urbanisé

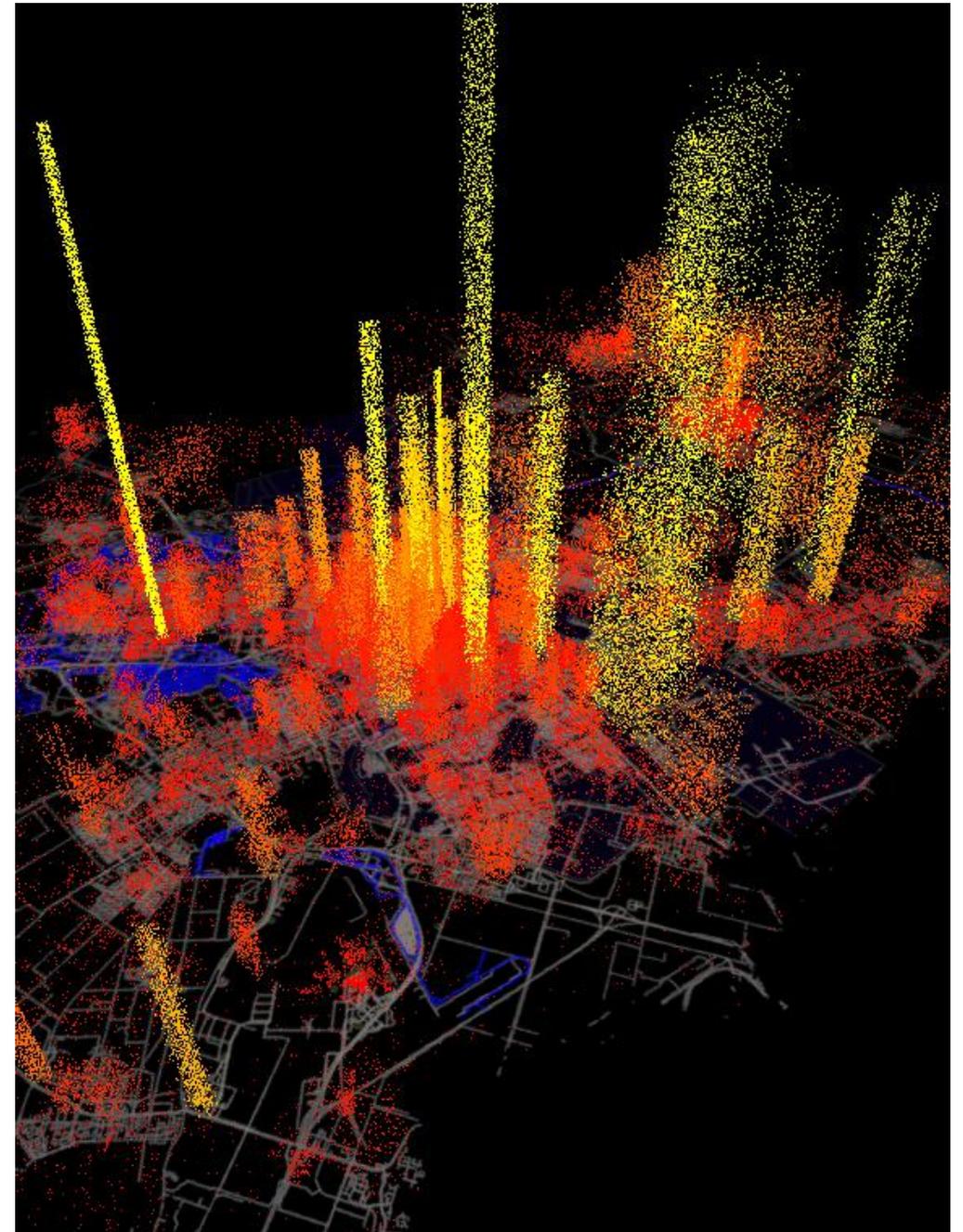
Majorité population mondiale en zone urbaine

- 80% dans les pays développés
- Sur-densification des zones urbaines
- Enjeux de passage à l'échelle

Des exigences sociétales

- Environnement et santé publique
- Transports publics/privés/individuels
- Services publics/collectifs réactifs/individualisés
- Connectivité permanente à l'Internet

Volonté d'une expérience personnalisée de la ville



# Les TICs pour les ~~smart~~ - cities smarter

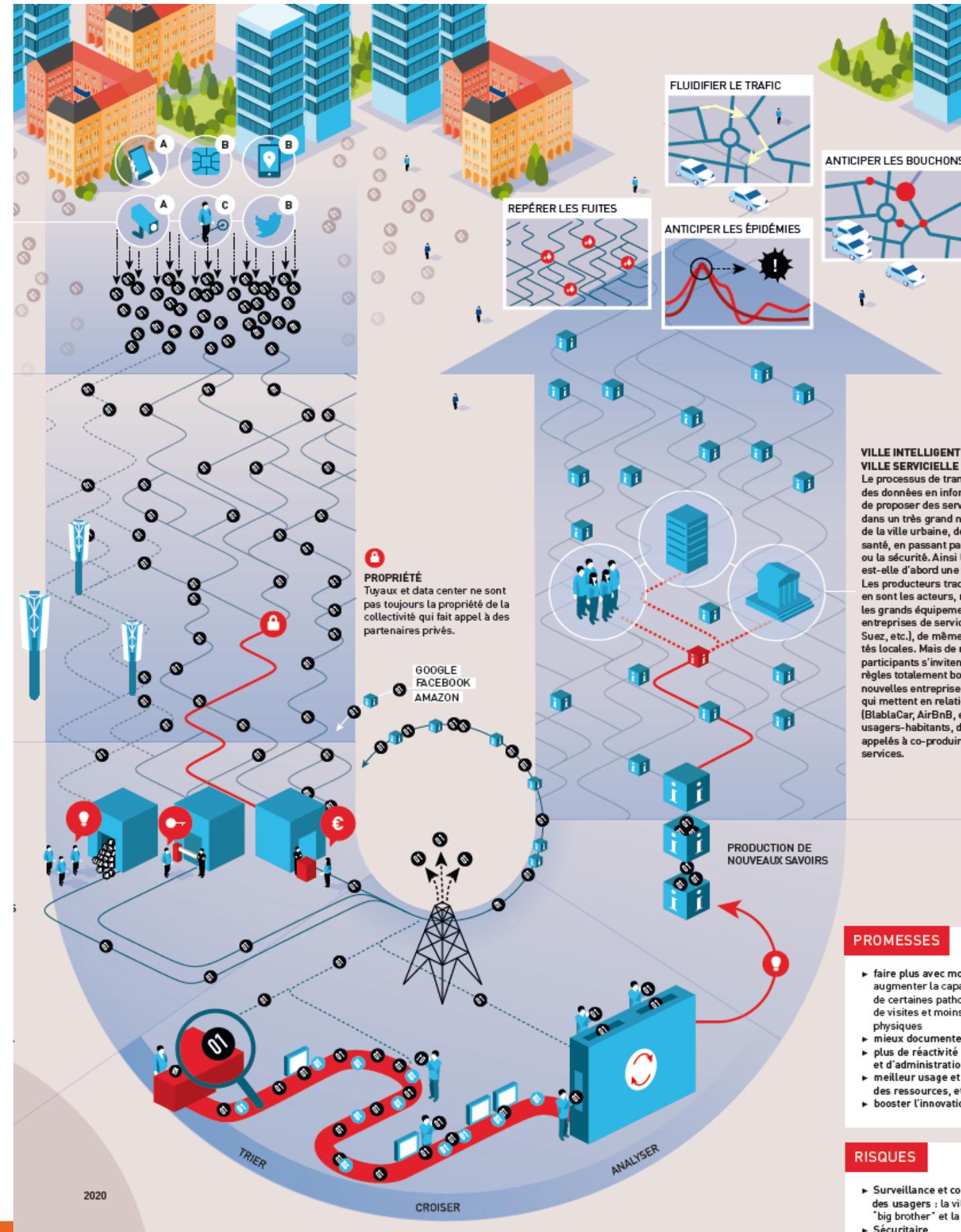
NOM DU CHAP

# LES DATA, CARBURANT DE LA VILLE INTELLIGENTE

- Génération
  - Capteurs
  - Réseaux sociaux
  - Enquêtes
- Transport - Stockage
  - Standardisation
  - Hétérogénéité
- Tri - Analyse
  - Classification - Exploration
- Production de nouveaux savoirs et services
  - Personnalisation
  - IA
  - Représentation

De 2005 à 2010  
volume de données  
multipliées par 250

Question de la  
propriété de la  
donnée



# Continuum mondes physique et numérique

Capteurs : environnement et activités

- déployés dans l'espace urbain
- embarqués sur véhicule, smartphones...

