

Journées non thématiques RESCOM: Déploiement de réseaux de capteurs sans fil pour le suivi de la pollution de l'air

Ahmed BOUBRIMA*, Walid BECHKIT*, Hervé RIVANO*
INRIA Urbanet, CITI-Lab, Lyon

14 janvier 2016

- I Contexte, motivations et objectifs
- II Modèles proposés
- III Evaluation
- IV Conclusion

Introduction



- Industrialisation croissante
 - Urbanisation croissante
- ⇒ 7 millions de morts en 2012



- Capteur de pollution -

- Occupe peu d'espace et pas cher
 - Petite fréquence d'échantillonnage (30sec-120sec)
- ⇒ Bonne granularité spatiale et temporelle

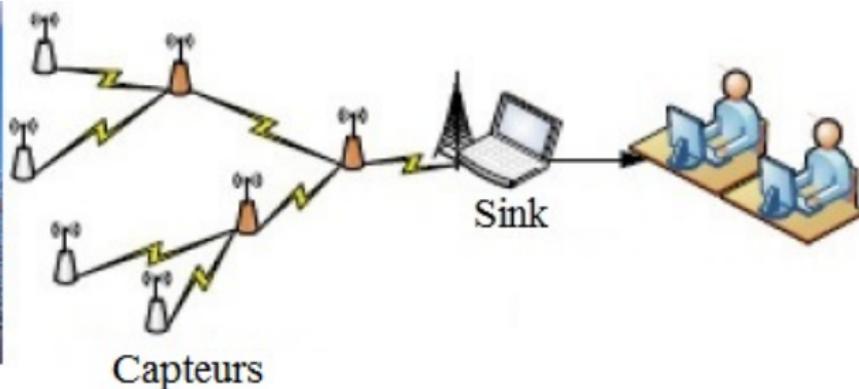


- Station de surveillance traditionnelle -

- Chère et occupe trop d'espace
 - Grande fréquence d'échantillonnage (30min-60min)
- ⇒ Mauvaise granularité spatiale et temporelle



Phénomène
à surveiller



Proposer des approches efficaces qui permettent de trouver un **déploiement optimal à coût minimum** de réseaux de capteurs sans fil tout en assurant :

- La **couverture** de la pollution
- La **connectivité** du réseau



Modèles proposés¹

1. Ahmed Boubrima, Frédéric Matigot, Walid Bechkit, Hervé Rivano and Anne Ruas. Optimal deployment of wireless sensor networks for air pollution monitoring. in IEEE ICCCN, 2015.



- 1 Formulation du problème
- 2 Dispersion atmosphérique
- 3 Approche
- 4 Evaluation



- 1 Formulation du problème
- 2 Dispersion atmosphérique
- 3 Approche
- 4 Evaluation



Etant donné :

- 1 Un ensemble \mathcal{P} de \mathcal{N} positions potentielles où les noeuds peuvent être déployés
- 2 Un ensemble \mathcal{I} de \mathcal{M} sources de pollution qui doivent être surveillées

Trouver les positions optimales des capteurs et puits de sorte que :

- 1 Le coût de déploiement soit minimisé
- 2 Chaque source de pollution dans \mathcal{I} soit couverte
- 3 Les noeuds déployés forment un réseau connecté



Etant donné :

- 1 Un ensemble \mathcal{P} de \mathcal{N} positions potentielles où les noeuds peuvent être déployés
- 2 Un ensemble \mathcal{I} de \mathcal{M} sources de pollution qui doivent être surveillées

Trouver les positions optimales des capteurs et puits de sorte que :

- 1 Le coût de déploiement soit minimisé
- 2 Chaque source de pollution dans \mathcal{I} soit couverte
- 3 Les noeuds déployés forment un réseau connecté



Plan



- 1 Formulation du problème
- 2 Dispersion atmosphérique
- 3 Approche
- 4 Evaluation

