



**HAL**  
open science

## IoT Anywhere - Comment choisir sa technologie d'accès ?

Razvan Stanica, Yacir Mouline, Jean-Marie S Gorce, Claire Goursaud, Oana Iova

► **To cite this version:**

Razvan Stanica, Yacir Mouline, Jean-Marie S Gorce, Claire Goursaud, Oana Iova. IoT Anywhere - Comment choisir sa technologie d'accès ?. [Rapport Technique] INSA LYON; SPIE ICS. 2020. hal-03020299

**HAL Id: hal-03020299**

**<https://inria.hal.science/hal-03020299>**

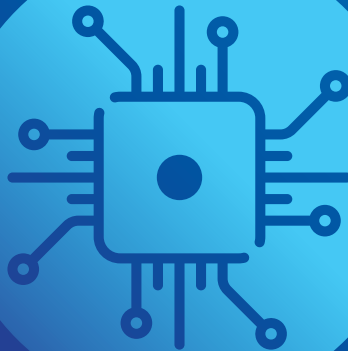
Submitted on 3 Jan 2021

**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.

# Chaire IoT

SPIE - INSA Lyon



---

# IOT ANYWHERE

---

COMMENT CHOISIR  
SA TECHNOLOGIE D'ACCÈS ?

LPWAN

NB-IoT

LoRa

Sigfox

# SOMMAIRE

—  
Édito de Razvan Stanica et Yacir Mouline

03

—  
**CHAPITRE 1**  
LoRa

04

—  
**CHAPITRE 2**  
SigFox

06

—  
**CHAPITRE 3**  
NB-IoT

08

—  
**CHAPITRE 4**  
Chaire IoT SPIE - INSA Lyon en chiffres

10

—  
À propos

11

## IoT Anywhere : comment choisir sa technologie d'accès ?

**Les technologies de communication classiques, de type 4G/5G, Wi-Fi, ou même Bluetooth, permettent d'offrir des débits importants dans des zones restreintes.** Appliquées à des communications épisodiques (données échangées quelques fois par jour, voire quelques fois par an, et en quantités très limitées), leur coût peut être prohibitif, tant en termes d'infrastructure que de dépenses énergétiques.

Nous voyons donc fleurir depuis quelque temps une approche distincte pour le marché des objets connectés. Les réseaux sans fil longue distance, connus aussi sous l'acronyme anglophone LPWAN (*Low-Power Wide Area Networks*), sont aujourd'hui en pleine expansion. Les technologies LPWAN proposent une couverture sur des distances importantes, de l'ordre de dizaines de kilomètres par station de base. Les débits d'échanges sont faibles et dimensionnés pour la transmission de petits messages.

Dans le cadre de la Chaire sur l'internet des objets, nous nous sommes particulièrement intéressés à l'évolution des technologies LPWAN, et comment SPIE ICS les intègre dans ses architectures et les solutions qu'elle propose dans son offre de valeur.

Que ce soit dans des projets de villes connectées proposant des services numériques toujours plus proches des administrés, les bâtiments intelligents ou l'industrie 4.0, pour laquelle la nouvelle ère numérique repousse les limites de la production, ou encore le monde des transports connectés, assurant un niveau de logistique, d'assurance qualité et de fiabilité jamais égalé, SPIE ICS apportera une empreinte durable dans la transition numérique et technologique de ses clients.

Comme souvent dans le secteur informatique, le domaine des LPWAN est très dynamique, avec plusieurs technologies concurrentes. Cela est surtout vrai en France, qui a vu naître les deux technologies qui dominent aujourd'hui le marché : Sigfox et LoRa. À ces deux solutions s'ajoutent plusieurs autres technologies portées par les acteurs de la téléphonie mobile, notamment NB-IoT.

Chacune de ces technologies vient avec une approche commerciale distincte, un soutien industriel fort et des arguments techniques intéressants. Afin de donner un aperçu des technologies LPWAN dans ce livre blanc, nous avons fait appel à trois chercheurs du laboratoire CITI qui étudient ce sujet. Attachés à leur objectivité scientifique, mais aussi à leur approche d'expérimentation et de synthèse, chacun d'entre eux a accepté de nous parler de sa technologie LPWAN de prédilection.