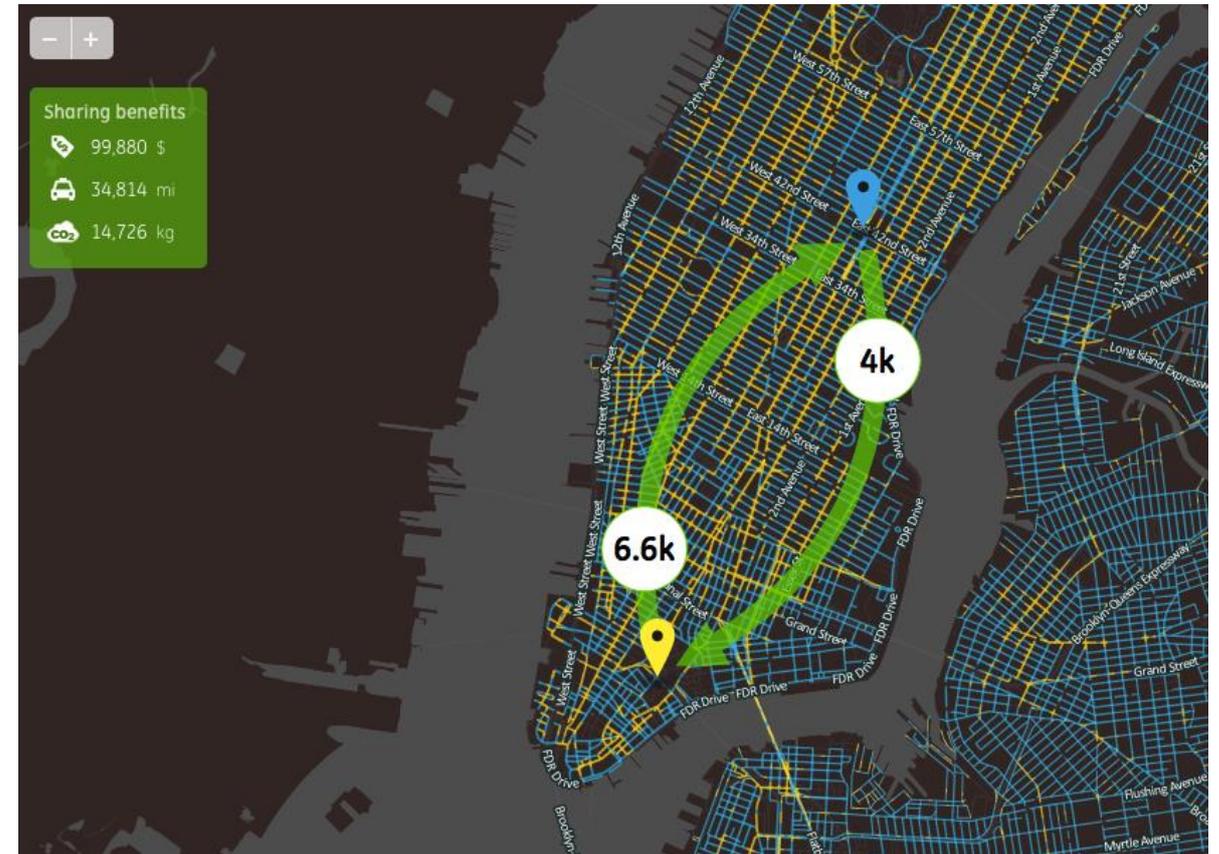
Tags RFID : suivi d'objets

Smartphones : tracking passif

Réseaux sociaux : tracking volontaire

Redistribution de l'information

- services, cartographies, open data



[HubCab.org](http://HubCab.org) (c) MIT Senseable City  
Statistiques sur l'ensemble des trajets en taxi

Une multitude d'observations de l'urbain

# L'internet des objets : « Big » data



© <http://www.zdnet.com/big-data-all-you-need-to-know-1339335818/>



<http://strata.oreilly.com/2012/01/what-is-big-data.html>



<http://tinyurl.com/broBy8u>



<http://tinyurl.com/dyu2nes>

# La matière brute

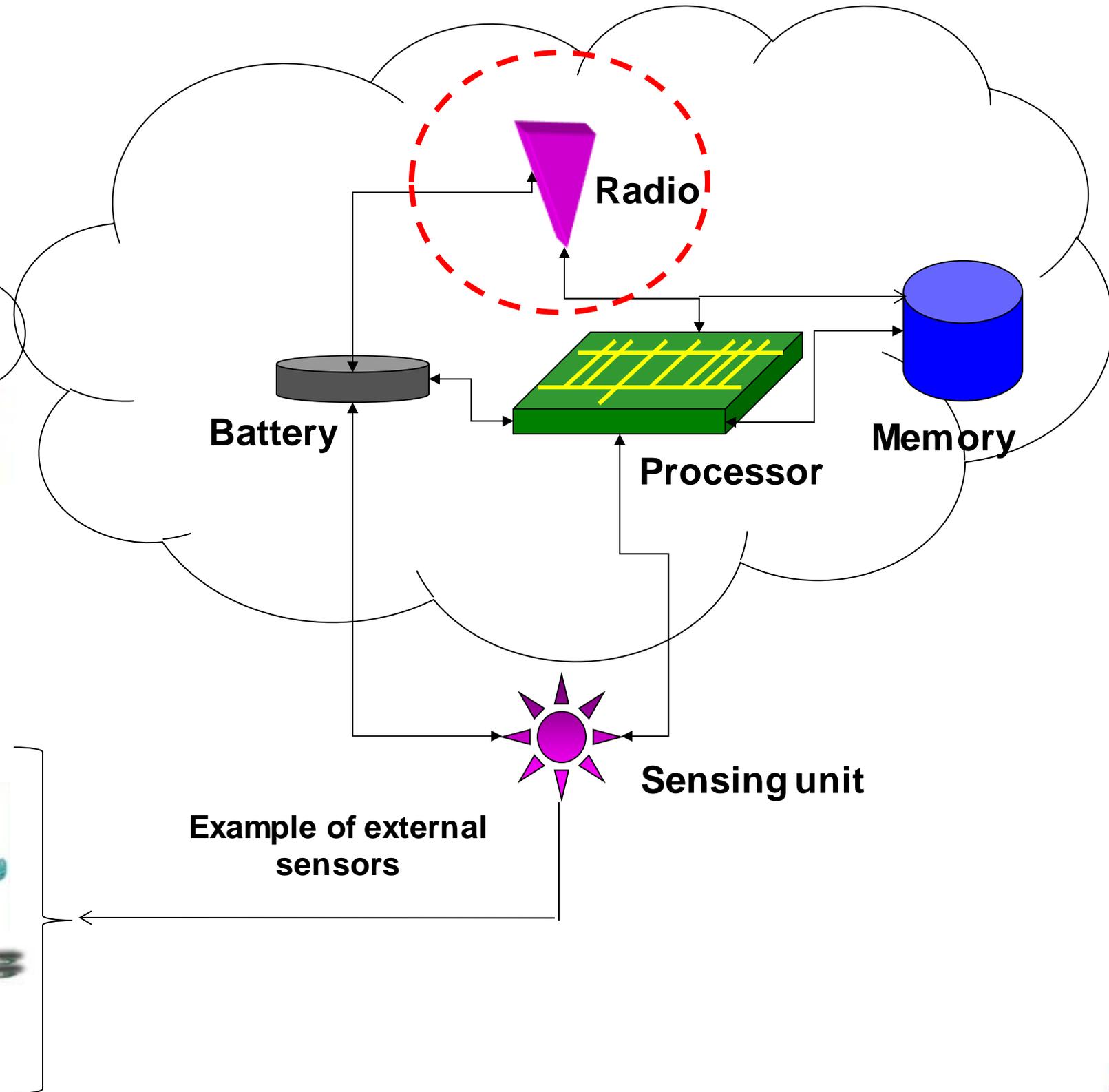
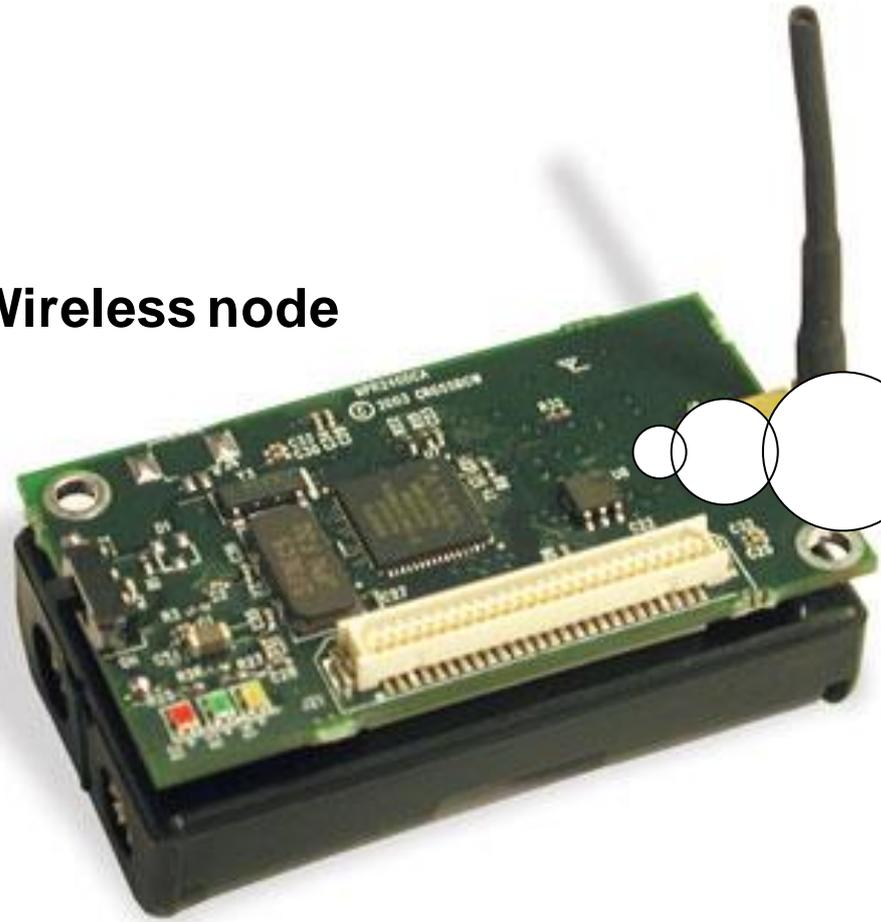
: la donnée

