


<b>Technologie Lorawan</b>	
	
<b>Sommaire :</b>	
<i>I - Introduction.....</i>	<i>1</i>
I.1. Présentation de Lora et de LoraWan.....	1
I.2. Structure d'un réseau LoraWan.....	2
<i>II - LoraWan en détail.....</i>	<i>2</i>
II.1. LoraWan et le modèle OSI.....	2
II.2. Modulation à spectre étalé.....	4
II.3. Facteur d'étalement, Data Rate et canaux.....	5
II.4. Transmission radio.....	5
<i>III - Les devices Lorawan.....</i>	<i>7</i>
III.1. Les types de trames LoraWan.....	7
III.2. Les classes des devices LoraWan.....	7
III.3. Activation d'un équipement LoraWan.....	8
<i>IV - Limitations de LoRaWan.....</i>	<i>9</i>
<i>V - Les réseaux et les serveurs LoRaWan.....</i>	<i>10</i>
V.1. Présentation.....	10
V.2. Les réseaux LoRaWan d'opérateurs publics.....	10
V.3. Les réseaux LoRaWan privés.....	10

## I - Introduction

### I.1. Présentation de Lora et de LoraWan

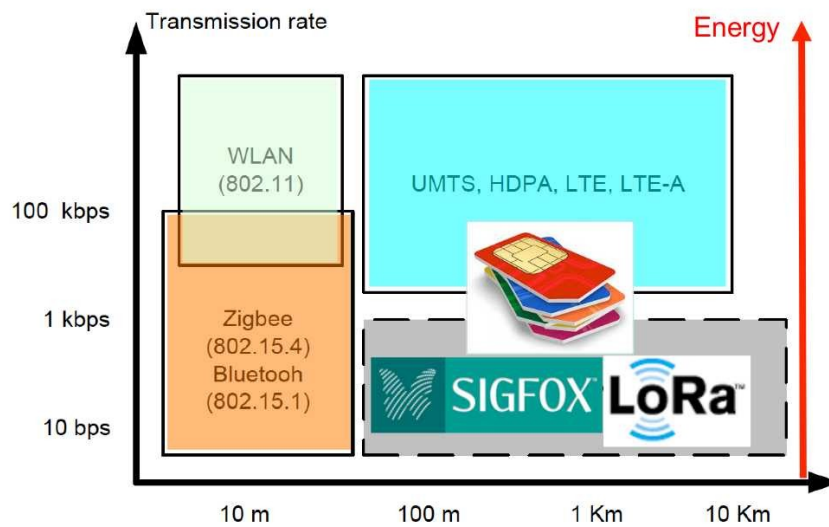
**LoRa** est une technologie radio développée en France, permettant d'émettre et recevoir des messages à **868 MHz**. Son nom vient de l'anglais "**Long Range**" signifiant "longue portée", car la technologie employée permet d'émettre sur **2 à 15 kms**.

Elle est également basse consommation, bidirectionnelle, et permet de sécuriser les données. La combinaison de la faible consommation et de la longue portée limite le débit de données maximal à 50 kilobits par seconde (Kbps). Tous ces avantages en font une technologie idéale pour faire de l'**IoT** ("**I**nternet **o**f **T**hings", Internet des Objets).

La technologie **LoRaWAN** (**L**ong **R**ange **W**ide **A**rea **N**etwork) est une architecture réseau associée à la technologie **LoRa**, habituellement pour mettre en œuvre des topologies en étoile où des **passerelles** (gateways) relayent les messages entre les dispositifs terminaux et le serveur central. Cette gateway est un élément supplémentaire qui devra soit être acheté chez un opérateur **LoRa**, soit dans notre cas être fabriqué avec un **Chistera-Pi**.

La technologie **LoRaWAN** est une technologie concurrente à **Sigfox** dans le sens où elle répond quasiment au même besoin : Envoyer des petits messages à longue distance tout en étant économe en énergie.

