

BE LoRa

Architecture matérielle des systèmes de télécom

BE dimensionnement d'interface radio pour réseaux mobiles :

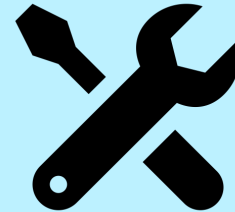
Membres du groupe :

- Jean-Baptiste Aude
- Jobard Yann
- Karagiorgos Stratis
- Moulin Romain
- Payet Alexis



Sujet du BE Partie 1 :

- Comprendre le fonctionnement de LoRa
- Répondre aux questions
- [Lien Moodle du BE](#)



1. Quelles sont les principales performances attendues d'une technologie dite LPWA ?

- Réseau conçu pour communiquer sans fil avec une faible puissance, il est donc bon pour l'IoT (consommation d'énergie plus faible)
- Les réseaux LPWAN communiquent sur de plus grandes distances que les autres réseaux basse consommation
- Les réseaux LPWA sont utilisés presque exclusivement par les appareils de l'Internet des objets (IoT) et les communications M2M (machine-to-machine).

1. Quelles sont les principales performances attendues d'une technologie dite LPWA ?

Liste des technologies LPWA

- LoRa Alliance*
- Sigfox
- RPMA
- LTE-M
- NB-IoT
- EC-GSM-IoT
- Weightless
- DASH7



2. Quelles sont les bandes de fréquence utilisables par LoRa en Europe ?

En Europe, les bandes de fréquence utilisables par LoRa sont :

- 863-870 MHz
- 433 MHz.



Et voici celles utilisées dans le reste du monde :

Region	The Lora-based Frequency
Europe	863-870 MHz
	433 MHz
US	902-928 MHz
China	470-510 MHz
	779-787 MHz
Australian	915-928 MHz
Indian	865-867 MHz
Asia	433 MHz
North America	915 MHz

2. Quelles sont les limitations associées (puissance, rapport cyclique, dwell time, FHSS) ?

Dwell-time : temps nécessaire à l'émission sur une fréquence

Il n'y a pas de limitation en Europe

FHSS : Technique d'étalement de spectre par saut de fréquence. Pour LoRa utilisation du LR-FHSS (Long Range FHSS)

Possibilité d'utiliser Listen Before Talk Adaptive Frequency Agility (LBT AFA) pour adapter sur quelles fréquences émettre

Limitations :

TX power	Valeur	TX power	Valeur
0	16dBm	4	8dBm
1	14dBm	5	6dBm
2	12dBm	6	4dBm
3	10dBm	7	2dBm

Rapport Cyclique : Le rapport cyclique constitue le rapport entre la durée sur laquelle l'appareil émet sur la période totale.

Réglementation sur le rapport cyclique
(Mesuré sur une heure glissante) :

- g (863.0 – 868.0 MHz) : 1%
- g1 (868.0 – 868.6 MHz) : 1%
- g2 (868.7 – 869.2 MHz) : 0.1%
- g3 (869.4 – 869.65 MHz) : 10%
- g4 (869.7 – 870.0 MHz) : 1%

2. Sont-elles identiques partout dans le monde ?

Les bandes fréquences utilisées par les applications LoRa varient en fonction de la région du monde tout comme les réglementations associées ! Par exemple :

En Corée du Sud :

L'utilisateur a le choix ! Il peut :

- Respecter la limitation sur le duty-cycle
- Ou implémenter la technique de transmission Listen Before Talk Adaptive Frequency Agility (LBT AFA)

En Amérique du Nord :

- La bande de fréquence utilisée est 902-928 MHz
- La PIRE* maximale est de 30dBm
- Il n'y a pas de limitation sur le rapport cyclique
- Le Dwell-Time est limité en fonction des Channels :
 - Channels 0 à 63 : 400ms
 - Channels 64 à 71 : Pas de limites !



3. Quel standard harmonisé faut-il suivre pour la certification CEM d'un module radio LoRa en Europe ? Identifier les principales exigences pour ce module.

Tous les équipements de télécommunication mis sur le marché européen doivent être conformes à la directive RED (Radio Equipment Directive) 2014/53/UE établie par le parlement européen. Cette directive définit les exigences en termes de limites de rayonnement électromagnétique pour la sécurité des personnes, mais aussi en termes d'occupation du spectre électromagnétique.