mesure

NOM DU CHAPITRE

# Capteurs sans fil

Wireless node



Data acquisition board with I/O interface



Soil probes



# Les réseaux de capteurs sans fil

Un mythe : le déploiement aléatoire

- Hypothèse classique des travaux académiques

Coût d'installation d'un capteur dans la chaussée

- Capteur : 50€
- **travaux de voirie : 1k€**

Intégration dans l'espace urbain

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

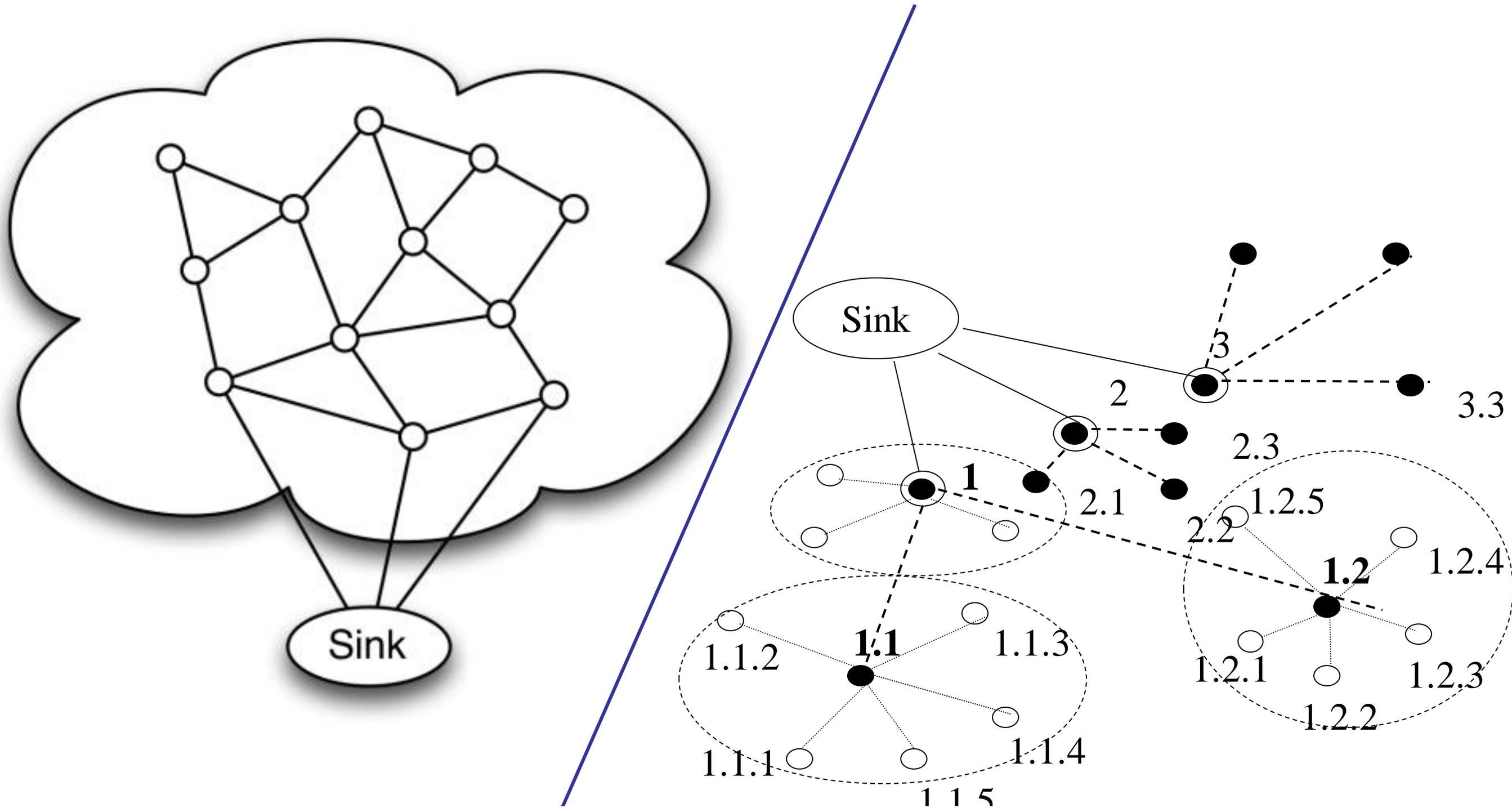
La mesure a une pertinence spatiale

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



**Déploiement contraint et optimisé**

# Topologie multi-saut, en étoile ou hybride



# Routage multisaout arborescent

Métrique de lien: 1, délai, énergie...

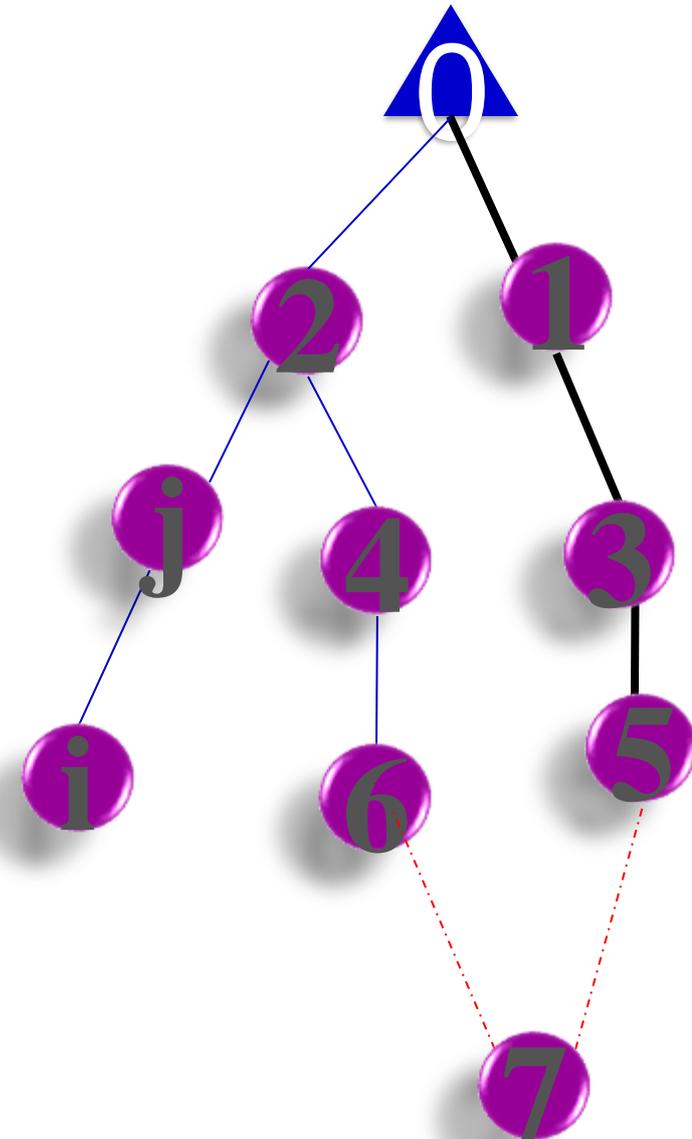
Puits => message ADV - cost = 0

Noeuds => vérifie si gain en coût (parcours en largeur)  
=> réenvoi ADV avec coût incrémenté

😊 Optimalité, simplicité

😞 Charge concentrée sur les premiers

Exemples: MCFA, RPL, etc.



# Elements de consommation énergétique

- Low-cost and small size of nodes
- Resource limitations : energy supply
- Required node autonomy