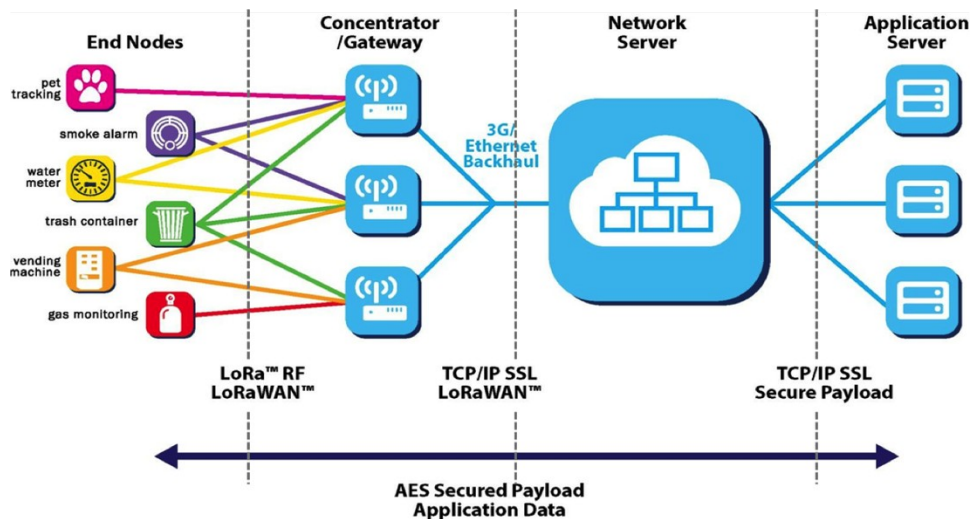
Sur la figure suivante, on peut comparer les différentes technologies sans fil en terme de débit, distance et énergie :



De nombreux opérateurs déploient un réseau **LoRaWAN** comme **Orange**, **Objenious** et **StartInPoste** en France. L'originalité de **LoRaWAN** est que le coût d'une station de base est très faible ce qui permet de développer un réseau privé pour une entreprise ou un réseau communautaire pour des particuliers. Le plus gros réseau **communautaire** qui se développe actuellement est le réseau de "The Thing Network" une entreprise néerlandaise.

### 1.2. Structure d'un réseau LoraWan

La structure d'un réseau **LoRaWan** est décrite ci-dessous :



Les **nœuds** ou **devices** échangent des données avec les **passerelles** en utilisant la couche radio **LoRa** et le protocole **LoRaMAC**.

Les **passerelles** sont connectées à Internet ou sur un réseau privé en **3G**, **Ethernet**, **Wifi** ou autres. Elles regroupent les messages et les transfèrent sur le **serveur de données**.

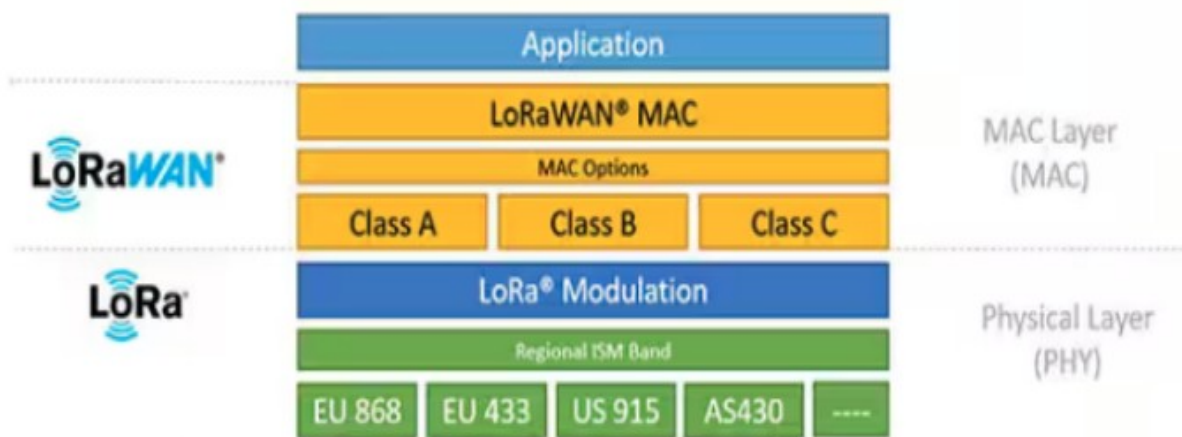
Contrairement à **SigFox**, il est tout à fait possible de créer un réseau privatif **LoRaWAN** en installant ses propres passerelles connectées à un serveur privé.