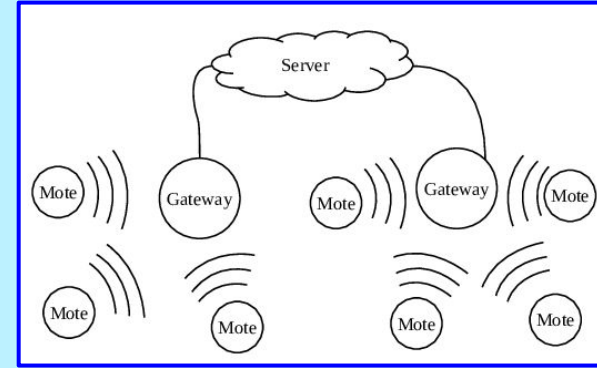
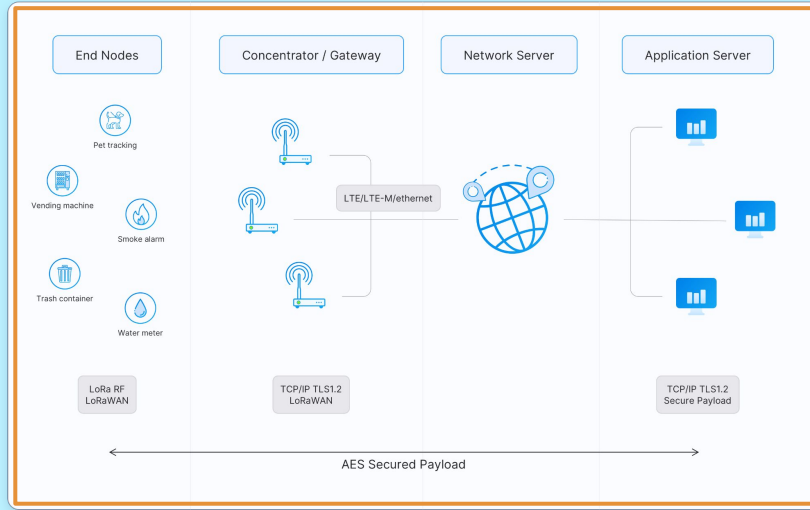


Dans le cas d'un module LoRa, on s'attend à ce qu'il n'interfère pas en dehors des bandes libres où il officie

Le standard LoRa offre également la possibilité de certifier ses équipements par la LoRa Alliance afin de s'assurer de l'interopérabilité des différents équipements LoRa entre eux pour la mise en place d'un réseau global.

4. LoRa est-il un protocole de couche physique ou de couche MAC ? Décrire la topologie d'un réseau LoRa(WAN).

- LoRa est un protocole de couche MAC
- La topologie du réseau LoRa est de type star-of-stars



- **End devices** : Capteurs ou tout appareil communiquant avec une gateway
- **Gateway** : Relaye les informations des end devices vers le Network Server
- **Network Server** : Logiciel gérant le réseau
- **Application Server** : Entité responsable de traiter les data applicatives reçu

4. Quels sont ces avantages pour une application IoT ?

Les avantages pour une application IoT sont :

- Une utilisation minimale des end devices qui sont souvent des objets où la consommation est précieuse (Capteur par exemple).



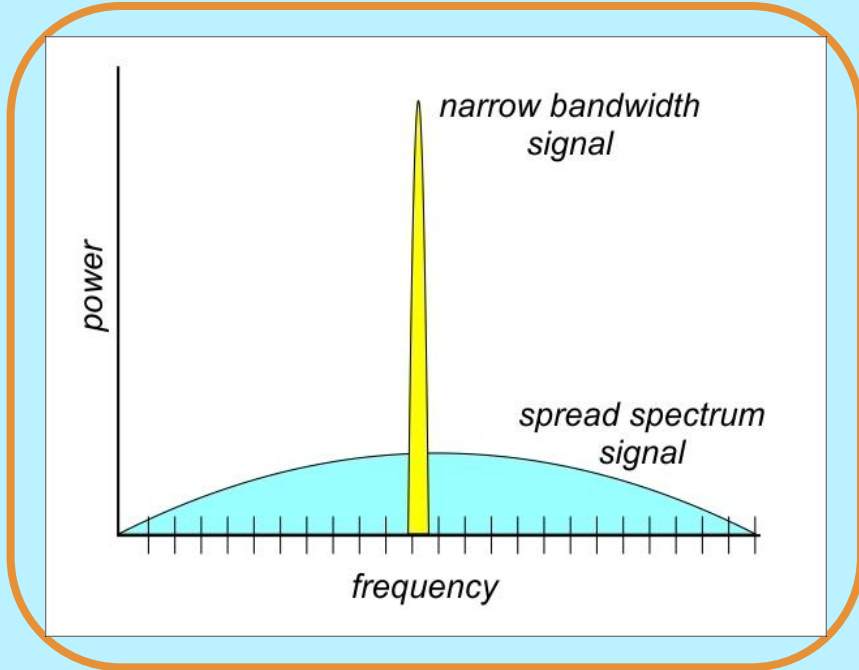
- De plus, comme un paquet peut être reçu par plusieurs gateway, cela assure donc une plus grande fiabilité et donc une latence plus faible.



