



**HAL**  
open science

# Conception d'une Structure Antennaire ULB-LoRa pour Applications de Localisation à Haute Précision et de Longue Portée

Amina Benouakta, Fabien Ferrero, Leonardo Lizzi, Robert Staraj

## ► To cite this version:

Amina Benouakta, Fabien Ferrero, Leonardo Lizzi, Robert Staraj. Conception d'une Structure Antennaire ULB-LoRa pour Applications de Localisation à Haute Précision et de Longue Portée. 23ième journées Nationales Microndes, LEAT, Jun 2024, Juan les Pins, France. pp.4. <hal-04608119>

**HAL Id: hal-04608119**

**<https://hal.science/hal-04608119v1>**

Submitted on 25 Feb 2025

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

# Conception d'une Structure Antennaire ULB-LoRa pour Applications de Localisation à Haute Précision et de Longue Portée

Amina Benouakta<sup>1</sup>, Fabien Ferrero<sup>1</sup>, Leonardo Lizzi<sup>1</sup>, et Robert Staraj<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire LEAT, CNRS, Campus SophiaTech 930 Route des Colles 06903 Sophia Antipolis  
amina.benouakta@univ-cotedazur.fr

**Résumé** — Les réseaux étendus à longue portée (LoRa-WAN) permettent la transmission de données par liaison radio depuis des capteurs, potentiellement isolés, vers des passerelles et serveurs. Ce concept utilise la modulation à longue portée (LoRa) et a induit l'apparition d'applications nombreuses de supervision et suivi d'objets. Cependant, en raison de son faible débit de données, la technologie LoRa n'est pas adaptée pour réaliser un suivi en temps-réel. En outre, en raison de sa bande passante étroite, la localisation d'objets LoRa présente une précision très limitée à cause de son inaptitude à résoudre les trajets multiples. Cet article propose donc un émetteur-récepteur multistandard ultra-large bande (ULB) et LoRa capable de mesurer la localisation avec une grande précision à l'aide de la technologie ULB, puis de transmettre les informations par LoRa à des passerelles et au réseau LoRaWAN.

## 1. Introduction

La connectivité des objets aux passerelles (ou gateways) utilisant le protocole LoRaWAN a permis l'émergence de nombreuses applications de supervision d'objets, telles que la gestion intelligente des ressources, la maintenance prédictive, le suivi des approvisionnements et des stocks, le suivi des objets et des animaux et la surveillance du personnel de santé [1]. Les possibilités de suivi sont donc infinies en fonction de la variable physique détectée par le capteur. Outre ces variables, il est souvent nécessaire que les gateways aient besoin de connaître l'emplacement du capteur lui-même [2], en particulier s'il est intégré à un objet mobile, par exemple si ce dernier se déplace dans un environnement intérieur. La localisation d'un capteur mobile pourrait constituer un défi pour une infrastructure basée sur la technique LoRa, car ce type de communication n'est, à l'origine, pas adapté pour localiser un objet [3]. En particulier si l'information de localisation voulue doit être d'une grande précision ou si elle doit s'adapter à des scénarios à la fois intérieurs et extérieurs. En revanche, le principal avantage de la communication LoRa dans les réseaux LoRaWAN est que les données peuvent être transmises sur de longues distances du capteur aux passerelles [4,5], généralement de 5 km dans les zones urbaines jusqu'à 15 km dans les zones rurales. En effet, la technique LoRa est utilisée pour assurer une communication entre un

grand nombre d'objets qui ont de faibles besoins en énergie et qui collectent et transmettent de petites quantités de données [5]. De plus, les réseaux LoRaWAN ont une capacité élevée et peuvent gérer des millions de messages provenant de milliers de passerelles.

