Conception et évaluation d'une architecture hybride de réseaux de capteurs reposant sur les technologies radio LoRa et IEEE 802.15.4

Arnaud Palgen

Département d'informatique
Service de réseaux et télécommunications
Université de Mons

UMONS

Faculté
des Sciences

14 janvier 2022

1 Introduction

2 Etat de l'art

3 Architecture

4 Mise en oeuvre

5 Evaluation

6 Conclusion

Section 1

Introduction

Contexte

Conception d'un réseau de capteurs pour la surveillance de cultures.

Contexte

Conception d'un réseau de capteurs pour la surveillance de cultures.

- Topographie difficile
- Noeuds contraints énergétiquement
- Feuillage obstacle aux communications

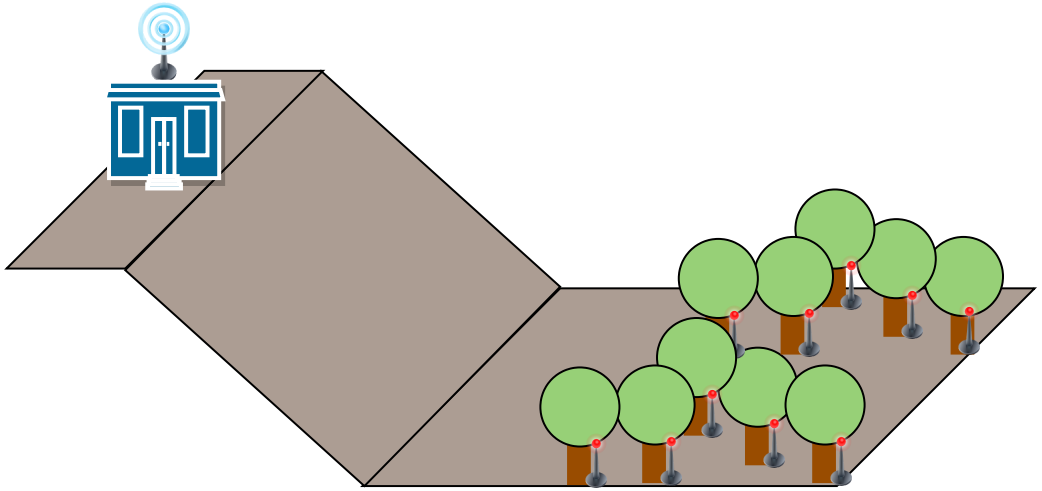


Figure – Exemple d'utilisation du réseau.

Contexte

Conception d'un réseau de capteurs pour la surveillance de cultures.

- Topographie difficile
- Noeuds contraints énergétiquement
- Feuillage obstacle aux communications

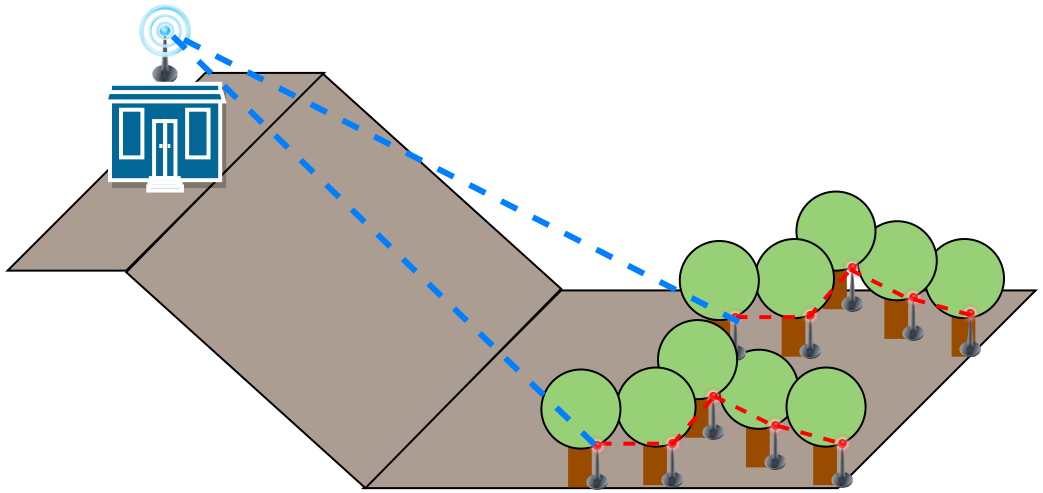


Figure – Exemple d'utilisation du réseau.

$\rightarrow$ LoRa + IEEE 802.15.4

Section 2

Etat de l'art

LoRa

LoRa est une technique de modulation à étalement de spectre basée sur *chirp spread spectrum (CSS)* et développée par Semtech.

LoRa

LoRa est une technique de modulation à étalement de spectre basée sur *chirp spread spectrum (CSS)* et développée par Semtech.

Paramètres de transmission :

1. **Bandwidth (BW)**

LoRa

LoRa est une technique de modulation à étalement de spectre basée sur *chirp spread spectrum (CSS)* et développée par Semtech.

Paramètres de transmission :

1. **Bandwidth (BW)**
2. **Coding rate (CR)**

LoRa

LoRa est une technique de modulation à étalement de spectre basée sur *chirp spread spectrum (CSS)* et développée par Semtech.

Paramètres de transmission :

