

La technologie LoRa

Fait par :

Nassima ZIANI



Sommaire

Présentation de LoRa

Réseau LoRaWAN

Protocoles

Les couches LoRaWAN

Communication dans LoRa

Paramètres

Présentation de LoRa

- ◇ LoRa (Long Range) est une technologie Internet des objets.
- ◇ Créée en 2010 par la start-up Cycleo.
- ◇ Rachetée par l'entreprise américaine Semtech en 2012.
- ◇ Utilise la modulation de fréquence par étalement de spectre.
- ◇ Permet aux objets une communication sans fil sur de très longues distances.
- ◇ Basée sur le réseau LoRaWAN.

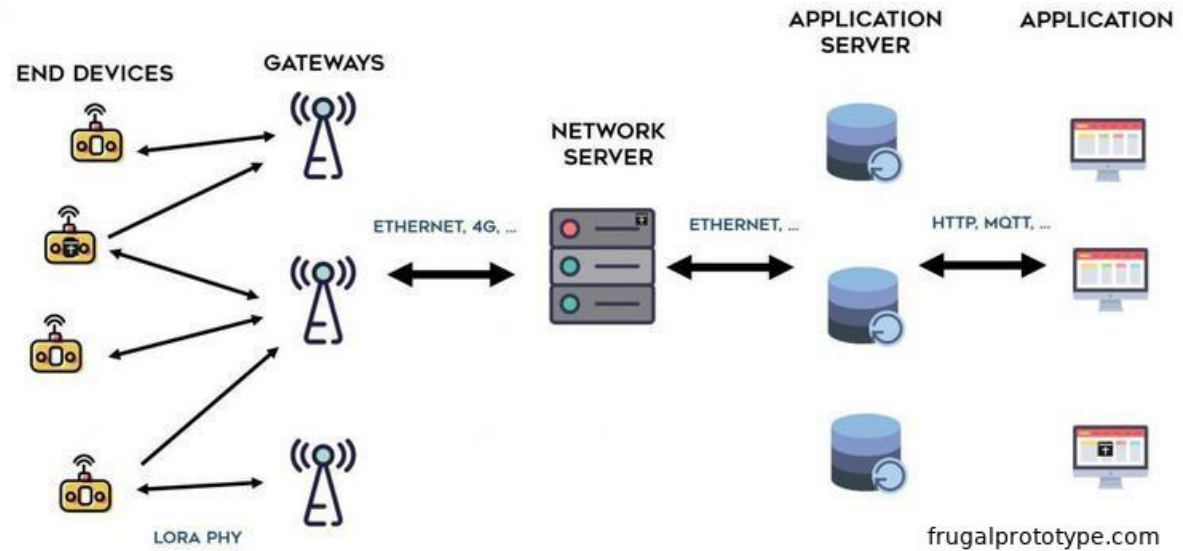
Réseau LoRaWAN

- ◇ Un réseau de communication étendu de longue portée
- ◇ A basse consommation d'énergie
- ◇ Fait partie de la catégorie des réseaux LPWAN.
- ◇ Fonctionne sur des bandes de fréquence à usage libre ISM
- ◇ Emet sur la bande de fréquence 868 MHz en Europe
- ◇ La portée : entre 15-20 km dans les zones rurales
 entre 3-8 km dans les zones urbaines
- ◇ Débit : entre 300bps et 50Kbps

Déploiement d'un réseau LoRaWAN

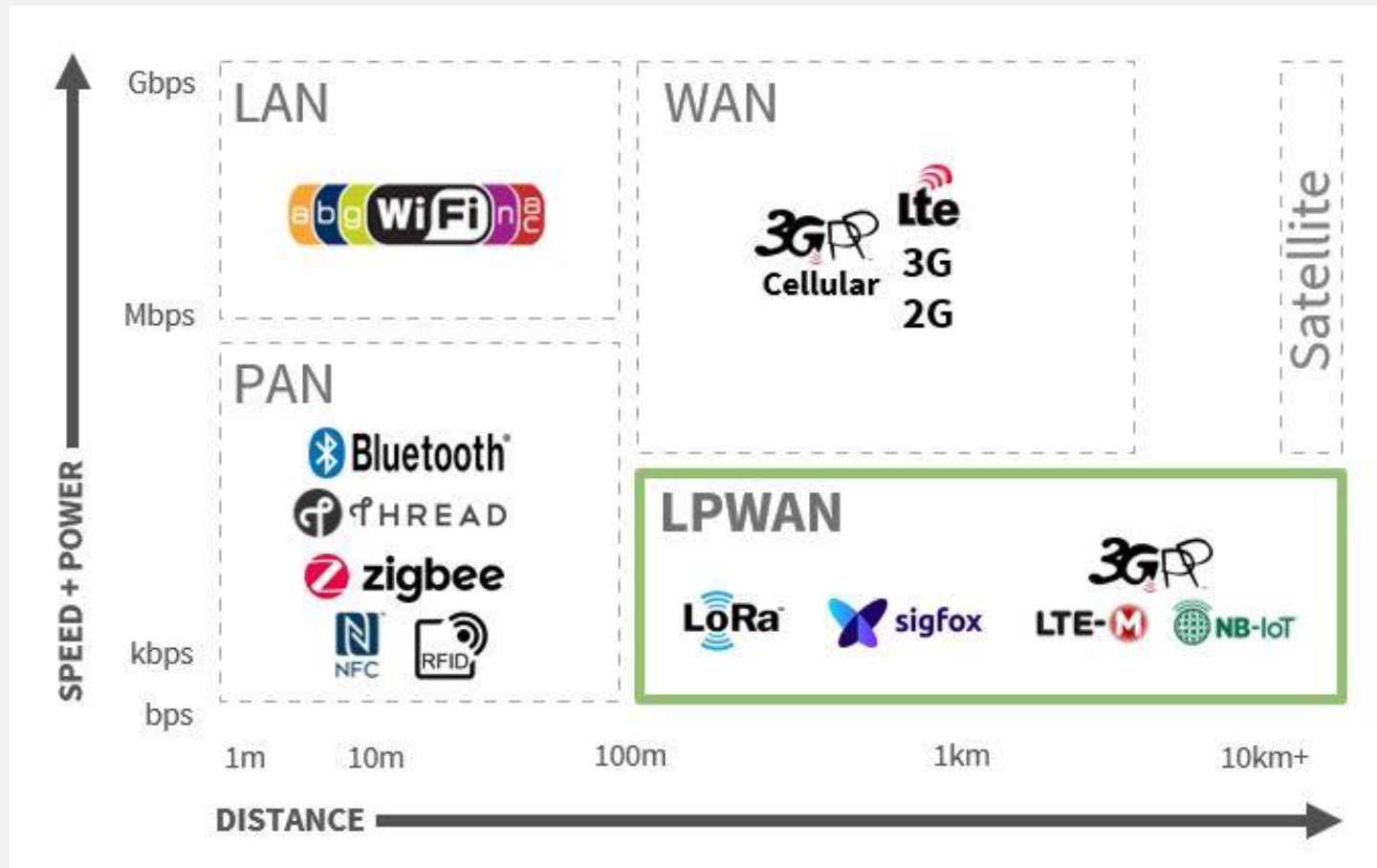
- ◆ Implémenter les puces LoRa sur les appareils intelligents.
- ◆ Installer des stations de base dotées d'antennes connectées à internet.
- ◆ Installer les appareils à proximité des antennes.