Nous vous invitons à lire leurs avis et à choisir votre camp. ●



**RAZVAN STANICA,** est Maître de conférences au département Télécommunications de l'INSA Lyon depuis 2012. Il fait partie de l'équipe Inria Agora, au laboratoire CITI, où il travaille sur les futures architectures de réseaux sans fil. Il est ingénieur ENSEEIHT et docteur en informatique de l'INP Toulouse.



**YACIR MOULINE,** ingénieur diplômé ESIGELEC avec une spécialisation en réseaux, télécommunications, informatique et ingénierie des affaires internationales, Yacir a intégré SPIE ICS en 2009. D'abord ingénieur avant-vente, il a ensuite pris la responsabilité des équipes d'architectes. Responsable Design & Innovation Digital Work Place au sein de la direction d'activité Ile-de-France, il participe aux communautés de réflexion et d'innovation autour des réseaux, l'automatisation et la digitalisation.

**RAZVAN STANICA,**  
Maître de conférences HDR, INSA Lyon

**YACIR MOULINE,**  
Responsable Design & Innovation  
Digital Work Place, SPIE ICS

# LORA



**OANA TEODORA IOVA,**  
Maître de conférences, INSA Lyon



## Historique

**LoRa (Long Range) est une technologie radio initialement développée et brevetée par la start-up grenobloise Cycléo en 2008,** qui a été rachetée par Semtech en 2012. Étant donné que LoRa est une technologie pure couche physique, Semtech propose le protocole LoRaWAN pour faciliter la communication entre les objets et pour acheminer les données jusqu'à un serveur applicatif.

Pour inciter une large adoption du protocole LoRaWAN et assurer l'interopérabilité entre les différents produits LoRa, Semtech a créé l'association LoRa Alliance. Cette association compte aujourd'hui plus de 500 membres dans tous les domaines. Elle est en charge de la certification accréditée et de la standardisation du protocole LoRaWAN.

## Technologie

**LoRa est une technologie radio basée sur une modulation propriétaire de type étalement de spectre, qui fonctionne en Europe dans la bande de fréquence 868 MHz.** En particulier, LoRa répartit les données sur une large bande et les envoie à des fréquences différentes, en dessous du niveau de bruit, résultant en une communication résistante aux interférences et intrinsèquement sécurisée.

LoRa dispose d'un ensemble de paramètres configurables spécifiques (facteur d'étalement, bande passante et taux de codage) qui offrent un compromis entre la distance de communication, le débit de données et la consommation d'énergie. Par exemple, un facteur d'étalement plus grand permet de couvrir une distance de communication plus importante mais c'est au détriment de la bande passante et, en conséquence, du débit et de la consommation énergétique.

**LoRaWAN définit un protocole de communication de type Aloha** dans lequel les objets communiquent de façon asynchrone : les données sont envoyées dès qu'elles sont disponibles, en respectant un cycle de transmission de 1 % du temps imposé par les règles européennes. Une voie descendante est alors mise à disposition par les objets à la fin de leur transmission, si l'application a besoin d'envoyer des données.

**Les réseaux LoRaWAN sont déployés dans une architecture étoile d'étoiles**, dans lequel les données transmises par les objets sont reçues par toutes les passerelles LoRaWAN à leur portée, qui acheminent ensuite les données à un serveur centralisé. Une fois que le serveur a filtré les messages reçus en double et a effectué les vérifications de sécurité, les données sont finalement envoyées au serveur applicatif.

## Performances

**LoRa permet une communication de très longue portée (plusieurs kilomètres) avec une faible consommation d'énergie** (18 mA @7 dBm).

Plus précisément, la distance de communication avec LoRa est d'habitude de 2 à 5 km en ville, mais avec des grandes variations en fonction de l'environnement : maximum 600 m dans une ville très dense avec des grands bâtiments<sup>[1]</sup>, et jusqu'à 15 km dans un environnement raréfié<sup>[2]</sup>.