1. **Bandwidth (BW)**
2. **Coding rate (CR)**
3. **Spreading Factor (SF)**

LoRa II

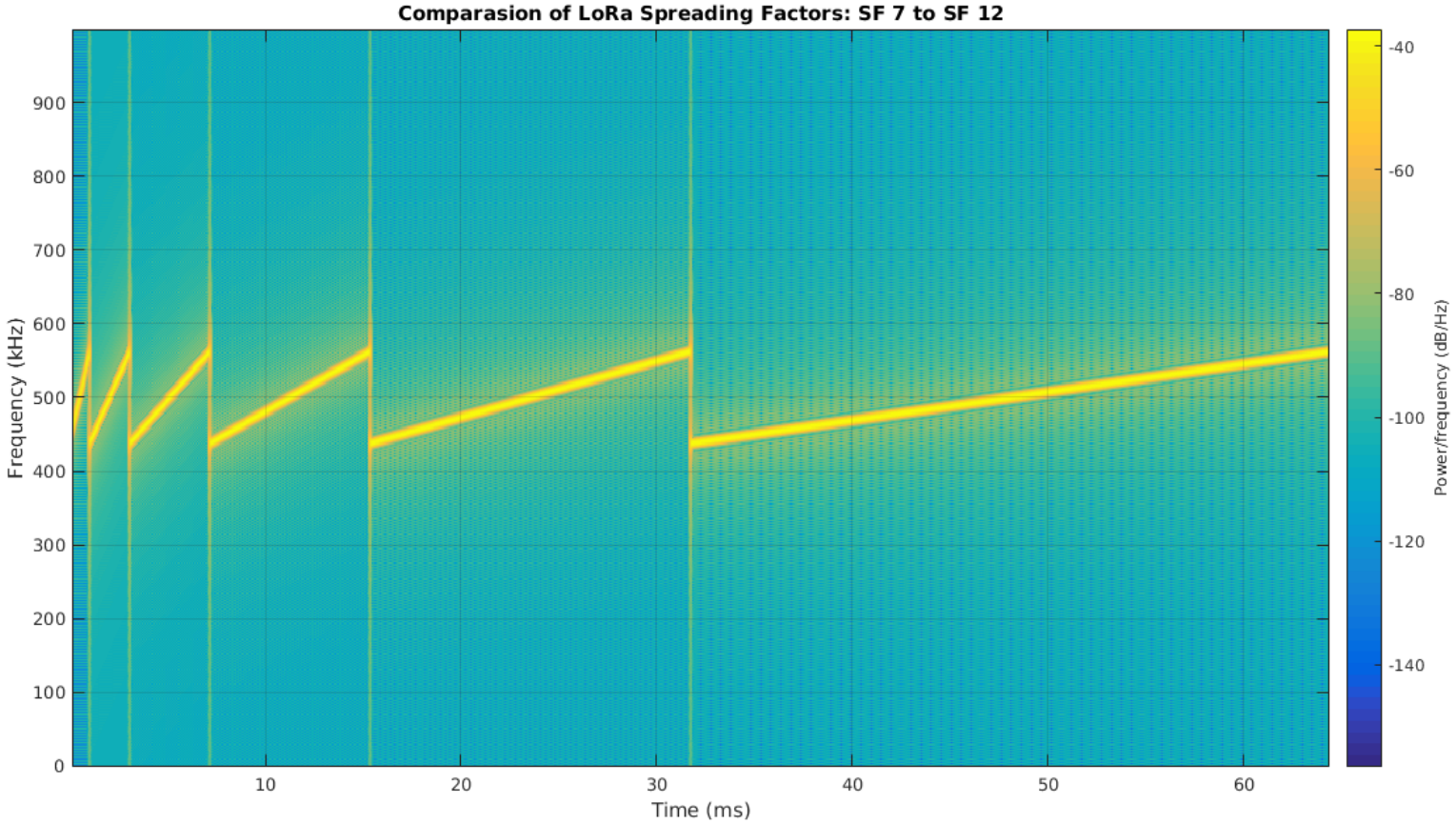


Figure – Spectrogramme des différents Spreading Factors [1].

IEEE 802.15.4e - TSCH

Standard pour les réseaux PANs (Personal Area Networks) qui couvre la couche physique et MAC du modèle OSI. Propose plusieurs modes d'accès au canal dont TSCH (Time Slotted Channel Hopping).

IEEE 802.15.4e - TSCH

Standard pour les réseaux PANs (Personal Area Networks) qui couvre la couche physique et MAC du modèle OSI. Propose plusieurs modes d'accès au canal dont TSCH (Time Slotted Channel Hopping).

TSCH combine l'utilisation des sauts de fréquences et des communications divisées en temps.

IEEE 802.15.4e - TSCH

Standard pour les réseaux PANs (Personal Area Networks) qui couvre la couche physique et MAC du modèle OSI. Propose plusieurs modes d'accès au canal dont TSCH (Time Slotted Channel Hopping).

TSCH combine l'utilisation des sauts de fréquences et des communications divisées en temps.

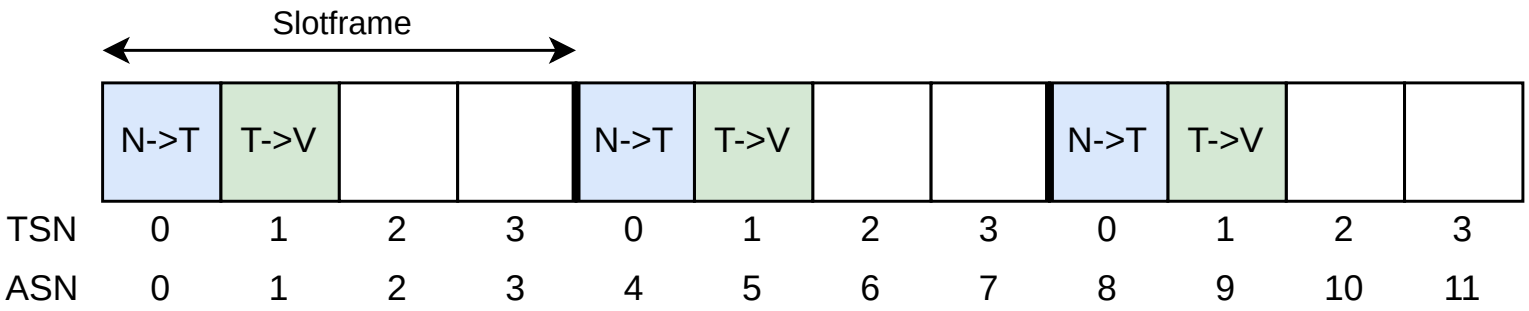


Figure – Exemple de slotframe.

IEEE 802.15.4e - TSCH

Standard pour les réseaux PANs (Personal Area Networks) qui couvre la couche physique et MAC du modèle OSI. Propose plusieurs modes d'accès au canal dont TSCH (Time Slotted Channel Hopping).

TSCH combine l'utilisation des sauts de fréquences et des communications divisées en temps.

