

# Prédiction non paramétrique pour la géolocalisation d'objets

Stage proposé par F. Bouhadjera\*, L. Zerioul† et I. Ahriz‡

Laboratoire CEDRIC, CNAM, France  
2 rue Conté, 75003 Paris

**Mots clés** : Données spatiales, régression non-paramétrique, algorithmes de prédiction, localisation d'objets.

## 1 Introduction et problématique

Ce stage se place dans le contexte de la localisation d'objets dans un environnement fermé à partir de mesure de signaux reçus par des récepteurs (gateways) suite à une émission par un émetteur (balise). Le principe de la localisation s'appuie sur la puissance du signal reçu en fonction de la position de l'émetteur. Plus précisément, il s'agit ici de comprendre le lien entre chaque mesure de signal (RSS pour Received Signal Strength) et les coordonnées spatiales de l'émetteur.

Du point de vue statistique, il s'agit d'un problème de modélisation qui revêt plusieurs aspects méthodologiques complexes en lien avec la nature des données. Par exemple, le nombre d'observations pour une position donnée est variable ou encore les mesures de RSS sont indexées par le temps (une observation chaque 8 secondes). De plus, la propagation des signaux utilisés pour la localisation des balises fluctue en fonction de la position (en raison d'obstacles : murs, armoires, etc). Cette fluctuation de la puissance des signaux reçus détériore la performance de localisation. L'enjeu est de proposer une méthodologie de modélisation qui prend en compte ces différents aspects de complexité.

Plusieurs techniques d'IA ont été explorées pour répondre à cette question : des algorithmes d'apprentissage par renforcement ou la combinaison de différentes méthodes (KNN, Neural Network et Random Forest) pour l'obtention d'une meilleure prédiction, mais les solutions de localisation étudiées fournissent des résultats instables et difficiles à interpréter en raison de la complexité des approches envisagées. En effet, de telles solutions sont dites en « boîte noire » et ne permettent pas de connaître la nature de la relation entre les entrées et les sorties.

## 2 Objectifs du stage

Le but de ce stage est de proposer une nouvelle approche qui permet une correspondance entre les mesures de puissance du signal et les coordonnées de la position sans avoir à spécifier la nature du lien entre ces deux quantités. Pour lever l'aspect « boîte noire », tout en évitant des hypothèses sur le lien entre les mesures de RSS et la position des balises, nous proposons d'explorer les méthodes supervisées non-paramétriques de type noyaux, splines, polynômes locaux, modèles additifs, etc (voir : [Tsybakov \[2004\]](#) et [Comte \[2017\]](#)). Ces approches sont davantage interprétables, car elles permettent d'exprimer le lien entre chaque variable explicative (une mesure de RSS) et la variable cible (les coordonnées spatiales) sous forme de fonctions. Dans le contexte de la prédiction non paramétrique pour des données spatiales, plusieurs travaux ont été menés (Voir : [Biau and Cadre \[2004\]](#), [Arancibia et al. \[2023\]](#) (cas univarié), [Dabo-Niang et al. \[2016\]](#) (cas multivarié) et [Gupta and Hidalgo \[2022\]](#)). Ainsi, le but de ce stage est de s'intéresser à ces types de méthodes afin de mieux comprendre l'impact des mesures de puissance RSS sur la connaissance de la position et d'identifier les entrées pertinentes pour la localisation.

---

\*Feriel Bouhadjera, équipe MSDMA, CEDRIC.

†Lounis Zerioul, équipe LAETITIA, CEDRIC.

‡Iness Ahriz, équipe LAETITIA, CEDRIC.

## Étape 1 : Modélisation de la problématique

On cherche à prédire les coordonnées de la position  $(x, y, z)$  en fonction des mesures de RSS. Une première piste serait de considérer un modèle de régression non paramétrique sous la contrainte d'aditivité régit par l'équation suivante :

$$(x_{i_k}, y_{i_k}, z_{i_k}) = \sum_{j=1}^J m_j(\text{RSS}_{i_k j}) + \varepsilon_{i_k j}.$$

pour  $i_k = 1, \dots, n_k$ ,  $k = 1, \dots, N$  et  $j = 1, \dots, J$ . Il s'agira alors d'estimer chaque fonction de lien (opérateur de régression)  $m_j$  dépendant des mesures RSS observées.

## Étape 2 : Application

La méthode proposée sera appliquée sur un jeu de données réel dont l'enjeu est la localisation d'objets dans un environnement fermé. La figure 1 représente les positions des GW (Gateway) ainsi que les positions des balises (en vert les points mesurés et en rouge les points non-mesurés) par étage (sous-sol, 1er étage et 3ème étage). La cible sont les coordonnées spatiales  $(x, y, z)$  en fonction des mesures de RSS présent par les différents GW.