Topologie : Star of stars



Protocoles LoRa

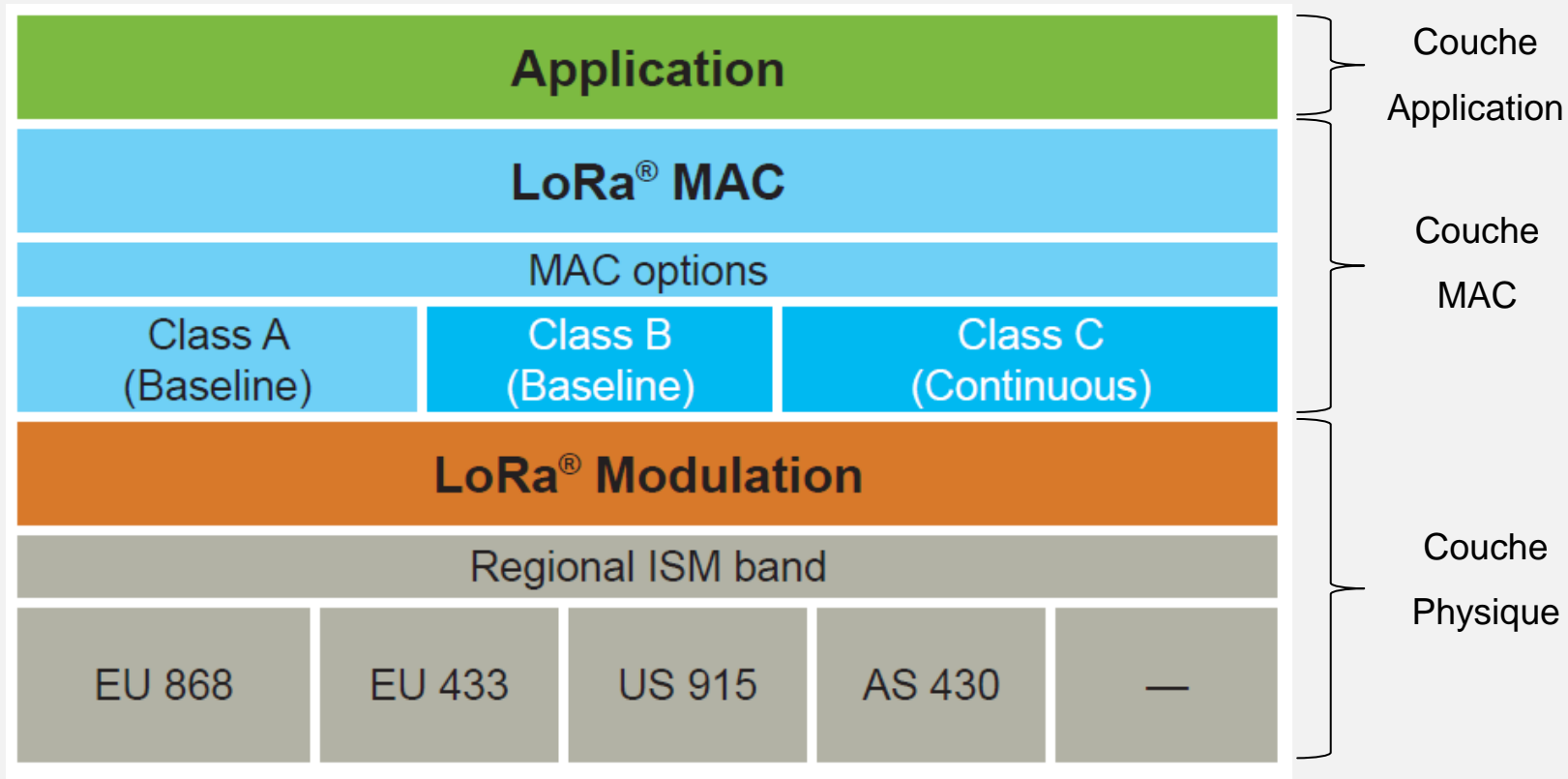
◆ Protocoles : 6LoWPAN, ZigBee et LoRaWAN.



Protocole LoRaWAN

- ◇ De type Aloha :
 - ◇ Message confirmé : Attente d'ACK
 - ◇ Message non-confirmé
- ◇ Prend en charge des communications :
 - ◇ **Bidirectionnelles** : des transmissions UL et DL.
 - ◇ **De bout en bout** : par un seul saut.
 - ◇ **À longue portée** : couvre des km de distance.
 - ◇ **Économiques** : investissements et dépenses rationalisés.
 - ◇ **Géolocalisation** : utilise la différence de temps d'arrivée.
 - ◇ **Économes en énergie** : vie des batteries jusqu'à 10 ans.
 - ◇ **Couverture intérieure étendue** : atteindre les appareils dans les sous-sols, caves...
 - ◇ **Sécurisées** : authentification des appareils et chiffrement bout-en-bout.
 - ◇ **Mobile** : peut se déplacer dans la zone de couverture de la passerelle.