Cependant, malgré ces avantages, cette technologie n'est toujours pas adaptée pour localiser les capteurs mobiles avec précision et aussi souvent que nécessaire [7]. En effet, pour garantir une faible consommation d'énergie, les capteurs LoRa envoient des données avec un faible débit. Cela ne convient pas si l'objet surveillé est mobile dans son environnement et nécessite une surveillance en temps réel. En outre, si l'objet surveillé doit être localisé avec une grande précision et/ou s'il se trouve dans un environnement intérieur, une technologie radio à large bande de fréquence est nécessaire pour résoudre les problèmes de trajets multiples. Toutefois, ce n'est pas le cas des communications LoRa qui possèdent une bande passante étroite. Inversement, l'ultra-large bande (ULB) est la technologie la plus répandue de nos jours lorsqu'il s'agit de localiser des objets ou tout type de cible, en particulier dans des environnements intérieurs complexes, tels que des bâtiments, infrastructures industrielles, hôpitaux, aéroports, et chantiers de construction, etc. L'ULB est employé dans les techniques de localisation basées sur le temps, telles que la localisation unidirectionnelle ou bidirectionnelle utilisant le temps de vol (ToF) ou la différence de temps d'arrivée (TDoA). Cette technologie permet des estimations très précises de la distance et de la position, notamment grâce à la transmission des données sur une large bande de fréquence de 500 MHz ou plus entre un lecteur et une cible. Cependant, l'ULB est considérée être une technologie de communication à courte portée, bien qu'elle ait des portées de lecture de 100 à 200 m dans les scénarios en visibilité directe, ce qui est généralement suffisant pour les cas d'utilisation à l'intérieur, mais ne peut pas s'adapter aux réseaux déployés dans des zones extérieures, où les distances peuvent être plus grandes que cela, comme dans les réseaux LoRaWAN.

Ainsi, dans ce travail, nous proposons de combiner les technologies LoRa et UWB en tant que techniques complémentaires de l'internet-des-objets (IoT) dans une carte émettrice-réceptrice afin d'exploiter leurs principales caractéristiques. Cette combinaison permet aux gateways LoRa de localiser les capteurs s'ils sont mobiles dans leur

environnement, avec une grande précision et un suivi en temps réel. Cette solution consiste à utiliser la technologie ULB dans le capteur LoRa de la cible mobile pour permettre aux gateways LoRaWAN de la suivre en temps réel avec une grande précision. Le résultat est un émetteur-récepteur ULB-LoRa multistandard, qui peut fonctionner comme un capteur-tag ou comme un lecteur selon l'endroit où il est placé dans la chaîne de communication. Dans ce travail, il est proposé de placer le dispositif de lecture ULB-LoRa comme nœud intermédiaire entre l'objet cible et la gateway. Le lecteur reçoit les informations de localisation du capteur-tag en temps réel grâce à la localisation ULB avec le temps de vol et les envoie à la gateway par le biais de signaux LoRa.

L'article est organisé comme suit : La section 2 décrit d'abord le système global de localisation ULB-LoRa, puis la conception et la structure de l'émetteur-récepteur ULB-LoRa proposé. Dans la section 3, la localisation réalisée par l'émetteur-récepteur est examinée et caractérisée par la portée et la précision obtenues. Enfin, l'article conclut sur les contributions et les résultats de l'article.

## 2. La localisation avec l'ULB-LoRa

Cette partie décrit d'abord la chaîne de transmission du système de localisation UWB-LoRa, puis la structure de l'émetteur-récepteur UWB-LoRa (lecteur et étiquette-capteur), les modules et les antennes ULB et LoRa intégrées.

### 2.a. Approche de détection et de localisation LoRa-ULB

La figure 1 montre la chaîne de communication LoRa-ULB des capteurs jusqu'aux gateways et au réseau LoRaWAN. L'ensemble est composé de plusieurs capteurs LoRa déployés à différents endroits qui communiquent avec une gateway LoRaWAN. En plus de ces capteurs, un tag-capteur LoRa équipée d'un émetteur-récepteur UWB est placée et peut communiquer directement soit avec la gateway pour transmettre des données captées, soit avec un lecteur UWB-LoRa pour effectuer la localisation. Dans ce cas, le temps de vol est obtenu au niveau du lecteur et la distance est calculée. Le lecteur envoie ensuite les informations de position à la gateway par l'intermédiaire de signaux LoRa. Comme la gateway connaît a priori l'emplacement du lecteur, elle peut déterminer l'emplacement du tag-capteur et superviser son mouvement dans l'environnement.