Energy saving in WSN : a crucial challenge

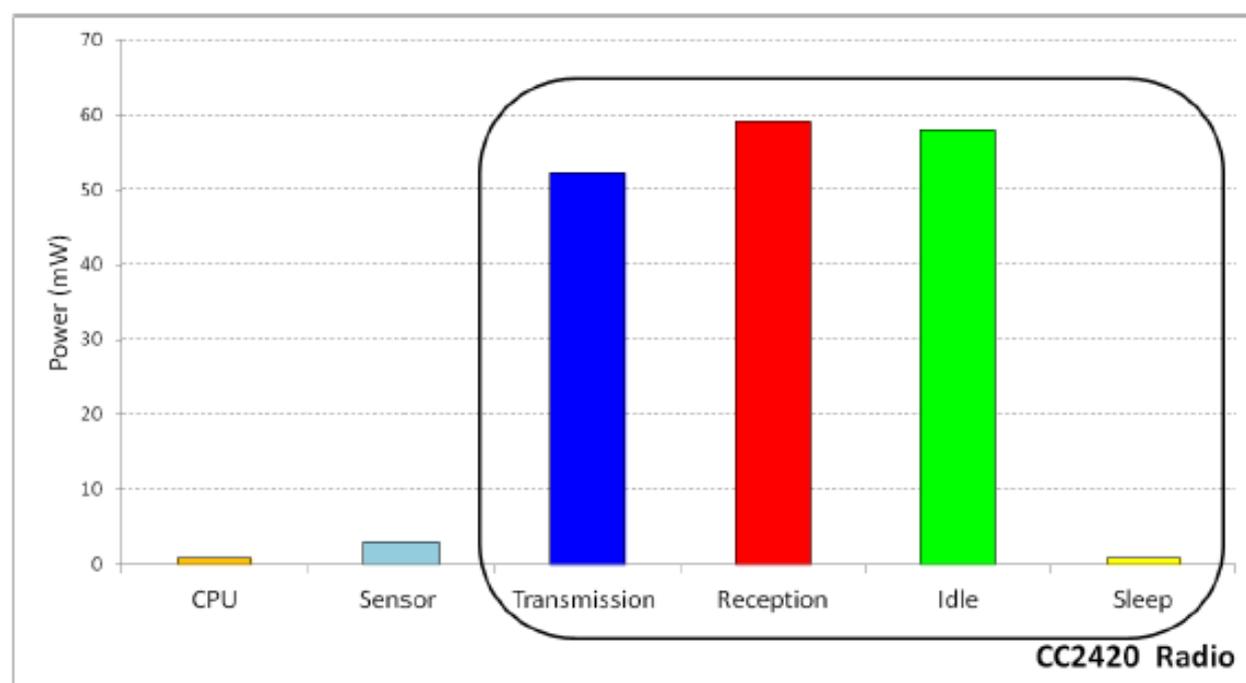
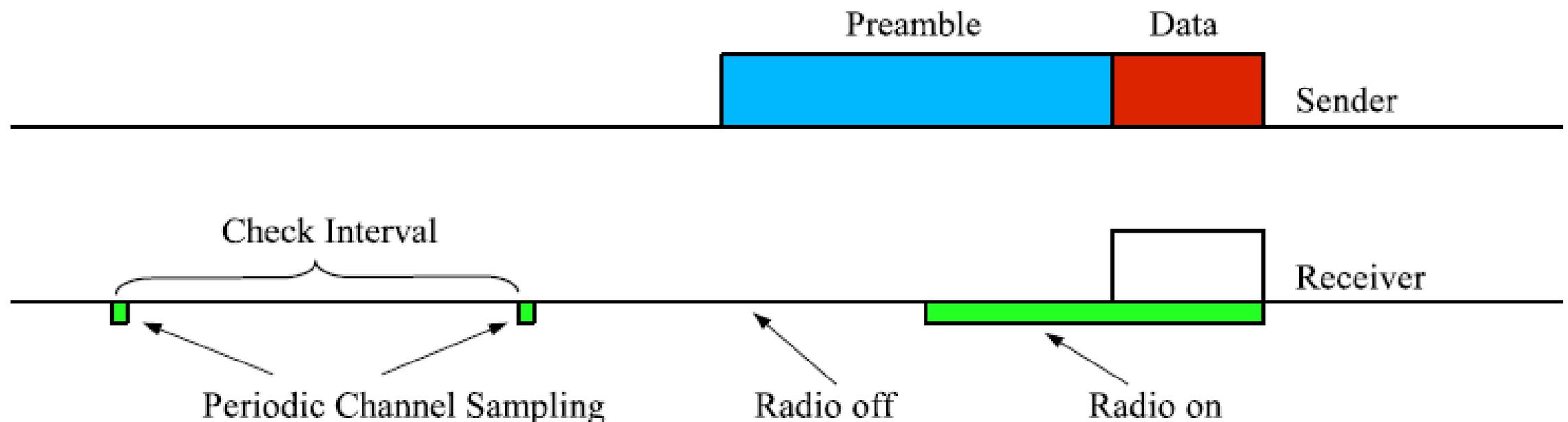


FIGURE: Power consumption of TelosB node subsystems (mW)

# Réveil et contention : couche MAC

## Eviter les collisions

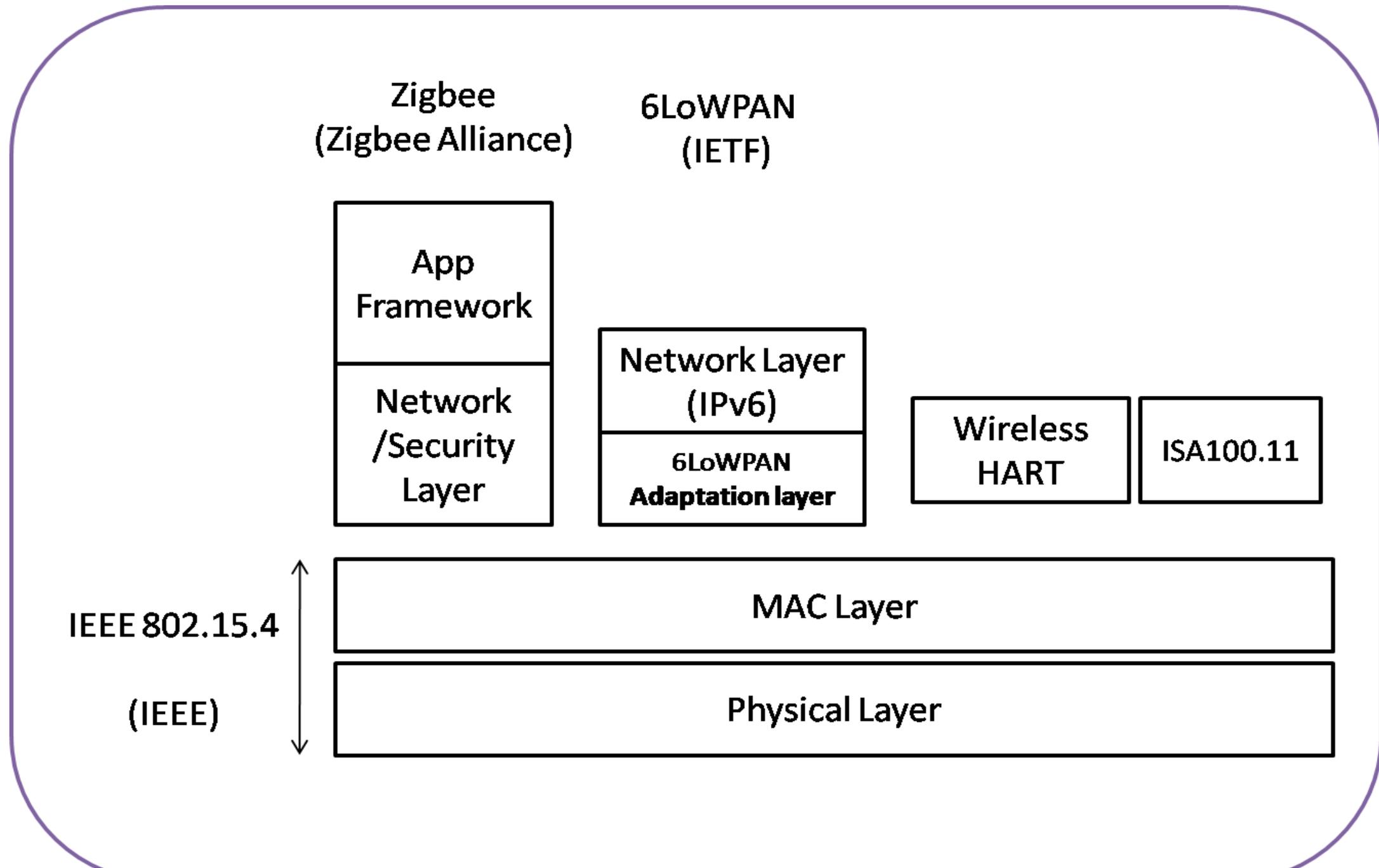
- B-MAC : LPL (Low Power Listening)
- Réveil rapide pour écouter le canal
- Préambule de synchronisation suffisamment long



⊗ Surcoût des préambules, duty cycle limité



# Couches supérieures à 802.15.4



# Réseaux cellulaires et maillés

Réseau à grande échelle, statiques

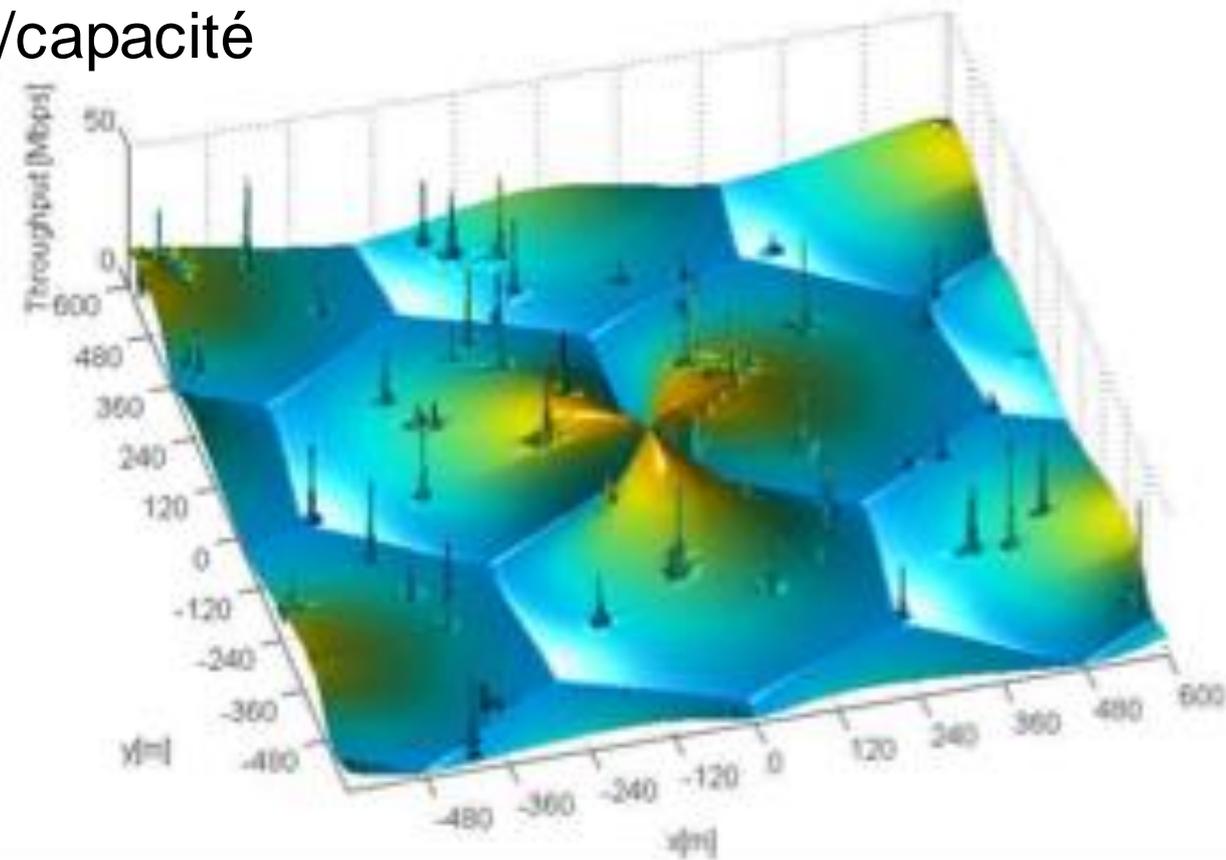
- Couverture, gestion de la mobilité
- Société dans un compromis énergie/exposition/capacité
- Capacité actuelle ~ 1M x celle de 1957