## État courant (marché IoT)

**Parmi les nombreuses technologies disponibles aujourd'hui sur le marché, LoRa s'impose à l'échelle mondiale**, en partie grâce au travail fait par les nombreux membres de la LoRa Alliance. Semtech a accordé des licences sur ses brevets LoRa à STMicroelectronics et Microchip, contribuant à sa large adoption. Au niveau national, des opérateurs de télécommunications classiques comme Bouygues Telecom et Orange, mais aussi de nouveaux acteurs comme TTN, ont déployé plusieurs milliers de passerelles, chacun permettant la connexion de plusieurs centaines de milliers d'objets intelligents, pour accélérer l'innovation dans des domaines comme la ville intelligente, l'environnement ou le transport.

## Améliorations

**Alors que la modélisation, le déploiement et l'optimisation des réseaux fournissent de nombreux outils et méthodologies pour les réseaux locaux ou les réseaux cellulaires, il n'existe à ce jour aucune étude approfondie sur les réseaux de type LoRaWAN**, afin de fournir des règles de déploiement et d'ingénierie pour optimiser leurs usages. Nous manquons d'une compréhension en profondeur de tous les facteurs qui ont un impact sur la connectivité, la fiabilité du réseau et les performances applicatives, dans un environnement rendu encore plus difficile par l'hétérogénéité des objets intelligents existants sur le marché, par les contraintes applicatives, et par la spécificité de chaque site de déploiement. Cela remonte encore plus de questions sur le passage à l'échelle des réseaux LoRaWAN, la coexistence de plusieurs réseaux de ce type dans la même zone géographique et la coexistence dans le même spectre radio avec d'autres technologies. ●

[1] P. J. Radcliffe, K. G. Chavez, P. Beckett, J. Spangaro and C. Jakob, «Usability of LoRaWAN Technology in a Central Business District,» 2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Sydney, NSW, 2017, pp. 1-5.

[2] J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen and M. Pettissalo, «On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology,» 2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), Copenhagen, 2015, pp. 55-59.

# SIGFOX



**CLAIRE GOURAUD,**  
Maître de conférences HDR, INSA Lyon

## Historique

**SigFox est une startup toulousaine, fondée en 2009. Sa création a donné lieu au premier opérateur dédié à l'internet des objets.** Pour cela, l'entreprise a développé et mis en œuvre la technologie *UNB (Ultra Narrow Band)*. Par définition, les systèmes UNB occupent une très petite partie du spectre pour la transmission d'un signal. Cette largeur de bande (typiquement quelques centaines de Hz) est très petite devant la bande passante du canal. Le premier système de ce type, basé sur la modulation VMSK (Very Minimum Shift Keying), a été proposé en 2004<sup>[1, 2]</sup>. L'objectif était de compresser la transmission de la donnée dans une bande la plus petite possible. Cependant, en pratique, cette technique n'a pas permis d'atteindre la très faible occupation annoncée<sup>[3, 4]</sup> et SigFox a proposé une autre approche, propriétaire.

[1] H. R. Walker. In: <http://www.vmsk.org>

[2] Shikai Zhang. "Spectrum analyses of UNB modulation formats", 3<sup>rd</sup> International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2013, pp. 594–597.

[3] P. Karn. The VMSK Delusion. last accessed September 2019. URL: <http://www.ka9q.net/vmsk/>

[4] Chen Xiaoyi, Yao Qingdong, Liu Xiaocheng. "The VMSK modulation delusion", Journal of Electronics and Information Technology, 11 (2003), p. 018.

## Technologie

**La couche physique UNB utilisée par SigFox est basée sur une modulation D-BPSK pour transmettre les données à un débit très faible** (100 b/s ou 600 b/s, selon les pays), dans la bande ISM de 868 MHz. Le signal transmis occupe donc une bande de 100 Hz environ autour de la porteuse, à l'intérieur d'une bande disponible de 192 kHz. Cette très faible occupation spectrale, qui est en rupture avec les autres systèmes existants, confère aux transmissions UNB SigFox deux avantages :

- la puissance de bruit perçue par le récepteur étant proportionnelle à la bande occupée, elle est dans ce cas très faible. Ainsi, le niveau de sensibilité du récepteur est fortement abaissé ce qui permet d'étendre la couverture ;
- le canal de transmission peut être modélisé avec du *fading plat*, permettant de réaliser plus facilement l'égalisation au récepteur.