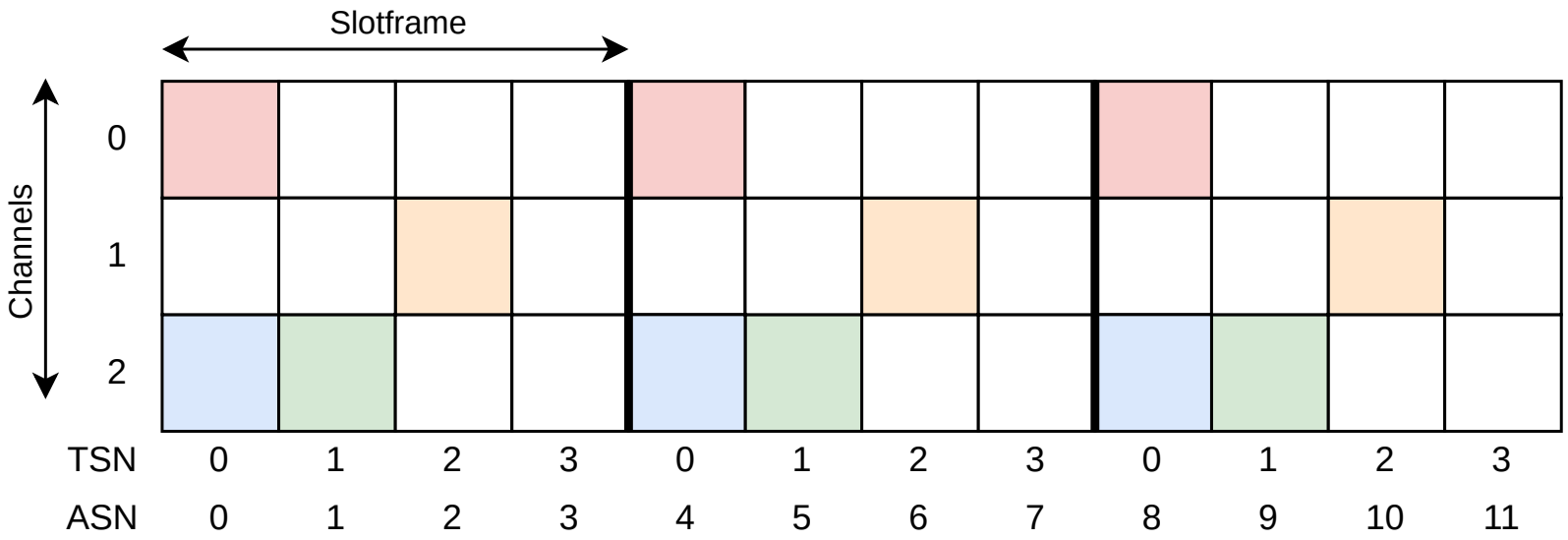


Figure – Exemple de slotframe.

Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL)

RPL est un protocole de routage IPv6 proactif et à vecteur de distance destiné aux Low-power and Lossy Networks (LLNs).

Caractéristiques des LLNs :

- Contraints en énergie
- Pertes importantes de paquets
- Utilisent IPv6
- Mémoire et puissance de calcul limitées

RPL II

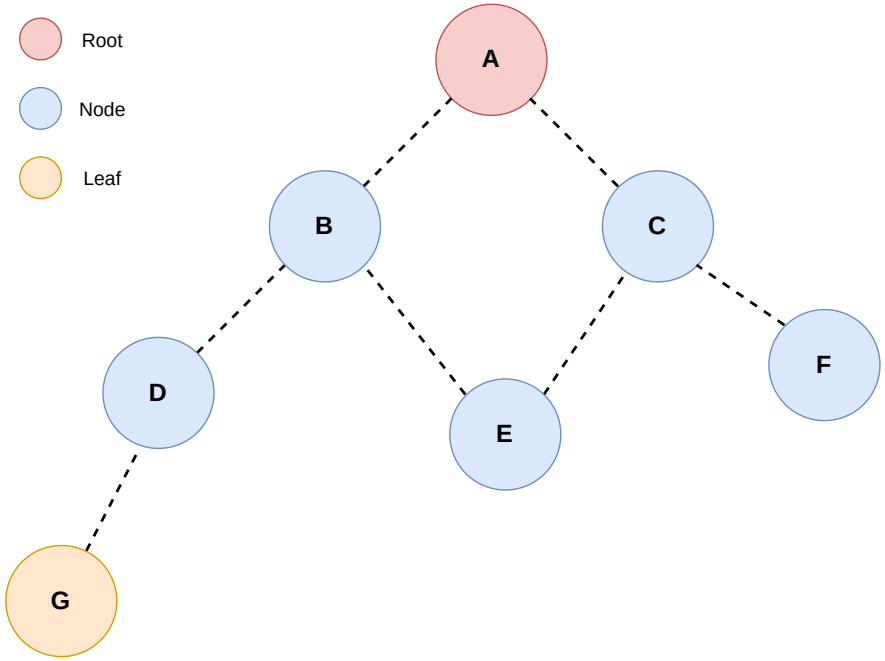


Figure – DODAG.

RPL II

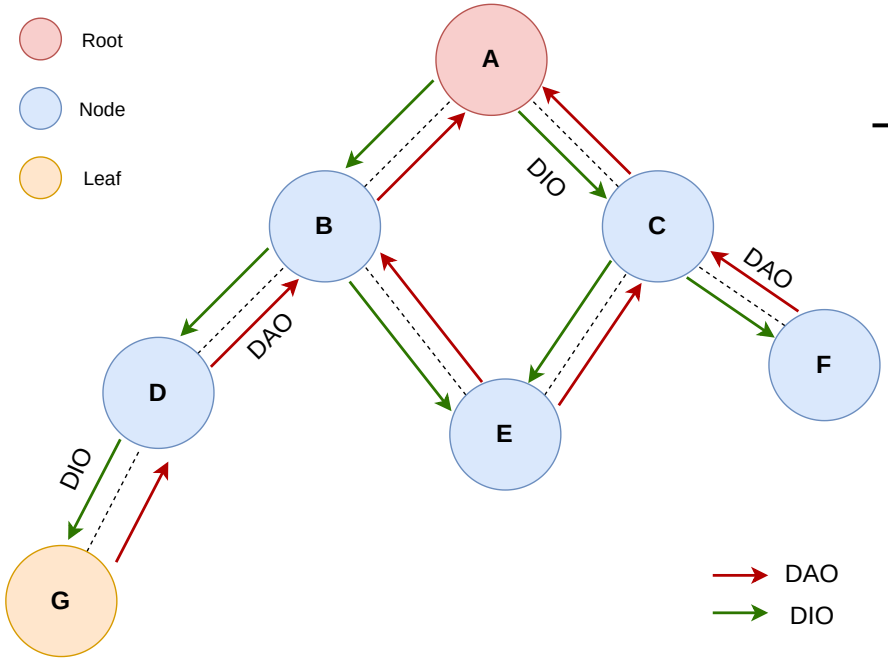


Figure – DODAG.