## II - LoraWan en détail

### II.1. LoraWan et le modèle OSI

Comme le montre la figure ci-dessous, **LoRa** intervient sur la **couches 1** du modèle **OSI** et **LoRaWan** intervient sur la **couches 2**.

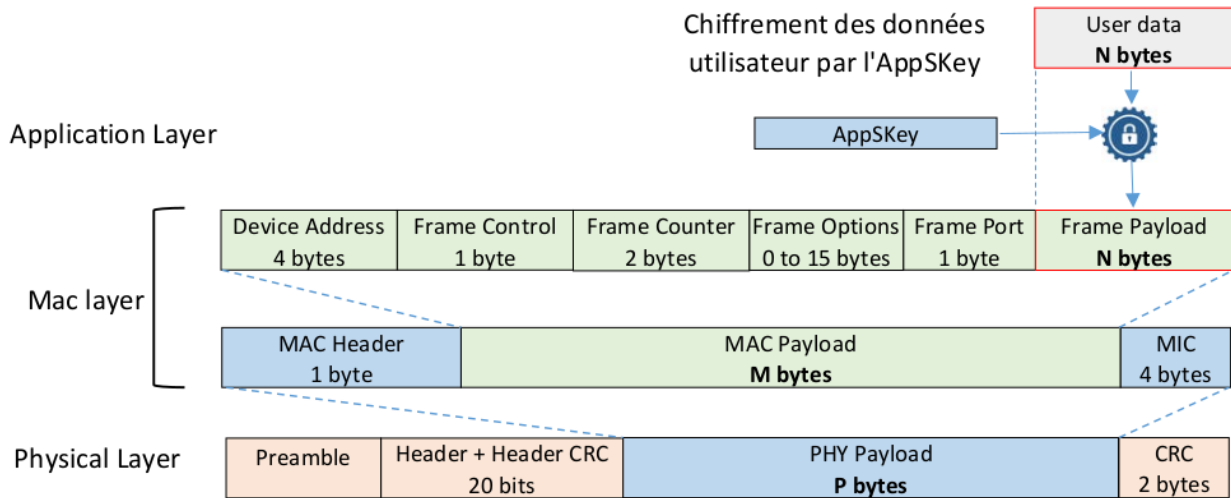
**LoRa** s'appuie sur la **modulation à spectre étalé (SSM)** constituant la **couche 1**. La modulation utilise les bandes radio **ISM** (Industrial, **S**cientific and **M**edical) **868 MHz** en **Europe**.



Les deux fréquences les plus utilisées sont **868 MHz** en Europe et **915 MHz** en Amérique du Nord. D'autres régions, notamment l'Asie, répondent à d'autres exigences :

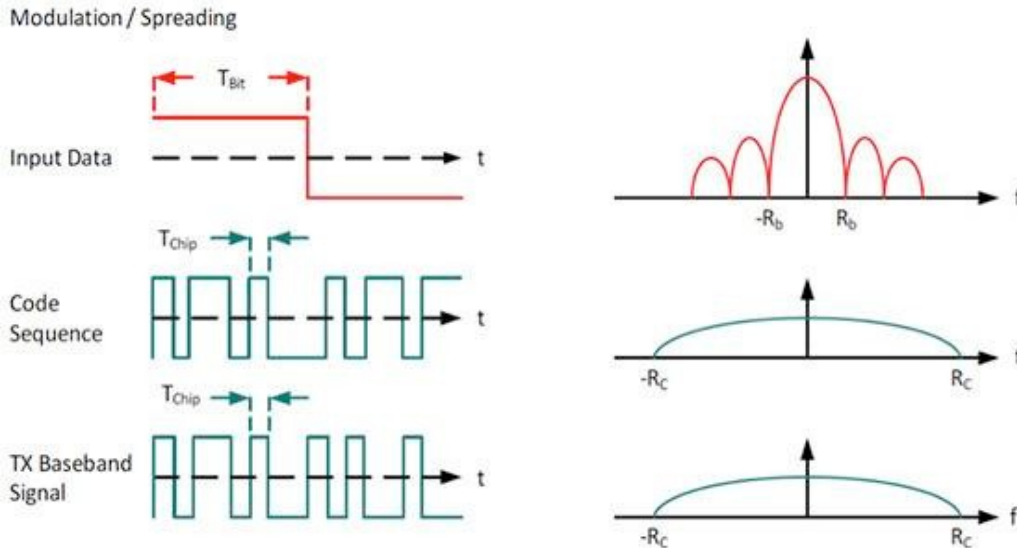
	Europe	Amérique du Nord
<b>Bande de fréquences</b>	867-869 MHz	902-928 MHz
<b>Canaux</b>	10	64 + 8 + 8
<b>Bande passante de canal montant</b>	125/250 kHz	125/500 kHz
<b>Bande passante de canal descendant</b>	125 kHz	500 kHz
<b>Puissance d'émission montante</b>	+14 dBm	+20 dBm typ. (+30 dBm autorisée)
<b>Puissance d'émission descendante</b>	+14 dBm	+27 dBm
<b>Facteur d'étalement montant</b>	7-12	7-10
<b>Débit de données</b>	250 bps - 50 kbps	980 bps - 21,9 kbps
<b>Bilan de liaison montante</b>	155 dB	154 dB
<b>Bilan de liaison descendante</b>	155 dB	157 dB

