

Analyse d'algorithmes distribués pour l'approximation stochastique dans les réseaux de capteurs

Gemma MORRAL ADELL

Directeur de thèse: Pascal BIANCHI

Département: Traitement du Signal et des Images

Télécom ParisTech

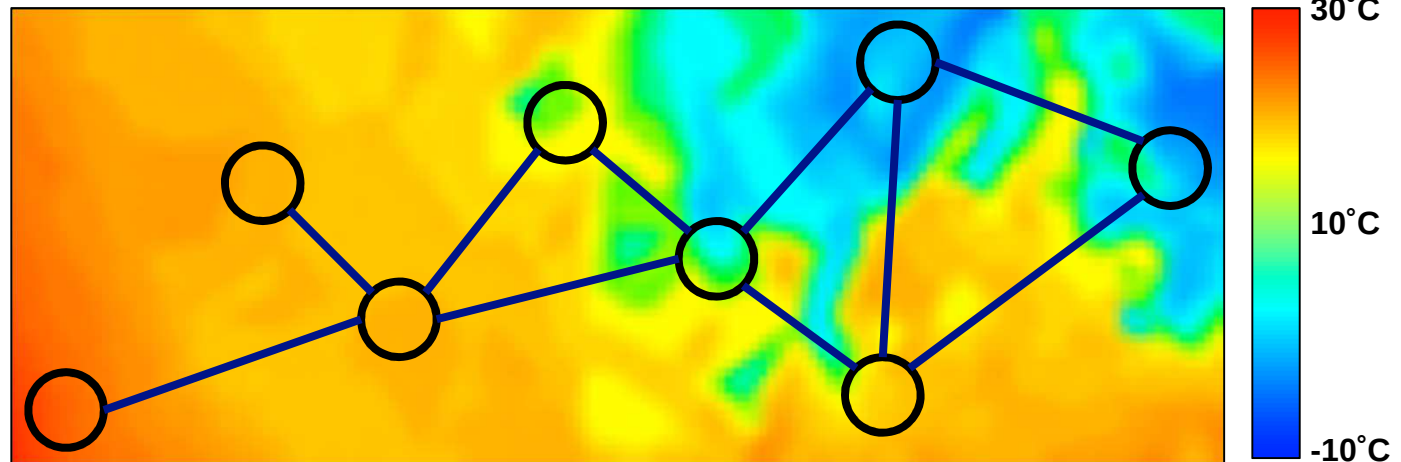
MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



Contexte de la thèse

Considérons un réseau composé par N capteurs

Exemple:
estimer la température
moyenne



- Les capteurs obtiennent des observations/mesures locales de leur environnement.
- Les capteurs peuvent communiquer/transmettre/échanger leurs estimées locales.

Unité centrale NON disponible



Algorithmes distribués

Problématiques abordées

■ Objectif du réseau : **estimation statistique décentralisée**

- Chaque capteur doit estimer un paramètre qui dépend de l'environnement
- L'environnement est **bruité, imparfait, partiellement** connu par les capteurs

■ Problématique qui peut être formalisée mathématiquement

① Optimisation distribuée



**Surveillance et télédétection
de l'environnement**

② Analyse en composantes principales

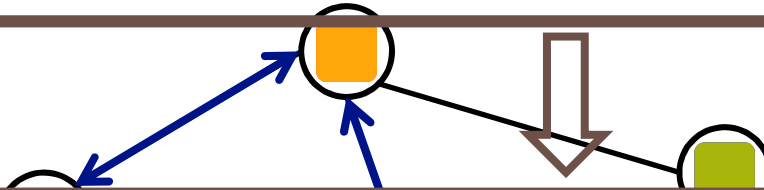


**Localisation et estimation
des positions**

Méthodologie proposée

Conception d'algorithmes itératifs qui vérifient :

- Acquisition **distribuée** des observations **en ligne** par chaque capteur
= Observations locales + Communications entre capteurs
= Maintien des données au fur et à mesure de leur acquisition
- Modèles de communication **asynchrones** simples telle que:
 - i. Observations locales + Communications locales entre capteurs
 - ii. Transmet à un/plusieurs capteurs voisins
- Modèles de communication **asynchrones** simples telle que:
 - i. Un capteur activé de façon aléatoire
 - ii. Transmet à un/plusieurs capteurs voisins