Les couches LoRaWAN



Couche PHY

- ◆ Responsable de la modulation/démodulation LoRa des paquets DL/UL et les transmet au périphérique/serveur réseau.
- ◆ Cette opération utilise une séquence codée par puce pour répartir le signal de séquence de données sur une bande passante beaucoup plus large.

- ◆ $SF = \log_2 \left(\frac{DR_{chirp}}{DR} \right)$. SF : facteur d'étalement

DR_{chirp} : le débit de la puce = message transmit

DR ; le débit d'origine = message d'origine à transmettre

Couche MAC

- ◆ Prévoit trois classes de services A, B et C.
- ◆ Les périphériques LoRa doivent au minimum prendre en charge le mode de classe A.
- ◆ Les classes B et C sont des extensions de la spécification des appareils de classe A.

Les classes

Classe A

- ◆ Offre une communication bidirectionnelle :
- Une transmission montante (UL) aléatoire (ALOHA).
- Deux courtes fenêtres de réception sont ouvertes par le périphérique final pour recevoir une transmission (DL) de la passerelle.
- ◆ Consomme le moins d'énergie
- ◆ Envoi d'information pas très importante (pas forcément d'ACK)

Classe B

- Le fonctionnement dans cette classe est le même que pour la classe A.
- Ajout de fenêtres de réception régulièrement planifiées en plus des deux fenêtres aléatoires.
- La consommation en énergie est plus élevée.

Classe C

- Les appareils restent en mode d'écoute continue lorsqu'ils ne transmettent pas.
- réservé aux périphériques qui disposent d'une alimentation électrique suffisante et n'ont pas de contraintes d'énergie.
- Consomme le plus d'énergie.

Paramètres

◇ Puissance de transmission :

- ◇ Ajusté de -4 dBm à 20 dBm, par pas de 1 dB.
- ◇ Mais souvent limitée à 2 dBm à 20 dBm (limites d'implémentation hardware).

◇ Fréquence porteuse :

- ◇ Limitée à 860 MHz à 1020 MHz (en fonction de la puce LoRa).

◇ Facteur d'étalement :

- ◇ Peut être sélectionné de 7 à 12 (SF7 à SF12).
- ◇ Le nombre de puces par symbole est calculé comme 2^{SF} .

◇ Bande passante :

- ◇ LoRa fonctionne à 500 kHz, 250 kHz ou 125 kHz

◇ Taux de codage :

- ◇ = le taux de correction d'erreur intégrée qui offre une protection contre les rafales d'interférences.
- ◇ Peut être réglé sur 4/5, 4/6, 4/7 ou 4/8.

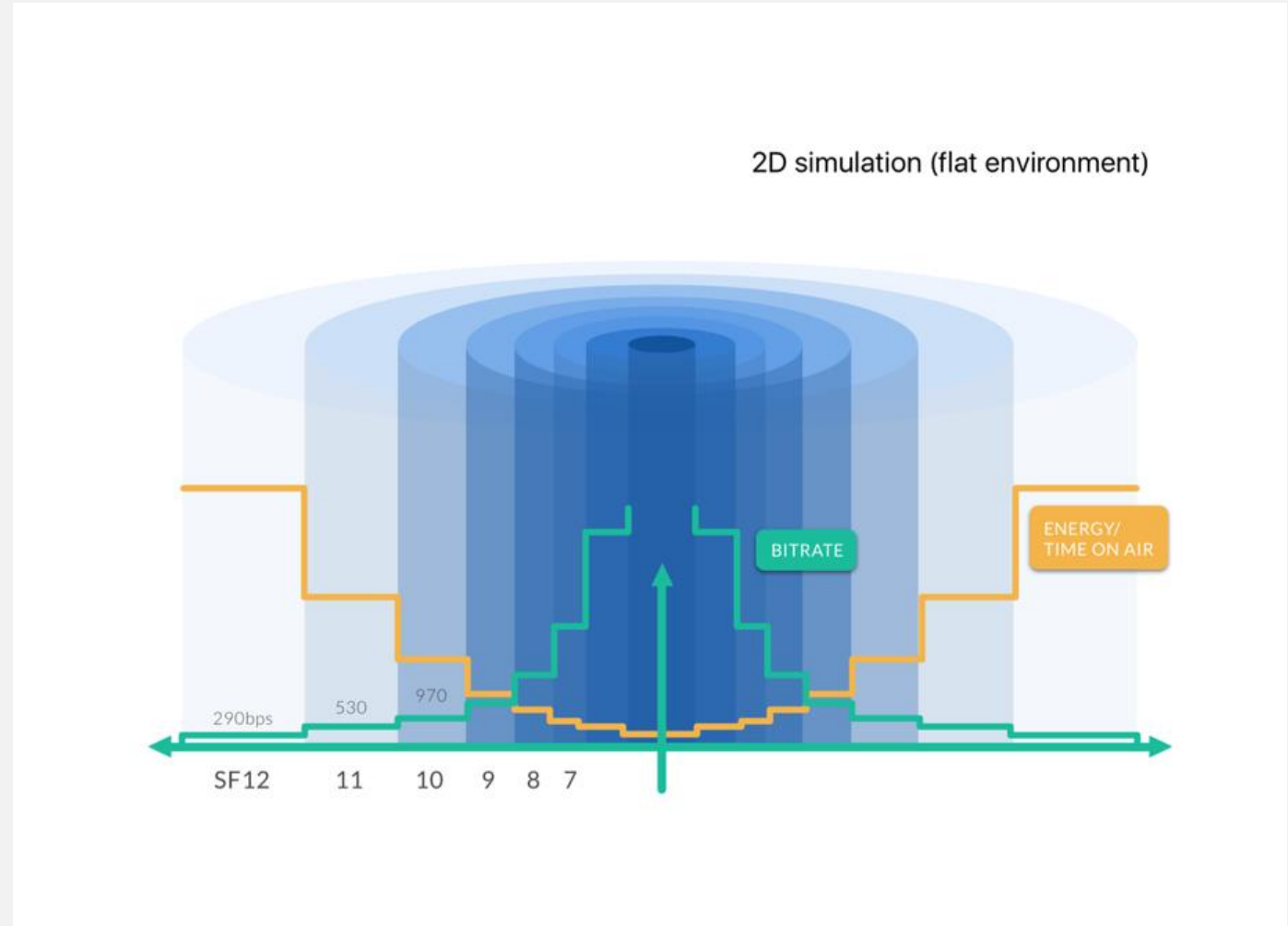
SF

Un SF plus élevé augmente

- ◇ La sensibilité
- ◇ La portée
- ◇ Le temps d'antenne du paquet.