Toutes les métropoles sont couvertes

- Cellule ~ 500m de diamètre
- 4G ~ 100Mbps/km<sup>2</sup>

Limites de capacité proches

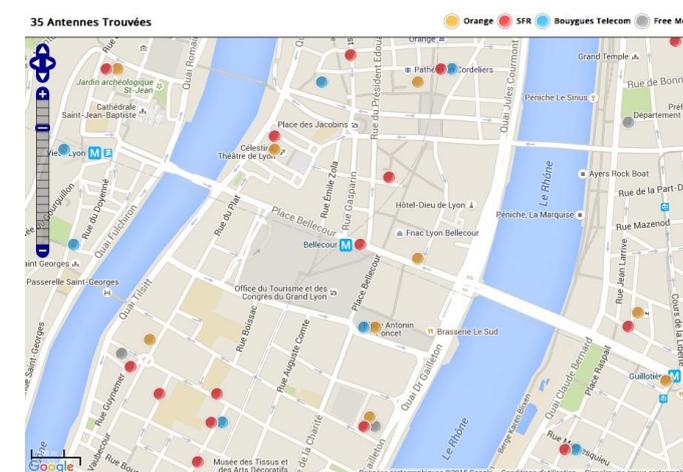
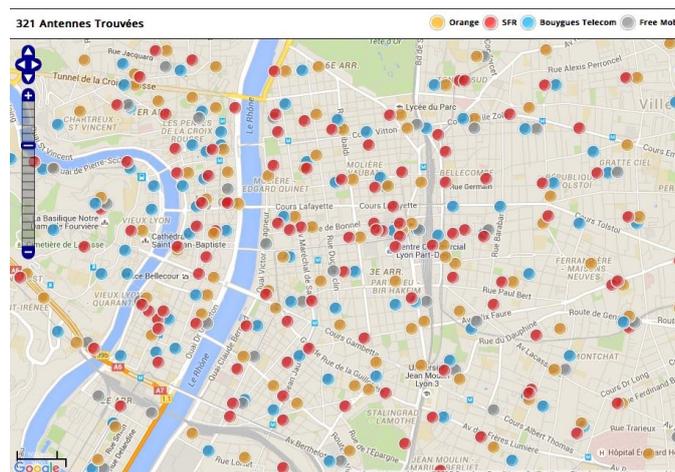
- Smart cities = milliers de noeuds / cellule
- Plus d'un terminal / personne (71M en France, mars 2015)
- Certains utilisateurs abandonnent l'ADSL



# Hétérogénéité de couverture

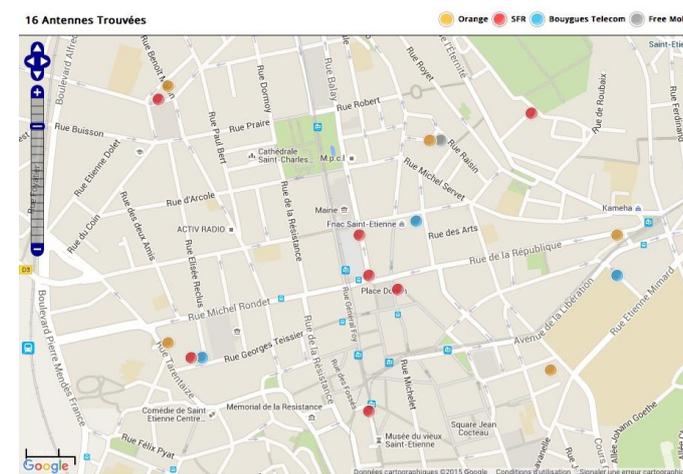
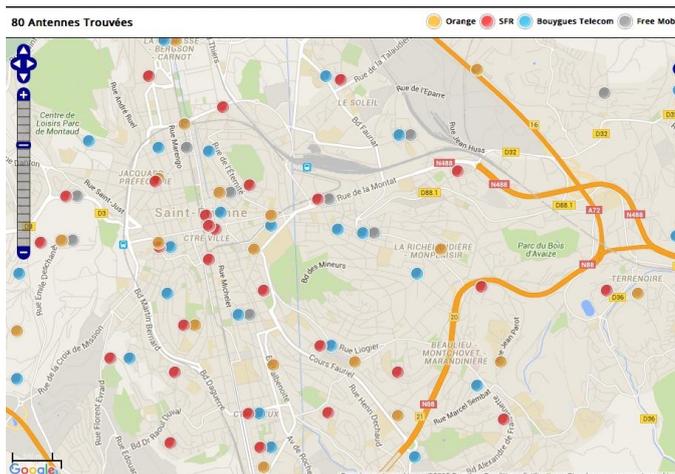
## Lyon

- 50 km<sup>2</sup> → 7 antennes/km<sup>2</sup>
- 2 km<sup>2</sup> → 18 antennes/km<sup>2</sup>
- 10 Khabs/km<sup>2</sup>



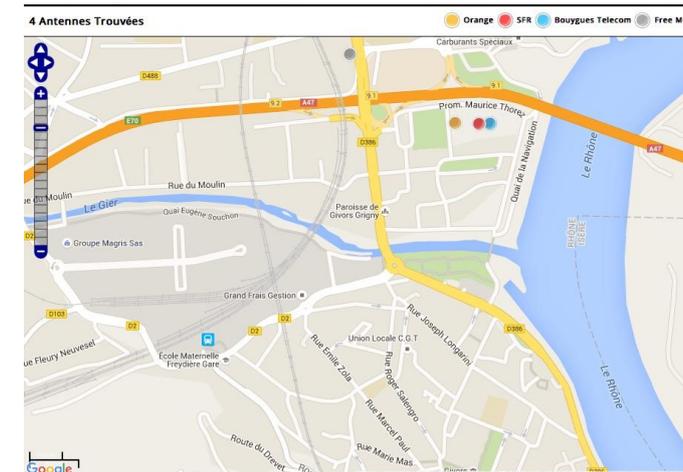
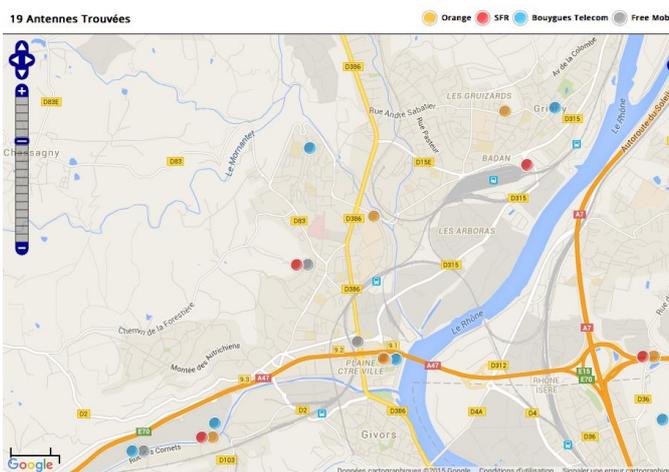
## Saint Etienne

- 50 km<sup>2</sup> → 1,8 antennes/km<sup>2</sup>
- 2 km<sup>2</sup> → 8 antennes/km<sup>2</sup>
- 2,2 Khabs/km<sup>2</sup>
- Couverture/habitant > Lyon