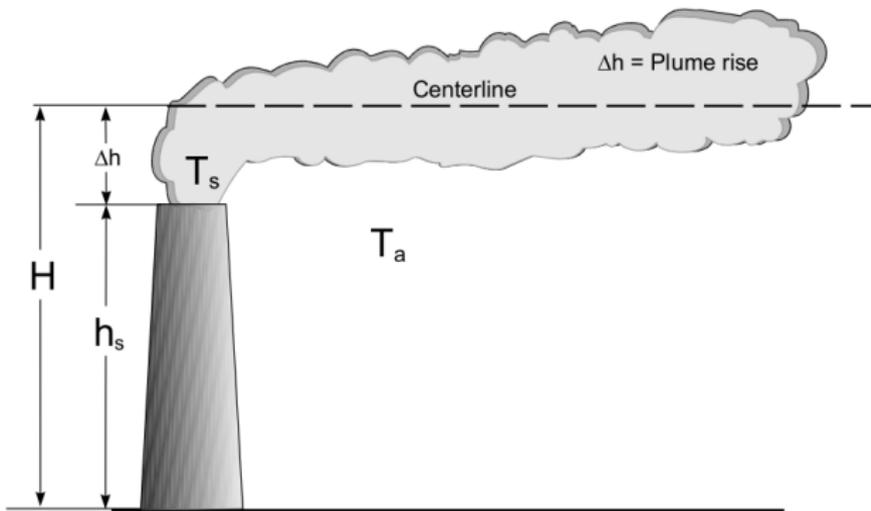


Dispersion atmosphérique

Modèle de dispersion gaussien

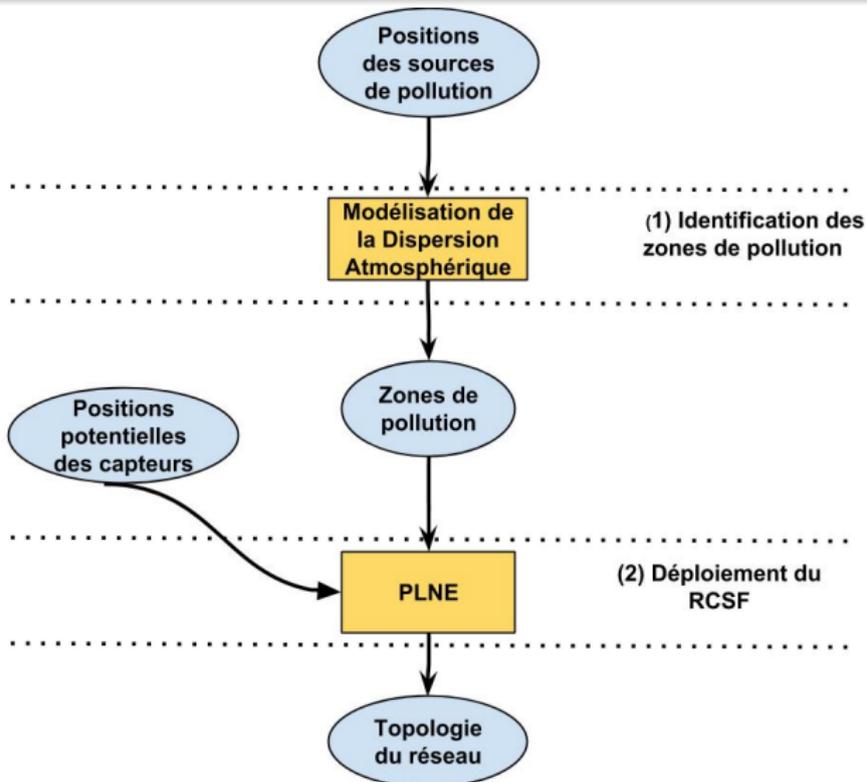


$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left(e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right)$$





- 1 Formulation du problème
- 2 Dispersion atmosphérique
- 3 **Approche**
 - Workflow
 - Identification des zones de pollution
 - Déploiement de RCSF
- 4 Evaluation