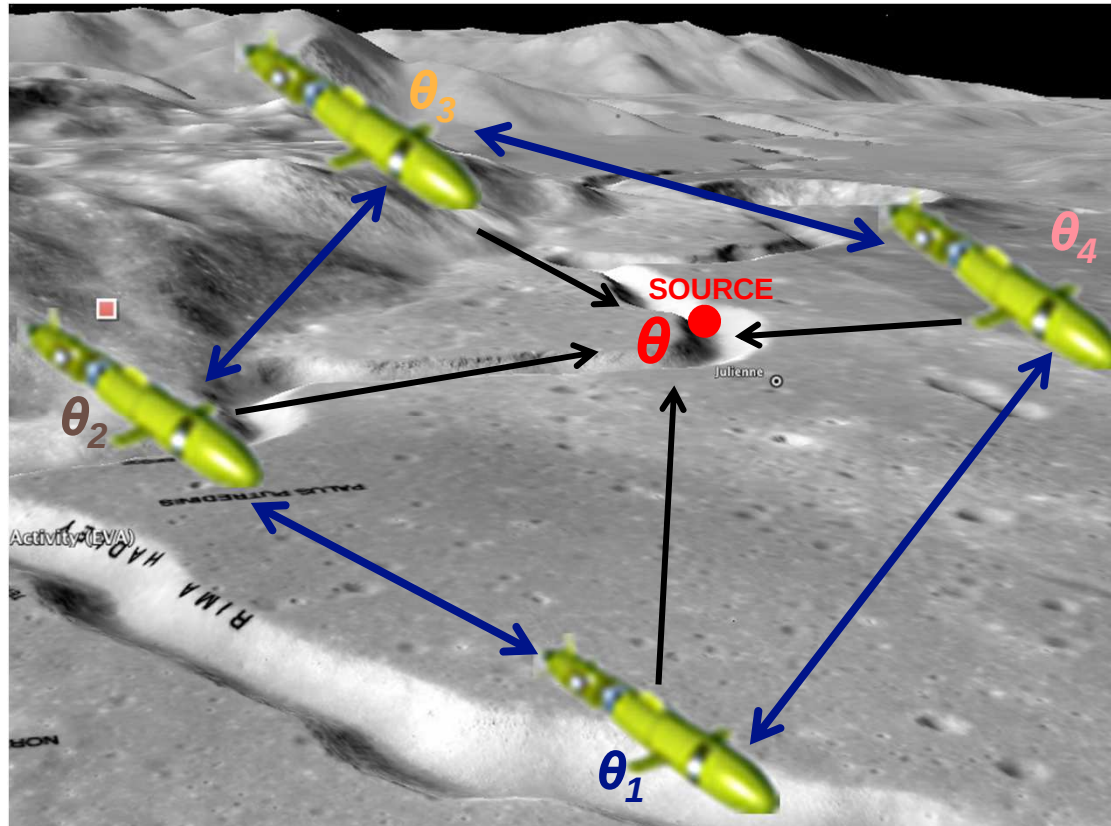
Etude et analyse statistique de l'algorithme pour démontrer :
Obtention du résultat optimal* ?

Le nombre des communications requis est faible* ?

(*par rapport à celui obtenu par une approche centralisée)

Application 1 : optimisation distribuée

- Objectif : trouver paramètre θ inconnu (température, source, champ, ...)



