

<b>Objectifs</b>	- Comprendre et mettre en œuvre le protocole de liaison série SPI
<b>Prérequis</b>	- Aucun
<b>Ressources à disposition</b>	- Ce document
<b>Capacité / compétences visées</b>	- S7 Réseaux, télécommunications et modes de transmission - S7.3 Protocoles de bas niveau : Liaisons RS232C, RS485, SPI, etc. - S7.4 Transmission sans fil

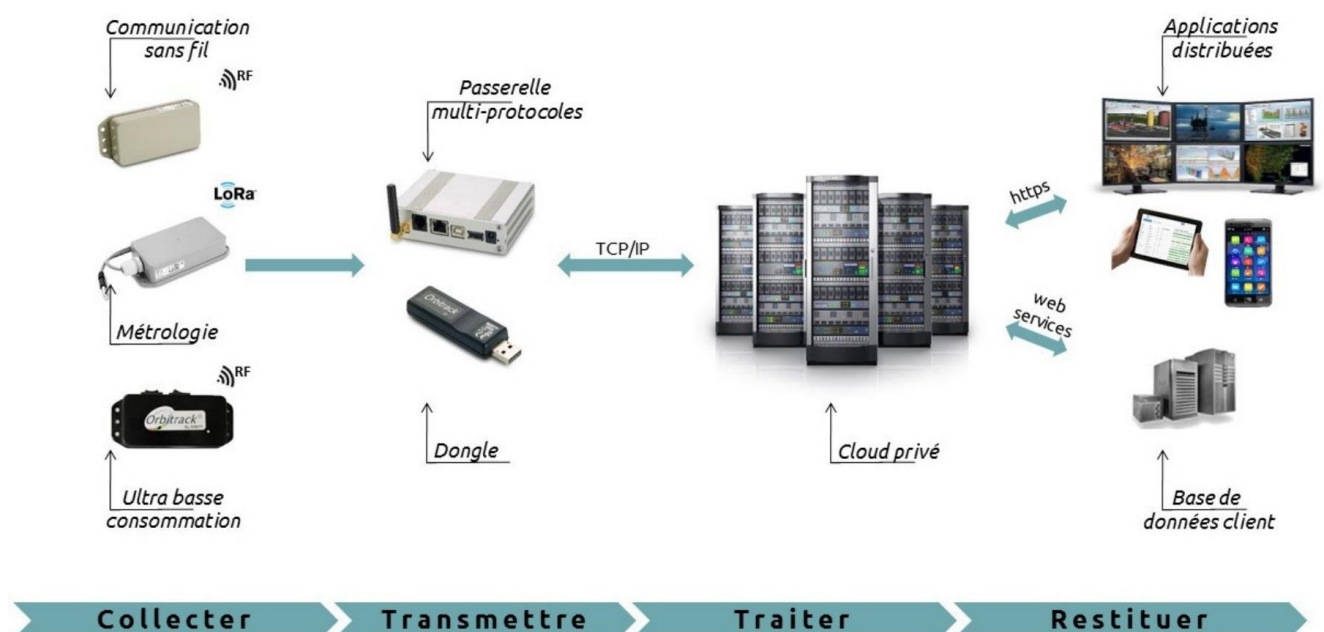
## 1 Introduction

**LoRa** (Long Range – réseau étendu à longue portée) est le nom donné à une technologie de modulation à étalement de spectre inventée en 2010 et brevetée en 2012 par la startup française Cycleo. Cette entreprise grenobloise a été rachetée par le fabricant américain de semi-conducteur Semtech pour 5 millions de dollars. C'est la partie propriétaire de la technologie.

**LoRaWAN** décrit un protocole de transport qui utilise la modulation **LoRa**. Cette couche est open-source et relativement bien documentée. Cette récente technologie est au centre de l'actualité et de toutes les attentions puisque Semtech a trouvé des investissements à hauteur de 50 millions de dollars et la technologie a été bien accueillie au CES 2017. La technologie concurrente Sigfox a levé quant à elle 150 millions de fonds.

### 1.1 Les réseaux IOT

Voici un schéma qui résume les quatre grandes étapes de la communication d'un réseau IOT.



Dans l'IOT, on considère souvent des objets (capteurs) qui ont des contraintes matérielles et logicielles qui ne leur permettent pas de se connecter directement au réseau Internet. Ils s'y connectent à travers une passerelle (gateway). En effet, d'un côté internet n'est pas dimensionné pour gérer l'adressage d'autant d'objets connectés. D'un autre côté l'ipv6 est un protocole souvent trop lourd pour être exploité directement par les capteurs.

