Avant propos et rappels

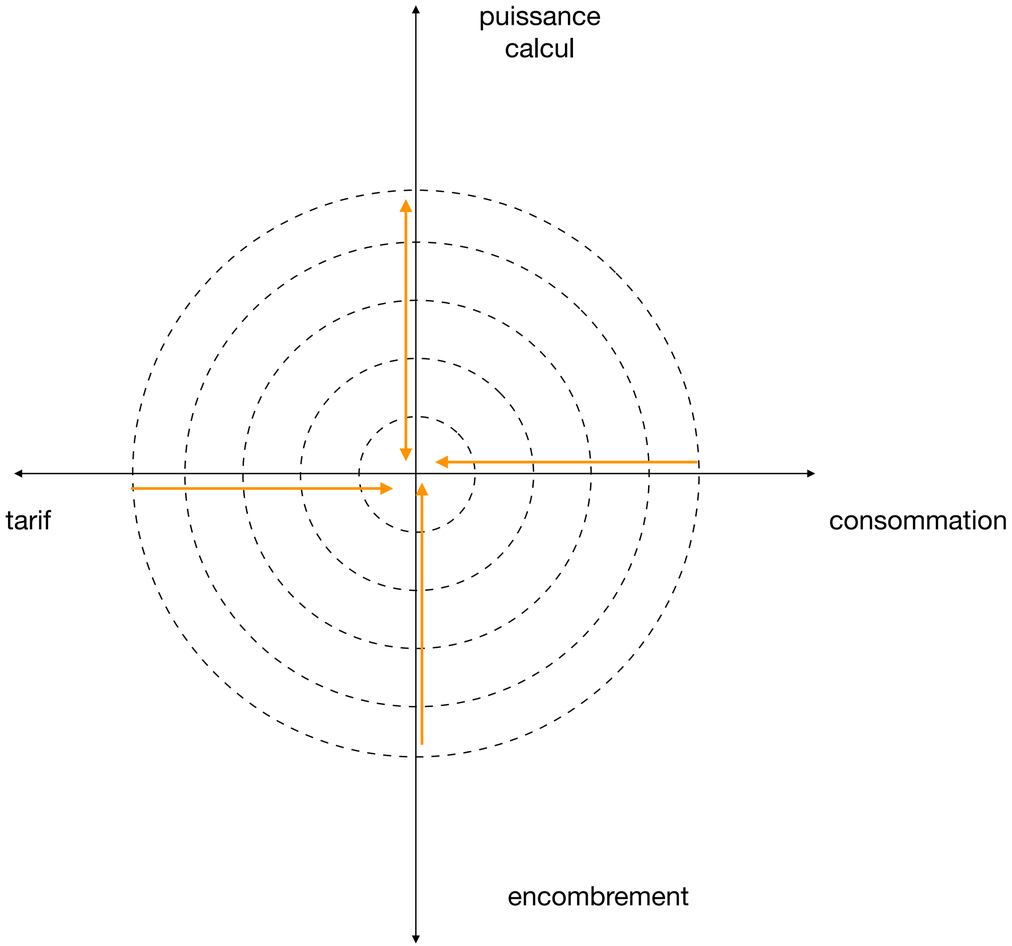
Partie

1

Introduction

Rappel sur les caractéristiques de LoRaWAN vs. autres technologies

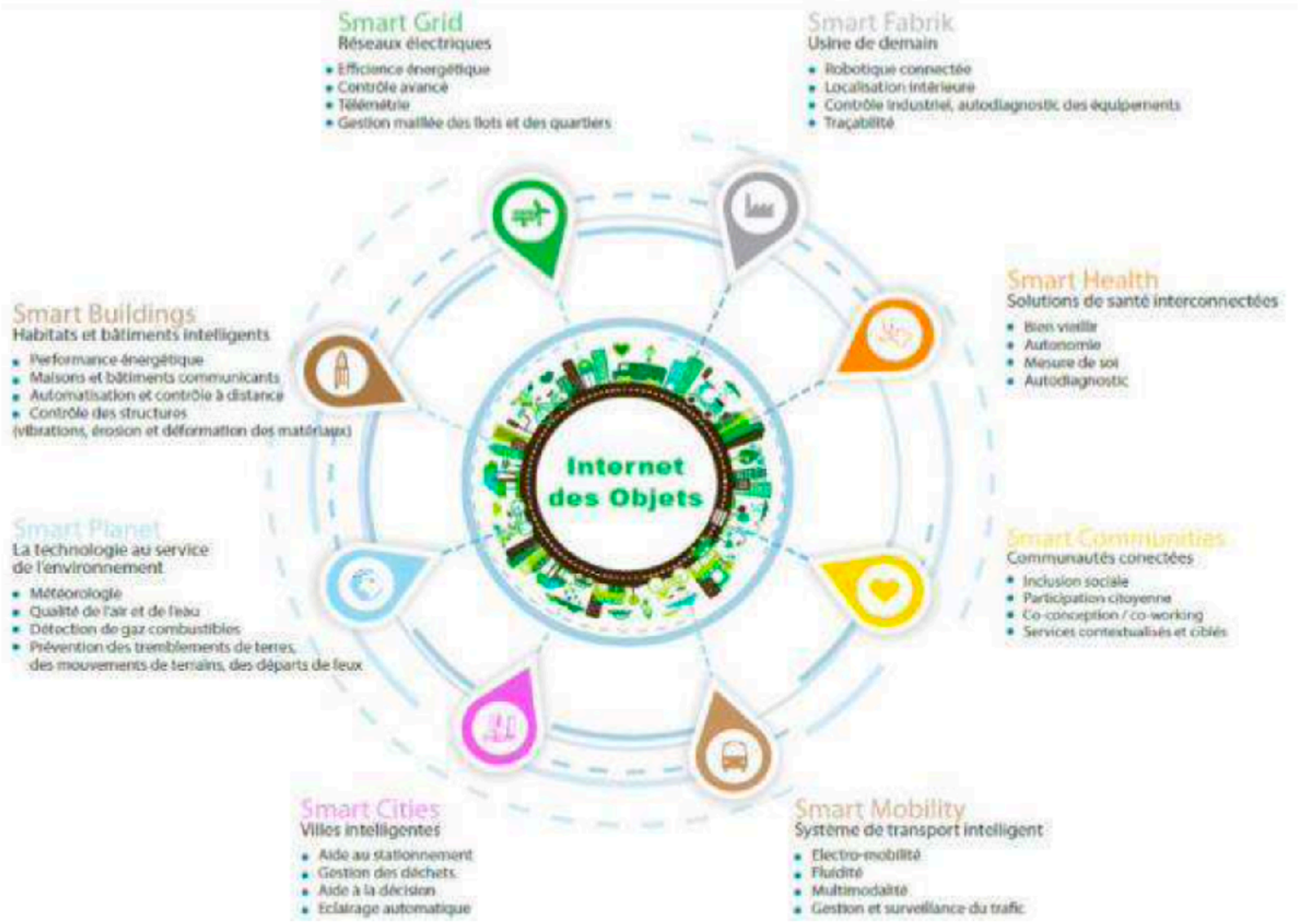
Les systèmes embarqués pour l'IOT



Objectifs croissants :

Consommations basses et contrôlées
Miniaturisation
Puissance de calcul (basses ou adaptées)
Prix bas (avant covid)