Types de messages :

- DODAG Information Object (DIO)

RPL II

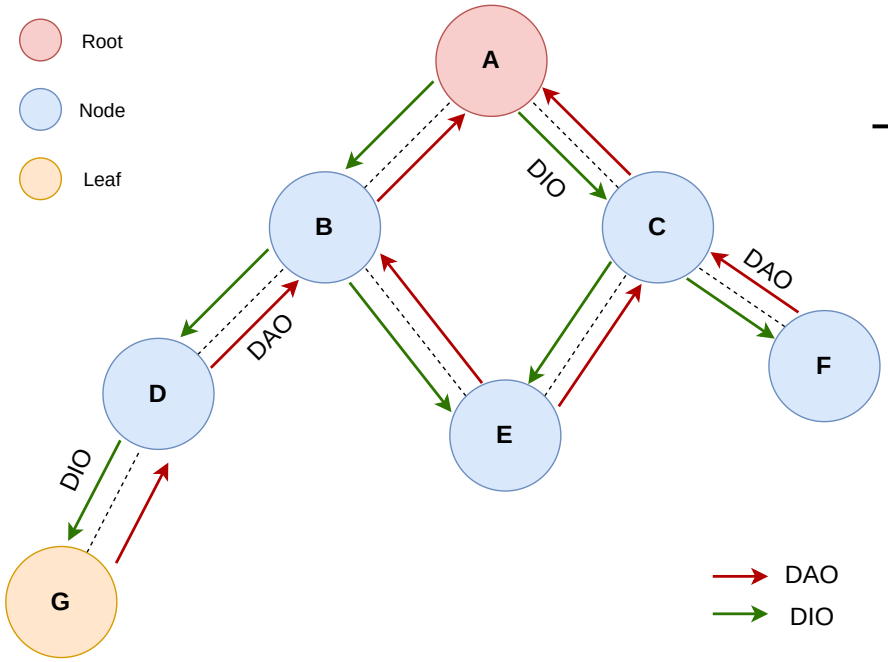


Figure – DODAG.

Types de messages :

- DODAG Information Object (DIO)
- DODAG Information Solicitation (DIS)

RPL II

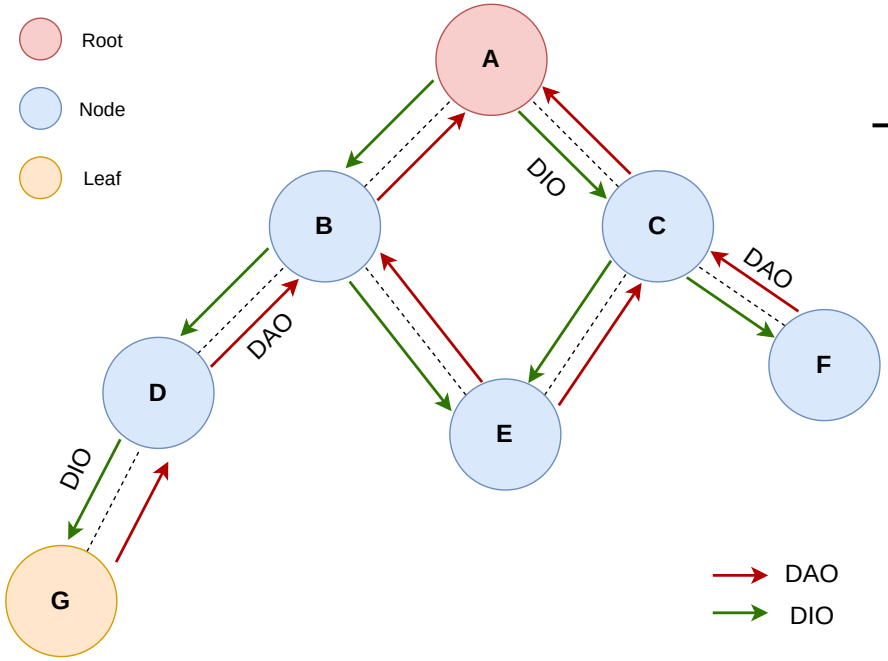


Figure – DODAG.

Types de messages :

- DODAG Information Object (DIO)
- DODAG Information Solicitation (DIS)
- Destination Advertisement Object (DAO)

RPL II

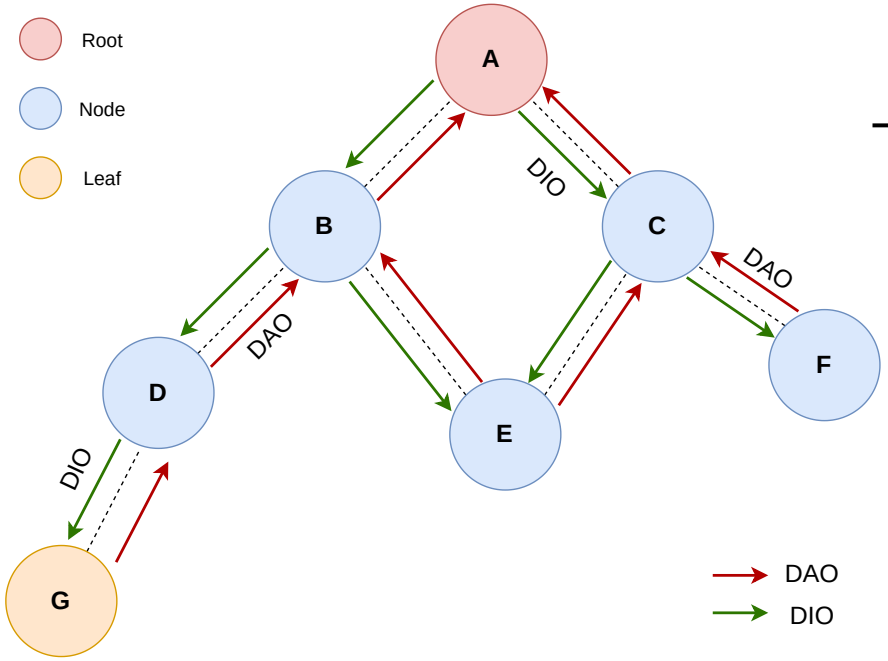


Figure – DODAG.

Types de messages :

- DODAG Information Object (DIO)
- DODAG Information Solicitation (DIS)
- Destination Advertisement Object (DAO)
- DAO-ACK