Le détail de l'ensemble de la **trame LoRaWan** est décrit ci-dessous :



## II.2. Modulation à spectre étalé

La couche physique de **LoRa** utilise la modulation à spectre étalé (**SSM**). La modulation **SSM** code le signal de base avec une séquence de fréquence supérieure pour diffuser automatiquement le signal de base sur une bande passante plus large, ce qui permet de réduire la consommation énergétique et d'augmenter la résistance aux interférences électromagnétiques.



Le schéma **LoRa** se base sur une variante **SSM** appelée **CSS** « modulation à spectre étalé à compression d'impulsions ou **Chirp Spread Spectrum** ». La modulation **CSS** code les données avec une compression d'impulsions, qui est en fait le signal sinusoïdal modulé d'une fréquence large bande augmentant ou diminuant au fil du temps.

La modulation **CSS** convient bien aux applications à faible débit de données (< 1 Mbps) nécessitant une faible consommation énergétique. **IEEE 802.15.4a**, une autre norme bas débit, préconise l'utilisation de cette technique dans les réseaux sans fil personnels (LR-WPAN).

### II.3. Facteur d'étalement, Data Rate et canaux

Le **facteur d'étalement (SF** ou **Spreading Factor**) du signal de base est variable et nécessite un compromis. Pour une bande passante disponible donnée, un facteur d'étalement supérieur réduit le débit binaire, mais réduit également l'autonomie de la batterie en augmentant le délai de transmission. Un facteur d'étalement **SF** et une bande passante **BW** spécifiés donneront un débit binaire (Bit Rate) selon la formule suivante :

$$Bit\ Rate = SF \times \frac{BW}{2^{SF}}$$

**LoraWan** prend en charge six facteurs d'étalement (**SF7** à **SF12**) et trois bandes passantes différentes (**125 kHz**, **250 kHz** et **500 kHz**). Les facteurs d'étalement et les bandes passantes autorisés sont définis par les agences de réglementation régionales. L'Amérique du Nord, par exemple, spécifie une bande passante de 500 kHz et des facteurs d'étalement de 7 à 10.

La combinaison de **SF** et **BW** est appelée **DR (Data Rate)**. Dans la bande **EU868**, il est normalisé de **DR0** à **DR6** :

