



**HAL**  
open science

## Synergie et frugalité : lorsque la 5G rencontre la localisation

Antonin Le Floch, Rahim Kacimi, Pierre Druart, Yoann Lefebvre, André-Luc Beylot

► **To cite this version:**

Antonin Le Floch, Rahim Kacimi, Pierre Druart, Yoann Lefebvre, André-Luc Beylot. Synergie et frugalité : lorsque la 5G rencontre la localisation. 9èmes Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication (CoRes 2024), May 2024, Saint-Briac-sur-Mer, France. à paraître. hal-04550898

**HAL Id: hal-04550898**

**<https://hal.science/hal-04550898>**

Submitted on 18 Apr 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Synergie et frugalité : lorsque la 5G rencontre la localisation

Antonin Le Floch<sup>1,2 †</sup> et Rahim Kacimi<sup>2</sup> et Pierre Druart<sup>1</sup> et Yoann Lefebvre<sup>1</sup>  
et André-Luc Beylot<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alsatis, 11 Rue Michel Labrousse, Toulouse, France

<sup>2</sup>IRIT, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse INP, UT3, Toulouse, France

---

L'arrivée de la 5G dans les réseaux privés industriels bouleverse la conception des réseaux cellulaires qui ambitionnent désormais de répondre à tous les cas d'usage du sans-fil. Un exemple emblématique est celui de la géolocalisation qui fait aujourd'hui partie intégrante de la 5G. Toutefois, élaborer une solution de localisation en intérieur reste extrêmement complexe, à cause notamment du multitrajét ou de l'absence de ligne de vue directe, le tout exacerbé par le manque d'équipements commerciaux implantant les normes. Bien que certains travaux antérieurs aient proposé des solutions expérimentales, aucun n'a jamais abordé un schéma complet fondé sur les réseaux 5G existants. Nous présentons dans la suite une solution efficace et concrète fonctionnant sur des équipements du marché et offrant un service de localisation de l'ordre de 3 mètres. Pour ce faire, nous combinons l'*Enhanced Cell Id (E-CID)* du *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* avec une méthode d'empreinte ou *Fingerprinting*, comparant la puissance du signal avec une carte de référence. Ce papier repose sur quatre contributions majeures. En premier lieu, nous avons identifié un défaut dans les spécifications du 3GPP et proposé une solution. Nous présentons ensuite notre nouvelle méthode de génération de carte de référence facilement généralisable et fiable. Vient ensuite la création, l'entraînement et l'optimisation d'algorithme d'apprentissage automatique pour fournir une des solutions les plus précises de la littérature. Enfin, nos expérimentations illustrent les performances obtenues dans un réseau 5G opérationnel. Notre travail précurseur propose ainsi une solution concrète et précise tirant parti des réseaux 5G existants.

**Mots-clefs :** 5G, Localisation en Intérieur, *Fingerprinting*, ECID, Expérimentation

---

## 1 Introduction

La synergie entre localisation et 5G est aujourd'hui un atout majeur pour les réseaux privés innovants en permettant de réduire les coûts tout en contribuant à la frugalité numérique. De fait, le 3GPP a doté la 5G dans sa *Release 17* de toutes les fonctions et protocoles nécessaires. Il n'est cependant toujours pas aisé de concevoir un système de localisation en intérieur, ce dernier devant composer avec un contexte radio désavantageux, accentué par un manque d'équipements implantant les fonctions et protocoles dédiés à la localisation. Pour répondre à notre besoin de localiser des travailleurs à risque au CHU de Toulouse, nous proposons une approche concrète s'appuyant sur une fusion entre l'E-CID du 3GPP et le *Fingerprinting*. La présente méthode consiste à créer des modèles d'apprentissage automatique estimant la position à partir du Reference Signal Received Power (RSRP) mesuré et d'une carte de référence de la puissance radio.

Cette méthode éprouvée en Wi-Fi [DCC12] a été mise en œuvre par Gucciardo et al. [GTDC19] sur leur infrastructure LTE grâce à Open Air Interface (OAI) et des radios USRP b210. Une preuve de concept expérimentale reposant sur une mesure de *Channel State Information (CSI)* a aussi été évaluée par Ruan et al. [RCZ<sup>+</sup>23] grâce à leur maquette 5G utilisant un matériel similaire. Ces deux travaux n'envisagent toutefois pas l'utilisation d'équipements sur étagère, ni ne considèrent un déploiement à l'échelle d'un bâtiment, mais plutôt de l'ordre de la pièce. Nous défendons ici une approche à large échelle, universelle, concrète et tirant parti des réseaux 5G existants.