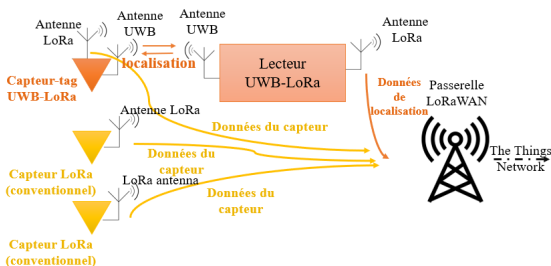


FIGURE 1. Structure de la chaîne de communication depuis tags jusqu'aux réseau et gateways.

### 2.b. Conception de la structure antennaire ULB-LoRa

L'émetteur-récepteur ULB-LoRa conçu est un dispositif multistandard capable de réaliser une localisation ULB de haute précision et longue portée, et d'envoyer les informations à des gateways LoRa. Son objectif principal est d'agir soit en tant que capteur-tag, soit en tant que lecteur. Il effectue la localisation du tag et informe la gateway si ce dernier s'est déplacé dans l'espace.

Le lecteur est composé d'un module UWB (STMicroelectronics) et d'un module LoRa, qui communiquent par l'intermédiaire d'un microcontrôleur (MCU). Le lecteur dispose alors d'une antenne ULB pour la communication RF avec n'importe quel module ULB et une antenne LoRa pour la communication RF avec les gateways LoRa. Le module et l'antenne ULB du lecteur et du tag opèrent au canal de fréquence ULB-2, de 3,75 GHz jusqu'à 4,25 GHz. Le module et les antennes LoRa fonctionnent dans la bande de 863 à 868 MHz, qui représente le canal de fréquence européen pour les communications LoRa, et qui fait partie de la bande non-licenciée industrielle, scientifique et médicale (ISM).

Comme illustré par la figure 2, la carte conçue est composée d'une couche supérieure et d'une couche inférieure séparées par un espace d'air.

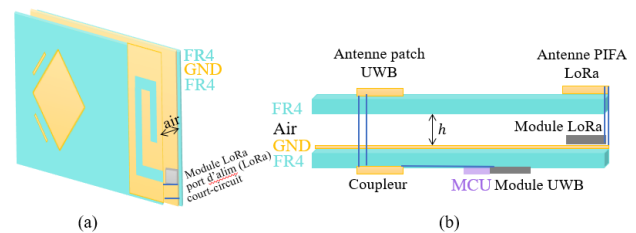


FIGURE 2. Structure de l'émetteur-récepteur ULB-LoRa : (a) vue en perspective ; (b) vue latérale. Structure composée d'une couche inférieure d'électronique et d'une couche supérieure antennaire.

La couche supérieure est constituée des éléments rayonnants des antennes ULB et LoRa placés sur le même support FR4. La couche inférieure est constituée d'un côté du plan de masse et du module LoRa, tandis que de l'autre côté, d'un substrat FR4 avec un coupleur permettant la polarisation circulaire ULB de l'antenne ULB. De plus, à une certaine distance du coupleur, l'unité MCU et le module ULB sont placés.