Les réseaux qui les connectent doivent aussi répondre à ces besoins et également être très économiques. En comparaison, le réseau des opérateurs télécom utilisant les réseaux cellulaires pour transmettre quelques octets de données par capteur coûtent très cher. De plus, le réseau 2G est en cours d'extinction. Ceci offre une opportunité pour développer des réseaux sans fils Machine↔Machine à longue portée, basse énergie et très bas débit qui coûtent beaucoup moins cher que les réseaux cellulaires.

## 2 La couche physique LoRa

### 2.1 Les techniques d'accès à la ressource radio

Deux techniques sont utilisées, **la bande étroite** (narrowband) et **l'étalement de spectre** (spread spectrum).

Avec une **modulation en bande étroite** (moins de 25 kHz), il est possible de loger de nombreux canaux de communication à l'intérieur d'une bande de fréquences donnée. Le niveau de bruit étant directement lié à la largeur du spectre, le rapport signal/bruit augmente, ce qui facilite la démodulation au niveau du récepteur. Sigfox et Telensa utilisent des techniques à bandes très étroites de type UNB (ultra narrow band) de l'ordre de 100 Hz. De telles largeurs ont pour effet de diminuer le débit, donc d'augmenter les temps de transmission, mais en contrepartie le nombre d'objets connectés peut être plus important. Chaque objet utilisera un canal différent pour communiquer. On parle alors de FDMA (Frequency Division Multiple Access).

Pour augmenter le nombre d'objets connectés et sachant que la quantité d'information à transmettre est faible, chaque canal pourra être utilisé par différents objets à tour de rôle. On parle alors de TDMA (Time Division Multiple Access).

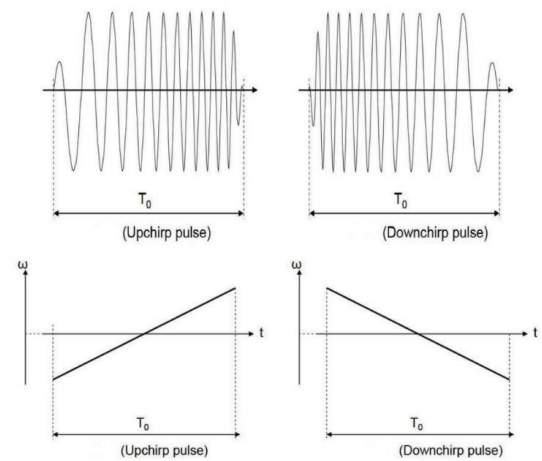
**L'étalement de spectre** est une technique de transmission dans laquelle un signal est transmis sur une largeur spectrale plus grande que s'il était transmis de manière classique, tout en restant à puissance égale. Le signal transmis peut alors se noyer dans un bruit ambiant et devient plus difficile à espionner. Le principe même d'étalement par codage rend le signal plus résistant aux interférences et aux attaques. Chaque signal utilisant toute la bande de fréquence disponible se superpose aux signaux provenant d'autres objets connectés. Ces signaux sont différenciés au niveau du récepteur par leur code ou séquence d'étalement différente. On parle alors de CDMA (Code Division Multiple Access)

### 2.2 Théorie de la modulation LoRa

Deux documents officiels publiés par Semtech nous aident à étudier LoRa: la spécification du brevet déposé et l'Application Note 1200.22. Cependant il faut prendre ces informations avec prudence car il n'y a aucune garantie que le protocole réel corresponde parfaitement à ce qui est décrit. En effet les imprécisions de la documentation fournie par Semtech servent peut-être à offusquer le fonctionnement réel pour protéger cette technologie.

La modulation de LoRa est une modulation à base de Chirps (gazouillis) fréquentiels, la fréquence évoluant linéairement dans les canaux.

L'évolution de ce signal est toujours strictement croissante ou décroissante et linéaire au cours du temps. Cela rend la transmission très résistante aux interférences tout en restant peu gourmande en énergie. Cette modulation de fréquence est également utilisée par les Radars. La fréquence est généralement étendue sur une bande passante de 125kHz. La robustesse du signal est vitale pour les technologies émettant dans les bandes ISM déjà très encombrée. En effet la bande de fonctionnement typique de LoRa en Europe est 868MHz. On peut également communiquer sur les bandes 915MHz et 433MHz.