---

<sup>†</sup>Contact : antonin.lefloch@irit.fr

Ce travail est inspiré de notre papier accepté et présenté à la conférence ACM MSWIM'23

## 2 Localisation en 5G

Dans un réseau 5G, la gestion de la localisation est centralisée dans le cœur de réseau au niveau de la fonction *Location Management Function (LMF)*. Cette dernière se charge d'exécuter des algorithmes de localisation ainsi que de collecter toutes les informations requises via les protocoles *LTE Positioning Protocol (LPP)* ou *NR Positioning Protocol A (NRPPa)* comme illustré sur la figure 1. Cette ambivalence pose un réel problème, car il n'incombe pas aux constructeurs de cœur de réseau de produire un algorithme de localisation ni à une entreprise spécialisée en localisation de construire un cœur de réseau 5G. Pour remédier à cela, nous proposons d'améliorer la LMF en la subdivisant d'une part en un contrôleur servant d'interface et d'autre part en des fonctions de localisation spécialisées dans une méthode et un algorithme précis. Ainsi, n'importe quelle fonction de localisation peut s'intégrer à n'importe quel cœur au travers d'une API que nous avons définie. Nous avons développé et intégré cette fonction dans le cœur de réseau 5G Halys présent à Alsatis, permettant à notre système précurseur une gestion centralisée des informations. Enfin, l'implantation du protocole NRPPa entre *Next Generation NodeB (gNB)* et cœur 5G facilite la remontée d'informations depuis n'importe quel équipement. La centralisation des informations et des fonctions de calcul conçue par le 3GPP est ici mise en œuvre et améliorée pour fournir une solution transparente et universelle de localisation en 5G.

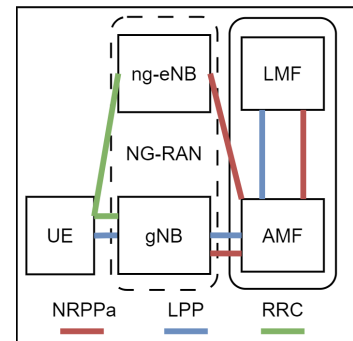


FIGURE 1: Fonctions et protocoles utiles pour la localisation en 5G.

## 3 Génération de la carte de référence

Le point le plus difficile selon nous est la création d'une carte de référence à la fois précise et généralisable. La méthode plébiscitée dans la littérature du *Fingerprinting* consiste à quadriller le bâtiment par pas d'environ 1 mètre. Cette approche fastidieuse ne peut être généralisable à un centre hospitalier et une solution fondée sur de l'estimation de canal nous semble donc indispensable.

### 3.1 ORPELA

Nous proposons ici une nouvelle méthode d'estimation de la puissance du signal nommée Optical Radio Power Estimation using Light Analysis (ORPELA) fondée sur une cartographie 3D pour simuler la propagation des ondes électromagnétiques et leurs interactions avec le bâtiment. L'idée originale a été ici de détourner de son usage un logiciel de modélisation 3D nommé Blender. Dans ce dernier, nous avons représenté les antennes radio par des sources lumineuses et les murs par des solides semi-transparents, comme illustré sur la figure 2. Il est ainsi facile de faire un parallèle entre intensité lumineuse et puissance du signal. Une calibration est toutefois nécessaire pour faire correspondre la luminosité au signal physique concret. Six points de collecte du RSRP illustrés sur la figure 3, ont ainsi été judicieusement choisis pour représenter tous les cas de réception de la cellule radio 1. Une simple régression entre puissance lumineuse prédite par Blender et le RSRP mesuré permet d'obtenir une cartographie de la puissance radio sur la cellule 1. En considérant que toutes les cellules partagent une même configuration radio, ce résultat est généralisable à l'ensemble du bâtiment. Cette hypothèse s'avère vraisemblable dans un réseau 5G privé dont l'on connaît les paramètres radios, les équipements et l'utilisation du canal attribué par l'AR-CEP. Ainsi, avec seulement six points de mesure et un logiciel de modélisation *open source*, nous pouvons générer une carte réaliste de la puissance du signal, indépendamment de la taille du bâtiment. Comparée au *Fingerprinting*, cette solution passe à l'échelle tout en réduisant le temps et la charge de travail.