**L'accès au canal se fait de façon aléatoire en temps (protocole Aloha), mais aussi en fréquence, conduisant à un protocole nommé RFTDMA**

(*Random Frequency and Time Division Multiple Access*). La spécificité de l'UNB est qu'il n'y a pas de canaux fréquentiels disjoints de transmission, mais que le signal est transmis à une fréquence choisie aléatoirement dans un espace continu. En effet, l'imprécision intrinsèque des oscillateurs introduit dans tous les systèmes une incertitude sur la valeur réelle de la porteuse. Cette imprécision, négligeable dans les autres systèmes, conduit à un continuum statistique de fréquences porteuses, rendant plus difficile l'écoute malveillante des messages transmis.

D'autre part, afin de garantir un service de haute qualité, deux techniques de diversité sont utilisées :

- de canal : les messages sont transmis 3 fois à des fréquences différentes ;
- spatiale : contrairement aux réseaux cellulaires, les messages sont décodés par toutes les stations de base à portée et les doublons sont ensuite traités dans le réseau cœur.

Enfin, après transmission du message, une voie descendante est disponible si besoin.

## Performances

**L'UNB permet d'assurer une très grande couverture avec une seule station de base (plusieurs dizaines de kilomètres), avec une faible consommation d'énergie.** En théorie, en espace libre, le bilan de liaison permet d'évaluer la couverture à plusieurs centaines de kilomètres, mais, en environnement réel, la portée observée est de 60 km. D'autre part, le faible encombrement spectral permet la transmission simultanée d'un très grand nombre de nœuds, répondant ainsi au besoin du marché IoT. Enfin, la faible occupation spectrale rend aussi la technologie résistante au brouillage, caractéristique incontournable dans la bande ISM.

## État courant

**SigFox a été le premier opérateur à déployer un réseau dédié IoT. La société est maintenant implantée dans 65 pays** (avec 2 000 antennes), principalement en Europe et Amérique du Nord, et une ouverture est prévue en Inde, Russie et Chine. L'entreprise a permis la communication de 30 millions d'objets en 2019 et vise le milliard en 2023. D'autre part, grâce à la couverture internationale proposée, de nombreux partenariats ont pu être mis en place avec des multinationales (suivi de bagages, gilet de sauvetage connecté, support logistique), ainsi qu'avec un opérateur national (SFR).

## Améliorations

Le réseau est déjà opérationnel et propose une excellente qualité de service, en particulier grâce au choix approprié de couche physique et aux techniques de diversité utilisées. Il est néanmoins possible de rendre le système encore plus robuste en tirant encore mieux parti de la diversité spatiale. En effet, cette diversité est exploitée au niveau message, alors qu'elle pourrait apporter encore plus de gain si elle était réalisée au niveau couche physique. D'autre part, l'ouverture de SigFox aux communications satellites crée de nouvelles perspectives à étudier. ●



# NB-IOT



**JEAN MARIE GORCE,**  
Professeur des universités, INSA Lyon

## Historique

**NB-IoT (*Narrow Band Internet Of Things*) est une technologie radio développée par le 3GPP, initiée en septembre 2015, pour offrir un service de type LPWAN dans les bandes radio des réseaux cellulaires.** Elle a été intégrée dès la Release 14 de LTE, sous le nom NB1. Les protocoles NB-IoT et LTE-M (LTE pour communications *machine-to-machine*) sont des protocoles conçus par le 3GPP pour offrir un accès dédié IoT dans le contexte des réseaux cellulaires. Ils sont également identifiés sous le nom de *Cellular IoT*. LTE-M vise des débits de l'ordre de 1 Mbit/s, alors que le NB-IoT vise des débits de quelques dizaines de kbits/s. Cependant, NB-IoT offre une meilleure couverture et une plus grande portée, en particulier grâce à l'usage de bandes de fréquence étroite.