En faisant varier la vitesse de montée et/ou de descente de cette modulation en fréquence du signal, on peut envoyer plusieurs bits en même temps. Ce n'est donc plus une transmission en bande de base. À chaque période on envoie ainsi 4 à 12 bits ensemble, on appelle cela un symbole.

Avant de transmettre les symboles, LoRa ajoute 2 étapes importantes :

- Le signal est mélangé avec une séquence de bruit blanc connue pour ajouter de l'entropie (whitening)
- Entrelacement entre les bits de la trame et les bits de détection et de correction d'erreur (interleaving & error coding)

## 2.3 Distance de transmission, Portée

La modulation LoRa permet de capter des signaux avec un rapport signal sur bruit inférieur à 1. On peut par exemple avoir un rapport signal à bruit de -20dB.

Un modem LoRa a une portée de 15km en milieu rural et 3km maximum en milieu urbain dense.

## 2.4 Le modem SX1276 de Semtech

Ce modem est un SOC (System On a Chip) et peut donc, programmé, piloter seul un petit ensemble de capteurs et d'actionneurs.

La communication avec un microcontrôleur s'effectue via un bus SPI.

### Principales caractéristiques :

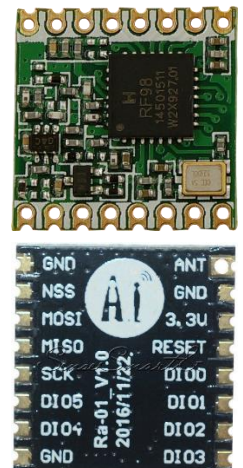
Frequency Range : 137MHz to 1020 MHz

Bandwidth : 8kHz to 500 kHz

Effective Bitrate : 18bps to 37.5kbps

Estimated Sensitivity : -111 to -148 dBm

Half-duplex



### 2.4.1 Consommation

Le SX1276, un module de transmission LoRa et alimenté en 3V3 consomme 125mA en transmission et 10mA en réception. S'il émet pendant 200 ms et écoute 200 ms avant de s'éteindre toutes les heures, alors on a comme puissance moyenne consommée sur une heure :

$$P_{conso} = \frac{200 \times 10^{-3} \times 125 \times 10^{-3} \times 3.3 + 200 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3} \times 3.3}{3600}$$

$$P_{conso} = 25 \mu W$$

### 3 Les aspects réglementaires

En Europe, la norme EN 300 220 V2.1.1 est stricte. La bande ISM 868MHz est publique mais son occupation est réglementée par la notion de Duty Cycle.

Définition du Duty Cycle : temps d'utilisation cumulé du spectre autorisé sur une heure glissante.

Exemple: si un device parle sur la bande 868 – 868.6 MHz il dispose de 1% du temps soit en cumulé 36s par fenêtre d'une heure glissante.

- si un device parle 36s il doit attendre une heure avant de parler
- un device peut parler 6s toutes les 10min soit 144 fois par jour
- le temps d'utilisation continu ne peut excéder 1s
- pour chaque spectre de 200kHz un device ne peut excéder en cumulé plus de 100s par heure
- la durée limite pour un dialogue lors d'une transmission ou une séquence de polling ne peut excéder 4s
- la durée minimum entre deux transmission doit être de 100ms
- le temps mort maximum dans une transmission ne doit pas excéder 5ms

### 4 La couche transport LoRaWAN

Contrairement à SIGFOX, LoRa est un réseau ouvert. Toute entreprise peut créer son propre réseau, en installant une antenne communiquant via Internet (par câble, wifi, 3G...) avec une station de base émettant en France sur la bande 868MHz. Le réseau LoRa est en cours de déploiement en France par Orange et Bouygues (via sa filiale Objenious) en commençant par les zones les plus peuplées (couverture nationale prévue pour fin 2017). Objenious couvre également 23 états aux USA. Des discussions ont en-cours pour étendre le service au niveau européen, en particulier en Allemagne.

LoRaWAN utilise la modulation LoRa pour transmettre et router les messages.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) est la couche de contrôle d'accès au média pour le protocole LoRa. La spécification de la première version a été publiée en janvier 2015.

LoRaWAN est compatible avec plusieurs options mais très peu sont obligatoire. Le chiffrement de bout en bout par exemple est supporté mais nullement obligatoire.

De manière native, les end-device changent automatiquement de canal dans la bande ISM données pour être plus robuste aux interférences. Dans la bande des 868MHz par exemple, LoRaWAN décrit 3 canaux sont disponibles. En Europe, il faut faire attention au « maximum transmit duty cycle » qui est réglementé et qui ne doit pas dépasser 1 % pour les end-devices.