### 3.2 Validation de la Carte de Référence

Pour évaluer la justesse de ses prédictions, nous avons expérimentalement comparé ORPELA au logiciel spécialisé en planification radio ATOLL, ainsi qu'à l'équation de Friis servant de borne inférieure. Quatre points de mesure pris en divers endroits du bâtiment sont comparés aux différentes estimations sur la figure 4. Les prédictions d'ORPELA et d'ATOLL sont toutes deux très proches des mesures concrètes

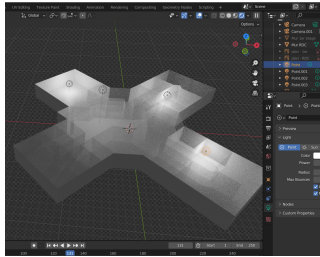


FIGURE 2: Rez-de-chaussée d'Alsatis dans Blender.

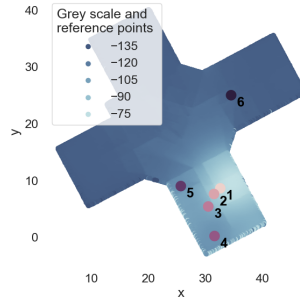


FIGURE 3: Points de référence pour la calibration.

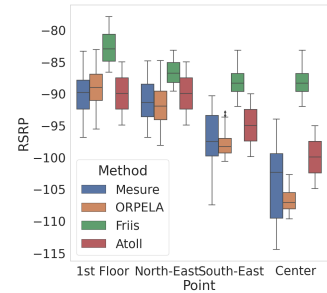


FIGURE 4: RSRP prédit par ORPELA, Friis et Atoll.

avec toutefois un avantage pour notre solution. Nous pouvons donc affirmer que notre modèle d'estimation de puissance est en ligne avec une des solutions les plus avancées du marché. Nous proposons ainsi une nouvelle méthode *open source*, facile à mettre en place, passant à l'échelle et précise.

## 4 Algorithme de localisation

### 4.1 Définition

Trouver la position la plus probable revient à trouver les points de référence les plus proches des mesures. Ceci correspond naturellement au problème des  $k$  plus proches voisins, florissant depuis longtemps dans le contexte du *Fingerprinting* [DCC12, GTDC19, RCZ<sup>+</sup>23]. Le travail de Gucciardo et al. [GTDC19] illustre même la supériorité de ce modèle face à un perceptron multicouche. Comme tout problème d'apprentissage automatique, l'algorithme se divise en une partie d'apprentissage et une de fonctionnement, comme l'illustre la figure 5.

Lors de la phase d'apprentissage, les deux modèles sont entraînés à partir de la carte de référence. Le premier prédit l'étage à partir du RSRP. Le second estime la position de l'utilisateur en fonction de son étage et du RSRP. Ces modèles effectuent respectivement une classification et une régression, ce qui découle de la nature discrète ou continue des variables à prédire.

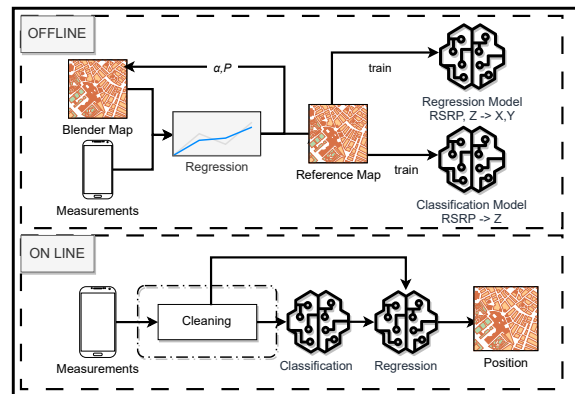


FIGURE 5: Algorithme de localisation par *Fingerprinting* tirant parti d'ORPELA.

### 4.2 Optimisation

Afin d'éviter le sur-apprentissage, nous avons déterminé le nombre optimal de voisins de façon itérative en arrêtant le procédé lorsque le  $R^2$  score se stabilise. Nous avons également évalué une version pondérée de l'algorithme, tel qu'illustré sur la figure 6. Cependant, aucune différence notable ne permet de départager l'une ou l'autre approche. Enfin, minimiser le temps de réponse entre la demande de localisation et la réponse du réseau 5G est primordial pour les services de secours. C'est pourquoi nous avons comparé les différents algorithmes en temps d'exécution comme illustré sur la figure 7, nous permettant de choisir l'algorithme *KD Tree* plutôt que *Ball Tree*.