NB-IoT est déployé en Chine depuis 2017 et en France depuis début 2019. NB-IoT est un protocole dit 5G-ready, il est donc compatible avec le développement de la 5G. Attention cependant, dans l'état actuel du NB-IoT, les garanties en termes de latence et de fiabilité ne répondent pas aux exigences des communications à faible latence très fiables (URLLC), prévues par la 5G.

## Technologie

**NB-IoT est une technologie radio basée sur l'exploitation d'une bande étroite de 200 kHz, dans l'une des fréquences radio standardisées pour le cellulaire.** NB-IoT peut fonctionner en mode *stand-alone*, dans les bandes de garde ou dans une sous-bande réservée de la LTE. NB-IoT peut également être déployée en *stand-alone* dans la bande GSM (2G), de moins en moins utilisée pour les communications mobiles. Ces différentes options permettent aux opérateurs d'optimiser l'utilisation de leurs ressources radio entre les applications mobiles et l'IoT. NB-IoT est spécialement conçu pour les applications à très faible consommation et à faible trafic (typiquement quelques paquets par jour), ne nécessitant pas de rester en mode connecté<sup>[1]</sup>.

**NB-IoT utilise une largeur de bande équivalente à un bloc de ressources (RB) au sein d'une trame OFDMA de la LTE.** La modulation de base est une modulation OFDM, mais restreinte à un seul bloc, voire une seule porteuse. La fiabilité est assurée par des mécanismes de retransmission multiple et par la technique H-ARQ, qui permet d'adapter la retransmission au canal de façon simple.

L'exploitation d'une bande étroite permet d'améliorer la couverture, et l'utilisation des fréquences GSM garantit également une très bonne pénétration dans les bâtiments.

L'accès au médium n'est pas direct et nécessite de passer par un canal d'accès aléatoire, pour la réservation de ressources.

## Performances

**NB-IoT concurrence directement les technologies LoRa et Sigfox<sup>[2]</sup>,** en visant des communications de très longue portée (plusieurs kilomètres) et une très faible consommation d'énergie. Les raffinements proposés en Release 15 du 3GPP visent à réduire la consommation de puissance des objets connectés, tout en garantissant une bonne connectivité et à améliorer l'efficacité spectrale lorsque le lien radio est bon.

## État courant (marché IoT)

**Parmi les nombreuses technologies disponibles aujourd'hui sur le marché, NB-IoT est bien positionnée en offrant une couverture à large échelle des nœuds.**

NB-IoT peut bénéficier de l'infrastructure cellulaire 2G et 4G existante, ce qui en facilite le déploiement.

## Améliorations

Intégrées dans les standards LTE à partir de la Release 14, les améliorations proposées par les *releases* suivantes portent en particulier sur l'augmentation de la couverture (cellules de plus de 100 km de rayon), la réduction de la latence (par l'émission immédiate de données dans les canaux d'accès) et de la puissance nécessaire.

Le NB-IoT, comme le Cat-M, est intégré dans la 5G et est donc appelé à se développer. S'intégrant dans la technologie d'accès des réseaux cellulaires, le développement de la couverture nationale et internationale est garanti. ●

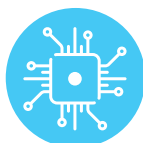
[1] Azari, A., Stefanović, Č., Popovski, P., & Cavdar, C. (2019). On the Latency-Energy Performance of NB-IoT Systems in Providing Wide-Area IoT Connectivity. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*.  
[2] Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT express*, 5(1), 1-7



# Une Chaire IoT pour

# IMAGINER LES USAGES DE DEMAIN

## 4 axes de recherche



Déploiement de masse et logiciels embarqués pour l'IoT



Sécurisation et respect de la vie privée



Architecture de réseaux cognitifs



Objets connectés : low energy, zero battery

---

**01 juillet 2016** : signature officielle de la Chaire IoT

---

## 1 partenariat

SPIE et INSA Lyon, porté par la Fondation INSA Lyon

---

## 1 écosystème de partenaires

ADIRA, BOSCH, CA3B, EGIS, FFSTAR, IRT SystemX, Métropole Grand Lyon, MINALOGIC, RTONE, SIDD, SITIV, Visioglobe