Les USE CASE pour l'IOT

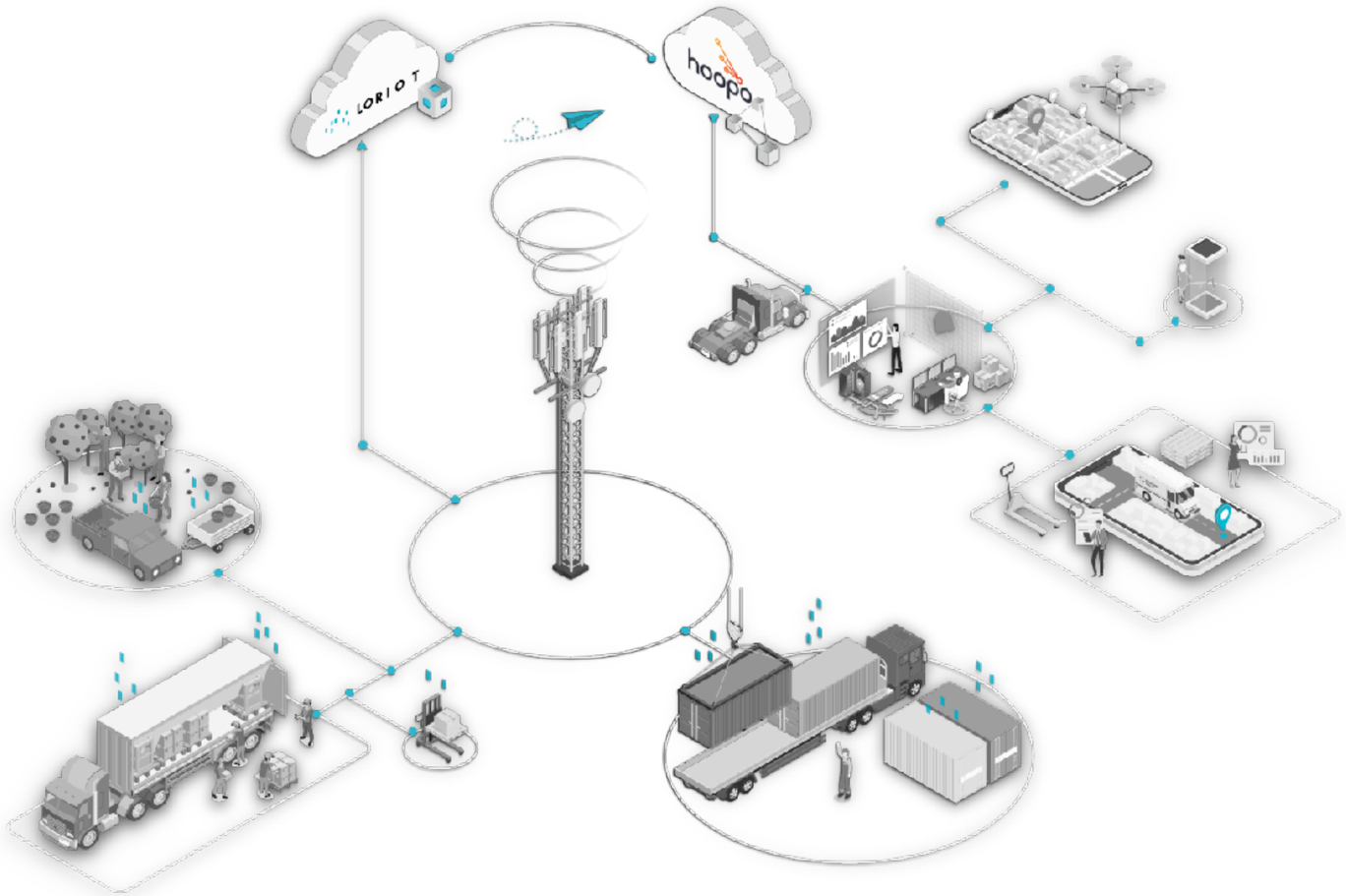


Les USE CASE pour l'IOT

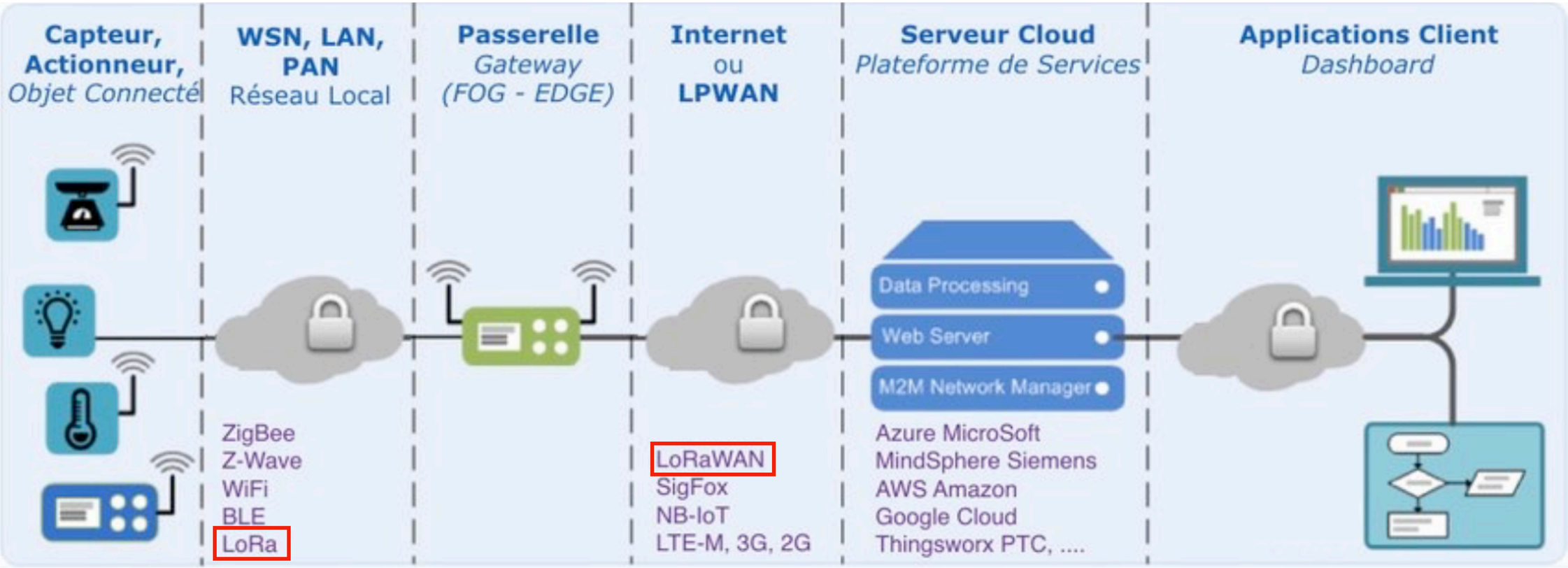
Example Transport IIoT

https://www.iotone.com/usecases

https://www.actility.com/logistics-supply-chain/



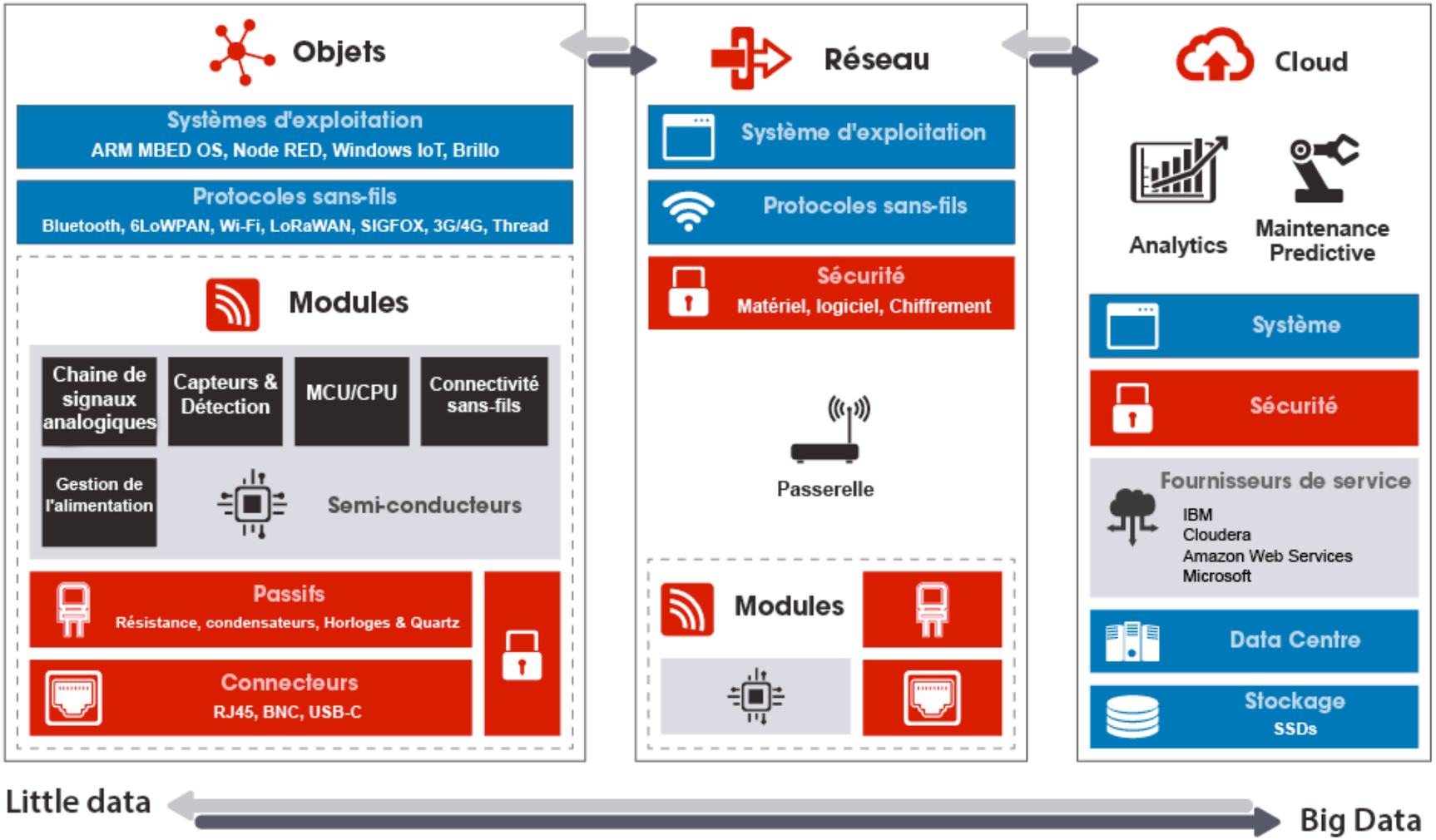
Architecture Type des IoT



Tous les noms sont la propriété de leurs propriétaires respectifs

La formation concerne la technologie LoRa - LoRaWAN exclusivement

Architecture Type des IoT



La formation concerne la technologie LoRa - LoRaWAN exclusivement

Domaine multi-compétence

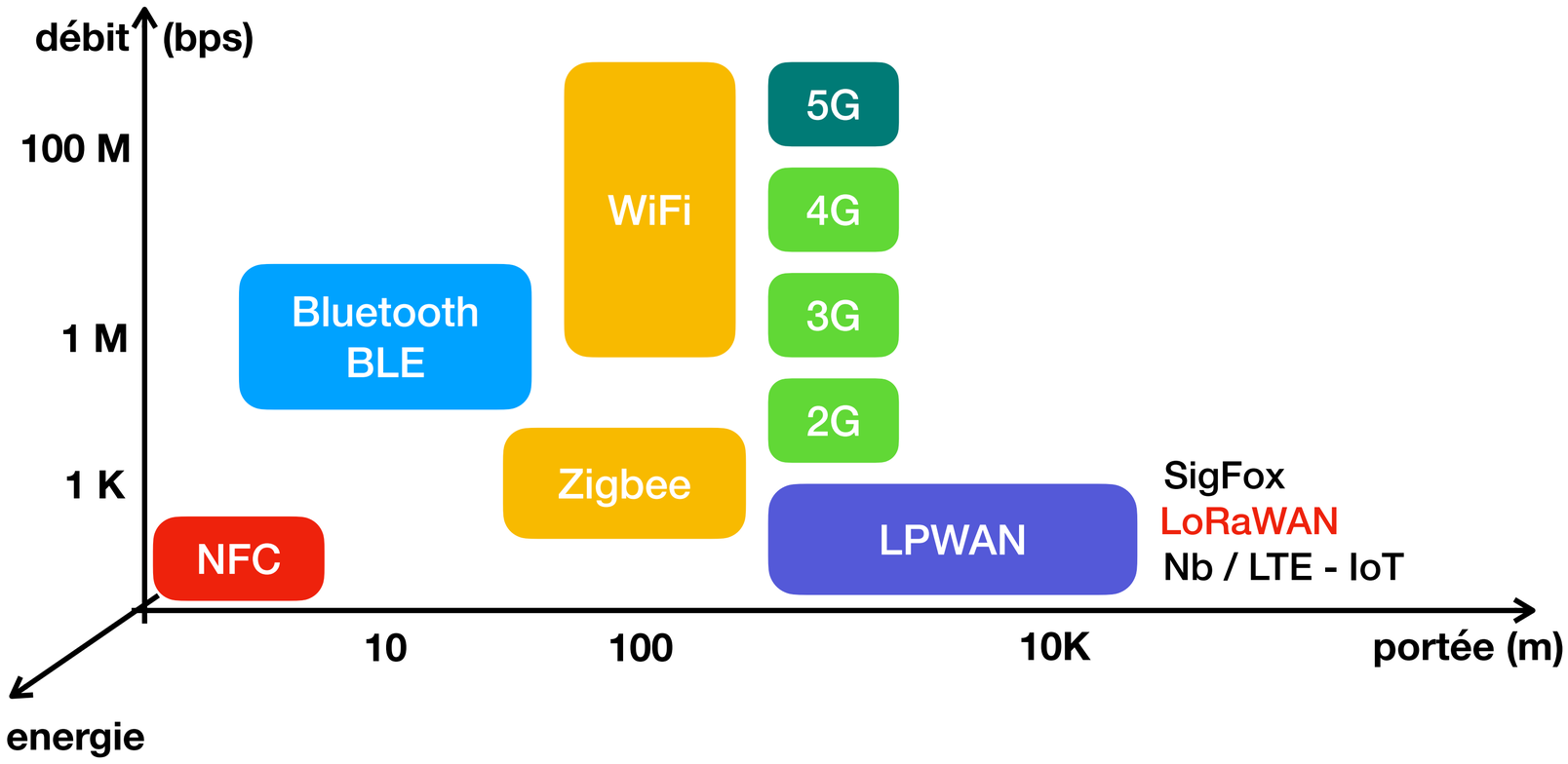
Objet connecté	Internet	Cloud
Logiciel Embarqué		Dev Web
Electronique	Infrastructure	Infrastructure
Réseau	Réseau / Réseau	Réseau
Cybersécurité	Cybersécurité	Cybersécurité