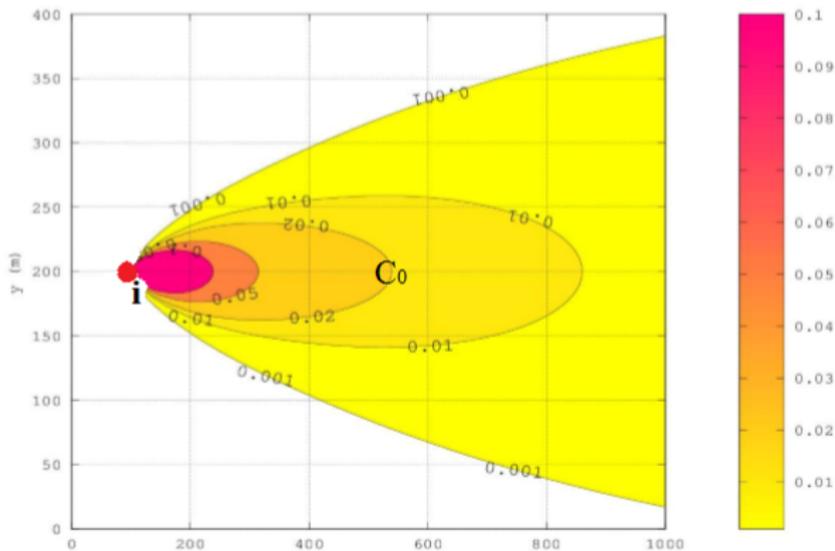


Approche

Etape 1 : Identification des zones de pollution



$$\forall p = (x, y, z) \in \mathcal{P} : B_{ip} = (C(x, y, z) \geq C_0)$$





Soit :

- 1 x_p une variable binaire qui définit si un capteur est déployé en $p \in \mathcal{P}$ ou non, et c_p^{sensor} le coût de déploiement correspondant.
- 2 y_p une variable binaire qui définit si un puits est déployé en $p \in \mathcal{P}$ ou non, et c_p^{sink} le coût de déploiement correspondant.

La fonction objectif est :

$$\text{Minimize } \sum_{p \in \mathcal{P}} c_p^{sensor} * x_p + \sum_{p \in \mathcal{P}} c_p^{sink} * y_p$$

Où :

$$x_p + y_p \leq 1, \quad p \in \mathcal{P}$$



Soit :

- 1 x_p une variable binaire qui définit si un capteur est déployé en $p \in \mathcal{P}$ ou non, et c_p^{sensor} le coût de déploiement correspondant.
- 2 y_p une variable binaire qui définit si un puits est déployé en $p \in \mathcal{P}$ ou non, et c_p^{sink} le coût de déploiement correspondant.

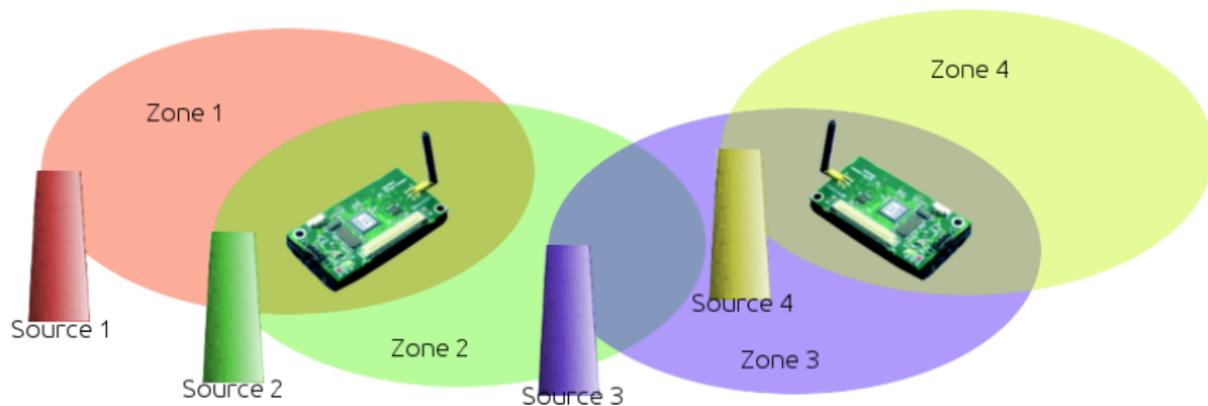
La fonction objectif est :

$$\text{Minimize } \sum_{p \in \mathcal{P}} c_p^{sensor} * x_p + \sum_{p \in \mathcal{P}} c_p^{sink} * y_p$$