Section 3

Architecture

Topologie

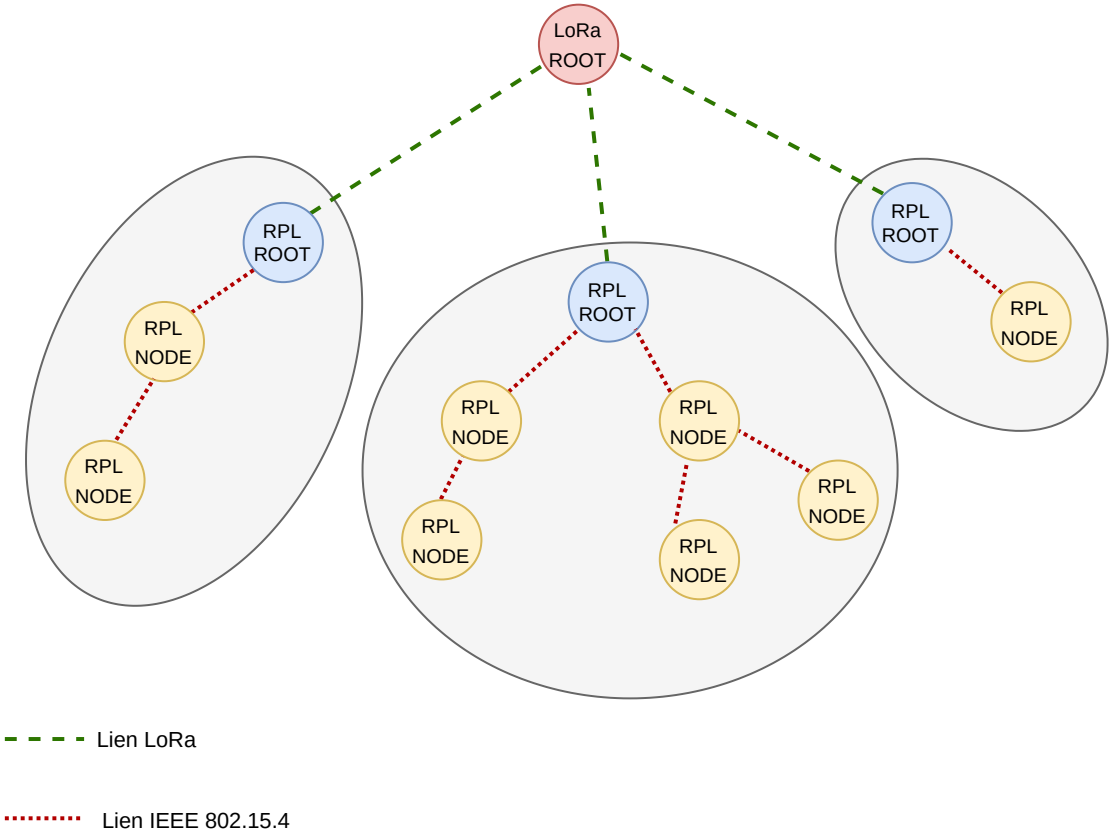


Figure – Topologie du réseau hybride.

Format d'adresse

Préfixe LoRa + *node-id*

Format d'adresse

Préfixe LoRa + *node-id*

Définition : *Préfixe LoRa*

Identifiant d'un réseau RPL d'une taille d'un octet.

Format d'adresse

Préfixe LoRa + *node-id*

Définition : *Préfixe LoRa*

Identifiant d'un réseau RPL d'une taille d'un octet.

Définition : *node-id*

$$node_id = link_addr[s-1] + (link_addr[s-2] << 8)$$

Où s est la taille de la *link-layer address*.

Format d'adresse

Préfixe LoRa + *node-id*

Définition : *Préfixe LoRa*

Identifiant d'un réseau RPL d'une taille d'un octet.

Définition : *node-id*

$$node_id = link_addr[s-1] + (link_addr[s-2] << 8)$$

Où s est la taille de la *link-layer address*.

Exemple : `2:24859`

Format d'adresse

Préfixe LoRa + *node-id*

Définition : *Préfixe LoRa*

Identifiant d'un réseau RPL d'une taille d'un octet.

Définition : *node-id*

$$node_id = link_addr[s-1] + (link_addr[s-2] << 8)$$

Où s est la taille de la *link-layer address*.

Exemple : `2:24859`

- ✔ Taille de 8+16 bits
- ✘ Conversion *node-id* <-> adrese MAC

Trame LoRaMAC

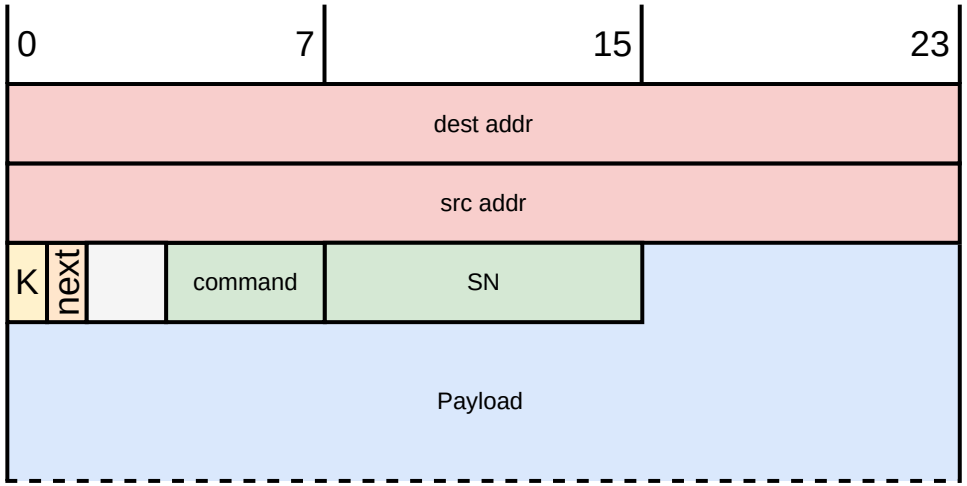


Figure – Format de trame LoRaMAC.

Trame LoRaMAC

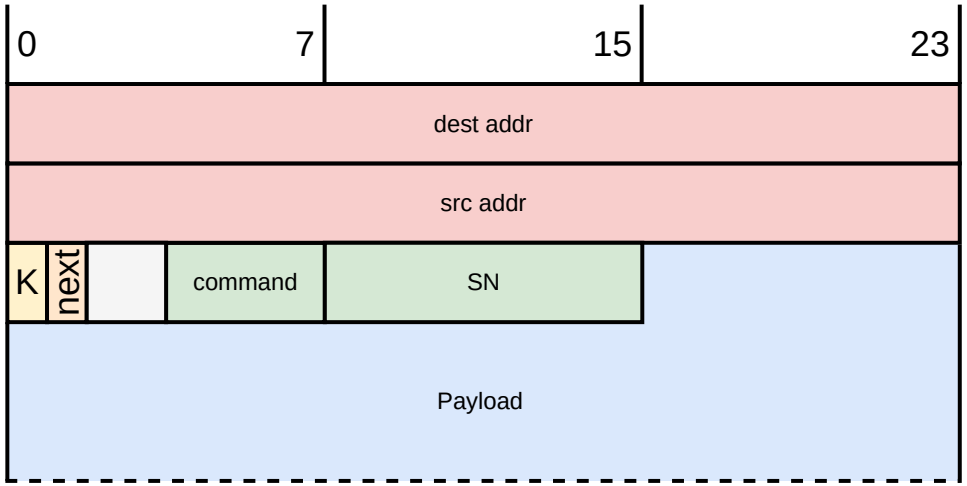


Figure – Format de trame LoRaMAC.