Chaque augmentation de SF :

- ◇ Divise par deux le débit de transmission
- ◇ Double la durée de transmission et la consommation d'énergie



ADR

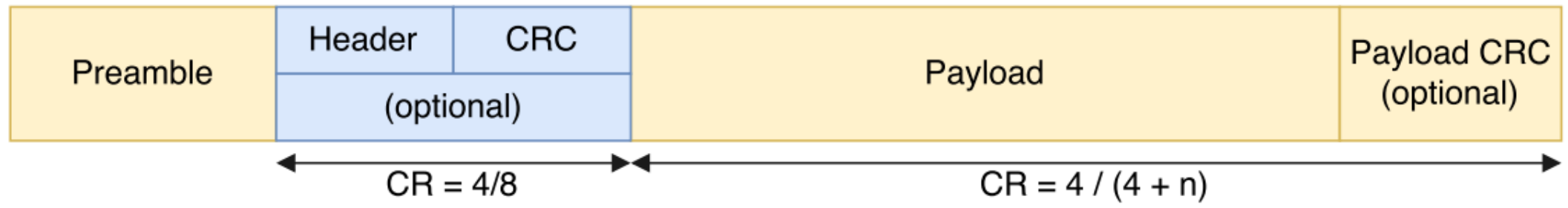
- ◆ Une technique pour ajuster le débit de données réel de l'appareil
- ◆ But : assurer les performances, la fiabilité et la capacité du réseau.
- ◆ Objectif principal : économiser l'énergie de la batterie des terminaux LoRaWAN.
- ◆ Peut être lancé soit par le réseau, soit par l'appareil.
- ◆ L'algorithme de calcul ADR n'est pas expliqué dans la spécification LoRaWAN.
- ◆ C'est aux opérateurs réseaux de mettre en œuvre leurs propres algorithmes

Taux de données de modulation LoRa

Débit de données (DR)	Étalement de spectre (SF)	Bande passante (BW)	Débit binaire (bit/s)	Max. app. Charge utile (octets)
0	SF12	125	250	51
1	SF11	125	440	51
2	SF10	125	980	51
3	SF9	125	1760	115
4	SF8	125	3125	242
5	SF7	125	5470	242
6	SF7	250	11000	242

Trame LoRa

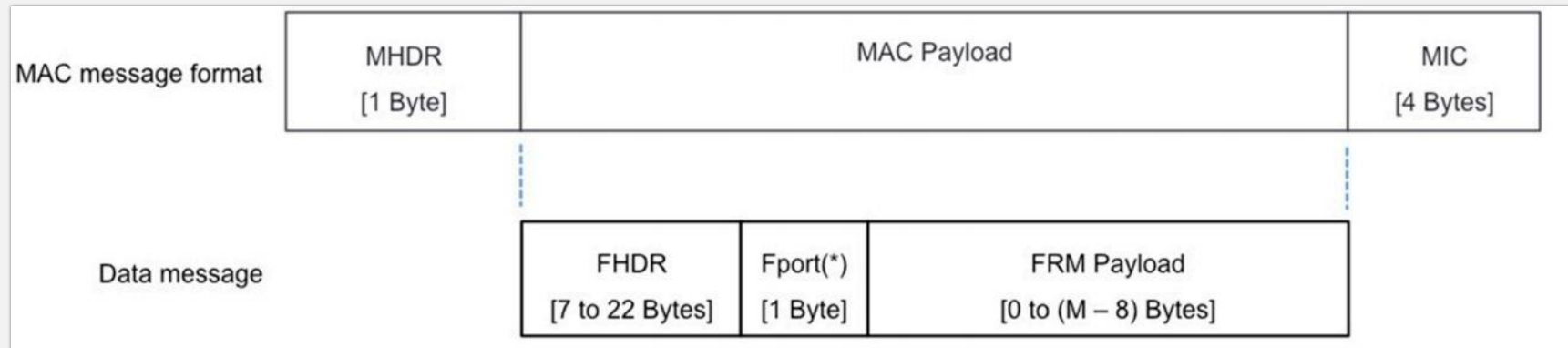
- ◇ Longueur du préambule : de 6 à 65 535 symboles.
- ◇ Dans LoRaWAN, 8 symboles pour le préambule.
- ◇ But préambule : verrouiller le signal LoRa.
- ◇ Le modem LoRa ajoute 4,25 symboles (mot de synchronisation).
- ◇ L'en-tête à un taux FEC fixe de 4/8.
- ◇ Longueur de la charge utile : de 1 à 255 octets.



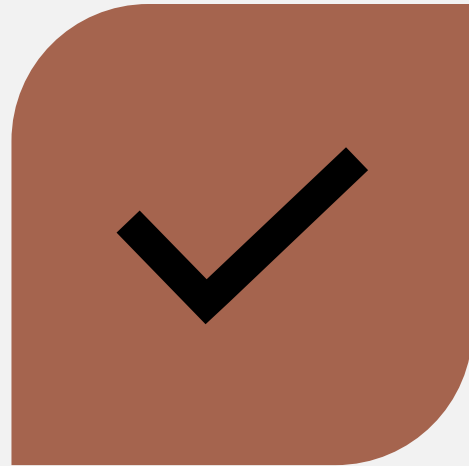
Trame couche MAC

LoRaWAN définit un 3 types de messages MAC (msg Join, msg de données confirmées et non confirmées) qui sont transportés dans le champ de charge utile PHY.

- ◇ L'en-tête MAC (MHDR) : indique le type de message MAC
- ◇ La charge utile MAC : peut transporter des données d'application ou un message Join.
- ◇ Le code d'intégrité de message (MIC) : permet à un récepteur de vérifier l'intégrité d'un message MAC reçu.