La formation concerne la technologie LoRa - LoRaWAN exclusivement

Critères de performance des réseaux sans fil

- Portée de transmission
- Débit
- Sécurité intrinsèque
- Topologie
- Consommation d'énergie
- Coût
- Déterminisme
- Fiabilité
- Latence
- Localisation

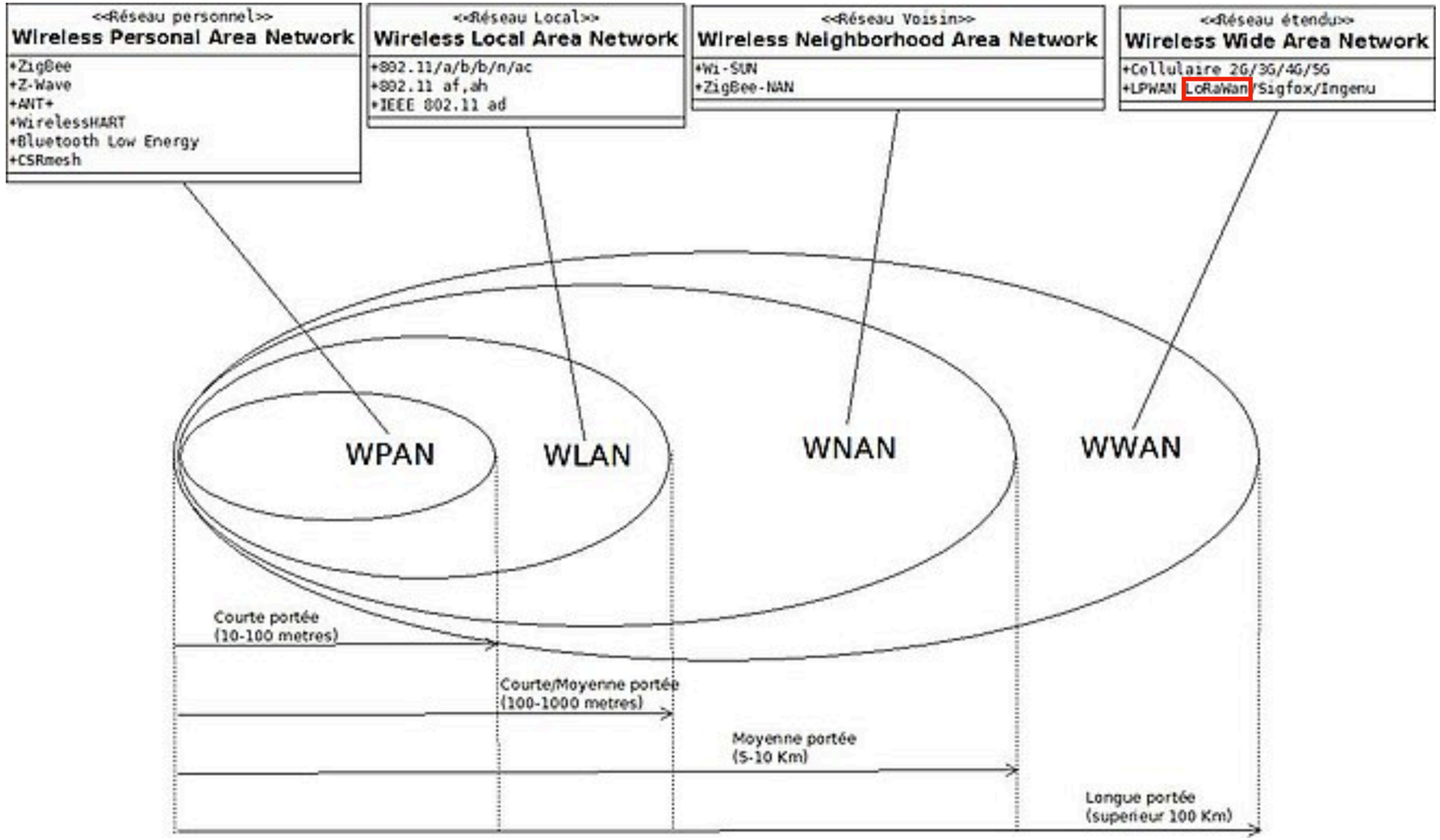
Représentation des technologies sans fil (source ttn)



Technologies adaptées au monde de l'IoT

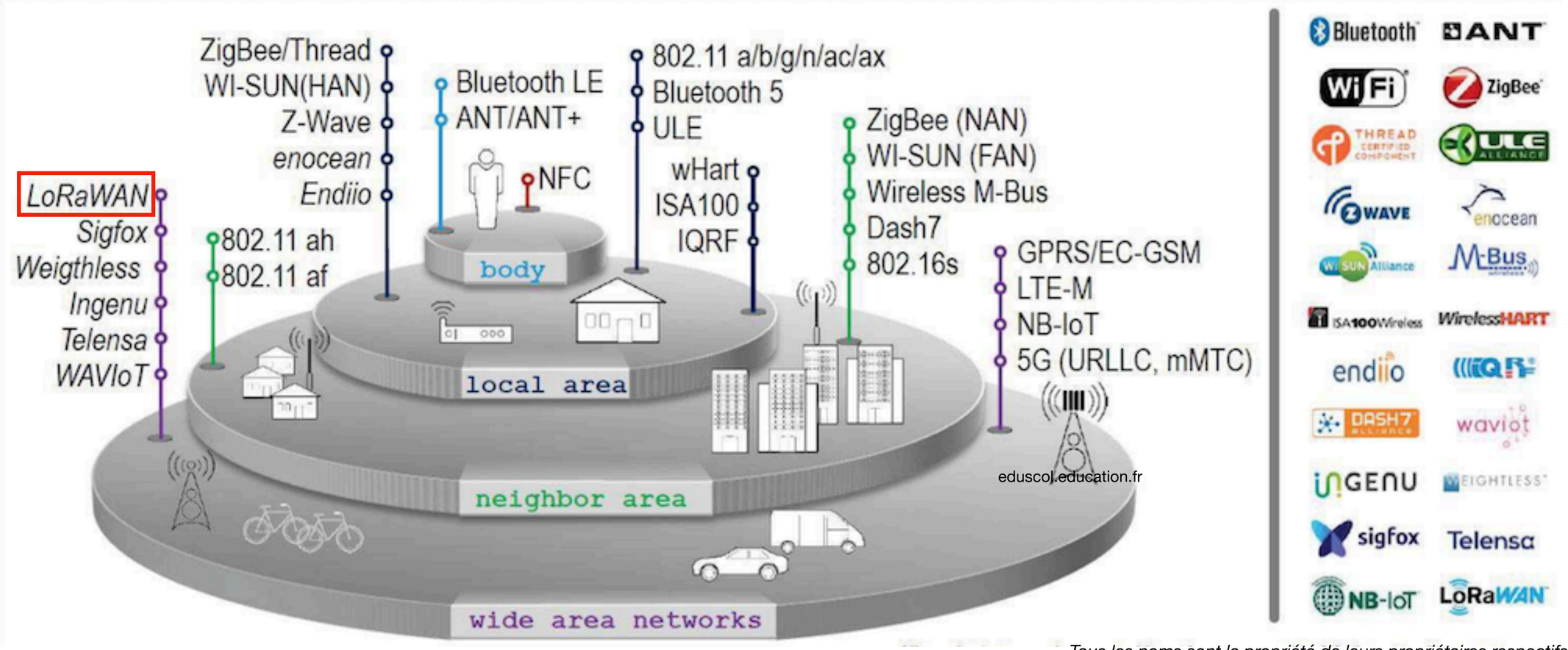
Les réseaux LPWAN (Low Power Wide Area Networks) sont adaptées au monde de l'IoT

Grande portée mais avec une faible consommation d'énergie



Technologies (source 2018)

LoRaWAN vs SigFox ?



Tous les noms sont la propriété de leurs propriétaires respectifs

La formation concerne la technologie LoRaWAN exclusivement

Avant propos et rappels

Partie

2 **LoRaWAN**

Introduction pour la formation

Technologie LoRaWAN

La technologie **LoRaWAN** a été développée par la start up grenobloise **Cycléo**
rachetée en 2012 par l'entreprise californienne **Semtech**
elle détient désormais les droits exclusifs sur la technologie **LoRa**

Principaux avantages de LoRa ®

- sa capacité à longue portée, budget de liaison élevé
- utilise les bandes radio ISM (industrielle, scientifique, médicale) sans licence
- une seule passerelle ou station de base peut couvrir des villes entières ou des centaines de kilomètres carrés
- la portée dépend fortement de l'environnement ou des obstacles à un endroit donné

Le bilan de liaison est le principal facteur déterminant la portée dans un environnement donné

Technologie LoRaWAN

The things Network : site que l'on va exploiter durant cette formation (Network server et Application server pour les démo/TP)

https://www.thethingsnetwork.org/community

Présentation des devices disponibles en LoRaWAN

https://www.thethingsnetwork.org/marketplace/products/devices

https://www.thethingsnetwork.org/marketplace/product/lora-temperature-and-humidity-sensor

Présentation des devices disponibles en LoRaWAN

https://www.thethingsnetwork.org/marketplace/product/lora-temperature-and-humidity-sensor

Caractéristiques

- LoRaWAN 1.1
- Capteur : RTD en platine PT100
- Un maximum de 4 sondes est pris en charge.
- Antenne externe
- Bouton marche/arrêt
-