## Givors :

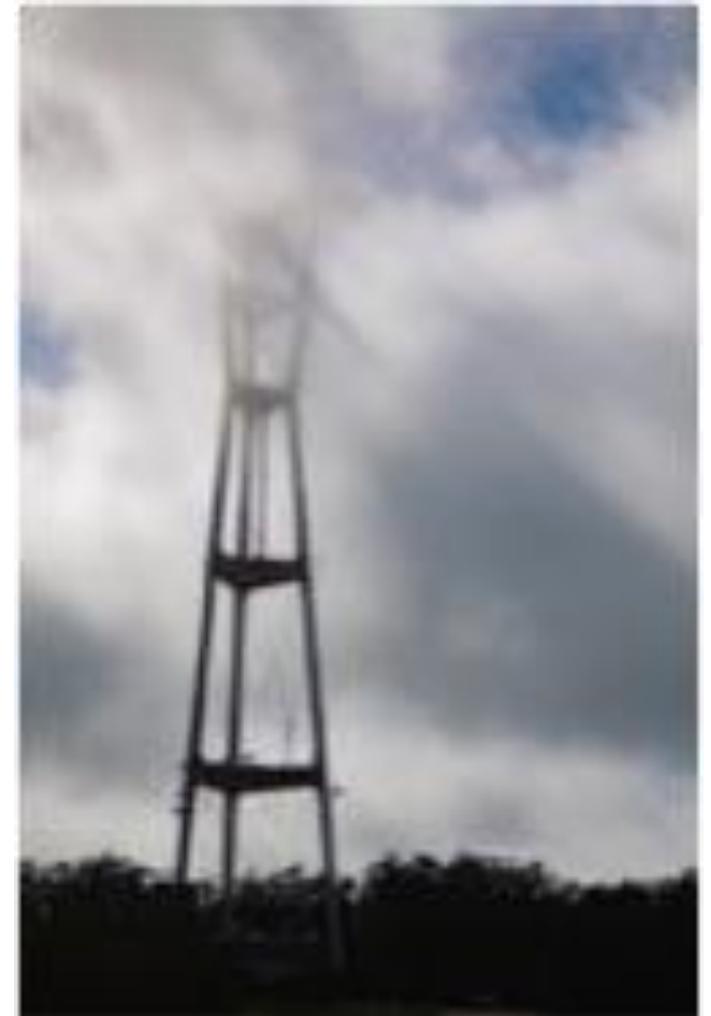
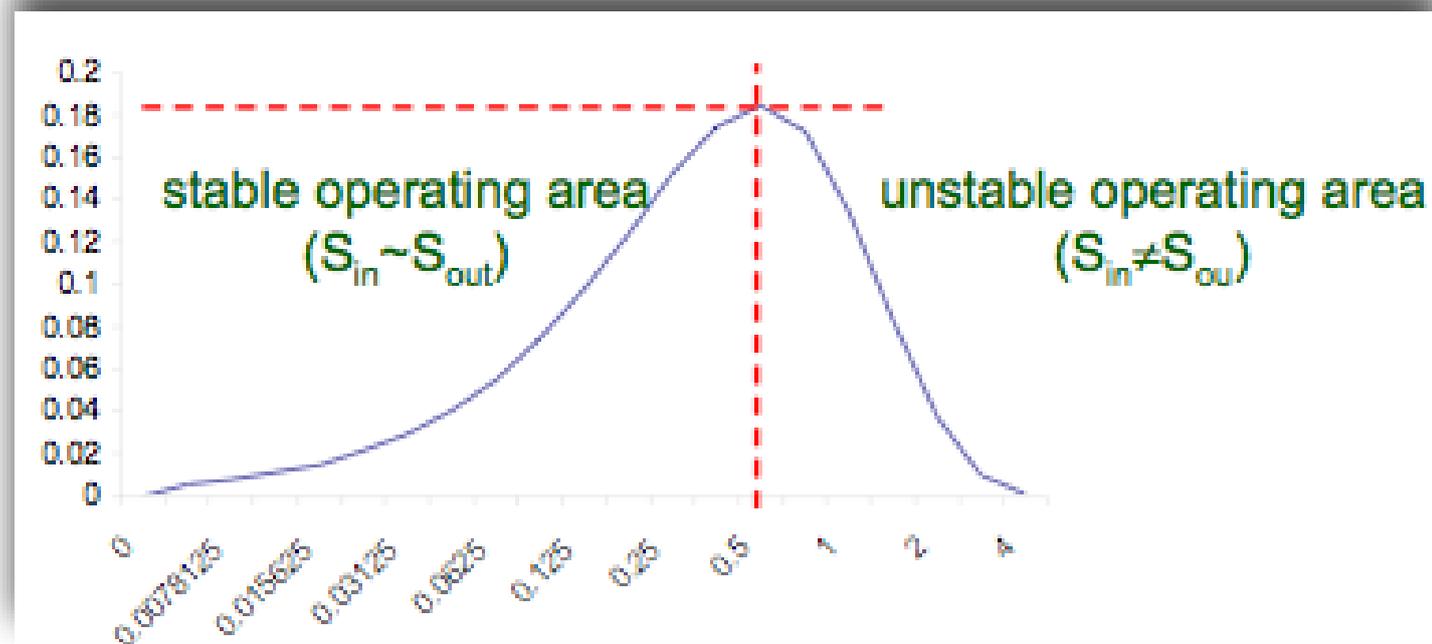
- St Etienne / 4, Lyon / 9
- Population : 1,1 Khabs/km<sup>2</sup>
- Couverture ~ Lyon



# Une infrastructure au bord de la saturation

## Saturation d'accès

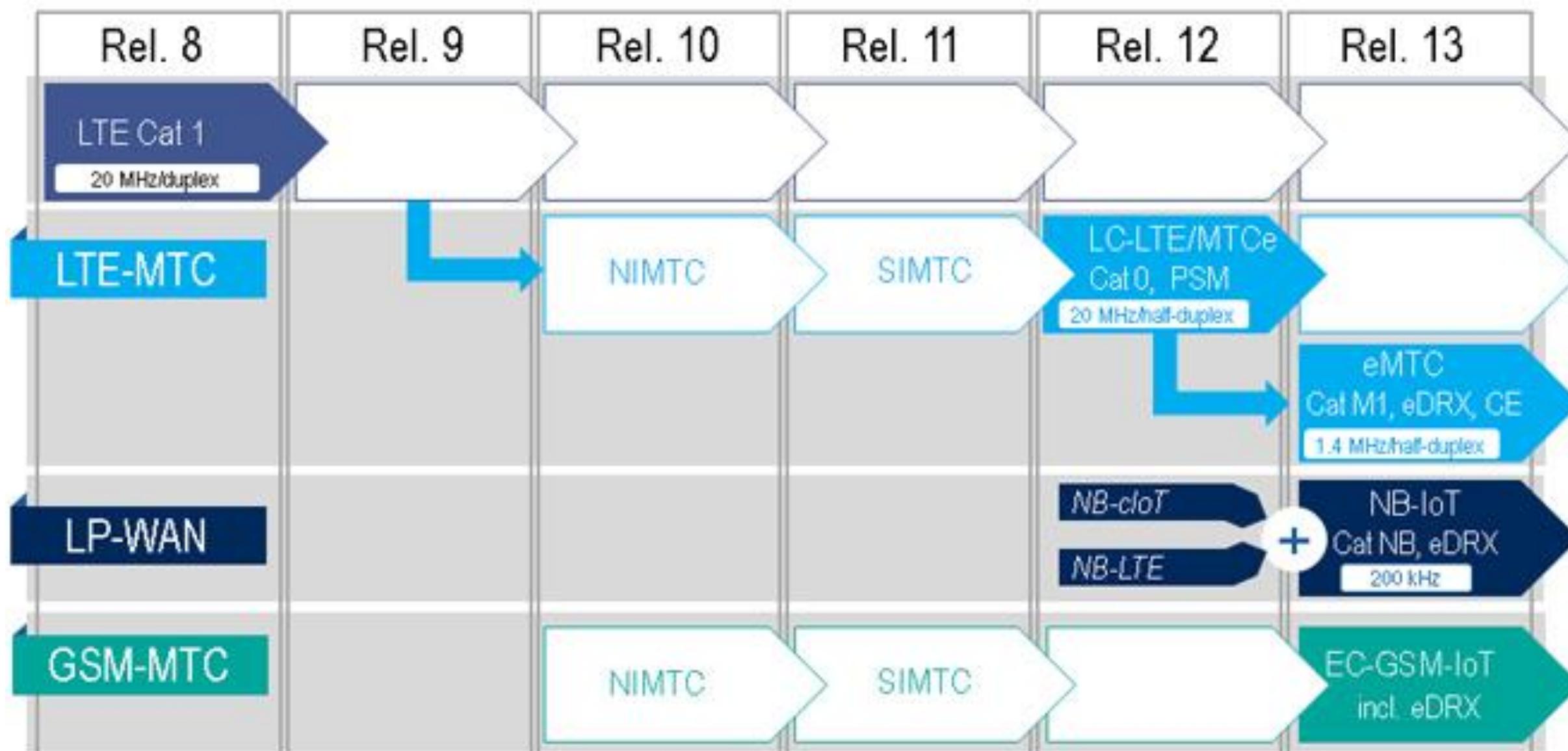
- Envoi d'un (petit) préambule
- Collision si transmission concurrente
- Dans ce cas, attente **aléatoire** et ré-envoi



## Peu performant mais incontournable

- Asymétrie : terminaux ne « s'entendent pas »
- Sur-concentration d'utilisateurs – personne n'a d'accès

# Le cellulaire pour l'IoT : 3GPP IoT



- **NB-IOT** : Intel, Nokia, Ericsson, Huawei, Gemalto, etc.