Communication en LoRa



ETAPE D'AUTHENTIFICATION
ET D'ACTIVATION

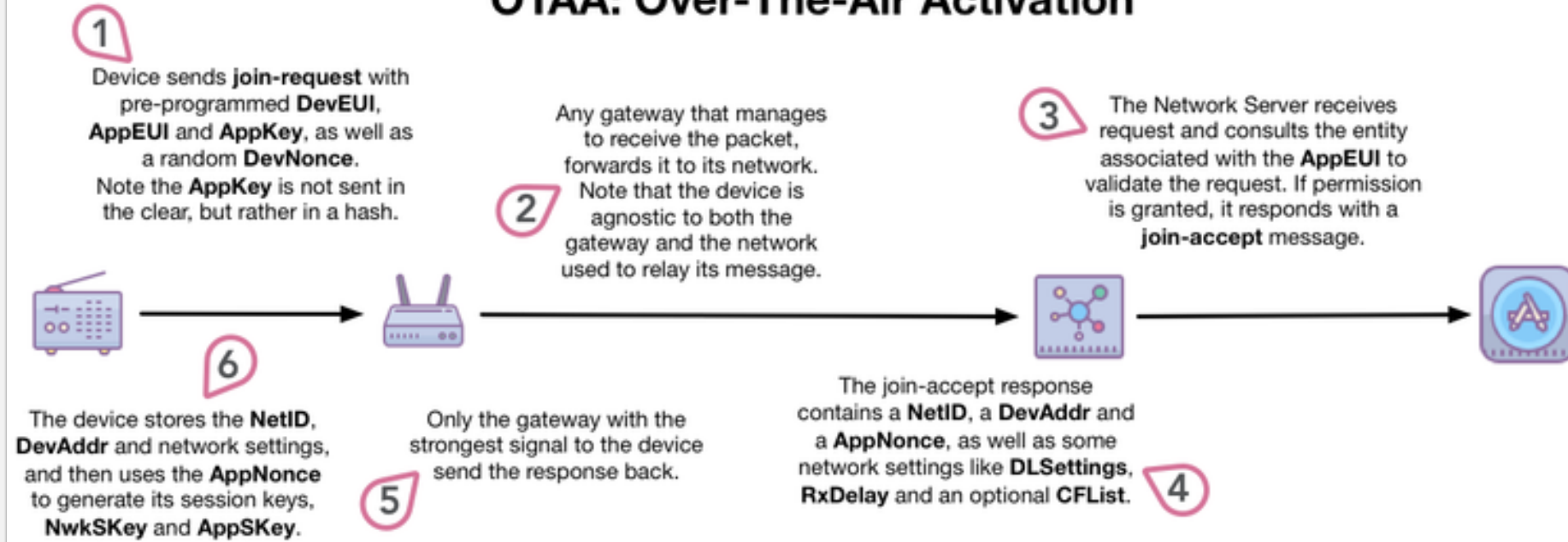


ETAPE DE COMMUNICATION

Etape d'authentification et d'activation

- ◇ Il existe deux méthodes d'activation :
 - ◇ Activation par personnalisation : authentification et activation manuelle de tous les end-devices et la configuration manuelle du serveur réseau.
 - ◇ À-la-volée : échange de messages MAC entre le terminal et le serveur réseau pour une authentification et activation automatique.

OTAA: Over-The-Air Activation



Activation à-la-volée

ABP: Activation By Personalisation

1

Device is pre-programmed with a **DevAddr**, an **AppSKey** and a **NwkSKey**. No join procedure is necessary.



The Network Server is also pre-configured with the device's **DevAddr**, **AppSKey** and **NwkSKey** so it recognises its transmissions.

2



Activation par personnalisation

Laquelle doit-on utiliser?

- ◇ OTAA est le moyen le plus simple d'obtenir une sécurité et une flexibilité de base au moment du déploiement.
- ◇ ABP est plus susceptible d'être utile à l'étape du prototypage lorsqu'on a besoin d'un contrôle complet sur les appareils activés.

Étapes de communication

◆ Coté end-devices

- ◆ Capturent une mesure de télémétrie.
- ◆ Transmet un paquet (UL) à une ou plusieurs passerelles en un seul saut sur l'un des sous-canaux disponibles et avec l'un des 6 facteurs d'étalement (peut être sélectionné de 7 à 12) à un instant donné.
- ◆ En modulation LoRa pour contourner le bruit.
- ◆ Une collision est provoquée par la sélection du même canal et du même facteur d'étalement par différents appareils.

Étapes de communication

◇ Coté passerelle

- ◇ Transfert les paquets UL et DL.

◇ Coté serveur réseau

- ◇ Gère la sécurité E2E et le débit.
- ◇ S'occupe de la suppression des messages UL redondants
- ◇ Traite les accusées de réception (ACK) pour les trames confirmées à envoyer aux terminaux.