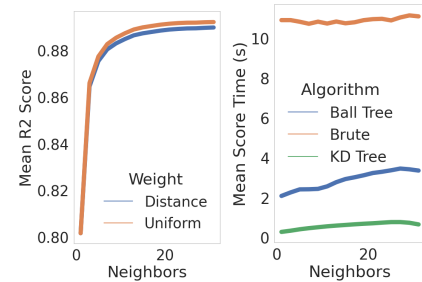
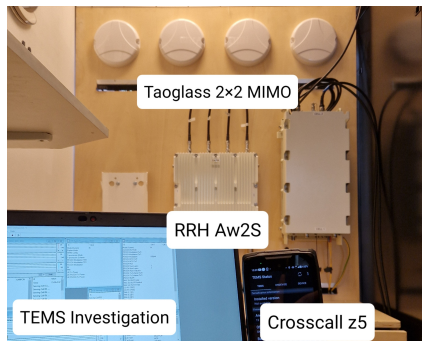


FIGURE 6: Version pondérée de kNN.

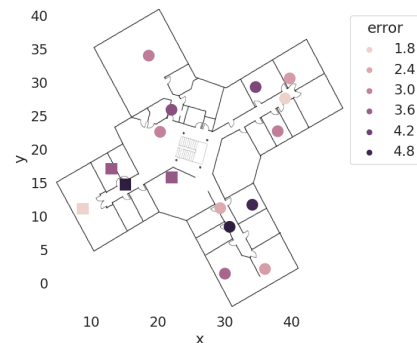
FIGURE 7: Temps d'exécution des algorithmes.

## 5 Expérimentations et Résultats

Le réseau 5G privé à Alsatis est composé d'équipements commerciaux de constructeurs français tels qu'Halys, Amarisoft, AW2S ou Crosscall, visibles sur la figure 8. Pour couvrir les deux étages, cinq cellules composées d'antennes Taoglass  $2 \times 2$  MIMO sont réparties dans le bâtiment avec trois au rez-de-chaussée et deux au premier étage. Enfin, des autorisations légales de tests sur la bande n77 à  $3,9 - 4,0$  GHz ont été délivrées par l'ARCEP dans la décision numéro 2022-1391.



**FIGURE 8:** Infrastructure 5G à Alsatis composée d'équipements commerciaux.



**FIGURE 9:** Précision de la localisation pour plusieurs points.

Des points de mesure de RSRP ont été positionnés dans l'ensemble du bâtiment et l'erreur moyenne entre la prédiction de nos modèles et la position réelle est présentée sur la figure 9. La précision de notre système est pour 80% des points inférieure à 3 mètres, ce qui nous permet de localiser correctement un travailleur en situation à risque dans une pièce donnée. Ces résultats sont de plus conformes à ceux d'autres expérimentations en LTE ou en 5G [GTDC19, RCZ<sup>+</sup>23]. Notre travail a cependant une portée universelle et concrète dont les performances sont validées par nos expérimentations.

## 6 Conclusion

Dans cet article, nous démontrons qu'il est possible de concevoir une solution concrète de localisation en intérieur, s'appuyant sur des équipements commerciaux standards en tirant parti d'un réseau 5G existant. L'amélioration des spécifications du 3GPP, la création d'une nouvelle méthode d'estimation de puissance et la définition de modèles d'apprentissage automatique contribuent à améliorer une méthode adaptée à de nombreux cas d'usages. Nos expérimentations sur une infrastructure 5G réaliste prouvent la résilience d'une telle solution pour la localisation de personnels en situation à risque, d'outils ou de divers objets connectés. Cette méthode étant presque aboutie et en phase de déploiement dans l'environnement du CHU, une piste d'amélioration pourra être la combinaison avec la navigation à l'estime pour prédire au mieux la position d'un utilisateur en mouvement.

## Références

- [DCC12] Gabriel Deak, Kevin Curran, and Joan Condell. A survey of active and passive indoor localisation systems. *Computer Communications*, 35(16) :1939–1954, September 2012.
- [GTDC19] Michele Gucciardo, Ilenia Tinnirello, Gian Michele Dell'Aera, and Marco Caretti. A Flexible 4G/5G Control Platform for Fingerprint-based Indoor Localization. In *IEEE INFOCOM Workshops*, pages 744–749, apr 2019.
- [RCZ<sup>+</sup>23] Yanlin Ruan, Liang Chen, Xin Zhou, Zhaoliang Liu, Xiaoyan Liu, Guangyi Guo, and Ruizhi Chen. iPos-5G : Indoor Positioning via Commercial 5G NR CSI. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(10) :8718–8733, May 2023. Conference Name : IEEE Internet of Things Journal.