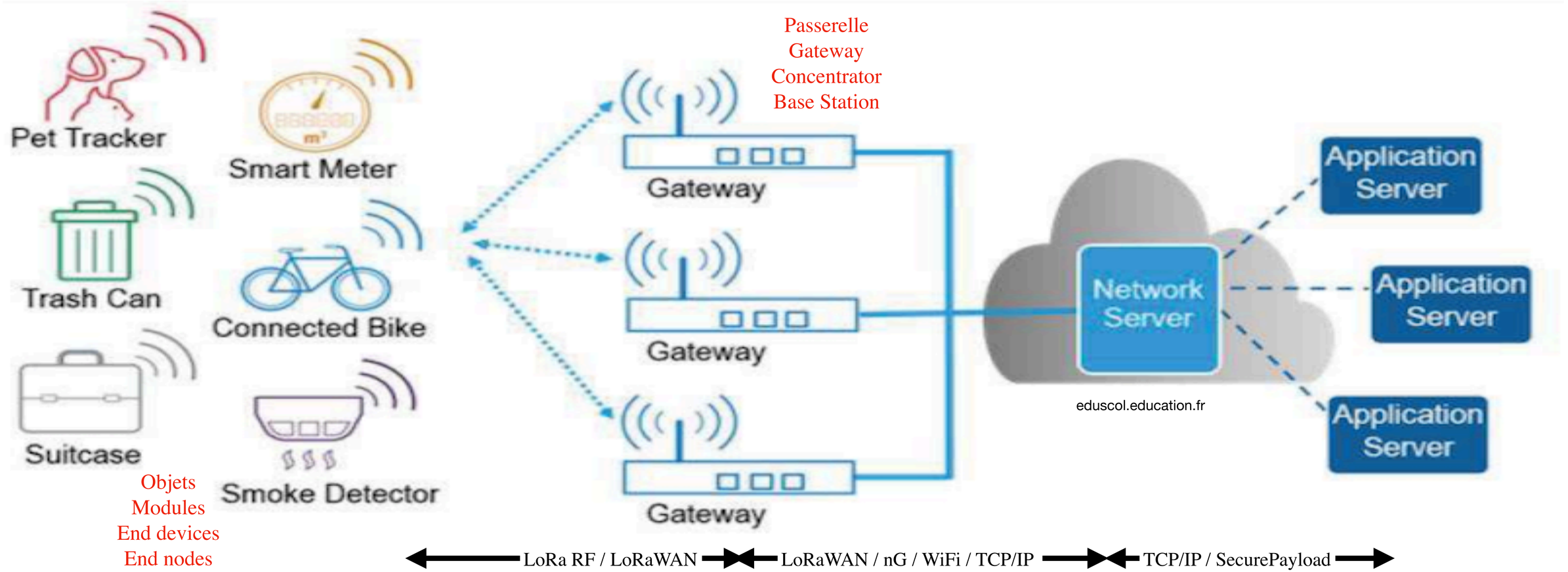
Applications :

- Station météo
- Chauffage
- Séchage
- Systèmes de ventilation et de climatisation
- Smart Agriculture
- Domotique

Détails techniques

- LoRaWan1.1
- Sensibilité : -142,5 dBm @ SF12 300 bps
- Batterie Li non rechargeable de 19 000 mAh
- Autonomie en veille : 5 ans à 25 17 dBm de puissance de transmission et intervalle de rapport de 5 minutes
- Précision : <±1°C
- Température de fonctionnement : -40~+70
- Température de fonctionnement : 5 % ~ 95 %
- Dimensions : 76 *46* 110 mm

Architecture et exemple des Use Case



LoRa est l'abréviation de **Lo**ng **Ra**nge aussi appelée **LoRa RF** ou **couche physique** (propriété de Semtech : brevet) :
c'est l'interface radio longue portée assurant le transit des informations bidirectionnelles entre les objets connectés et la ou les passerelle(s)

LoRaWAN signifie **Lo**ng **Ra**nge **W**ide Area **N**etwork aussi appelée **LoRa MAC** (ouverte et accessible à tous) :
désigne l'ensemble du réseau de communications, depuis chaque objet connecté jusqu'aux serveurs

Avant propos et rappels

Partie

3

LoRa RF

Caractéristiques générales et principe de fonctionnement

Caractéristiques générales :

LoRa : c'est une **bande de fréquences**,
la portée théorique est de **22 Km**
pas de demande d'autorisation, **gratuité d'utilisation**

En Europe (bandes libres) :

Fréquences MHz	Utilisations
13,56	NFC
433	LoRa
868	**LoRa** - SigFox
2400	WIFI BLE ZigBee
5800	WIFI

End device LoRa

868 MHz

C'est la **Gateway LoRa** qui impose la bande de fréquences ici **868 MHz**

868 MHz <= bande de fréquences : ce n'est donc pas qu'une fréquence !!!

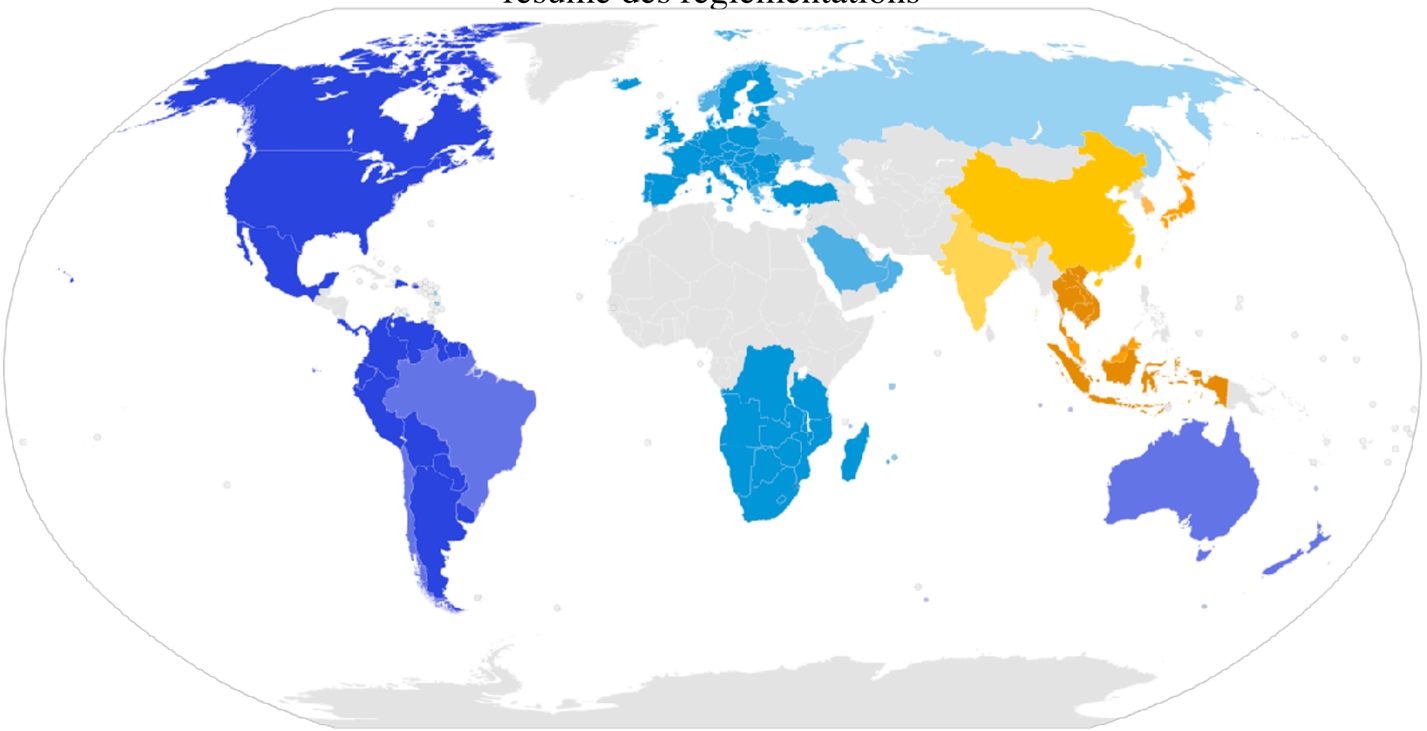
Plans de fréquences par pays :

Les propriétaires de gateway sont tjs obligés de trouver, d'étudier et de respecter les réglementations de leur pays. Certains pays attendent également que vous enregistriez votre passerelle ou que vous obteniez une licence.

=> Dans ce cas, vous utilisez une "**bande libre**", et non une "**bande sans licence**".

Dans certains pays, il est également nécessaire que la passerelle soit certifiée (CE, FCC, …) si vous autorisez d'autres personnes à communiquer également via elle.

résumé des réglementations



https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/frequency-plans/

EU863-870

Liaison montante :

1. **868.1** - SF7BW125 à SF12BW125
2. **868.3** - SF7BW125 à SF12BW125 et SF7BW250
3. **868.5** - SF7BW125 à SF12BW125
4. **867.1** - SF7BW125 à SF12BW125
5. **867.3** - SF7BW125 à SF12BW125
6. **867.5** - SF7BW125 à SF12BW125
7. **867.7** - SF7BW125 à SF12BW125
8. **867.9** - SF7BW125 à SF12BW125
9. **868.8** - FSK

Liaison descendante :

- Canaux de liaison montante 1-9 (RX1)
- **869.525** - SF9BW125 (RX2)

US902-928 (États-Unis, Canada, Amérique du Sud)

Liaison montante :

1. **903.9** - SF7BW125 à SF10BW125
2. **904.1** - SF7BW125 à SF10BW125
3. **904.3** - SF7BW125 à SF10BW125
4. **904.5** - SF7BW125 à SF10BW125
5. **904.7** - SF7BW125 à SF10BW125
6. **904.9** - SF7BW125 à SF10BW125
7. **905.1** - SF7BW125 à SF10BW125
8. **905.3** - SF7BW125 à SF10BW125
9. **904.6** - SF8BW500

Liaison descendante :

1. **923.3** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
2. **923.9** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
3. **924.5** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
4. **925.1** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
5. **925.7** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
6. **926.3** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
7. **926.9** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
8. **927.5** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
9. **923.3** - SF12BW500 (RX2)

CN470-510 (Chine)

Liaison montante :

1. **486.3** - SF7BW125 à SF12BW125
2. **486.5** - SF7BW125 à SF12BW125
3. **486.7** - SF7BW125 à SF12BW125
4. **486.9** - SF7BW125 à SF12BW125
5. **487.1** - SF7BW125 à SF12BW125
6. **487.3** - SF7BW125 à SF12BW125
7. **487.5** - SF7BW125 à SF12BW125
8. **487.7** - SF7BW125 à SF12BW125

Liaison descendante :

1. **506.7** - SF7BW125 à SF12BW125 (RX1)
2. **506.9** - SF7BW125 à SF12BW125 (RX1)
3. **507.1** - SF7BW125 à SF12BW125 (RX1)
4. **507.3** - SF7BW125 à SF12BW125 (RX1)
5. **507.5** - SF7BW125 à SF12BW125 (RX1)
6. **507.7** - SF7BW125 à SF12BW125 (RX1)
7. **507.9** - SF7BW125 à SF12BW125 (RX1)
8. **508.1** - SF7BW125 à SF12BW125 (RX1)
9. **505.3** - SF12BW125 (RX2)

AU915-928

Liaison montante :

1. **916.8** - SF7BW125 à SF12BW125
2. **917.0** - SF7BW125 à SF12BW125
3. **917.2** - SF7BW125 à SF12BW125
4. **917.4** - SF7BW125 à SF12BW125
5. **917.6** - SF7BW125 à SF12BW125
6. **917.8** - SF7BW125 à SF12BW125
7. **918.0** - SF7BW125 à SF12BW125
8. **918.2** - SF7BW125 à SF12BW125
9. **917.5** - SF8BW500