Où :

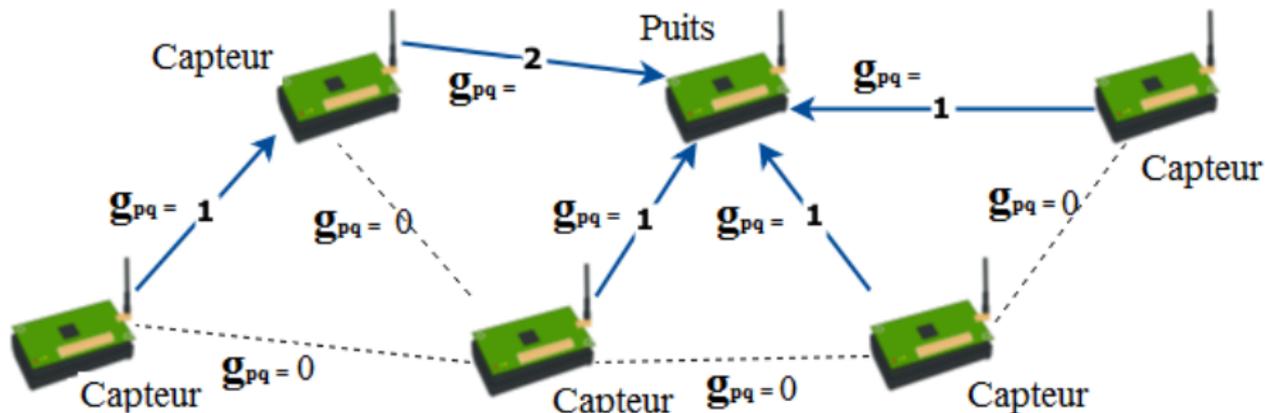
$$x_p + y_p \leq 1, \quad p \in \mathcal{P}$$

Modèle basique - formulation de la couverture



$$\sum_{p \in \mathcal{P}} \mathcal{B}_{ip} * (x_p + y_p) \geq K; \quad K = 1, \quad i \in \mathcal{I}$$

Modèle basique - formulation de la connectivité





Modèle basique - formulation de la connectivité

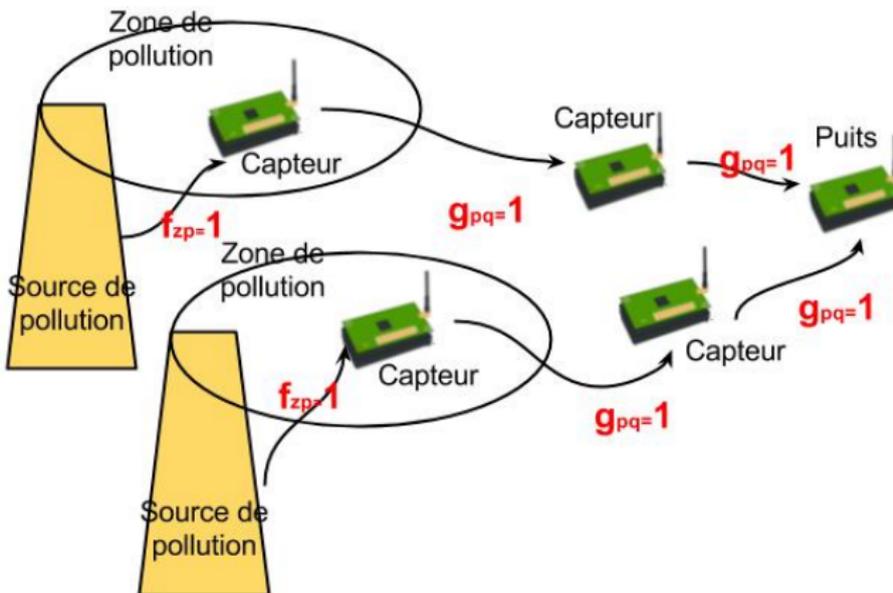
$$\sum_{q \in \Gamma(p)} g_{pq} - \sum_{q \in \Gamma(p)} g_{qp} \geq x_p - N * y_p, \quad p \in \mathcal{P} \quad (1)$$