- La topologie d'un réseau LoRa lui permet également d'être modulable par une unité distante (LoRa MAC master) et donc être adapté au besoin.



5. Qu'est-ce qu'une DSSS ? Que représente le gain de traitement (processing gain) ?



Une DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum) est une technique d'étalement de spectre. Il transforme un signal émis en bande étroite en signal émis sur une large bande

L'objectif est d'une part de rendre le signal transmis plus résistant au bruit. Il s'agit d'une technique CDMA (Code Division Multiple Access) c'est-à-dire qu'elle permet à plusieurs utilisateurs d'utiliser la même bande fréquence simultanément.

Le gain de traitement (processing gain) représente le ratio entre le spectre étalé et le spectre non étalé. Cette valeur est exprimée en dB.

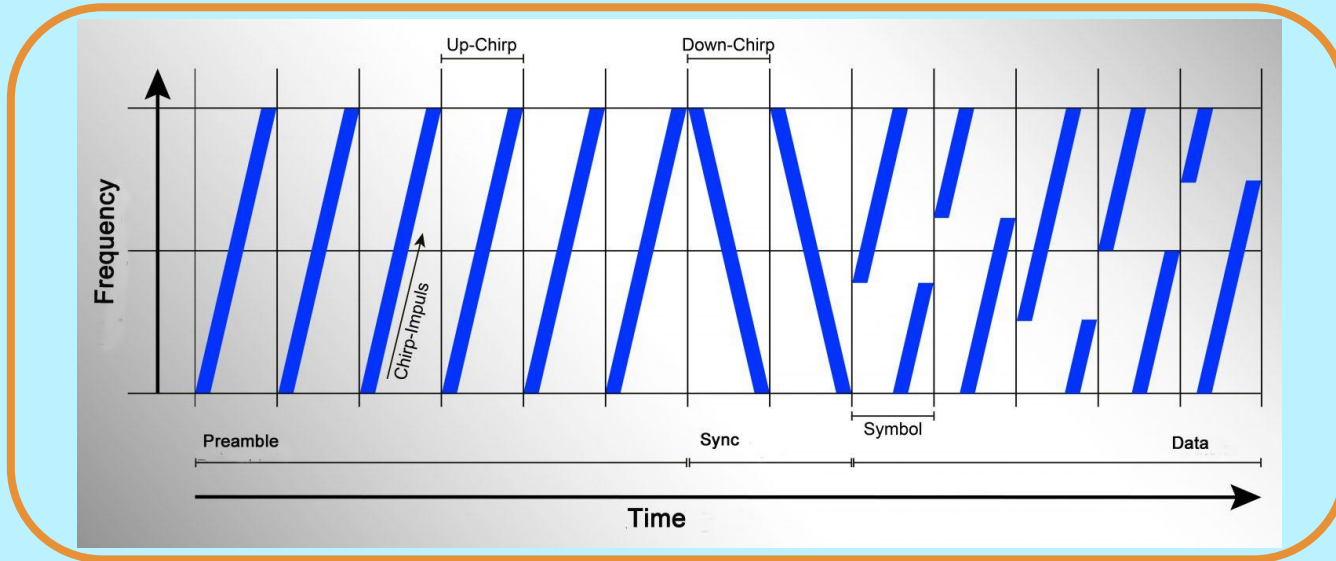
<https://techimike.com/cwno-chapter-6-dsss-fhss-and-ofdm/> (Image)

<https://www.techno-science.net/definition/11368.html>

<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/processing-gain>

6. Quel est le principe de fonctionnement de la modulation utilisée par LoRa ?

LoRa utilise le CSS (Chirp Spread Spectrum) modulation qui utilise une méthode d'étalement de fréquence comme technique de modulation. Les impulsions dites chirp sont envoyées sous forme de symboles, qui augmentent ou diminuent la fréquence LoRa en continu au fil du temps. La transmission des données est alors réalisée par la séquence séquentielle de ces impulsions de chirp.



7. Dans le cadre de la modulation LoRa, comment distingue t-on un bit d'un symbole transmis et d'un chip ? Quel est le gain de traitement ?