Liaison descendante :

1. **923.3** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
2. **923.9** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
3. **924.5** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
4. **925.1** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
5. **925.7** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
6. **926.3** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
7. **926.9** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
8. **927.5** - SF7BW500 à SF12BW500 (RX1)
9. **923.3** - SF12BW500 (RX2)

AS920-923 ("AS1") (Japon, Malaisie, Singapour)

Liaison montante :

1. **923.2** - SF7BW125 à SF12BW125
2. **923.4** - SF7BW125 à SF12BW125
3. **922.2** - SF7BW125 à SF12BW125
4. **922.4** - SF7BW125 à SF12BW125
5. **922.6** - SF7BW125 à SF12BW125
6. **922.8** - SF7BW125 à SF12BW125
7. **923.0** - SF7BW125 à SF12BW125
8. **922.0** - SF7BW125 à SF12BW125
9. **922.1** - SF7BW250
10. **921.8** - FSK

Liaison descendante :

- Canaux de liaison montante 1-10 (RX1)
- **923.2** - SF10BW125 (RX2)

AS923-925 (« AS2") (Brunei, au Cambodge, à Hong Kong, …)

Liaison montante :

1. **923.2** - SF7BW125 à SF12BW125
2. **923.4** - SF7BW125 à SF12BW125
3. **923.6** - SF7BW125 à SF12BW125
4. **923.8** - SF7BW125 à SF12BW125
5. **924.0** - SF7BW125 à SF12BW125
6. **924.2** - SF7BW125 à SF12BW125
7. **924.4** - SF7BW125 à SF12BW125
8. **924.6** - SF7BW125 à SF12BW125
9. **924.5** - SF7BW250
10. **924.8** - FSK

Liaison descendante :

- Canaux de liaison montante 1-10 (RX1)
- **923.2** - SF10BW125 (RX2)
-

Avant propos et rappels

Partie

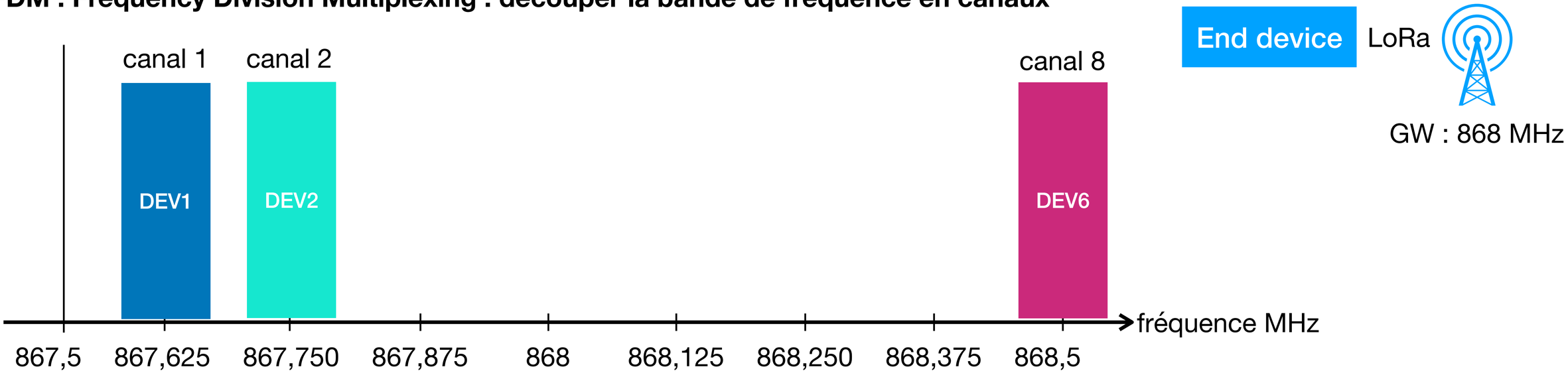
3

LoRa RF

Caractéristiques générales et principe de fonctionnement

Quelles techniques pour que plusieurs objets dialogues en même temps ?

FDM : Frequency Division Multiplexing : découper la bande de fréquence en canaux



En LoRa : **8 canaux** pour :

- **uplink** : données de l'objet vers le serveur / utilisateur => capteur
- **downlink** : données du serveur / utilisateur vers l'objet => actionneur

1 canal réservé que pour faire que du downlink

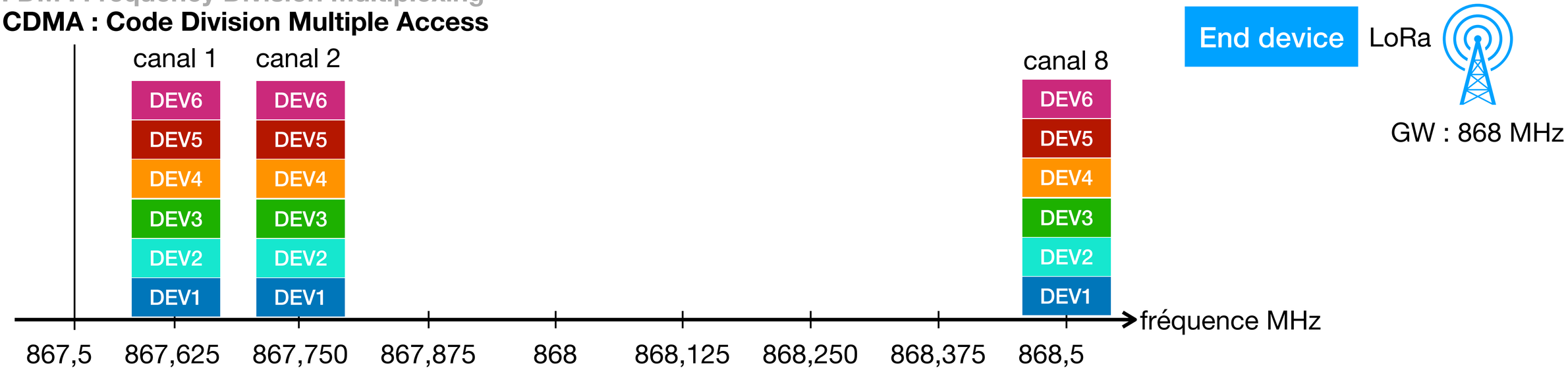
On privilégiera le uplink en IoT

8 canaux = 8 objets….

Quelles techniques pour que plusieurs objets dialogues en même temps ?

FDM : Frequency Division Multiplexing

CDMA : Code Division Multiple Access



CDMA : étalement de spectre, permet pour chaque canal de faire parler plusieurs objets
sur 1 canal ils parlent en même temps mais avec une couleur différente :
c'est le **Spreading Factor (SF)** : code d'étalement mais ici on reste sur une représentation par couleur

le nombre de couleurs mis à disposition dans LoRa est **6 / canal**

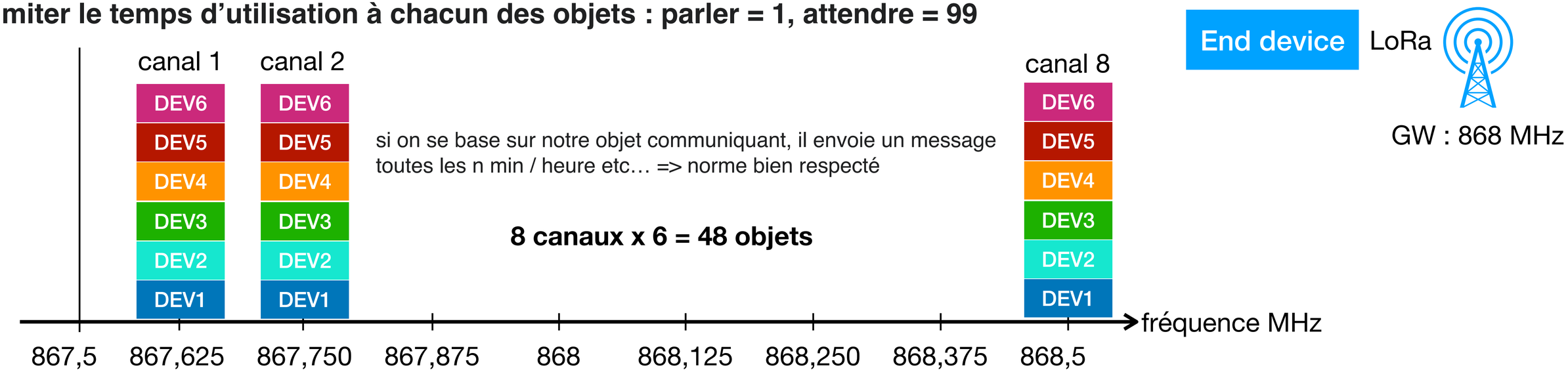
Si 2 couleurs identiques dans le même canal on aura une collision => retransmission

En LORA on ne fait pas du temps réel mais si l'utilisateur souhaite être avertit d'une réception ou pas
il utilisera des ***acquittements de message***

ici 8 canaux x 6 couleurs = **48**

Quelles techniques pour que plusieurs objets dialogues en même temps ?

Limiter le temps d'utilisation à chacun des objets : parler = 1, attendre = 99



La durée d'un message (son envoie) dure entre 50ms et 2s :

Exo 1 : Si le message met 500ms pour être envoyé, est-ce que je pourrai envoyer un nouveau 5mn plus tard ?

Exo 2 : Si un objet device peut parler 1% du temps sur 50s, combien de devices pourront parler en 50 sec ?

Pour résumer sur LoRa

protocole Long Range (**lo**ngue distance et faible débit)

transmet sur 8 canaux dans la bande libre **des 868MHz**

utilise des SF (spectres d’étalement) :

LoRa : SF6 LoRaWAN : SF7, SF8, SF9, SF10, SF11, SF12

Si 2 objets LoRa utilisent des SF différents, ils peuvent transmettre en même temps sur le même canal

Politique d'utilisation équitable

Sur le réseau communautaire public de The Things Network, une **politique d'utilisation équitable** s'applique qui limite le **temps** d' **antenne** de la **liaison montante** à **30 secondes par jour (24 heures) par nœud** et les **messages de liaison descendante** à **10 messages par jour (24 heures) par nœud** .

Si vous utilisez un réseau privé, ces limites ne s'appliquent pas, mais vous devez toujours être conforme aux limites gouvernementales et LoRaWAN.