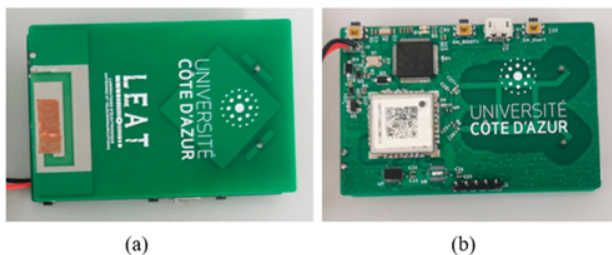
La polarisation circulaire a été privilégiée pour l'antenne ULB, car elle permet d'obtenir de meilleures informations de localisation et de meilleures portées; ses avantages dans le contexte de localisation sont décrits plus en détail dans nos travaux antérieurs tel que [8]. Le gap d'air commun entre les deux antennes sert d'air pour la conception PIFA standard (antenne planaire F inversé) et représente simultanément l'espace nécessaire entre le substrat et le plan de masse, qui garantit une largeur de bande de 500 MHz pour l'antenne patch ULB alimentée par sonde.

En ce qui concerne la partie électronique de l'émetteur-récepteur, les principaux composants sont l'unité d'alimentation, le MCU, le module LoRa et le module UWB. Les trois premiers sont équivalents à tout appareil LoRa/LoRaWAN. En outre, les connexions requises pour le module UWB ont été réalisées en suivant le même modèle et le même firmware de la carte de localisation UWB MEK1 de STMicroelectronics. Enfin, le module ULB est connecté à l'unité MCU, qui est également connectée au module LoRa.

### 3. Résultats et discussion

Un prototype de l'émetteur-récepteur ULB-LoRa a été réalisé et est présenté dans la figure 3. Les couches supérieure et inférieure ont été assemblées par soudure des connexions d'alimentation des sorties du coupleur aux petits patches capacitifs situés à côté de l'élément rayonnant de l'antenne ULB, ainsi que des connexions d'alimentation et de court-circuit du plan de masse à l'élément PIFA de la couche supérieure.

Les antennes ULB et LoRa ont été mesurées et leur adaptation d'impédance confirmée sur le canal ULB 2 et sur le canal LoRa respectivement. Le gain mesuré est entre 5,1 et 6 dBi pour l'antenne ULB et 0,82 et 0,91 dBi pour l'antenne LoRa. L'efficacité mesurée est entre 72 et 75 % pour l'antenne ULB et de 68 % pour l'antenne LoRa.

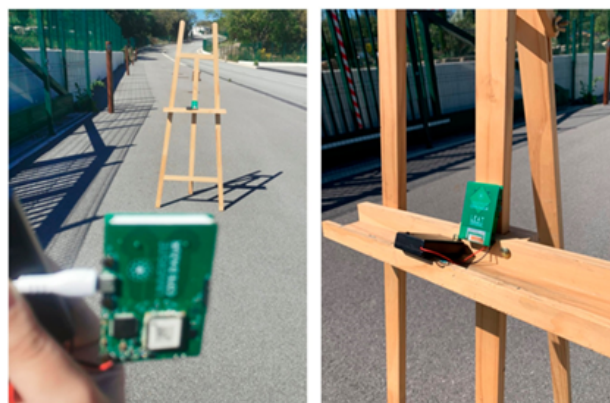


**FIGURE 3. Prototype de l'émetteur-récepteur ULB-LoRa : (a) couche supérieure contenant les éléments rayonnants ; (b) couche inférieure contenant le MCU, les modules et le coupleur.**

Afin d'évaluer les performances de localisation ULB réalisée entre le lecteur et le tag, celle-ci est étudiée en termes de portée de détectabilité ainsi que de précision de l'information de localisation.

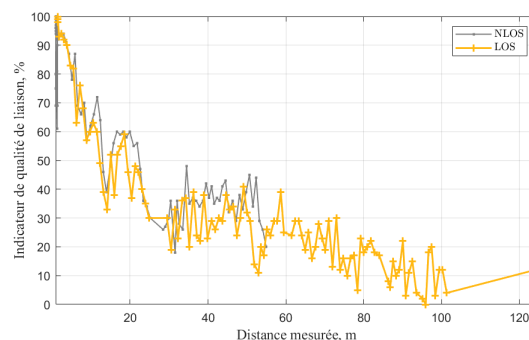
#### 3.a. Du capteur-tag vers le lecteur