$$\sum_{q \in \Gamma(p)} g_{pq} - \sum_{q \in \Gamma(p)} g_{qp} \leq x_p, \quad p \in \mathcal{P} \quad (2)$$

$$\sum_{q \in \Gamma(p)} g_{pq} \leq N * x_p, \quad p \in \mathcal{P} \quad (3)$$

$$\sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \Gamma(p)} g_{pq} = \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \Gamma(p)} g_{qp} \quad (4)$$

Modèle amélioré - formulation conjointe





Modèle amélioré - formulation conjointe

$$\sum_{p \in \mathcal{Z}_i} f_{ip} = K, \quad i \in \mathcal{I} \quad (5)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I} : p \in \mathcal{Z}_i} f_{ip} + \sum_{q \in \Gamma(p)} (g_{qp} - g_{pq}) \leq K * \mathcal{M} * y_p, \quad p \in \mathcal{P} \quad (6)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I} : p \in \mathcal{Z}_i} f_{ip} + \sum_{q \in \Gamma(p)} (g_{qp} - g_{pq}) \geq 0, \quad p \in \mathcal{P} \quad (7)$$

$$\sum_{p \in \mathcal{P}} \left(\sum_{i \in \mathcal{I} : p \in \mathcal{Z}_i} f_{ip} + \sum_{q \in \Gamma(p)} g_{qp} \right) = \sum_{p \in \mathcal{P}, q \in \Gamma(p)} g_{pq} + K * \mathcal{M} \quad (8)$$



- 1 Formulation du problème
- 2 Dispersion atmosphérique
- 3 Approche
- 4 Evaluation
 - Preuve de concept
 - Temps d'exécution
 - Évaluation de l'impact des paramètres de déploiement

Application sur la ville de Nottingham

- 1 7 sources de pollution (bleu) in 1km^2
- 2 Les noeuds sont placés sur des lampadaires (rouge)
- 3 Déploiement de trois capteurs (vert) et un puits (jaune)





Evaluation

Temps d'exécution



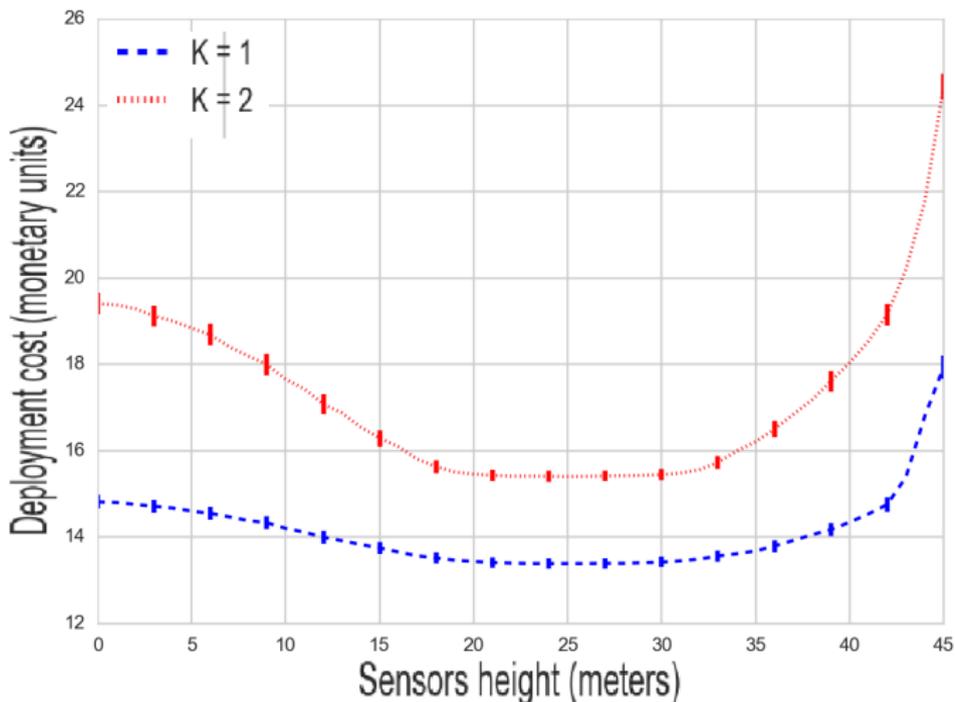
Hauteur capteurs(m)	Formulation disjointe		Formulation conjointe	
	K = 1	K = 2	K = 1	K = 2
10	128.798013	158.470817	2.094243	2.218378
15	123.622492	158.109400	2.084798	2.280900
20	125.220984	186.392799	2.097111	2.346862
25	120.252016	222.966718	2.105083	2.280286
30	133.821470	280.666131	2.102622	2.200396
35	128.629180	287.696362	2.123649	2.210283
40	120.523160	270.322285	2.138433	2.202760