Commandes MAC :

Valeur	Commande	payload
0	JOIN	×
1	JOIN_RESPONSE	préfixe LoRa
2	DATA	données
3	ACK	×
4	QUERY	×

LoRaMAC-Construction

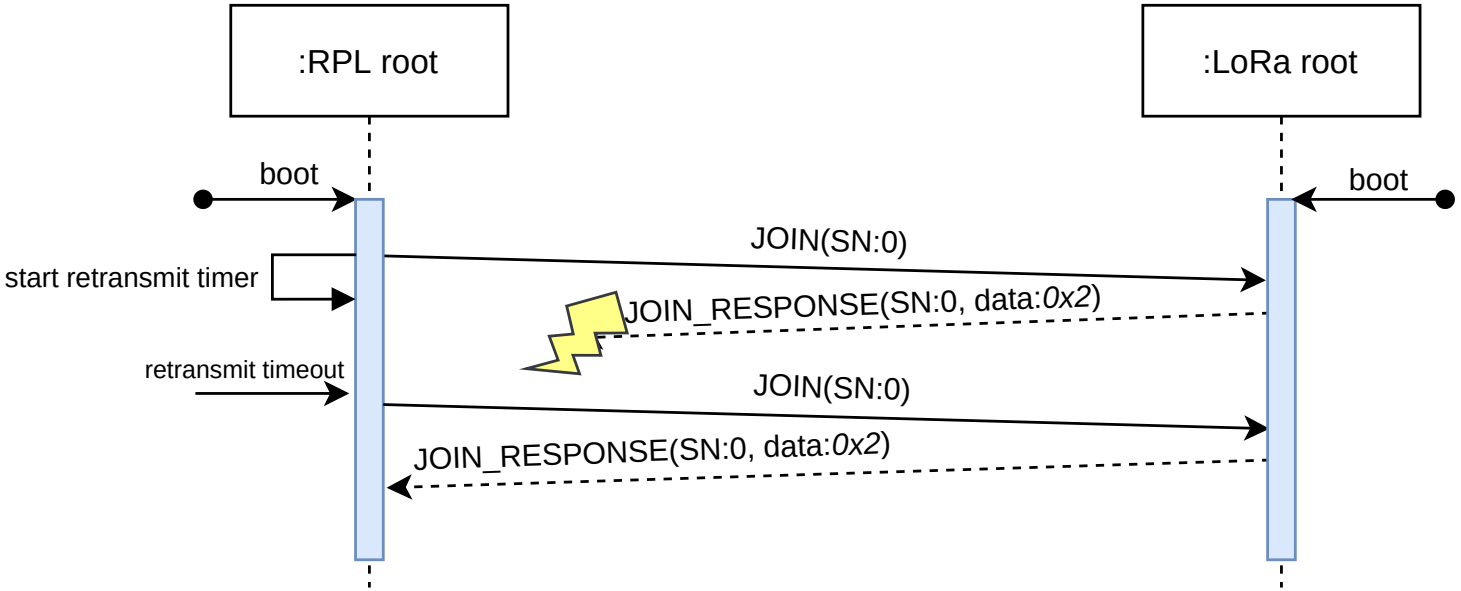


Figure – Diagramme de séquence de la construction du réseau.

LoRaMAC-communications montantes

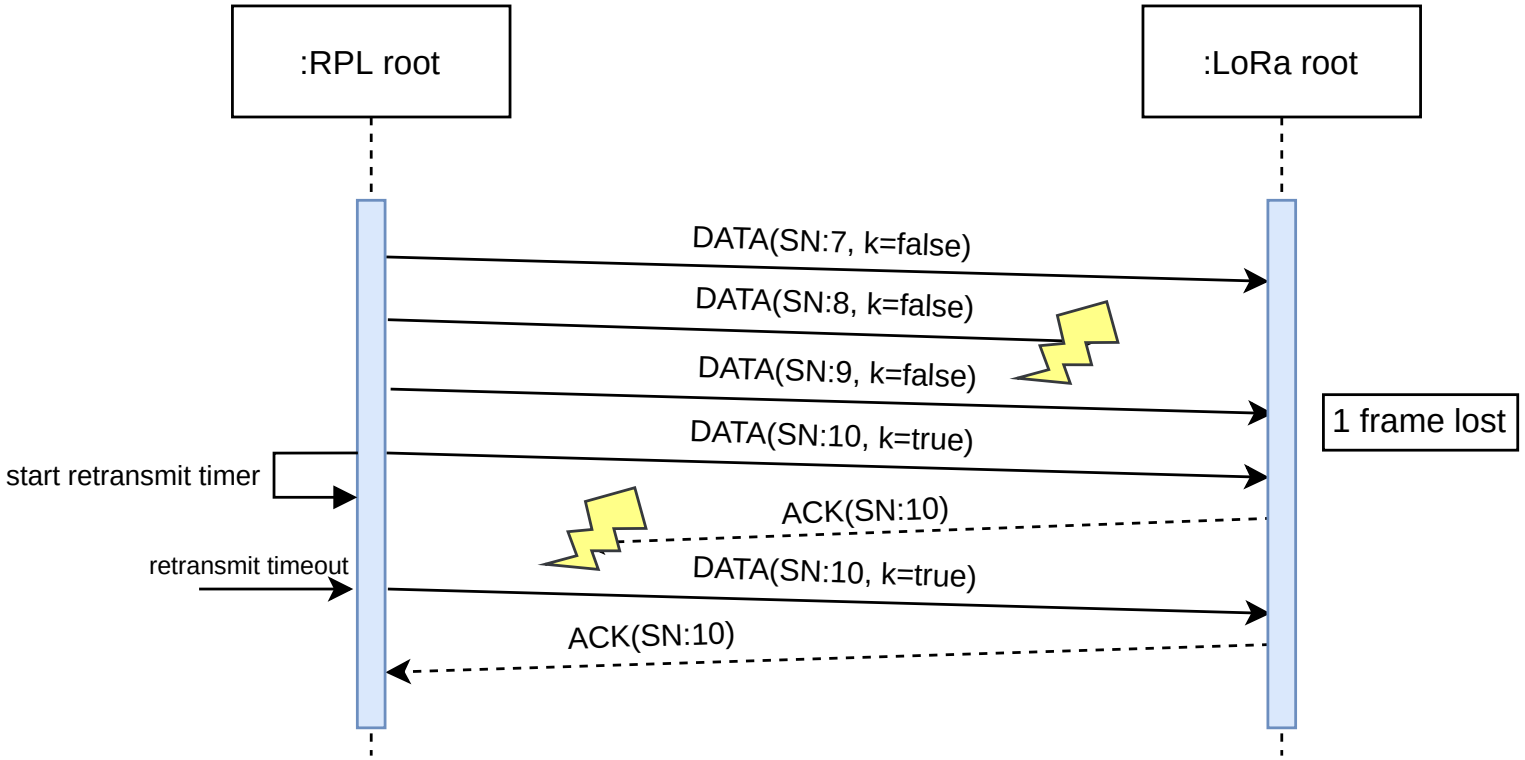


Figure – Diagramme de séquence du trafic montant.