1 symbole = 2^{SF} chips

1 bit = information à transmettre

1 chip = unité transmise sur le milieu

$$R_c = 2^{SF} R_b$$

débit chip R_c en fonction du débit binaire R_b et du spreading factor SF

Modulation LoRa : chaque bit à transmettre est encodé dans plusieurs chips (le nombre dépend du spreading factor)

$$G_P = 10 * \log_{10} \left(\frac{R_c}{R_b} \right) (dB)$$

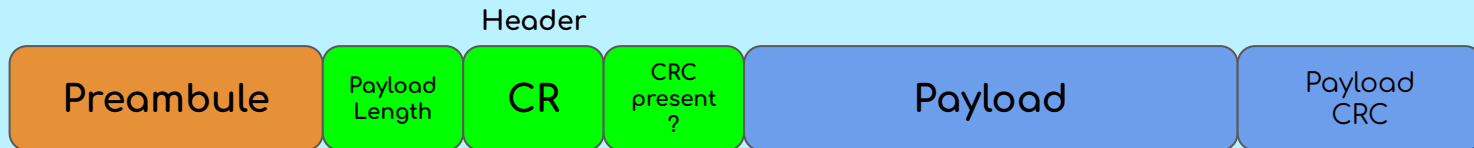
gain de traitement en dB en fonction des débits chip et binaire

8. Quelle est la structure d'un paquet LoRa ? Détailler chaque champ.

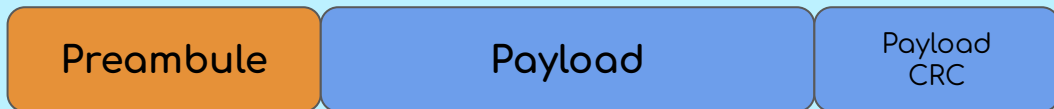
Un paquet Lora est composé de :

- Un **préambule** servant au récepteur à détecter le début d'un paquet. Sa taille est variable.
- Un **header** (optionnel) contenant : la taille de la charge utile, le Coding Rate (CR)* et la présence d'un CRC**.
- La **charge utile**, les données que l'on souhaite émettre. (et un payload de CRC optionnel)

Mode Header explicite :



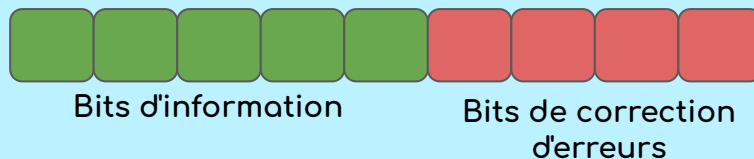
Mode Header implicite :



8. Quelle est la structure d'un paquet LoRa ? Détailler chaque champ.

Code Rate

* Le Code Rate est le taux de **bits d'information** envoyé en fonction du nombre de **bits de correction + bits d'info.**
Taux ci-dessous : CR = 5/9



CRC

** Le CRC alias Cyclic Redundancy Check est un détecteur d'erreur employable sur les paquets LoRa. L'émetteur collecte tous les octets envoyés et calcule un nombre unique à partir d'eux; ce nombre sera placé en fin de paquet LoRa. Le Récepteur effectuera le même calcul et comparera les résultats.

9. Comment déterminer le débit binaire transmis ? Le TOA ? A titre d'exemple, quels sont les paramètres pour assurer un débit binaire de l'ordre de 500 bits/s ?

Le TOA* dépend :

- du coding rate : plus élevé si le coding rate est plus élevé (plus de codage donc plus de bits à transmettre)
- dépend du sf : plus le sf est haut plus le toa est haut (plus de chips à transmettre)

$$T_{payload} = payloadSymbNb \ T_{sym}$$

$$T_{packet} = T_{preamble} + T_{payload}$$

TOA = durée de la trame => Tpacket

$$T_{sym} = \frac{2^{SF}}{BW}$$

Tsymbole : temps pour transmettre 1 symbole au débit chip

Le débit binaire est calculé à partir du spreading factor (étalement de spectre), bw (bande passante) et coding rate (Forward Error Correction : correction d'erreurs).

À titre d'exemple, les valeurs SF = 11, code rate = 1 et BW = 125kHz donnent un débit binaire de 537 bits/s

10. Comment augmenter le débit binaire ? Améliorer la sensibilité ? A puissance d'émission constante, comment réduire la consommation électrique du module ?

Pour augmenter le débit binaire on peut augmenter la bw, diminuer le spreading factor ou diminuer le coding rate.