Conception d'un protocole de communication

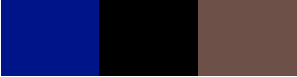


Le réseau obtient
consensus $\theta_i \rightarrow \theta$

La performance dépend du
protocole de communication

Etude performance : compromis (précision résultat) vs (complexité protocole)

- Protocoles *plus restrictifs* obtiennent la précision optimale (cas centralisé)
- Protocoles *moins coûteux* ont une dégradation de la performance



Contributions : optimisation distribuée

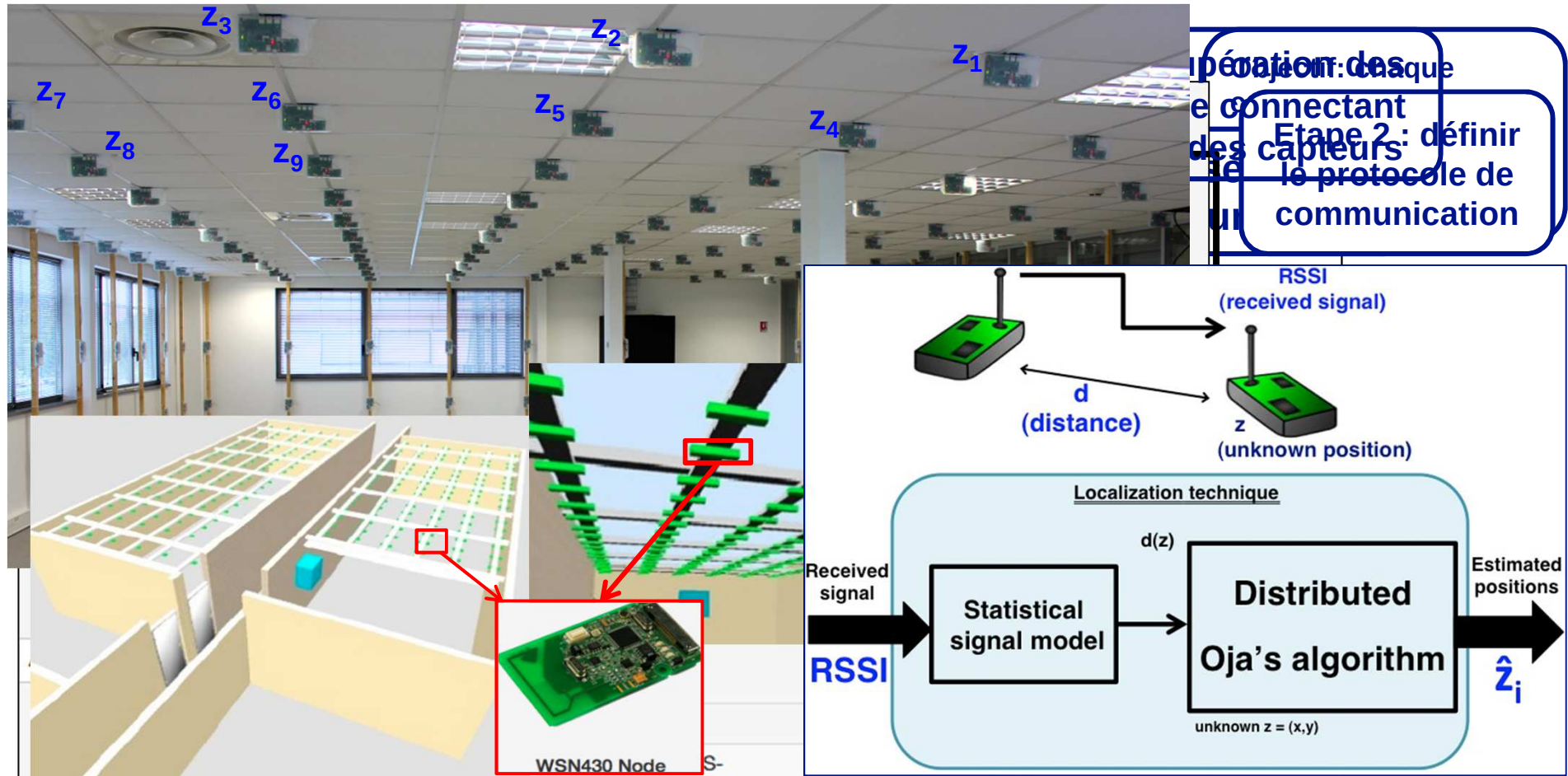
- **Analyse d'un algorithme asynchrone distribué**
 - Convergence presque sûre
 - Vitesse de la convergence → Théorème Central Limite
- **Caractérisation de l'influence des protocoles sur les performances**