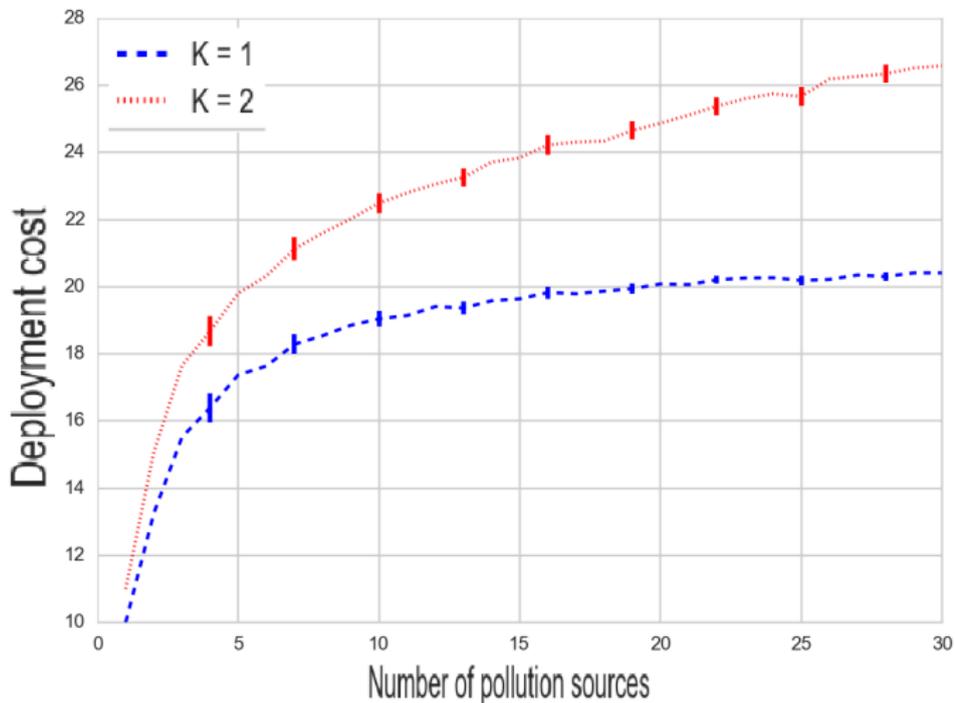
Table: TEMPS CPU (en secondes) de nos deux modèles d'optimisation