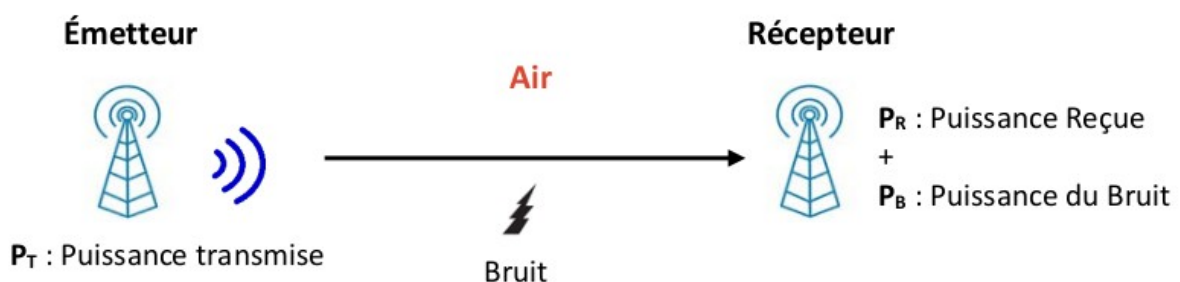
Data rate	Spreading Factor	Bande passante
DR 0	SF12	125 KHz
DR 1	SF11	125 KHz
DR 2	SF10	125 KHz
DR 3	SF9	125 KHz
DR 4	SF8	125 KHz
DR 5	SF7	125 KHz
DR 6	SF7	250 KHz

LoRa utilise différentes bandes de fréquence dans différentes parties du monde. En Europe, la bande utilisée est **868 MHz** (de 863 MHz à 870 MHz). Parmi cette bande, le serveur LoRaWan définit un plan avec un nombre de canaux et Data Rate à utiliser en uplink et downlink. Un Device LoRaWan doit connaître au moins les **trois canaux** suivants : **868,1 MHz**, **868,3 MHz** et **868,5 MHz** de **DR0** à **DR5**.

En plus de ce plan de fréquences obligatoire, le Network Serveur est libre de proposer d'autres canaux et DR au Device pendant la procédure de Join (**OTAA**). Lors de l'utilisation de l'**ABP**, le Device respectera uniquement les fréquences obligatoires.

### II.4. Transmission radio

Comme le montre la figure ci-dessous, un émetteur transmet un signal avec une puissance **P<sub>T</sub>**. Le récepteur récupère une fraction de cette puissance (**P<sub>R</sub>**), ainsi que du bruit (**P<sub>B</sub>**) :



- Le **RSSI (Received Signal Strength Indication)** est la puissance reçue  $P_R$ .
- La **sensibilité** est la puissance  $P_R$  minimale (ou **RSSI minimal**) qui doit être présente au niveau du récepteur afin de pouvoir réceptionner le signal. Si le **RSSI** reçu est inférieur à la sensibilité, alors le signal est indétectable.
- Le **SNR (Signal over Noise Ratio)** est le rapport entre la puissance reçue ( $P_R$ ) et la puissance du bruit ( $P_B$ ).

Toutes ces valeurs (RSSI, Sensibilité, SNR, ...) sont données en décibel. Un signal peut être correctement reçu si les deux conditions suivantes sont remplies :

- Le **RSSI** est supérieur à la sensibilité du récepteur.
- Le **rapport signal/bruit SNR** ne descend pas en dessous d'un certain seuil qui rendrait le signal impossible à détecter du côté du récepteur.

La capture ci-dessous provient de notre passerelle LoraWan :

```

▼ txInfo: {} 3 keys
  frequency: 868100000
  modulation: "LORA"
▼ ioRaModulationInfo: {} 4 keys
  bandwidth: 125
  spreadingFactor: 7
  codeRate: "4/5"
  polarizationInversion: false
▼ rxInfo: [] 1 item
▼ 0: {} 14 keys
  gatewayID: "b827ebfffe622870"
  time: "2022-04-13T07:57:25.140272Z"
  timeSinceGPSEPOCH: null
  rssi: -23
  ioRaSNR: 9.8
  channel: 0
  rfChain: 1
  board: 0
  antenna: 0
    
```

Les valeurs **RSSI = -23** et **SNR = 9,8** montrent que dans cet exemple, le signal reçu a une puissance élevée et a un très bon **SNR**. En effet, le Device LoRaWAN n'était qu'à quelques mètres de la Gateway pendant ce test.

Si l'on considère que le récepteur (ici la passerelle) a en moyenne une **sensibilité** de **- 80 dBm** alors le signal est correctement reçu car le **RSSI** (puissance reçue) est supérieur à la sensibilité : **- 23 dBm > - 80 dBm**.