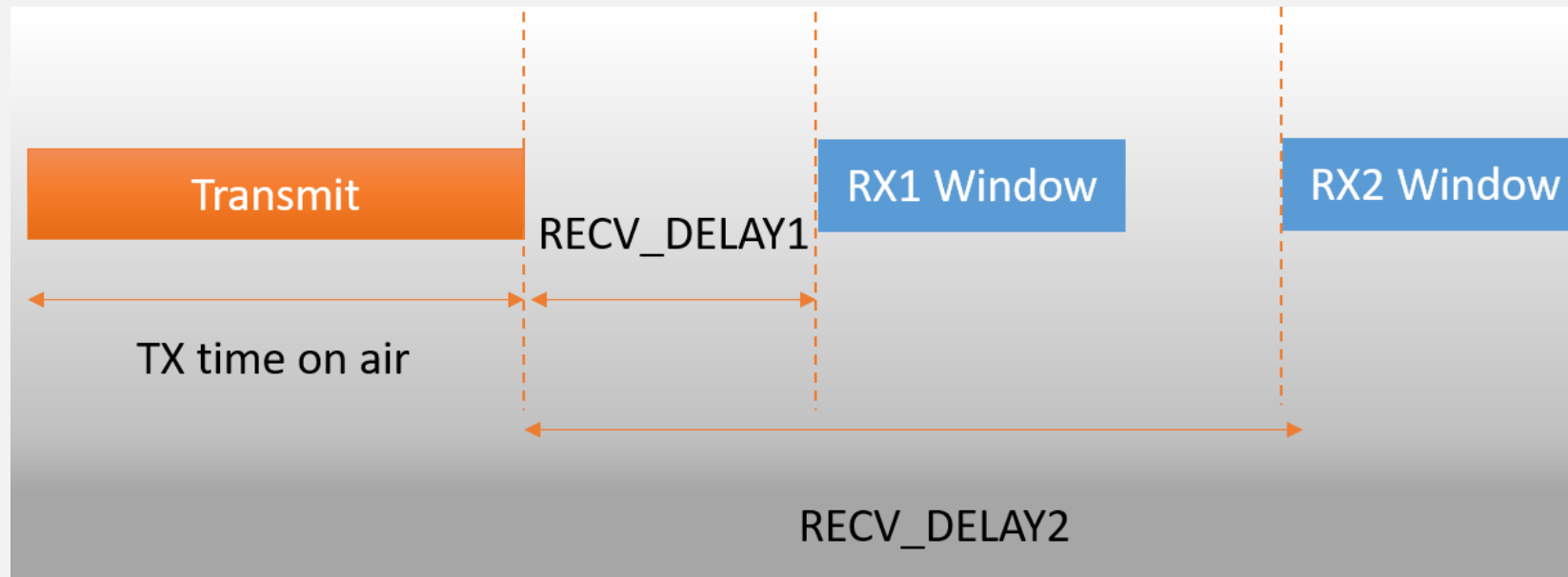
◇ Coté application

- ◇ Récupère les informations pour les traiter.

Communication dans les différentes classes

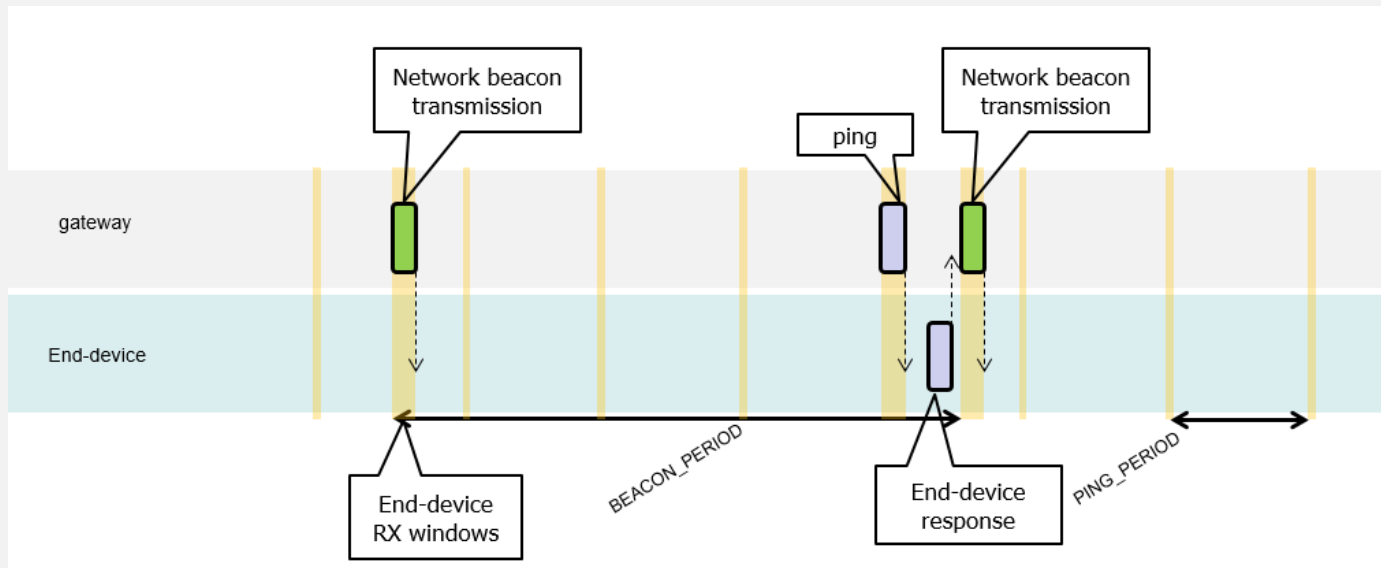
Classe A

- ◇ La communication est initiée par le terminal à un instant arbitraire.
- 1. Le terminal envoie une liaison montante (UL) au serveur.
- 2. Le périphérique ouvre une courte fenêtre de réception (Rx1) pour recevoir des messages (DL) prévenant du serveur.
- 3. Le début de cette fenêtre commence après un laps de temps fixe `RECEIVE_DELAY1 = 1s` (valeur par défaut) de la fin de la transmission UL
- 4. Le terminal ouvre une deuxième fenêtre de réception (Rx2) après deux secondes (par défaut) `RECEIVE_DELAY2` de la fin de la transmission UL.
- 5. Les durées `RECEIVE_DELAY1` et `RECEIVE_DELAY2` peuvent être configurer.