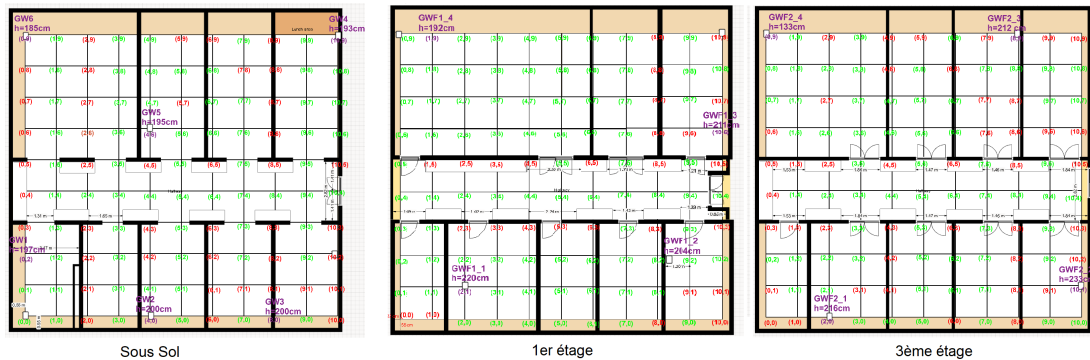


FIGURE 1 – Plan représentant les positions mesurées (en vert), les positions non mesurées (en rouge) et les positions des GWs à chaque étage.

La figure 2 représente les valeurs mesurées par le GW1 (au sous-sol) en fonction des coordonnées des points mesurés  $(x, y, z)$ . L'objet du stage sera de prédire les coordonnées des positions (non-mesurées) aux trois niveaux en fonction de l'intensité du signal mesurée par les GW.

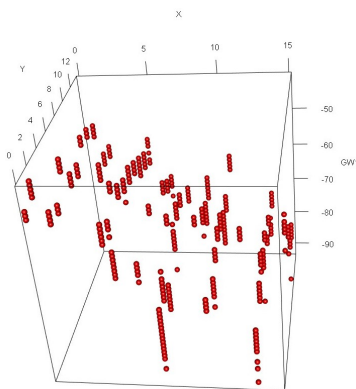


FIGURE 2 – Mesures RSS (du GW1) pour le sous-sol en fonction de la position  $(x, y)$ .

### 3 Calendrier prévisionnel

Le début du stage est prévu pour Mars 2024. Le travail se déroulera selon les étapes suivantes :

- Étape 1 (2 mois) : étude bibliographique détaillée sur les méthodes de régression non paramétriques pour des données spatiales.
- Étape 2 (3 mois) : proposition d'une nouvelle méthodologie adaptée à la problématique étudiée sur la prédiction de la position d'objets. La méthode proposée fera notamment l'objet d'une étude par simulation.
- Étape 3 (1 mois) : mise en œuvre de cette méthodologie afin de mieux comprendre le comportement de l'estimation de la position en fonction des RSS mesurées des différents GW.

### 4 Profil du candidat

Étudiant de Master 2 ou d'école d'ingénieurs dernière année dans le domaine des mathématiques, de la statistique, ou de la science des données. Un bon niveau en analyse des données, en programmation, ainsi que des capacités à rédiger en Français et en Anglais sont attendus. Nécessité d'être présent sur le site.

### 5 Modalités de candidature

Les dossiers de candidatures devront être composés d'un cv détaillé, présentant l'adéquation du candidat par rapport au sujet, d'une lettre de motivation mettant en évidence les raisons de la candidature, ainsi que des relevés de notes associés au diplôme le plus élevé. Ces éléments devront être transmis par mail aux trois adresses suivantes : [feriel.bouhadjera@lecnam.net](mailto:feriel.bouhadjera@lecnam.net) ; [lounis.zerioul@lecnam.net](mailto:lounis.zerioul@lecnam.net) et [iness.ahriz@lecnam.net](mailto:iness.ahriz@lecnam.net).

### Références

- Alexandre B Tsybakov. *Introduction to nonparametric estimation*, 2009, volume 9. 2004.
- Fabienne Comte. *Estimation non-paramétrique*. Spartacus-Idh, 2017. ISBN 978-2-36693-28-3.
- Gérard Biau and Benoît Cadre. Nonparametric spatial prediction. *Statistical Inference for Stochastic Processes*, 7 :327–349, 2004.
- Rodrigo García Arancibia, Pamela Llop, and Mariel Lovatto. Nonparametric prediction for univariate spatial data : Methods and applications. *Papers in Regional Science*, 102(3) :635–673, 2023.
- Sophie Dabo-Niang, Camille Ternynck, and Anne-Françoise Yao. Nonparametric prediction of spatial multivariate data. *Journal of Nonparametric Statistics*, 28(2) :428–458, 2016.
- Abhimanyu Gupta and Javier Hidalgo. Nonparametric prediction with spatial data. *Econometric Theory*, pages 1–39, 2022.