Evaluation

Impact de la hauteur des capteurs

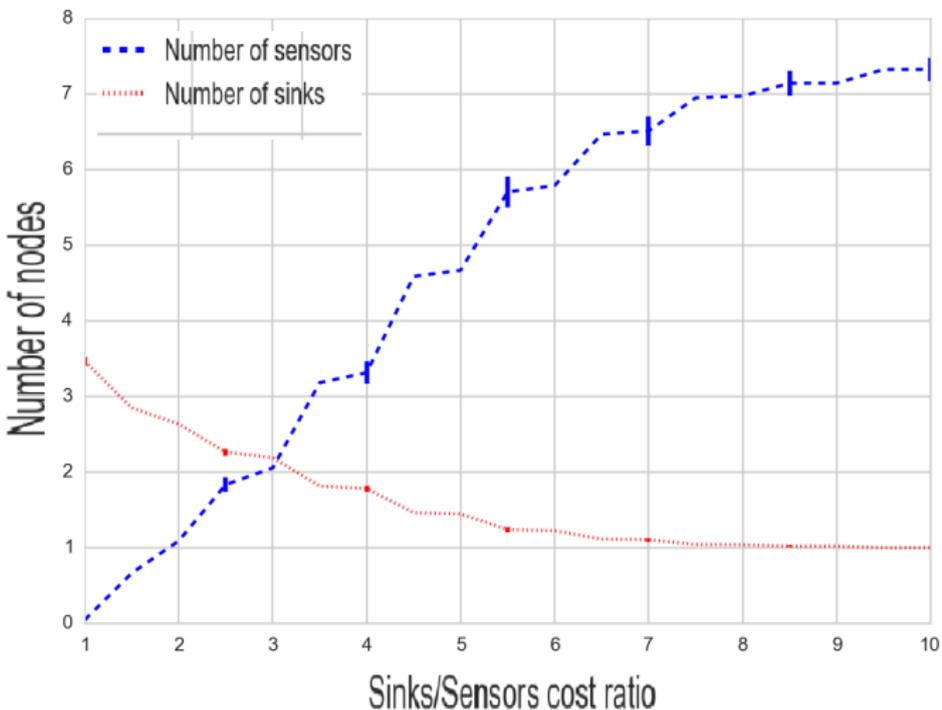






Evaluation

Impact du coût des puits



Conclusion & Perspectives

- Manque de la prise en compte du phénomène dans les modèles de l'état de l'art
- Nouveaux modèles de déploiement basés sur la modélisation du phénomène de la pollution
- Formulation nouvelle et conjointe de la couverture et la connectivité

- Etudier l'impact de la topographie urbaine sur les résultats de déploiement
- Evaluer les approches proposées sur d'autres jeux de données
- Proposition de méthodes approchées

-  I Kuban Altinel, Necati Aras, E Guney, and Cem Ersoy.
Effective coverage in sensor networks : binary integer programming formulations and heuristics.
In ICC'06. IEEE International Conference on, volume 9, pages 4014–4019. IEEE, 2006.

-  Krishnendu Chakrabarty, S Sitharama Iyengar, Hairong Qi, and Eungchun Cho.
Grid coverage for surveillance and target location in distributed sensor networks.
Computers, IEEE Transactions on, 51(12) :1448–1453, 2002.

-  Mihaela Cardei, Mohammad O Pervaiz, and Ionut Cardei.
Energy-efficient range assignment in heterogeneous wireless sensor networks.
In *ICWMC'06. International Conference on*, pages 11–11. IEEE, 2006.

-  Mihaela Cardei, My T Thai, Yingshu Li, and Weili Wu.
Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks.
In *INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE*, volume 3, pages 1976–1984. IEEE, 2005.

-  **Seapahn Meguerdichian and Miodrag Potkonjak.**
Low power 0/1 coverage and scheduling techniques in sensor networks.
Technical report, Citeseer, 2003.

-  **Maulin Patel, R Chandrasekaran, and S Venkatesan.**
Energy efficient sensor, relay and base station placements for coverage, connectivity and routing.
In *IPCCC 2005. 24th IEEE International*, pages 581–586.
IEEE, 2005.

Merci pour votre attention

Questions ?

Ahmed BOUBRIMA
ahmed.boubrima@insa-lyon.fr