Avant propos et rappels

Partie

4 **LoRa RF**

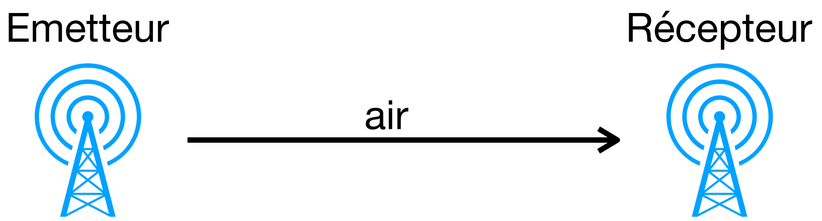
Transmission et propagation radio

Rappel sur les Transmission et Propagation Radio valeurs peuvent être très grande et petite…

Unité utilisée :
puissance émise = Pe **dB**
puissance reçu = Pr **dB**

G (dB) = 10 log (Pr / Pe) => une **multiplication en dB** sera une **addition**,
une **division en dB** sera une **soustraction** ainsi :

Rapport de puissances en dB	Rapport de puissance
+ 10 dB	Multiplication par 10
+ 3 dB	Multiplication par 2
0 dB	Egalité
-3 dB	Division par 2
-10 dB	Division par 10



PE : Puissance Emise

PR : Puissance Reçue

PR = PE / 1 000 000 000 (1 milliard)

Quel sera le Gain en dB ?

De combien de dB PE sera atténuée ?

Rappel sur les Transmission et Propagation Radio les dBm

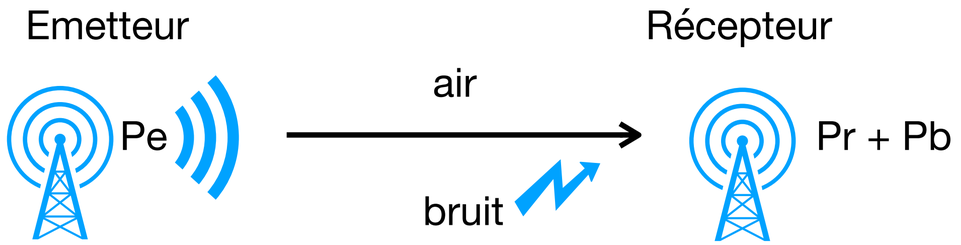
Uniformalisation : on ne parle plus de ***Watt*** mais on se base sur le référentiel d' **1mW = 0 dBm**

en dBm	Rapport de puissance / 1mW
+ 10 dBm	x 10
+ 3 dBm	x 2
0 dBm	Egalité = 1mW
-3 dBm	/ 2
-10 dBm	/ 10

Exemple :
Que vaut **2 W** (puissance d'émission d'un talkie walkie) **en dBm** ?

Définition RSSI, Sensibilité, SNR

- Pe : puissance émise
- Pr : puissance reçue
- Pb : puissance du bruit
- **RSSI** (Received Signal Strength Indication) : puissance **Pr** du signal reçu en dBm
- **Sensibilité** : **RSSI** minimal pour recevoir un signal en dBm
- **SNR** (Signal over Noise Ratio) : Rapport Pr et Pb en dB (ratio de puissances)

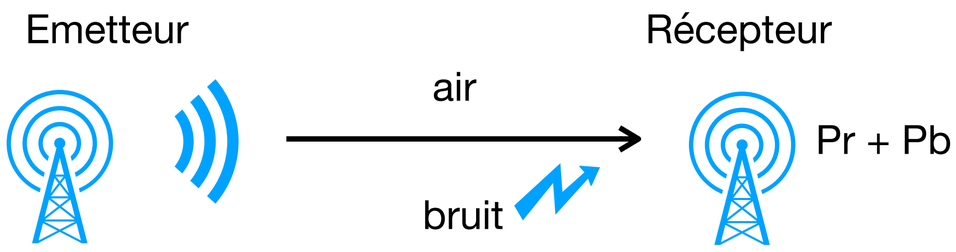


Critères
- Pr : doit être le plus élevé possible (idéalement Pr = Pe)
- Pb : doit être le plus faible possible (idéalement Pb = 0)
- si **RSSI > sensibilité** du récepteur : c'est bon
- si **RSSI < sensibilité** du récepteur : ce n'est pas bon
- **SNR** (= Pr / Pb) doit être le plus élevé possible (plus de signal que de bruit)

Exemple
Un émetteur transmet à une puissance de 13dBm en utilisant une antenne dont le gain est de 2dBi. Les pertes dans l'air sont de 60 dB. L'antenne réceptrice qui possède un gain de 2dBi est reliée à un récepteur dont la sensibilité est de -80 dBm. Le signal pourra-t-il être reçu ?

Le bruit sur le récepteur est mesuré à -50dBm. Quel est le SNR ?

Définition link budget



cas 1 Pe = 0 dBm —budget = 100 dB→ sensibilité = -100 dBm

cas 2 Pe = -20 dBm —budget = 100 dB→ sensibilité = -120 dBm

link budget c'est ce qu'on a le droit de perdre pour que la transmission se fasse

différence entre la puissance émise **Pe** et la sensibilité **RSSI min** = **Pe - sensibilité**

exemple :

en LTE 4G : le link budget est de **130 dB**

en LoRa : le link budget est de **157 dB** => c-à-d qu'on peut se permettre de perdre 157 dB

=> + grande distance de transmission entre l'émetteur et le récepteur

record du monde en avril 2020 :

Distance de 832 Km entre émetteur et récepteur

Emetteur respectait norme LoRaWAN à 14 dBm

Rappel sur les Transmission et Propagation Radio ex. réception d'une GateWay

payload crypté (clés de chiffrement)

↑ 17:24:56 Receive uplink message DevAddr: 26 0B 09 19 FCnt: 2 FPort: 100 MAC payload: 40 C7 19 C0 CA Bandwidth: 125000 SNR: 8.75 RSSI: -29 Raw payload: 40 19 09 0B 26 80 02 00 64 40 C7 19 C0 CA A0 64 82 FD


```
"data": {
  "@type": "type.googleapis.com/ttn.lorawan.v3.UplinkMessage",
  "raw_payload": "QBkJCyaAAgBkQMcZwMqgZIL9",
  "payload": {
    "m_hdr": {
      "m_type": "UNCONFIRMED_UP"
    },
    "mic": "oGSC/Q==",
    "mac_payload": {
      "f_hdr": {
        "dev_addr": "260B0919",
        "f_ctrl": {
          "adr": true
        },
        "f_cnt": 2
      },
      "f_port": 100,
      "frm_payload": "QMcZwMo="
    }
  },
  "settings": {
    "data_rate": {
      "lora": {
        "bandwidth": 125000,
        "spreading_factor": 7
      }
    },
    "coding_rate": "4/5",
    "frequency": "867900000",
    "timestamp": 765068540,
    "time": "2021-07-13T15:24:56.812387943Z"
  },
  "rx_metadata": [
    {
      "gateway_ids": {
        "gateway_id": "ed-lemar-connect-etg1",
        "eui": "58A0CBFFFEB02072"
      },
      "time": "2021-07-13T15:24:56.812387943Z",
      "timestamp": 765068540,
      "rssi": -29,
      "channel_rssi": -29,
      "snr": 8.75,
      "location": {
        "latitude": 48.3665958177137,
        "longitude": -4.547581074584742,
        "altitude": 30,
        "source": "SOURCE_REGISTRY"
      },
      "uplink_token": "CiMKIQoVZWQtbGVtYXItY29ubmVjdC1ldGcxEghYoMv
    }
  ],
  "received_at": "2021-07-13T15:24:56.872483996Z",
  "correlation_ids": [
    "gs:conn:01FAFYKPGXWSD7KRQANJ1VKS4Z",
    "gs:uplink:01FA67H7SBNG7RHJVSJ576NEJ3"
  ]
},
```


canal : "frequency": "867100000",
SF : "spreading_factor": 7
RSSI : "rssi": -29,
SNR : "snr": 8.75,
bande passante : "bandwidth": 125000,
"timestamp": 765068540,
"f_cnt": 2
"f_port": 100,
"dev_addr": "260B0919",
"coding_rate": "4/5",

Rappel sur les Transmission et Propagation Radio déchiffrer les datasheet

Exemple du RN2483A du module TTNUNO via google

Recherche sur le site microchip :
- téléchargez la datasheet au format pdf
- repérez les RF/Analog Features ou les Key product Features :

RF/Analog Features
- Low-Power Long Range Transceiver Operating in the 433 MHz and 868 MHz Frequency Bands
- 2 High Receiver Sensitivity: Down to -146 dBm
- 1 TX Power: Adjustable up to +14 dBm high Efficiency PA
- FSK, GFSK and LoRa Technology Modulation
- IIP3 = -11 dBm
- Up to 15 km Coverage at Suburban and up to 5 km Coverage at Urban Area

link budget = Pe (dBm) - sensibility (dBm) = 14 - (-146) = 14 + 146 = **160 dBm**
1 2

Exemple du CMWX1ZZABZ-078 que l'on trouve sur les Arduino MKR1300 via google

Recherche sur le site octopart :
- téléchargez la datasheet au format pdf
- repérez les RF/Analog Features ou les Key product Features :

Frequencies : EU \ US \ India \Pacific
Operating Temp : -40 to +85 °C
Supply Voltage : 2.2V – 3.6V
RF Transmit Power : +14dBm / +20dBm (with PA boost)
RF Sensitivity : -135dBm

link budget = Pe (dBm) - sensibility (dBm) = 20 - (-135) = 20 + 135 = **155 dBm**

Rappel sur les Transmission et Propagation Radio déchiffrer les datasheet

Exemple du SX1276 de semtech via google

- téléchargez la datasheet au format pdf - repérez les Key product Features :

Caractéristiques

- Modem LoRa
- Budget de liaison maximal de 168 dB
- +20dBm - 100 mW de sortie RF constante par rapport à l'alimentation V
- +14dBm PA haute efficacité 3
- Débit binaire programmable jusqu'à 300 kbps
- Haute sensibilité : jusqu'à -148dBm
- 1 Frontal à l'épreuve des balles : IIP3 = -11dBm
- Excellente immunité de blocage
- 2 Faible courant RX de 9,9 mA, rétention de registre de 200 nA
- Synthétiseur entièrement intégré avec une résolution de 61 Hz
- Modulation FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa et OOK
- Synchroniseur de bits intégré pour la récupération d'horloge
- Détection de préambule
- 127dB Plage dynamique RSSI
- Détection RF automatique et CAO avec AFC ultra-rapide
- Moteur de paquets jusqu'à 256 octets avec CRC
- Capteur de température intégré et indicateur de batterie faible

link budget = Pe (dBm) - sensibility (dBm) = 20 - (-148) = 20 + 148 = **168 dBm il est meilleur que les autres (norme à 14dBm)**

On peut regarder le tableau page 27 : https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R0000001Rbr/6EfVZUorrpoKFfvaF_Fkpgp5kzjiNyiAbqcpqh9qSjE

SpreadingFactor (RegModulationCfg)	Spreading Factor (Chips / symbol)	LoRa Demodulator SNR
6	64	-5 dB
7	128	-7.5 dB
8	256	-10 dB
9	512	-12.5 dB
10	1024	-15 dB
11	2048	-17.5 dB
4 12	4096	5 -20 dB

6

SNR du démodulateur LoRa en fonction du SpreadingFactor

si SpreadingFactor de 12, le SNR = -20dB
le signal est noyé dans un bruit 100 fois plus fort et on comprend le message !