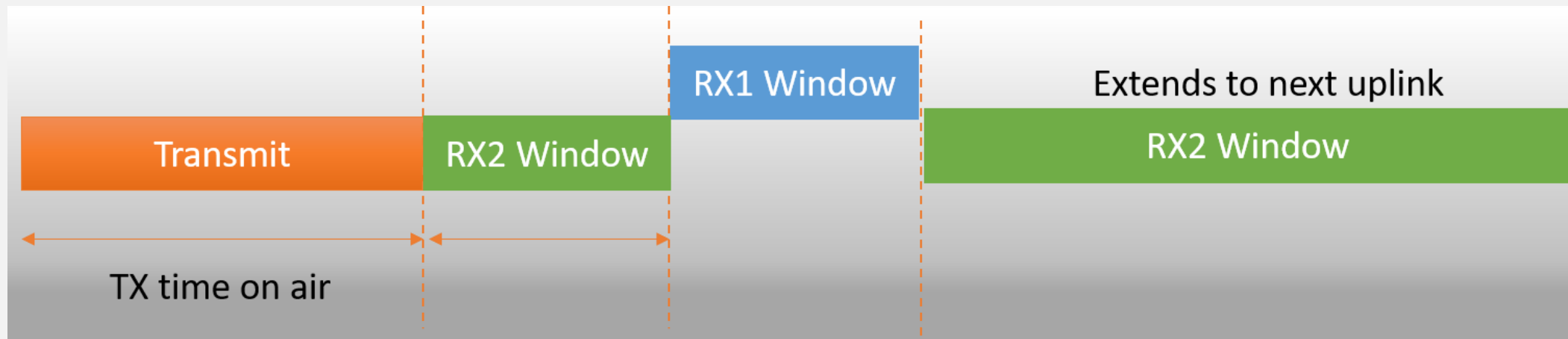
Classe B

- ◇ A en plus des fenêtres de réception planifiées pour les messages DL du serveur.
 - ◇ Les appareils ouvrent périodiquement des fenêtres de réception à l'aide de balise synchronisé dans le temps.
1. Le serveur d'applications met en file d'attente une DL dans le serveur réseau.
 2. Le serveur réseau calcule la prochaine planification des emplacements de ping.
 3. Le serveur réseau calcule la meilleure passerelle à utiliser et place la liaison descendante dans celle-ci
 4. Heure de début de l'emplacement de ping sélectionné atteinte, la passerelle transmet la liaison descendante.
 5. Au même moment, l'appareil allume son récepteur et reçoit la liaison descendante.



Classe C

- ◇ Utilisée quand l'attente pour la communication entre le serveur et le terminal doit être minimisée.
- ◇ Les terminaux de classe C implémentent le même fonctionnement des périphériques de classe A :
 1. Ne ferment pas la fenêtre RX2 sauf si y a une UL.
 2. Peuvent recevoir une DL dans la fenêtre RX2 presque à tout moment.



Retransmission

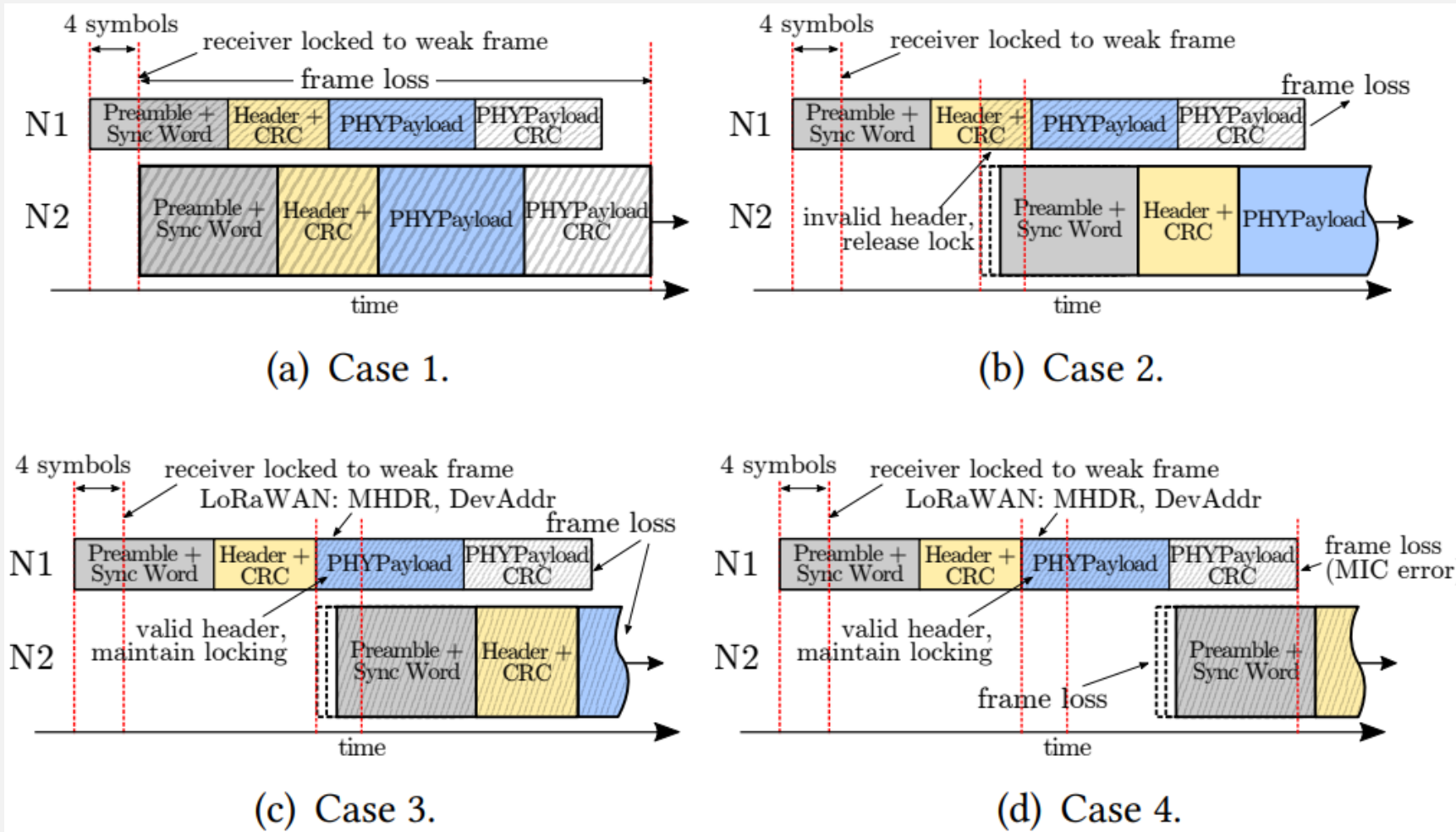
- ◇ Terminal transmet un message de données confirmées en UL → attend à recevoir un message ACK en DL dans Rx1 ou Rx2.
- ◇ Si l'ACK n'est pas reçu → le terminal retransmet le même message jusqu'à ce qu'un
 - ◇ ACK soit reçu.
 - ◇ nombre maximal de tentatives de transmission (TT) soit atteint (nbre max = 8).
- ◇ Chaque TT est effectuée dans un canal différent, qui est sélectionné au hasard parmi les canaux disponibles dans la sous-bande utilisée.
- ◇ Le DR à utiliser est recommandé de suivre les règles suivantes :
 - ◇ Les 1ères et 2èmes TT se font en utilisant le même DR.
 - ◇ Les 3èmes et 4èmes TT utilisent le DR inférieur suivant, ..., jusqu'à la 8ème tentative de transmission.
- ◇ 8 TT du même message confirmé sans ACK → MAC renvoi un code d'erreur à la couche application.
- ◇ Chaque retransmission est démarrée après une période ACK_TIMEOUT (initiée à l'heure de début de la dernière 2ème fenêtre de réception) et est définie comme un retard aléatoire entre 1 et 3 secondes, par défaut.