**Remarque** : Le **dBm** est la puissance par rapport à **1 mW** : 0 dBm correspond à 1 mW :

Puissance en dBm	Puissance en mW
10 dBm	10 mW
+ 3 dBm	2 mW
0 dBm	1 mW
- 3 dBm	0,5 mW
- 10 dBm	0,1 mW

### III - Les devices Lorawan

#### III.1. Les types de trames LoraWan

Un **Device LoRaWAN** peut envoyer et recevoir des trames :

- **Uplink** : Trame **envoyée** par le Device
- **Downlink** : Trame **reçue** par le Device

Si une collision se produit, ou si la Gateway est en dehors de la zone de couverture, une trame peut ne pas atteindre le serveur LoRaWAN. Il peut être important pour un Device d'avoir une connexion plus fiable. Ainsi, on peut envoyer deux types de trames :

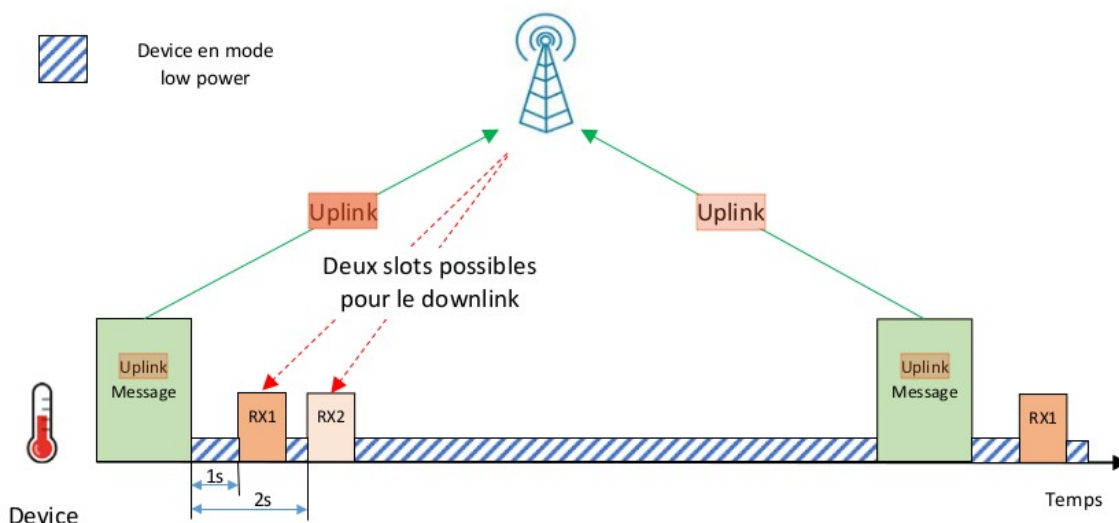
- **Unconfirmed** : Le serveur LoRaWAN n'envoie pas d'acquittement.
- **Confirmed** : Le serveur LoRaWAN envoie un acquittement.

Nous avons exactement le même comportement pour les trames en Downlink. Ainsi on peut envoyer deux types de trames :

- **Unconfirmed** : Le Device n'envoie pas d'acquittement.
- **Confirmed** : Le Device envoie un acquittement.

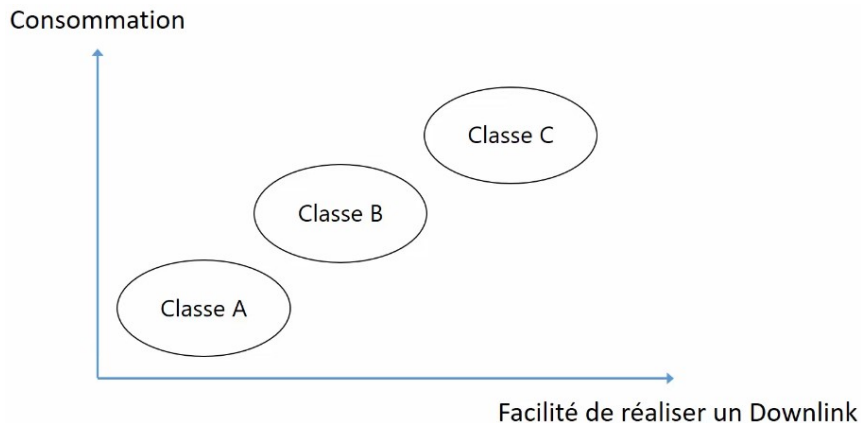
#### III.2. Les classes des devices LoraWan

Il existe 3 **classes** de devices **LoRaWAN** : **Classe A**, **Classe B** et **Classe C**. Ci-dessous le fonctionnement d'un device de **classe A** :



On retrouve 2 **slots** temporels **RX1** et **RX2** afin de recevoir les flux **Downlink** suite à l'envoi d'un flux **Uplink** par le device. Le reste du temps le device est en veille ce qui fait qu'il consomme peu mais il est donc injoignable durant toute la durée de mise en veille.