6 inconvénient : + le SF est grand,
+ la trame d'information sera longue,
+ le débit de transmission sera faible

Rappel sur les Transmission et Propagation Radio résumer

gain (x10 -> +10dB) (x2 -> +3dB) (= -> 0dB) (/2 -> -3dB) (/10 -> -10dB)

uniformalisation -> référentiel 1mW = 0dBm

link budget de 155 à 168 dBm

SNR peut atteindre -20dB pour un SF12

plus le **SF** augmente plus le débit sera faible

Avant propos et rappels

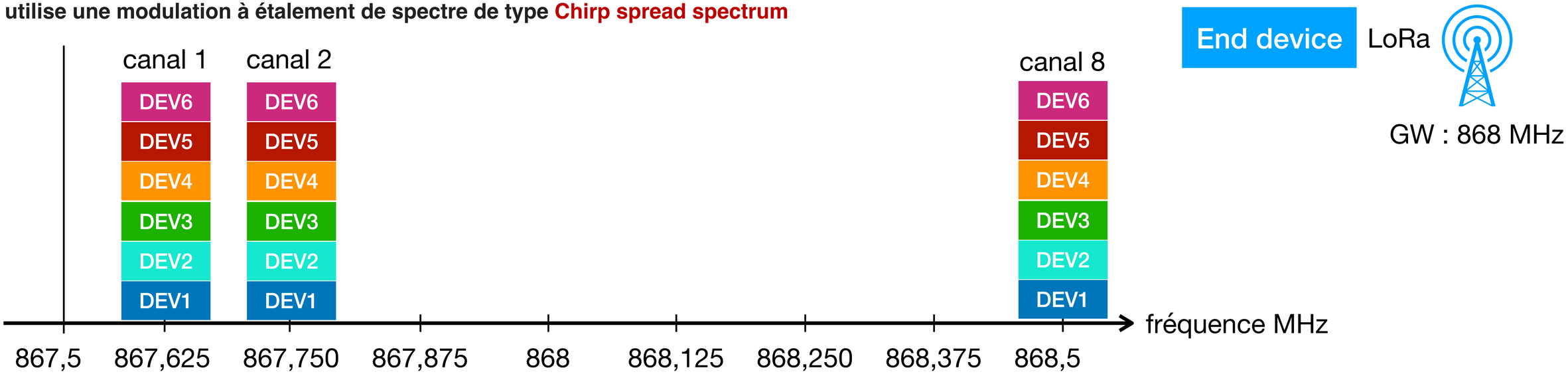
Partie

4 **LoRa RF**

La modulation

Quelles techniques pour que plusieurs objets dialogues en même temps ?

> **utilise une modulation à étalement de spectre de type Chirp spread spectrum**

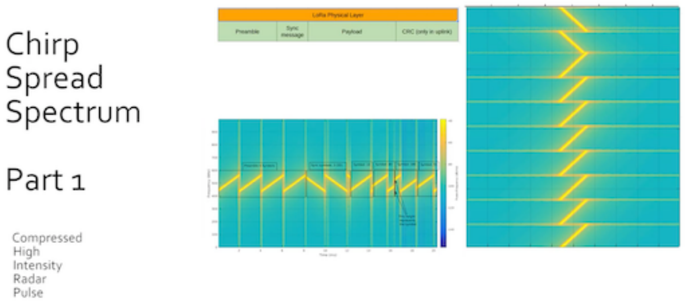


L'étalement du spectre consiste à répéter plusieurs fois le message transmis à des fréquences différentes

La variation de fréquence effectuée par LoRa est linéaire

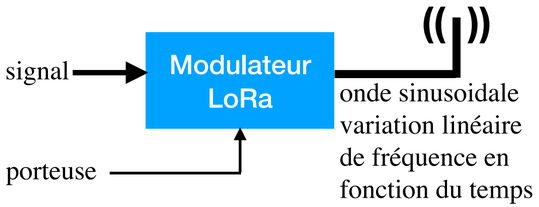
Les bandes passantes **BW** possibles à configurer pour un canal sont **125**, **250** et 500 kHz pour la bande **868 MHz**

LoRa utilise la modulation sans fil dérivée de la technologie Chirp Spread Spectrum **(CSS)**

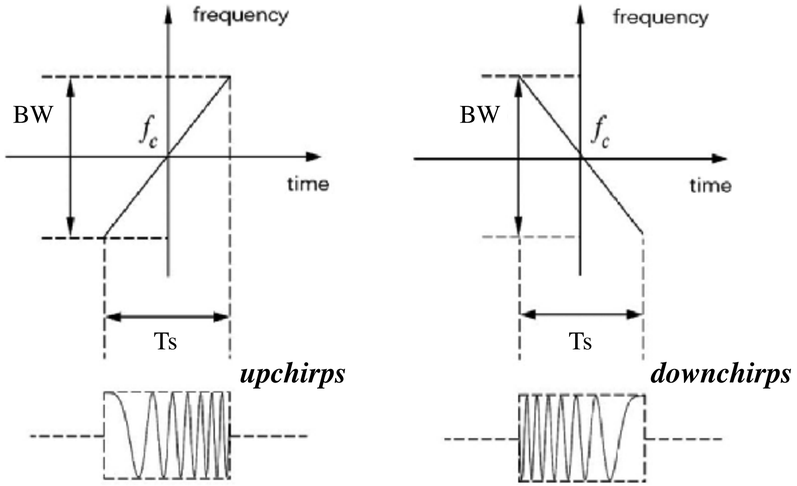


La modulation LoRa : Chirp Spread Spectrum modulation

Principe de la modulation à étalement de spectre



Forme du symbole (Chirp) de la modulation LoRa (semtech)



C'est une sinusoide balayée par une fréquence (en europe) de

- 0 à 125KHz ou
- 0 à 250KHz

Ce balayage autour de la porteuse fc est appelée **2ΔF** ou **BandWidth** ou BP

Upchirps la fréquence croit linéairement au cours du temps

Downchirps décroit

+ la BandWidth sera élevée :
  + on pourra transmettre de la donnée dans le même canal
  + on aura un débit élevé
  — on aura de place pour les autres canaux

Comment avoir plusieurs transmissions dans le même canal ?

Le procédé de modulation onsiste à élaborer, pendant la durée de transmission de chaque symbole, une onde sinusoïdale su(t) présentant, autour d'une fréquence porteuse fc, une variation linéaire de fréquence. Cette onde sinusoïdale est appelée **CHIRP** (Compressed High Intensity Radar Pulse).

En Europe :

La bande de fréquence de l'interface radio LoRa est 868MHz (ISM : Industrielle Scientifique Médicale)

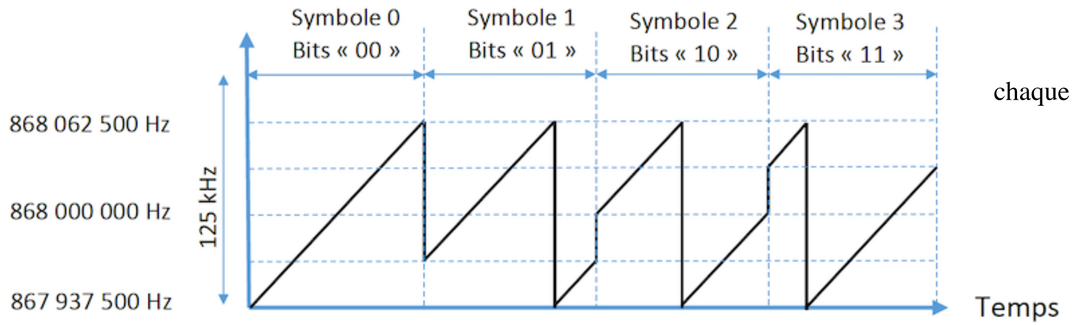
L'encombrement spectral du signal modulé (**BW**) est soit de 125 KHz soit de 250 KHz

Le Facteur d'étalement **SF** (Spreading Factor) = nombre de bits par symbole transmis pendant **Ts**

la durée de transmission **Ts** d'un symbole est définit par la formule : $\mathbf{Ts = 2^{SF} / BW}$

SF peut prendre les valeurs entières de 7 à 12, la valeur 6 étant réservée

Exemple théorique en SF2 (principe de fonctionnement)



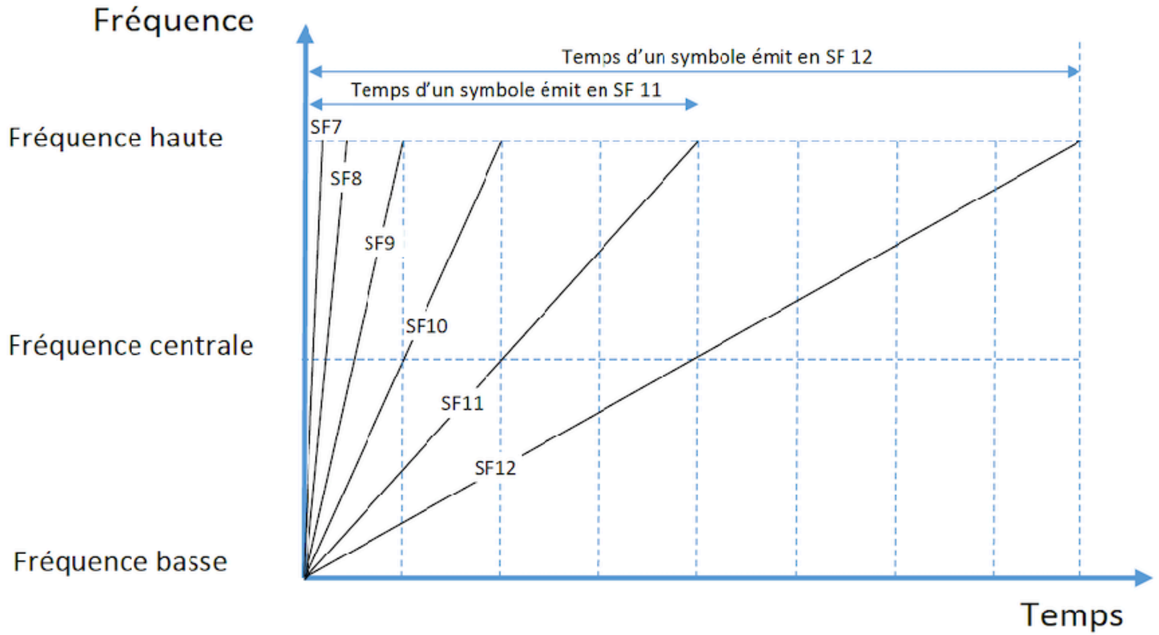
chaque symbole est sur 2 bits

En réalité seuls les SF7, SF8, SF9, SF10, SF11 et SF12 sont possibles

La modulation LoRa : Caractéristiques du Chirp = fct(Spreading Factor, Coding Rate, Bandwidth)

Durée d'émission d'un symbole et du débit

- la durée d'émission de chaque symbole (Chirp) dépend du Spreading Factor utilisé
- + SF est grand : + le temps d'émission sera long
- Pour une bande passante BW donnée le temps d'émission d'un symbole en :
  - SF8 = **2** fois celui en SF7
  - SF12 = **32** fois celui en SF7



Le temps d'émission d'un symbole Ts en fonction du SF pour BW = 125 KHz

Spreading Factor	Temps d'émission d'un symbole
SF7	1,024 ms
SF8	2,048 ms
SF9	4,096 ms
SF10	8,192 ms
SF11	16,384 ms
SF12	32,768 ms

débit binaire : $Db = SF * Bw / 2^{SF}$

+ SF sera élevé, + Db sera faible

+ BW sera élevée, + Db sera élevé

Exemple : cas 1 (SF7, 125 kHz) et cas 2 (SF12, 125 kHz)

Quel est le débit binaire correspondant ?