# Caractéristiques de NB-IoT

## L1/L2/L3

- Canaux physique “Narrow band” (180 kHz)
- Maximum transport block size : 680 bits downlink, 1000 bits uplink
- Maximum PDCP SDU : 1600 octets (similaire 802.11p)

## Fonctionnalités sécurité

- Authentification de l'UE dans le réseau de coeur
- Chiffrement et protection d'intégrité
- Mécanisme de gestion de clé supportant la mobilité

# Les challengers : Sigfox et LoRa

	SigFox	LoRa <sup>TM</sup>
		
(1) Band ISM	868/915 MHz Yes	868/915 MHz Yes
(2) PHY	UNB	CSS
(3) Spreading factor	NA	$2^7 - 2^{12}$
(4) Typical channel bandwidth	192 kHz	500 – 125 kHz
(5) Raw rate (kbps)	0.1	27 – 0.37
(6) Simultaneous active users in (4) for $OP = 10^{-1}$	100	6
(7) Raw spectral efficiency (b/s.Hz)	0.05	0.12
(8) Range (km)	63	22
(9) Downlink	Yes	Yes

## Protocoles basés sur Aloha + robustesse aux interférences

**Sigfox (2009):** fund-raising (GDF Suez, Air liquide, Telefónica, etc.)

- couverture (quasi) mondiale sans roaming
- écosystème fermé

**Lora Alliance: Semtech (2012),** Orange, Objenious by Bouygues Telecom, STMicroelectronics, cisco , IBM, etc.

- facilité de dev et déploiement
- écosystème ouvert mais 1 seul fabricant

**Other issues:** peu de downlink, mobilité, nb messages limités (140/4 Sigfox), taille des paquets, security.

# Quel futur nous attend ?

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 améliorer le compromis coût/précision ?**

- Exploiter corrélations et redondance,
- Re-calibration



# Quel futur nous attend ?

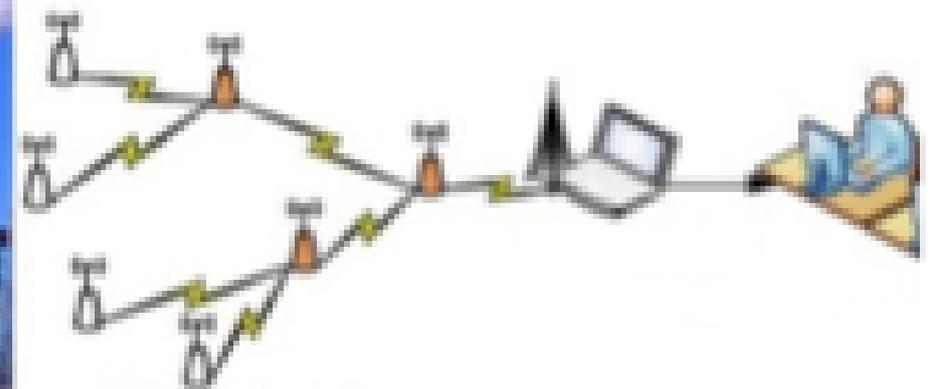
Remplacer la précision par le nombre

Un exemple : mesure de pollution

- Dizaine de capteurs AirRhôneAlpes sur la métropole
- Quelques mesures par heure
- Centaine de milliers d'euros / station

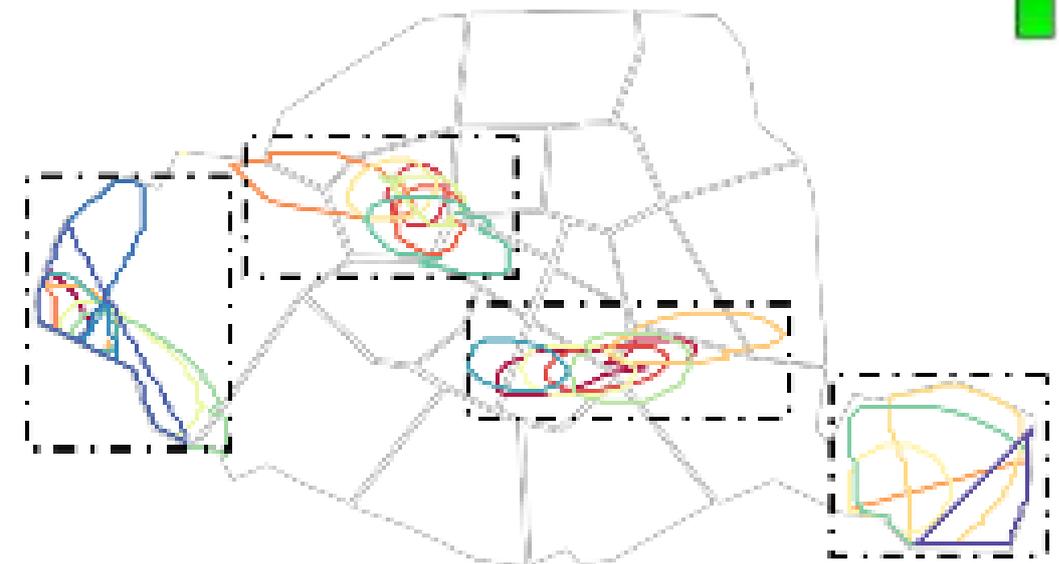
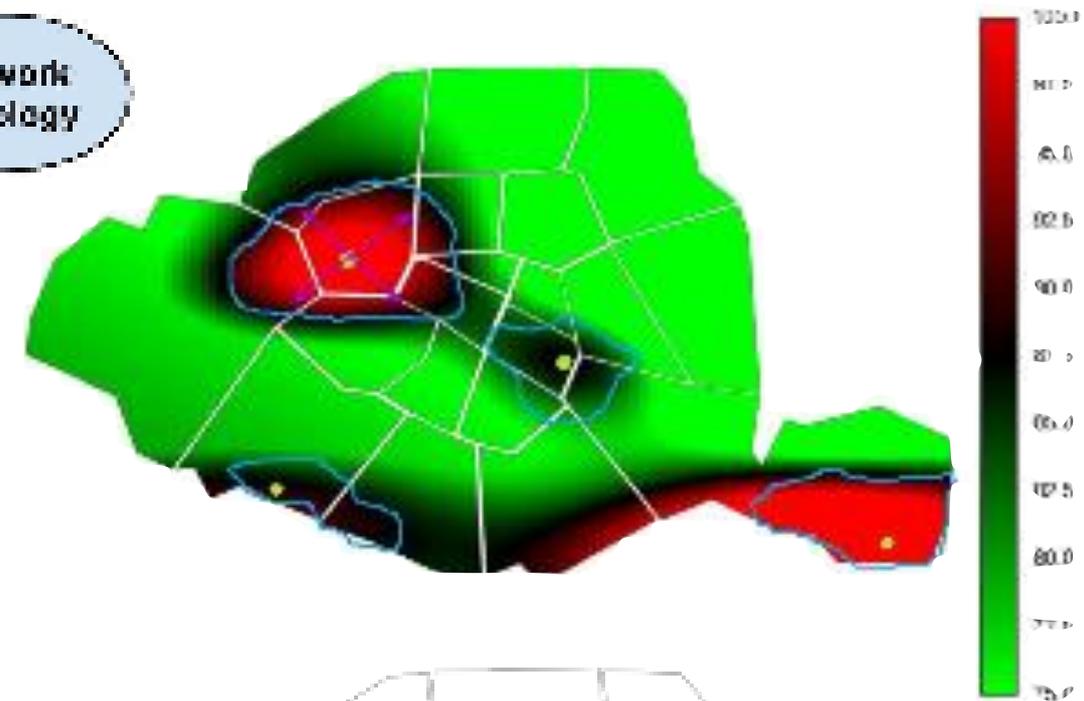
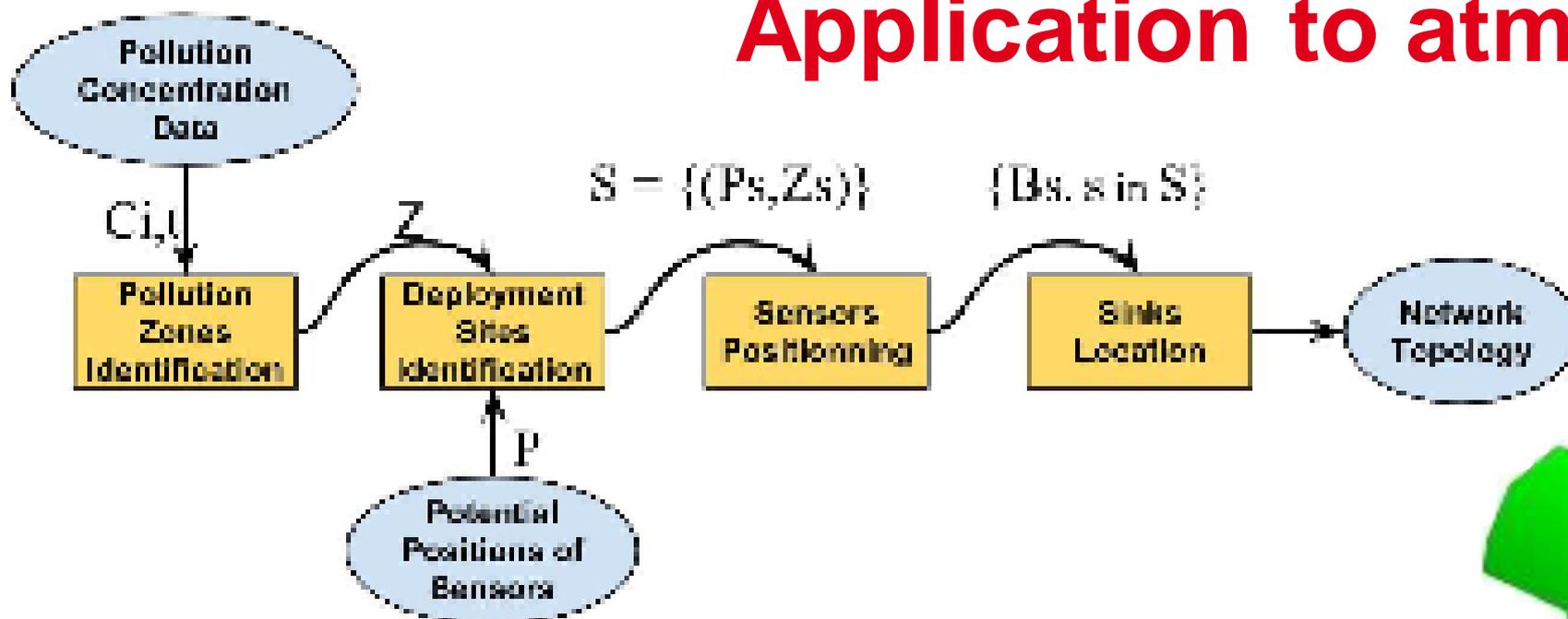
Capteurs bas coût ~ 1k€

- Possibilité d'en installer 100 fois plus
- qq mesures par minutes
- Nécessité d'une infrastructure de collecte



# Sensing with dense low cost sensors

## Application to atmospheric pollution



$$\text{Min} \sum_{p \in \mathcal{P}_s} \text{cost}_p * x_p$$

$$\text{S.T.} \sum_{p \in \mathcal{Z}} f_{zp} = 1, \quad z \in \mathcal{Z}_s / \mathcal{Z}_s^0$$

$$\sum_{p \in \mathcal{Z}_s^0} f_{pz} = |\mathcal{Z}_s| - 1$$

$$\sum f_{pq} - \sum f_{qp} = 0, \quad p \in \mathcal{P}_s$$

$$\sum f_{pq} \leq (|\mathcal{Z}_s| - 1) * x_p, \quad p \in \mathcal{P}_s$$

# Encore plus dense ?

## Surveillance d'infrastructure

- Planification de maintenance
- Ponts, tours, grands ouvrages ....