Collisions

- ◆ Est provoquée par la sélection du même canal et du même facteur d'étalement par différents appareils, avec chevauchement temporel.
- ◆ Cause : les facteurs d'étalement de la modulation LoRa sont orthogonaux.
- ◆ Les signaux modulés avec différents facteurs d'étalement et transmis sur le même canal de fréquence en même temps n'interfèrent pas entre eux. (sont juste du bruit les uns aux autres).
- ◆ Même avec des SF différents, une collision entre les signaux sur le même sous-canal se produira en raison de l'orthogonalité imparfaite des SFs, appelée collision inter-SF.

Effet de capture

- ◆ La passerelle est en mesure de recevoir avec succès l'une des trames si son rapport signal/bruit est plus élevé que 6 dB.
➔ effet de capture



Exemple de LoRa Calculator

SF = 7 BW = 250

CR = 4/5

Taille charge utile = 8

Taille preamble = 6

Puissance de transmission = 17

CRC = 1

DE = 0

Duty cycle = 2000 ms

Battery Voltage = 3,3 V

The screenshot displays the LoRa Modem Calculator Tool interface, split into two panes. The left pane shows the 'Calculator' tab with 'Energy Profile' selected. It contains input fields for LoRa Modem Settings (Spreading Factor: 7, Bandwidth: 250 kHz, Coding Rate: 1, Low Datarate: Optimiser On), Packet Configuration (Payload Length: 8 Bytes, Programmed Preamble: 6 Symbols, Total Preamble Length: 10.25 Symbols, Header Mode: Explicit Header Enabled, CRC Enabled: Enabled), RF Settings (Centre Frequency: 865000000 Hz, Transmit Power: 17 dBm, Hardware Implementation: RFIO is Shared), and Compatible SX Products (1272, 1273, 1276, 1277). The right pane shows the 'Results' section with a 'Periodic Consumption Profile' graph. The graph plots Consumption [mA] on a logarithmic scale from 10⁻⁴ to 10² against Time [ms] from -5 to 20. A blue line shows consumption spikes at 0 ms and approximately 17.5 ms. A red horizontal line indicates the average consumption at 10⁰ mA. Below the graph are tables for Mode Timings, Charge Consumption, and Energy per Day. The Mode Timings table shows Transmit: 17 ms, CAD: [empty], Receiver: [empty], Sleep: 1982.7 ms. The Charge Consumption table shows Transmit: 1532.2 uC, CAD: [empty], Receiver: [empty], Sleep: .2 uC. The Energy per Day table shows Total Charge: 66225.7 mC, Total Energy: 218.54 mJ, Mean Current: 766.50 uA, and Est. Batt. Life: 54.36 days. A status bar at the bottom of the tool provides a summary of the configuration: SF = 7, BW = 250 kHz, CR = 4/5, Header Disabled, Preamble = 10,25 syms, Payload = 8 bytes, Transmit Power = 17 dBm.

	Formule	Calcule	Calculator
Bitrate	$DR = SF \cdot \frac{BW}{2^{SF}} \cdot CR$	$7 \cdot \frac{250}{2^7} \cdot \frac{4}{5} = 10,9375$	10937,5
Symbole time	$T_{sym} = \frac{2^{SF}}{BW}$	$\frac{2^7}{250} = 0,512$	0,51
Preamble duration	$T_{preamble} = T_{sym} \cdot (N_{pre} + 4.25)$	$0,512 \cdot (6 + 4.25) = 5,248$	5,25
Nbr of symbole transmitted	$N_{PHY} = 8 + \max \left[\left[\frac{28+8.PL+16.CRC-4.SF}{4.(SF-2.DE)} \right] \cdot (CR + 4), 0 \right]$	$8 + \max \left[\left[\frac{28+8.8+16.1-4.7}{4.(7-2.0)} \right] \cdot (1 + 4), 0 \right] = 23$	
Msg duration	$T_{PHYMessage} = T_{sym} \cdot N_{PHY}$	$0,512.23 = 11,776$	
Time on air	$T_{tx} = T_{preamble} + T_{PHYMessage}$	$5,248 + 11,776 = 17,024$	17,02

	Formule	Calcule	Calulator
Mean Current (uA)	$MC = \frac{1}{DutyCycle_{(s)}} * (T_{TimeOnAir_{(ms)}} * Consumption_{transmit_{(A)}})$	$\frac{1}{2} * (17,02 * 90) = 765,9$	766,50
	$MC = \frac{ChargeConstx + ChargeCons_{sleep_{(uC)}}}{DutyCycle_{(s)}}$	$\frac{1532,2 + 0,2}{2} = 766,2$	
Charge Consumption (uC)	$CC = T_{tx} * I_{tx_{(mA)}}$	$17,02 * 90 = 1531,8$	1532,2
Total Charge per Day (mC)	$TC = 1Day_{(s)} * MeanCurrent_{(mA)}$	$86400 * 0,7665 = 66225,6$	66225,7
Total Energy per Day (mJ)	$TE = BatteryVoltage_{(V)} * TotalCharge_{(C)}$	$3,3 * 66,2257 = 218,54481$	218,54
Estimated Battery Life (days)	$EBL = \frac{BatteryCapacity_{(mAh)}}{MeanCurrent_{(mA)}}$	$\frac{1000}{0,7665} = 1\ 304,63144_{hours}$ $= 54.359643$	54,36

Merci pour votre attention