Les mesures de portée ont été effectuées à l'aide de deux prototypes de l'émetteur-récepteur ULB-LoRa, l'un étant utilisé comme capteur-tag et l'autre comme lecteur. La figure 4 montre le banc et l'environnement de mesures. Un scénario en extérieur a été privilégié, car il permet plus d'espace disponible, afin de mesurer la performance du système et d'analyser la portée maximale de détection obtenue grâce à la localisation ULB. Cette portée ne décrit pas la portée ULB-LoRa de l'ensemble du système, mais uniquement celle de la partie ULB (du tag au lecteur). Cette distance maximale donne une idée de l'endroit où le lecteur intermédiaire doit être placé dans un tel système,



**FIGURE 4. Localisation effectuée par deux émetteurs-récepteurs LoRa-ULB, un capteur-tag et un lecteur.**

c'est-à-dire de la distance à laquelle il peut être placé par rapport au capteur-tag tout en étant capable de la détecter. La figure 5 illustre le résultat de localisation grâce à l'indicateur de qualité de liaison (LQI) par rapport à la distance mesurée par le lecteur (à l'aide de sa fonction ULB).



**FIGURE 5. Mesures de la portée de localisation ULB entre le capteur-tag et le lecteur en LOS et NLOS.**

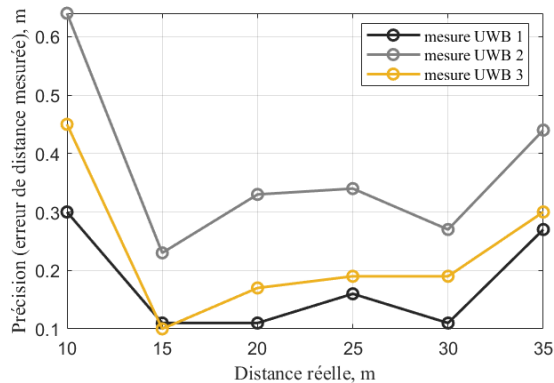
Le LQI est le rapport entre la puissance du signal reçu mesurée au niveau du lecteur et la puissance de saturation déjà connue de l'émetteur-récepteur. Il s'agit d'une mesure utilisée dans le contexte de localisation ULB, et est intégrée dans l'émetteur-récepteur.

Les résultats montrent que le lecteur peut détecter le tag mobile jusqu'à des distances de 120 m et 55 m dans les scénarios LOS et NLOS (line-of-sight et non-line-of-sight) respectivement. Le LQI diminue naturellement avec l'augmentation de la distance et présente de petites fluctuations entre les mesures proches, car il dépend de l'environnement autour du tag mobile à ce moment-là. Les portées obtenues sont conformes aux portées maximales typiques des systèmes ULB utilisés dans l'industrie et dans la littérature (environ 100 - 200 m en LOS).

#### 3.b. Haute-précision de localisation

La localisation avec la technologie ULB est connue pour garantir la précision des informations de localisation à un niveau inférieur au mètre. Pour observer ce processus, des mesures de portée ont été réalisées avec les émetteurs-

récepteurs conçus dans un scénario intérieur, où les effets de trajets multiples sont souvent présents, le long d'un couloir limité de 35 m à l'intérieur du laboratoire LEAT. Le lecteur a été placé à une position fixe et le tag est déplacé de 10 à 35 m du lecteur. Les mesures de la distance entre le lecteur et le tag ont été effectuées pour chaque pas de 5 m. Cette opération a été répétée trois fois et les distances mesurées ont été comparées à la distance réelle entre le lecteur et le tag. La figure 6 illustre cette comparaison pour les trois mesures, par les tracés de précision de mesure.