La modulation LoRa : Caractéristiques du Chirp = fct(Spreading Factor, Coding Rate, Bandwidth)

Taux de codage Code Rate en anglais (CR) de la donnée à transmettre

D'autres bits supplémentaires sont à transmettre permettant de détecter / corriger d'éventuelles erreurs
Le nombre et la fréquence d'introduction de ces bits sont caractérisés par le taux de codage CR

Les valeurs du CR sont : 4/5, 4/6, 4/7 et 4/8
Ex : pour un taux de codage de 4/7, on introduit 7 - 4 = 3 bits redondants tous les 4 bits d'information utiles
+ la valeur de CR est élevée : + la communication est considérée comme robuste
+ le nombre de bits redondants sont élevés
— le débit binaire est bon

SF	BW (kHz)	Débit binaire utile en bits/s			
		CR=4/5	CR=4/6	CR=4/7	CR=4/8
7	250	10938	9115	7812	6836
7	125	5469	4557	3906	3418
8	125	3125	2604	2232	1953
9	125	1758	1465	1256	1099
10	125	977	814	698	610
11	125	537	448	384	336
12	125	293	244	209	183

BW, SF et CR sont programmables

En Europe, 28 valeurs sont possibles pour un débit de transmission utile compris entre **180 bits/s** et **11 kbits/s**

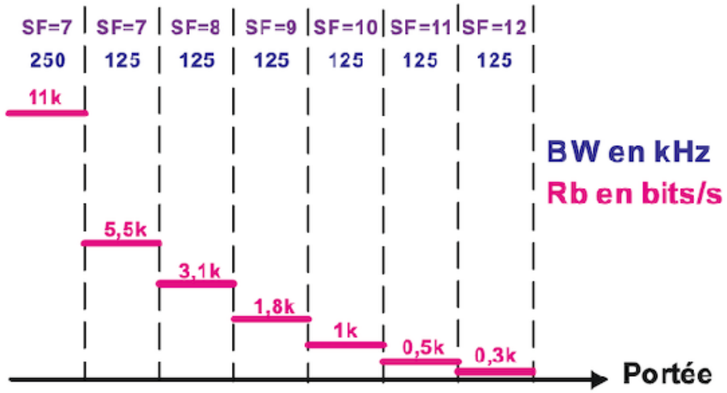
D'après Semtech :

Cyclic Coding Rate	Overhead Radio
4/5	**1,25**
4/6	1,5
4/7	1,75
4/8	2

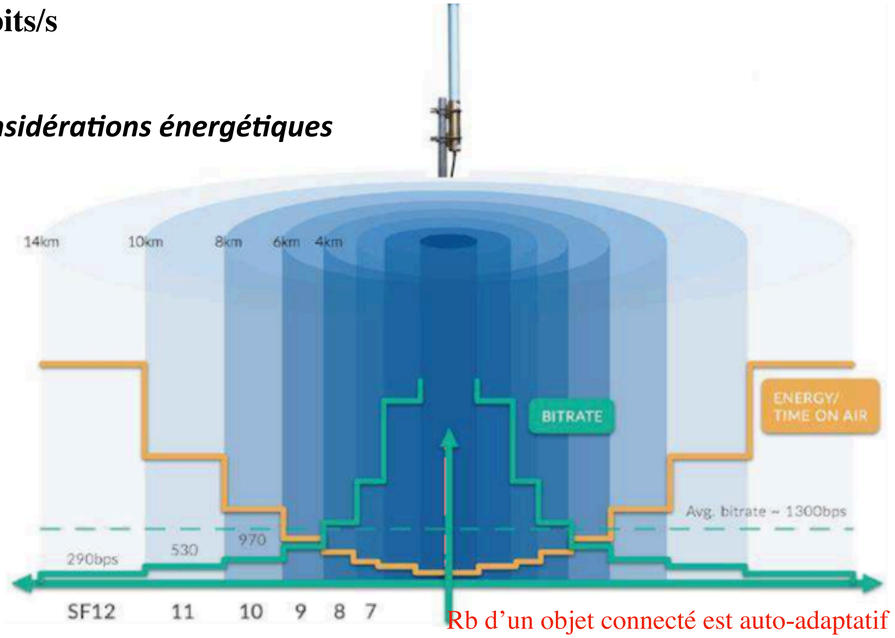
Exemple : cas 1 (SF7, 125 kHz, CR=4/5)
cas 2 (SF12, 125 kHz, CR=4/5)
Quel est le débit binaire correspondant ?

Portée de la transmission

A puissance d'émission égale, + **SF** est élevé :
+ la portée du signal modulé **Rb** est importante à **CR** = 4/5



Considérations énergétiques



Rb d'un objet connecté est auto-adaptatif

La modulation LoRa LoRa Calculator (by Semtech) version équivalente en ligne

Le logiciel LoRa Calculator est un petit exécutable fourni par Semtech permettant de simuler une transmission LoRa en fonction des caractéristiques saisies : Canal, SF, CR, etc…

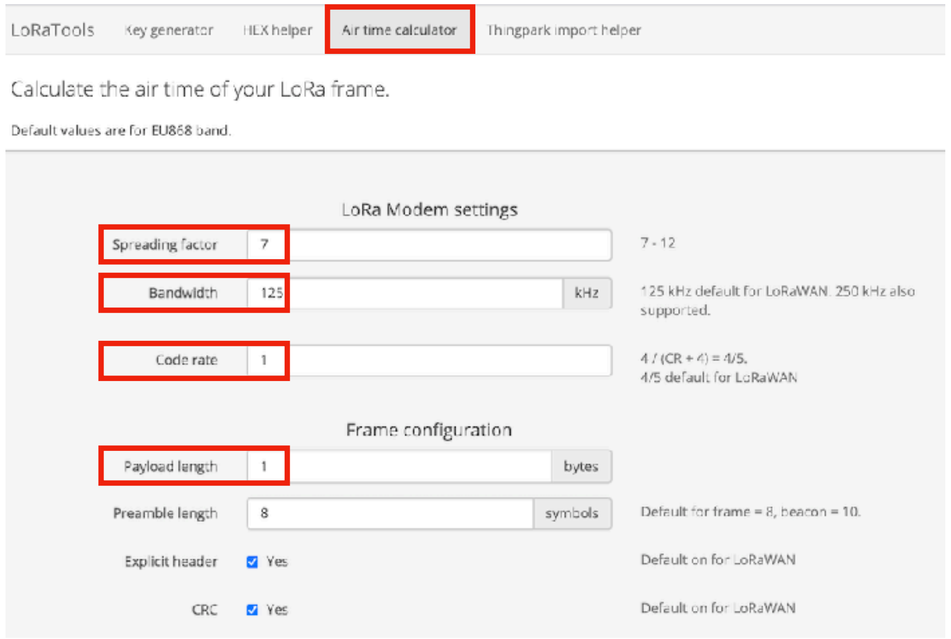
Exercice : En reprenant l'exemple des deux cas précédent: . cas 1 : SF7, 125 kHz, CR 4/5
. cas 2 : SF12, 125 kHz, CR 4/5 => vérifier les calculs du "Equivalent Bitrate" >> **PHY Payload**

Trame complète transmise en LoRa

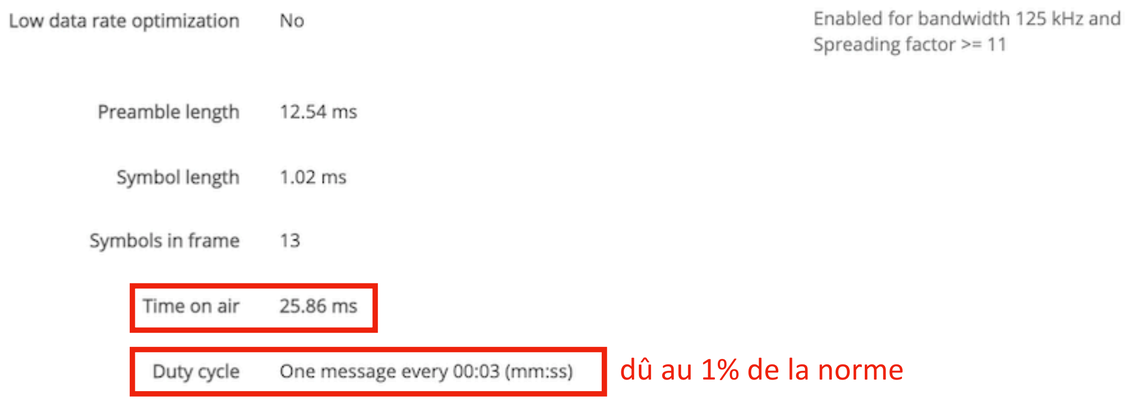
En réalité, il faut encapsuler les données **PHY Payload**, (3)
il faudra transmettre en plus : Un préambule de synchronisation (1), les entêtes (2) et les champs CRC (4) (vérification de l'intégrité de la trame)

Préambule	Header	PHY Payload	CRC

UtiliseZ **LoRa Calculator** pour estimer le temps d'émission de la trame appelé **Time On Air** (ou Airtime)
La simulation pour SF7, BW125, CR4/5 et Payload = **1 octet :**



done



dû au 1% de la norme

donc pour SF7, 125KHz et CR4/5 on a pas ~~5469~~ ni ~~172,7~~ mais **1,73 bits/s**

et pour SF12, 125KHz et CR4/5 on a pas ~~293~~ ni ~~6,9~~ mais **0,07 bits/s**

La modulation LoRa : Autonomie d’un device

La consommation d'un système LoRa dépend de plusieurs paramètres :

- la quantité de données à transmettre (PHY) Payload
- le Spreading Factor (SF)
- les collisions à l'émission si SF identiques (=> retransmission si les trames sont perdues)
- la demande d'acquittement des trames émises
- le Duty-Cycle (1%)
- la puissance d'émission du transceiver (Pe = 14 dBm)

- la puissance consommée en mode veille => liée à l’application

LoRa Energy Calculator

exemple : payload : 1 octet, en LoRaWAN : 14 octets

Avant propos et rappels

End