LoRaMAC-communications descendantes

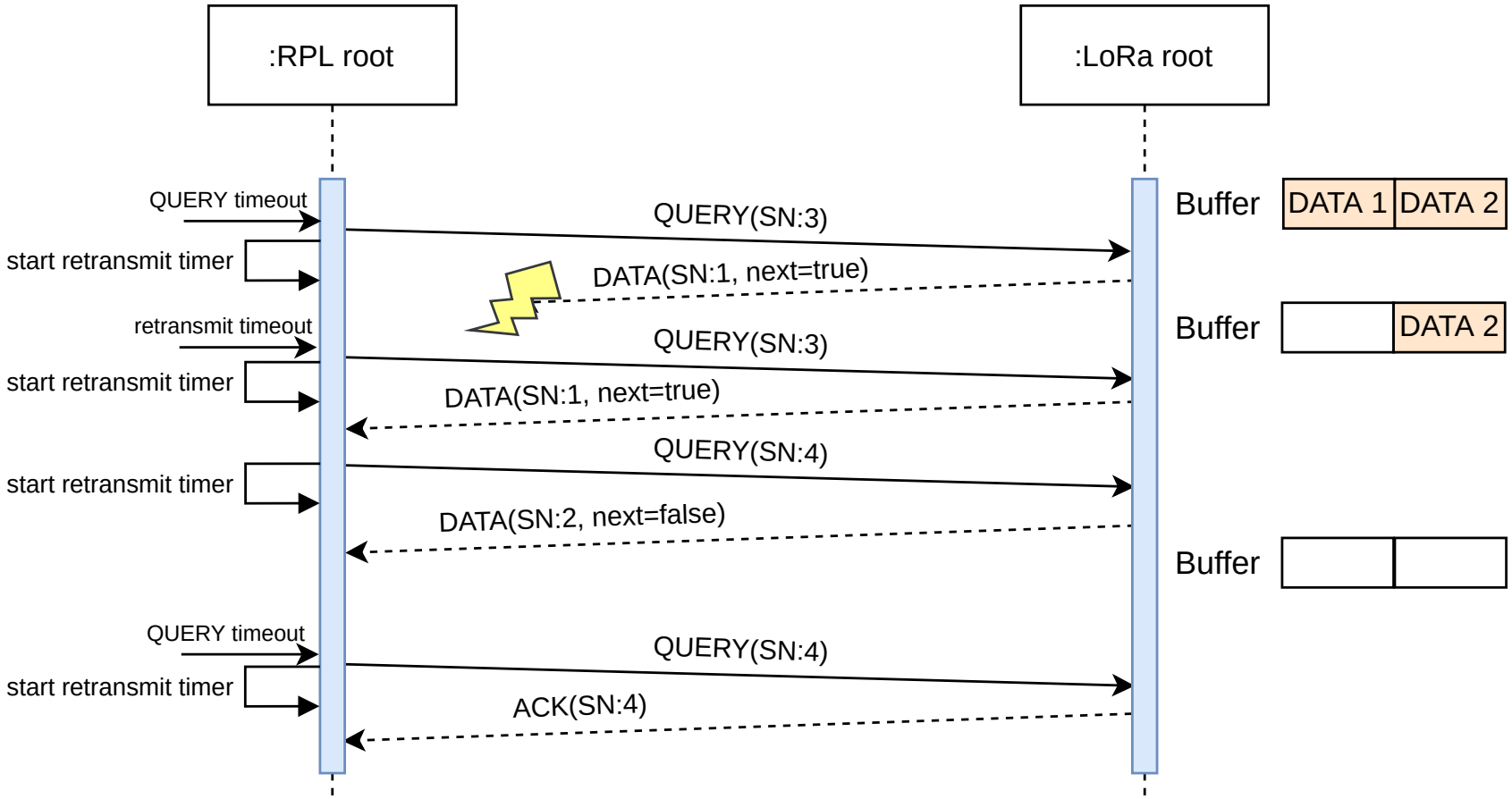


Figure – Diagramme de séquence du trafic descendant.

Section 4

Mise en oeuvre

Plateformes de développement

RN2483

Modem LoRa compatible LoRaWAN.

- Intègre un transceiver Semtech SX1276 et un microcontrôleur Microchip PIC18LF46K22
- Contrôlé par des commandes ASCII envoyées en UART
- Modulations FSK, GFSK, LoRa
- Fréquences opérationnelles dans les bandes 433MHZ et 868MHz

Figure – RN2483 monté sur une carte d'interface.

Plateformes de développement

Raspberry Pi

Le Raspberry Pi est un ordinateur monocarte. Le modèle utilisé est le Raspberry Pi 3 B+.

- CPU Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC à 1.4GHz
- 1GB LPDDR2 SDRAM
- 40 pins GPIO
- IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE
- 4 × USB 2.0 ports, Gigabit Ethernet

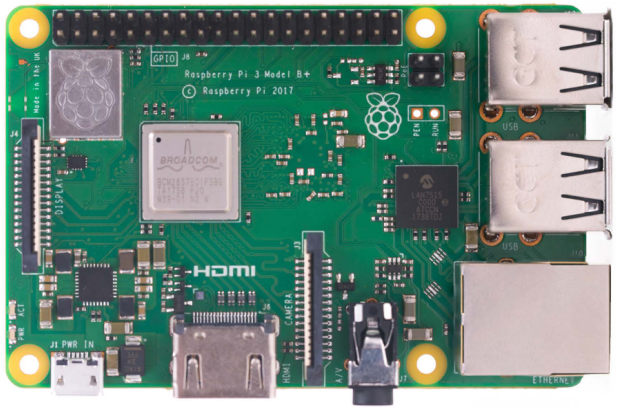


Figure – Raspberry Pi 3 B+ [2].

Plateformes de développement

Zolertia RE-Mote

Plateforme basée sur un SoC CC2538 ARM Cortex-M3 conçue pour le développement d'applications IoT.