**FIGURE 6. Précision des distances mesurées par l'ULB en fonction de la distance réelle entre un lecteur et un tag.**

Les résultats montrent pour les trois relevés, que l'erreur est toujours inférieure au mètre pour tout point de (65 cm au pire cas). Ce résultat permet de confirmer la précision sub-métrique obtenue grâce aux caractéristiques temporelles fines des signaux ULB (largeur d'impulsion de 2 ns). À noter que l'orientation relative des antennes (rotation sur l'axe vertical ou horizontal) a une influence sur le LQI. Son impact est cependant minoré par l'utilisation de la polarisation circulaire par rapport à des antennes en polarisation linéaire. Une campagne de mesure actuellement en cours permettra de quantifier l'erreur de précision engendrée. Enfin, la précision centimétrique obtenue avec l'ULB profite grandement à l'infrastructure LoRa; en effet, les tentatives de localisation conventionnelles utilisant uniquement la technique LoRa, ont généralement des niveaux de précision qui dépassent les 10 m, ce qui peut être suffisamment faible pour une localisation approximative à l'extérieur; Cependant, ce niveau de précision ne peut pas s'adapter à des environnements intérieurs.

#### 4. Conclusion

Cet article a étudié la possibilité de réaliser une localisation de haute précision et à longue portée grâce aux technologies ULB et LoRa. Une carte émettrice-réceptrice multistandard a été proposée comme solution. Elle se compose d'un module ULB, d'un module LoRa et d'une unité MCU, assurant la communication entre eux. L'émetteur-récepteur peut jouer le rôle soit d'un capteur-tag déployé dans l'infrastructure LoRa, soit d'un dispositif

de lecture, soit des deux. Il permet la localisation d'un tag avec une précision de niveau ULB (quelques centimètres) et la transmission des informations de localisation aux gateways LoRa situées à des kilomètres de capteur-tag. Deux prototypes de l'émetteur-récepteur ont été utilisés dans des mesures de portée et de précision en extérieur et en intérieur. Les résultats ont démontré une portée de détection et une précision conforme à la localisation typique par ULB. La transmission aux gateways LoRa pour le suivi en temps réel du capteur a également été réalisée. Dans les travaux futurs, l'amélioration de l'émetteur-récepteur de localisation proposé pourrait se concentrer sur l'intégration de la détectabilité de la direction en plus de la distance, par la conception d'un réseau d'antennes pour le lecteur, qui peut intercepter les signaux en utilisant les éléments du réseau et ensuite déterminer les angles d'arrivée liés à la composante de direction du tag.

#### 5. Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet LEAN-POD et financé par le projet Nano 2022, N. 198938. Les auteurs remercient la société BeSpooon (récemment STMmicroelectronics) pour les échantillons du module UWB.

#### Références

- [1] O. Khutsoane, B. Isong, A.M. Abu-Mahfouz, "IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN," in Proceedings of the IECON 2017—43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Beijing, China, 29 October–1 November 2017; pp. 6107–6112.
- [2] D. Merhej, I. Ahriz, S. Garcia, M. Terré, "LoRa Based Indoor Localization," in Proceedings of the 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference, Helsinki, Finland, 19–22 June 2022; pp. 1–5.
- [3] L.E. Marquez, M. Calle, "Understanding LoRa-Based Localization : Foundations and Challenges," IEEE Internet Things J. 2023, 10, 11185–11198.
- [4] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," ICT Express 2019, 5, 1–7.
- [5] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, W. M. Townsley, "A Study of LoRa : Long Range and Low Power Networks for the Internet of Things," Sensors 2016, 16, 1466.
- [7] R. Muppala, A. Navnit, D. Devendra, E. R. Matera, N. Accettura, A. M. Hussain, "Feasibility of Standalone TDoA-based Localization Using LoRaWAN," in Proceedings of the 2021 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), Tampere, Finland, 1–3 June 2021; pp. 1–7.
- [8] A. Benouakta, F. Ferrero, L. Lizzi, R. Staraj, "Antenna Characteristics Contributions to the Improvement of UWB Real-Time Locating Systems' Reading Range and Multipath Mitigation," IEEE Access 2023, 11, 71449–71458.