Les **classes B** et **C** sont aussi de **classe A** mais comportent des slots supplémentaires. La **Classe C** est joignable en permanence :



### III.3. Activation d'un équipement LoraWan

Avant toute communication à travers un réseau **LoRaWAN**, les équipements doivent obtenir les clés de session, en suivant une procédure d'activation au choix parmi deux méthodes :

- **Over-The-Air Activation (OTAA)** ;
- **Activation By Personalization (ABP)**.

#### 1. Activation OTAA

Pour activer un équipement sur le réseau par la méthode **OTAA**, l'équipement doit transmettre au réseau une demande d'accès : **join request**.

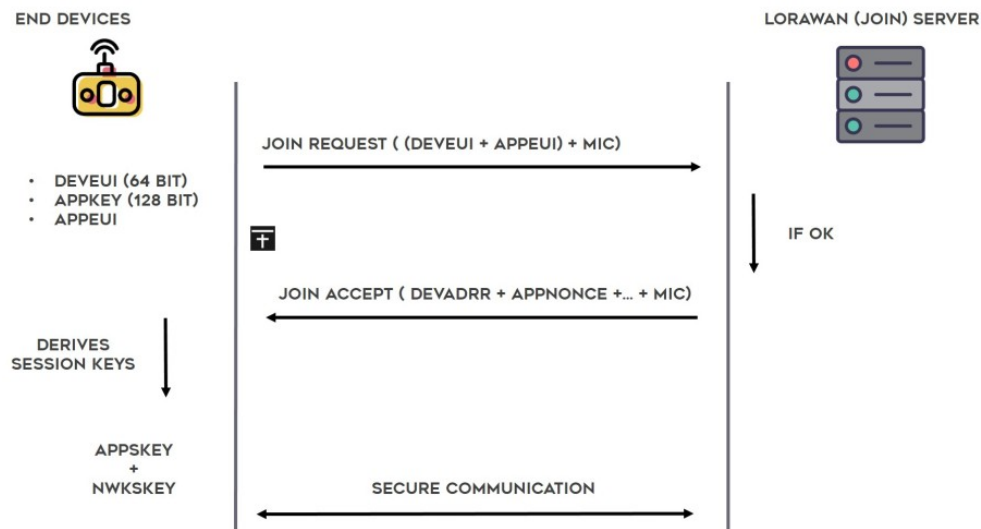
Pour ce faire, celui-ci doit être en possession de trois paramètres :

- Le **DevEUI**, identifiant unique (de type **EUI64**) de l'équipement (fourni par l'équipementier) ;
- **AppEUI**, identifiant du fournisseur de l'application (**EUI 64**) ;
- **AppKey**, clé **AES 128** déterminée par le fournisseur de l'application.

L'équipement envoie, à travers le réseau, la requête **join request**, contenant **DevEUI**, **AppEUI** ainsi qu'un **MIC** (**M**essage **I**ntegrity **C**ode : Champ d'intégrité) calculé via la clé **AppKey**. Cette requête est transmise au serveur d'enregistrement qui vérifie le **MIC** via la clé **AppKey** (qui lui a été communiquée au préalable). Si l'équipement est autorisé par le serveur d'enregistrement, la requête **join accept** est transmise en réponse à l'équipement.

Cette réponse contient des données à partir desquelles l'équipement va pouvoir calculer les clés de session (réseau et applicative). Parmi les données contenues dans cette réponse, se trouve également l'adresse Device Address (*DevAddr*) sur 32 bits. A chaque nouvelle session, les clés de session sont renouvelées.