Clé de cette analyse

- Modélisation aléatoire/statistique des communications

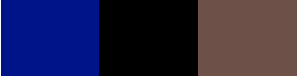
Application 2 : localisation distribuée

- Travail en **collaboration** avec N.A. Dieng (groupe Réseaux, Mobilité et Services)
- Accès *remote* à la **plateforme des capteurs FIT-IoT LAB (Rennes)**



Images extraites de : <https://www.iot-lab.info/deployment/>

ceive_TX-RX.ihex



Contributions : localisation distribuée

- **Algorithme d'analyse en composantes principales (ACP)**
- **Adaptation de l'algorithme pour un contexte**
 - Localisation dans les réseaux de capteurs
- **Expérimentations sur plateforme**
 - FIT IoT-LAB: *Future Internet of Things and Very large scale open testbed of nodes*

Conclusions et perspectives futures

Contribution : algorithmes distribués dans deux champs différents

■ Dans cette thèse

Consensus

- Nouveaux résultats **théoriques** plus généraux
 - Impacte du protocole de communication choisi
 - Quantification de la performance
- Cas particulier : **optimisation distribuée**

Analyse en composantes principales

- Conception d'un **nouvel** algorithme
 - Diminuer le nombre des communications
- Cas particulier : **localisation distribuée**
- Résultats **expérimentaux** sur capteurs

■ Perspectives futures

Optimisation

- Inclure protocoles plus sophistiqués
- Améliorer la performance

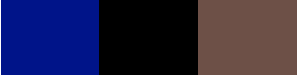
Localisation

- Expériences avec **capteurs mobiles**



- **Projet en Norvège** : UAV (drones) pour Recherche et Sauvetage des personnes après une avalanche (*Narvik University College*)

Image extraite de : <https://www.iot-lab.info/deployment/>



Production scientifique

■ Revues

1. G. Morral et P. Bianchi, "Distributed on-line multidimensional scaling for self-localization in wireless sensor networks", soumis *Elsevier journal on Signal Processing*, février 2015.
2. G. Morral, P. Bianchi et G. Fort, "Success and failure of adaptation-diffusion algorithms for consensus in multi-agent networks", soumis *IEEE Trans. on Signal Processing*, octobre 2014.

■ Conférences internationales avec *proceedings*

1. G. Morral, P. Bianchi* et G. Fort, "Success and failure of adaptation-diffusion algorithms for consensus in multi-agent networks", *the 53rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, USA, 2014.
2. G. Morral* et N.A. Dieng, "Cooperative RSSI-based indoor localization: B-MLE and distributed stochastic approximation", *the 80th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, Canada 2014.
3. G. Morral*, N.A. Dieng et P. Bianchi, "Distributed on-line multidimensional scaling for self-localization in wireless sensor networks", *the 39th IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 1110-1114, Italie, 2014.
4. P. Bianchi, S. Cléménçon, J. Jakubowicz et G. Morral*, "On-line learning gossip algorithm (OLGA) in multi-agent systems with local decision rules", *the 1st IEEE International Conference on Big Data (BigData)*, pp. 6-14, USA, 2013.
5. G. Morral*, P. Bianchi, G. Fort et J. Jakubowicz, "Approximation stochastique distribuée: le coût de la non-bistochasticité", *the 24th Conference on Signal and Image Processing (GRETSI)*, Brest, 2013.
6. G. Morral, P. Bianchi, et J. Jakubowicz*, "Asynchronous distributed principal component analysis using stochastic approximation", *the 51st Annual Conference on Decision and Control (CDC)*, Hawaï, 2012.
7. G. Morral, P. Bianchi*, G. Fort et J. Jakubowicz, "Distributed stochastic approximation: the price of non-double stochasticity", invited, *the 46th Conference on Signals, Systems and Computers (ASILOMAR)*, USA, 2012.
8. G. Morral*, P. Bianchi et J. Jakubowicz, "Gossip-based online distributed expectation maximization", *the 2012 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP)*, pp. 305-308, USA, 2012.