---

## 3 ans de production et de transmission

### 20 publications

(18 conférences, 1 journal, 1 thèse)

### 38 missions,

dont 1 mobilité longue à Princeton

### 3 plateformes

- LoRa (2 antennes gateways)
- YOUPI (20 nœuds gateway/Edge IoT, 1 cloud)
- UrPolSens (12 capteurs de qualité de l'air)

### 1 plateforme exploratoire : SCENE

(prévision 5 capteurs parking, 20 capteurs QVT, 2 clouds)

### 1 école d'hiver européenne IoT

avec 30 participants

### 9 recrutements au sein de la Chaire

(7 doctorants, 1 ingénieur, 1 stagiaire)

### 28 diplômés INSA Lyon recrutés chez SPIE,

10 apprentis et 21 stagiaires depuis 2016

# À PROPOS...

## ... de SPIE ICS

Filiale de services numériques de SPIE France, SPIE ICS est spécialisée dans les services liés aux infrastructures ICT, depuis l'environnement utilisateurs jusqu'au data center. Sa vocation est de « co-construire » avec ses clients ETI et grands comptes des services innovants adaptés à leurs métiers, pour accompagner la transformation digitale et simplifier l'expérience du numérique.

## ... de SPIE France

SPIE France filiale du groupe SPIE, est un acteur majeur de la transition énergétique et numérique. Ses cinq filiales interviennent sur quatre marchés stratégiques : e-efficient Buildings, Smart City, Energies et Smart Industry.

## ... de SPIE

SPIE est le leader européen indépendant des services multitechniques dans les domaines de l'énergie et des communications.

[www.spie.com](http://www.spie.com)  
[@spieicsfrance](https://twitter.com/spieicsfrance)  
[@spiegroup](https://twitter.com/spiegroup)

## ... de l'INSA Lyon

L'INSA Lyon est l'une des plus Grandes Écoles d'ingénieurs françaises. Pluridisciplinaire, internationale, elle forme en cinq ans des ingénieurs pluricom pétents, humanistes, innovants et dotés d'un esprit entrepreneurial. Premier des INSA, créé en 1957 avec une ambition d'ouverture sociale, l'INSA Lyon diplôme plus de 1000 ingénieurs par an dans 9 spécialités, et délivre environ 150 doctorats par an et une centaine de mastères. L'INSA Lyon est, avec 770 enseignants, enseignants-chercheurs et chercheurs et 23 laboratoires, un pôle de recherche internationalement reconnu.

[www.insa-lyon.fr](http://www.insa-lyon.fr)  
[@insadelyon](https://twitter.com/insadelyon)

## ... du laboratoire CITI

Le CITI, Centre of Innovation in Telecommunications and Integration of Service, est un laboratoire académique associé à l'INSA Lyon et à l'INRIA.

Ses domaines de recherche relèvent des sciences du traitement de l'information, des réseaux et des communications pour adresser les problèmes liés au développement de l'internet des objets. Ces réseaux planétaires d'objets fournissent un continuum numérique pour lequel le laboratoire CITI propose des architectures hétérogènes de communication sans fil incluant la mobilité, différents protocoles d'accès, des systèmes embarqués autonomes, des services distribués ubiquitaires et adaptables.

[www.citi-lab.fr](http://www.citi-lab.fr)  
[@citi\\_lab](https://twitter.com/citi_lab)



[www.spie-ics.com](http://www.spie-ics.com)

---

## SPIE ICS

148, avenue Pierre Brossolette  
92247 MALAKOFF Cedex  
Tél. : +33 (0)1 41 46 41 46  
Fax : +33 (0)1 41 46 41 47

## INSA Lyon

20, avenue Albert-Einstein  
69100 VILLEURBANNE  
Tél. : +33 (0)4 72 43 83 83  
Fax : +33 (0)4 72 43 85 00