## Situation actuelle

- Capteurs imposants et (très) chers
- Mesures intrusives voire arrêt d'exploitation
- Campagnes faites par des experts

## La nano-électronique change tout

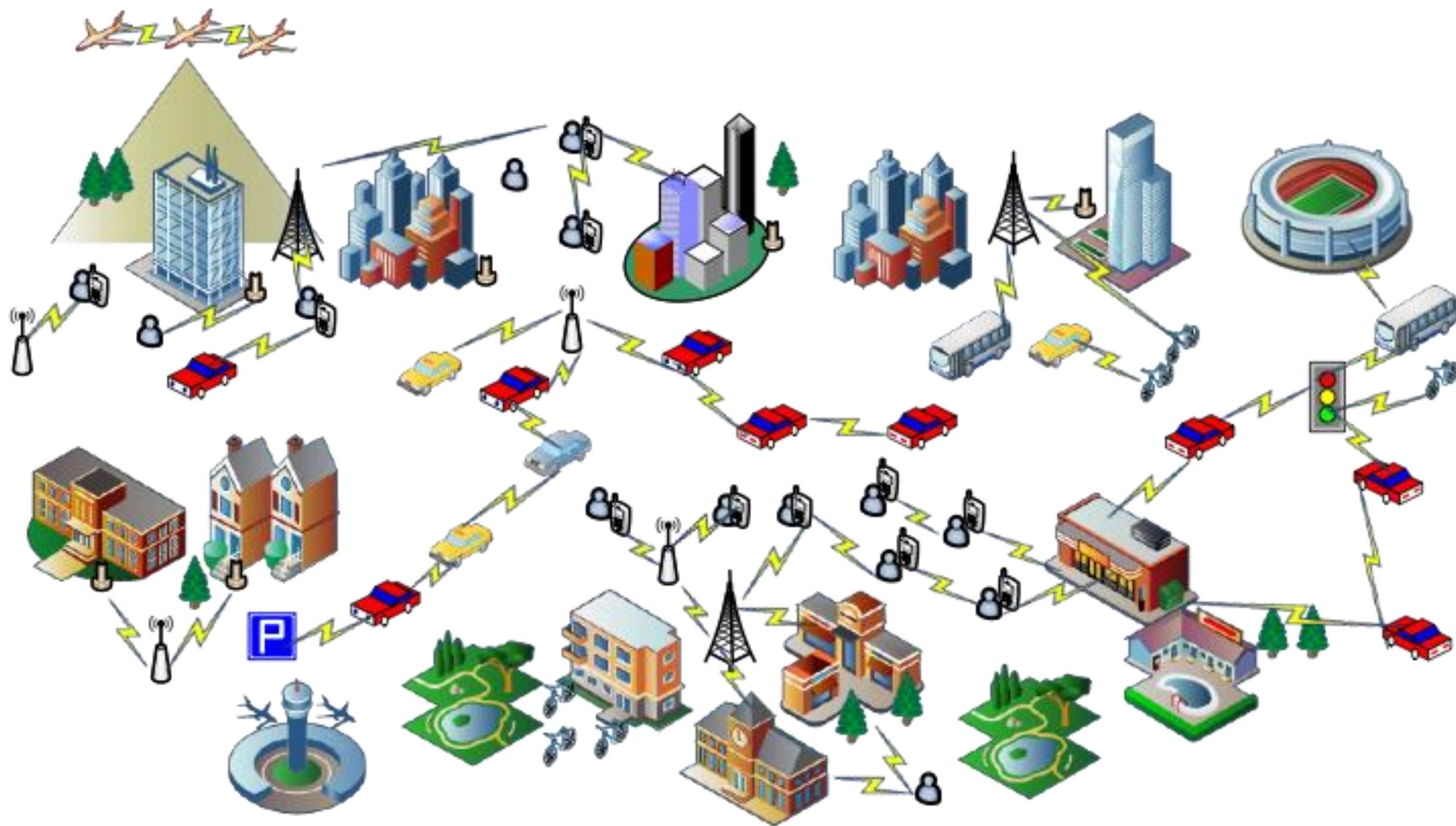
- Capteurs low cost, noyés dans le béton
- Alimenté et connecté comme RFID

## Des applications multiples

- Mesure de l'environnement (pollution, bruit, ...)
- Ville durable et sobre (gestion de l'éclairage public, réseau cellulaire...)



# Les réseaux urbains « capillaires »



# Les réseaux urbains capillaires

## Architecture capillaire

- Analogie avec système sanguin
- Irrigue l'ensemble du territoire urbain
- Mix de technos cellulaires et multi-saut

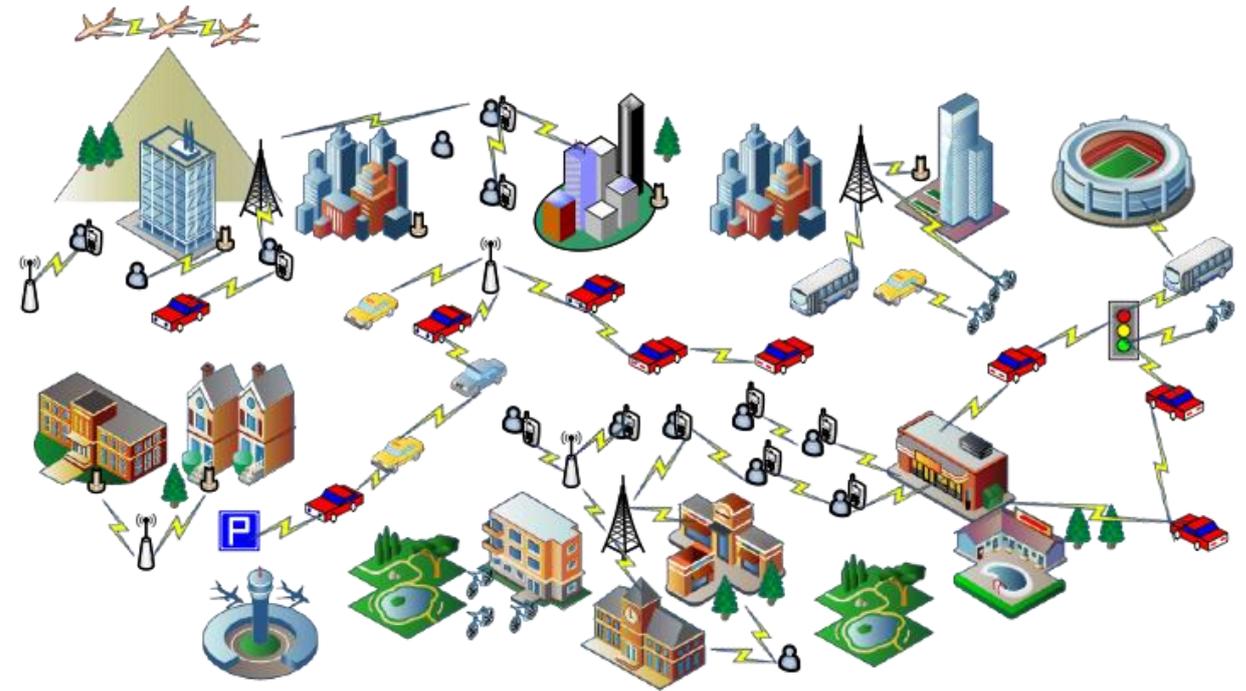
## Exploiter les opportunités réseaux

- Portée courte (x10m) ou longue (x1km)
- Complémentarité plutôt que concurrence
- => mais difficulté des politiques de sécurité

Prendre les données là où elles sont pertinentes

Les apporter là où elles sont nécessaires

- Multi-saut de/vers la meilleur connectivité cellulaire



# Les enjeux des réseaux de capteurs

## Autonomie énergétique

- Déploiement plus libre
- Faible puissance de transmission

## Architectures de collecte hybrides

- Multi-sauts théoriquement meilleur
- Complexes en pratique

## Auto-configuration – auto-organisation

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



# Les enjeux des réseaux de capteurs

Emergence d'opérateurs urbains

- 1 mesure – 1 réseau insoutenable
- Gouvernance de la donnée

Problématique autant pratique que juridique

- « Service Level Agreement »
- Propriété et sécurité des données
- Enjeu de qualité de service
- Réseau multi-applications

Exploitation de l'infrastructure urbaine



# Agora

et donc, voilà

[team.inria.fr/agora/](http://team.inria.fr/agora/)

*Inria*

INVENTEURS DU MONDE NUMÉRIQUE

**INSA** | INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
LYON

*citi* Center of Innovation in  
Telecommunications and  
Integration of Service  
lab