## 2. Activation ABP

Pour la seconde méthode, **ABP**, les clés de session **NwksKey** et **AppSKey** ainsi que l'adresse de l'équipement (**DevAddr**) sont directement inscrits dans l'équipement **LoRaWAN**. Ainsi, l'équipement n'a plus besoin d'envoyer de requête avant de communiquer sur le réseau.

L'utilisation de cette méthode implique que les équipements communiquent avec un réseau spécifique car les clés de session sont connues par avance. Et contrairement à la méthode **OTAA**, les clés de session sont statiques.

En résumé, la méthode **OTAA** est plus complexe à implémenter que la méthode **ABP** mais offre un niveau de sécurité supérieur. Dans le cas d'un prototypage ou pour une utilisation sur un réseau connu, la méthode **ABP** suffit largement. Par contre, lorsqu'un déploiement à plus grande échelle est envisagé, il est conseillé d'utiliser la méthode **OTAA**, plus sécurisée et plus agile.

## IV - Limitations de LoRaWan

Avec la notion de partage des passerelles et cette liberté d'utilisation, vient l'importance d'un comportement raisonnable. L'élément de base pour un usage raisonné est le paramètre **air-time** (temps dans l'air), autrement dit le temps total de communication radio entre un nœud et une passerelle.

Sur la version communautaire de "**TTN : The Things Network**", la règle de base est de ne pas dépasser **30 secondes** sur une période de **24 heures** pour chaque **device**.

Le calcul de ce temps n'est pas simple puisqu'il dépend de la taille des messages et de la distance entre le nœud et la passerelle. Le débit est déterminé par la notion de **facteur d'étalement** ou **spreading factor** noté de **SF7** à **SF12**.

Par exemple, pour un message de **10 octets**, avec un facteur d'étalement **SF12**, la limite d'utilisation raisonnable est de **20 messages par jour**, mais sera de **500** en **SF7**. La communication **downlink** (d'une passerelle vers un nœud) est encore plus réduite et est limitée à **10 messages par jour**.

Pour ceux à qui cela ne convient pas, il est toujours possible de créer son propre serveur réseau et de se passer de **TTN**.

## **V - Les réseaux et les serveurs LoRaWan**

### **V.1. Présentation**

Nous avons le choix entre mettre en place toute l'infrastructure du réseau ou nous en remettre à un opérateur. Il existe trois possibilités pour l'architecture LoRaWan :

- Nous pouvons faire appel à des opérateurs publics qui disposent de réseaux opérationnels à l'échelle nationale.
- Nous pouvons construire notre propre réseau LoRaWan privé.
- Nous pouvons construire un réseau hybride en ne mettant en place qu'une partie de l'infrastructure.

### **V.2. Les réseaux LoRaWan d'opérateurs publics**

Les opérateurs publics proposent leur réseau LoRaWAN à l'échelle nationale pour connecter les Devices IoT. Objenious (une filiale de Bouygues), Orange, KPN, Proximus en sont quelques exemples.

Ils ont généralement une excellente couverture. Dans cette situation, l'utilisateur doit simplement s'occuper de ses Devices LoRaWan et de l'application utilisateur (plateforme IoT). Les opérateurs publics gèrent les Gateways et le serveur LoRaWan.

### **V.3. Les réseaux LoRaWan privés**

Chacun est libre de créer son propre réseau privé. L'utilisateur doit mettre en place sa propre Gateway et sa propre infrastructure de serveurs pour communiquer avec ses Devices. L'utilisateur doit également s'occuper de l'administration du serveur LoRaWan.

Il est possible d'utiliser un serveur LoRaWan gratuit et open source dont les plus connus sont :

- The Things Network : The Things Stack.
- Chirpstack : LoRaWAN® open-source de ChirpStack

La démarche de l'utilisateur pour connecter les Devices LoRaWan à un réseau privé LoRaWan requiert des compétences. Il faut :

- Acheter une ou plusieurs Gateways.
- Les déployer sur site.
- Acheter un serveur LoRaWan (ou utiliser un serveur gratuit).
- Installer le serveur LoRaWan sur sa propre infrastructure.
- Enregistrer les Devices sur son serveur LoRaWan.
- Activer les Devices.
- Récupérer les données sur son serveur.
- Rediriger les données vers une plateforme IoT.