- Augmenter la bw n'est pas toujours possible et diminue la sensibilité
- Diminuer le spreading factor rend plus sensible au bruit
- Diminuer le coding rate rend plus difficile la détection/récupération d'erreurs

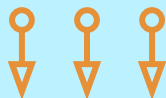
Pour améliorer la sensibilité on peut augmenter le sf (au prix de moins de débit).

Pour diminuer la consommation on peut diminuer le toa :

- augmenter la bw => diminuer T_{symbole}
- diminuer la taille du payload / preamble
- diminuer le coding rate => envoyer moins de bits

11. Quelle est la sensibilité typique d'un récepteur LoRa ? On prendra comme référence le transceiver SX1272.

Environ 20 dB en
dessous du seuil de
bruit (-149 dBm)



Sensibilité en réception :
-148dBm pour le
transceiver SX1272

12. Deux nœuds d'un même réseau LoRa(WAN), un gateway LoRa peut-il recevoir deux signaux de même fréquence simultanément ? Comment devrait-on attribuer les valeurs de SF dans un réseau LoRa(WAN) ?

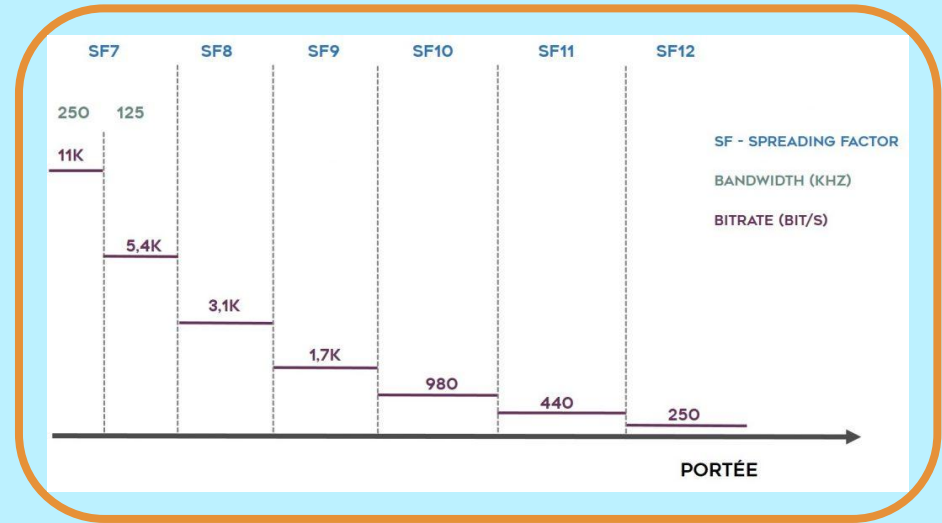
Un gateway LoRa peut recevoir plusieurs signaux de même fréquence si ceux-ci sont traités par des Spreading Factors différents. Par exemple, la norme de spreading factor en Europe prévoit que les SF 7 à 12 peuvent recevoir chacun des signaux de fréquence 125kHz.


DataRate	Configuration	Indicative physical bit rate [bit/s]
0	LoRa: SF12 / 125 kHz	250
1	LoRa: SF11 / 125 kHz	440
2	LoRa: SF10 / 125 kHz	980
3	LoRa: SF9 / 125 kHz	1760
4	LoRa: SF8 / 125 kHz	3125
5	LoRa: SF7 / 125 kHz	5470
6	LoRa: SF7 / 250 kHz	11000
7	FSK: 50 kbps	50000
8..14	RFU	
15	Defined in LoRaWAN ¹	

On pourrait donc attribuer les valeurs de SF comme ci-dessus dans la norme.
On y trouve plusieurs spreading factor pouvant recevoir en 125 kHz, mais avec des bits rate différents !

13. Comment augmenter la capacité d'un réseau LoRa(WAN)?

La portée d'une communication LoRa est déterminée par sa bande passante, la puissance de sortie du signal ainsi que par le facteur d'étalement utilisé – Spreading Factor (SF). L'étalement du signal augmente sa portée, au détriment du débit car il est transmis sur une plus longue période. Au détriment également de l'autonomie de l'équipement car la communication radio est énergivore ! Par conséquent, une communication plus longue implique une consommation d'énergie plus importante.



The background is a solid light blue color. It is decorated with a repeating pattern of black and orange geometric shapes. The black shapes consist of three concentric, semi-circular arcs, resembling a stylized signal or a partial circle. The orange shapes consist of a vertical line with a small circle at each end. These shapes are arranged in a grid-like pattern, with the black shapes positioned at the corners and the orange shapes positioned along the edges.

Merci pour
votre attention.