- Deux radios IEEE 802.15.4 (2.4GHz GHz 868-950 MHz)
- 32KB RAM, 512KB Flash
- RTC, USB 2.0 à 12 Mbps, RGB LED, button

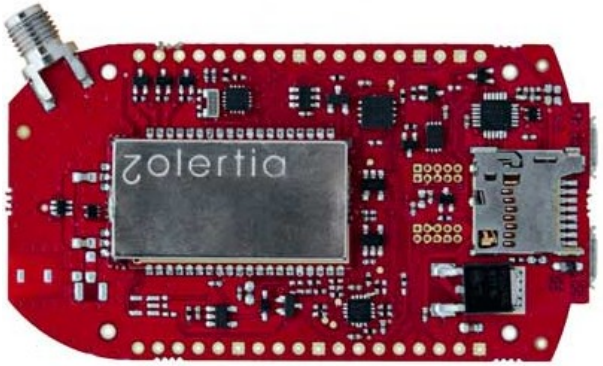
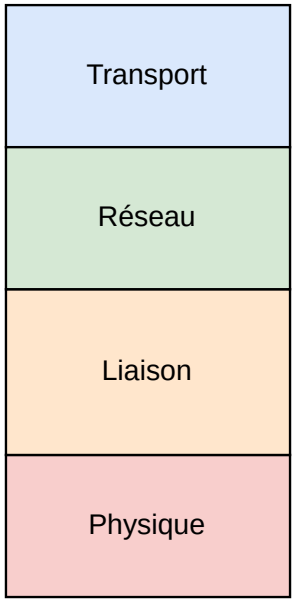


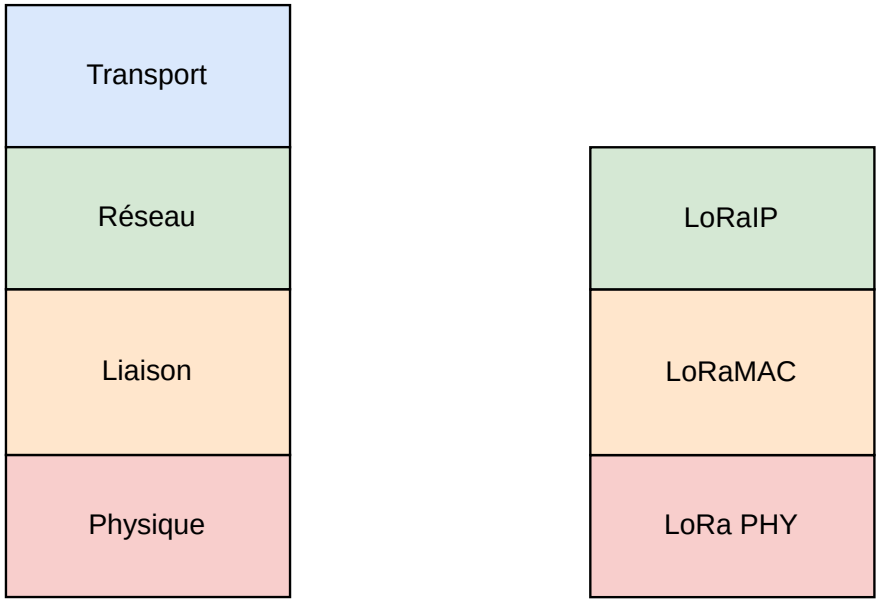
Figure – Zolertia RE-Mote révision B [3].

Implémentation



Modèle OSI

Implémentation



Modèle OSI Racine LoRa

Implémentation

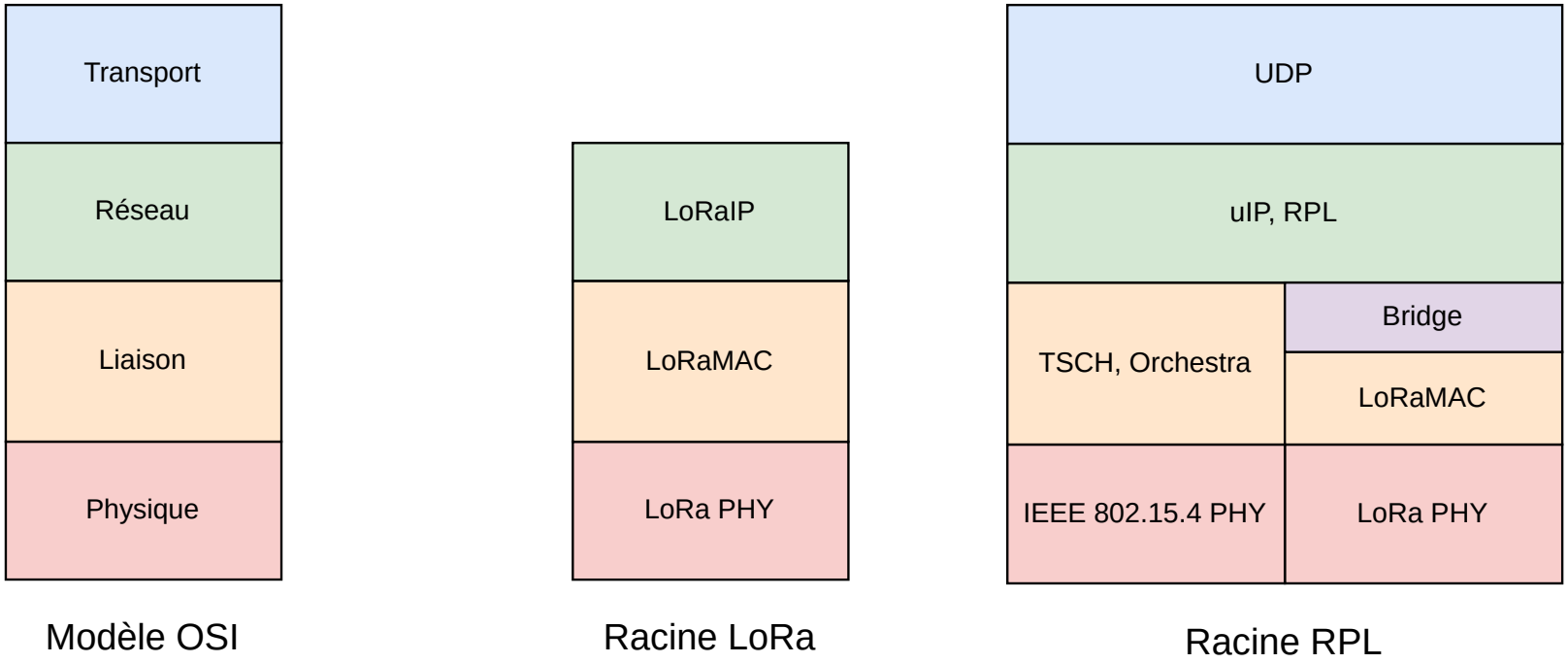


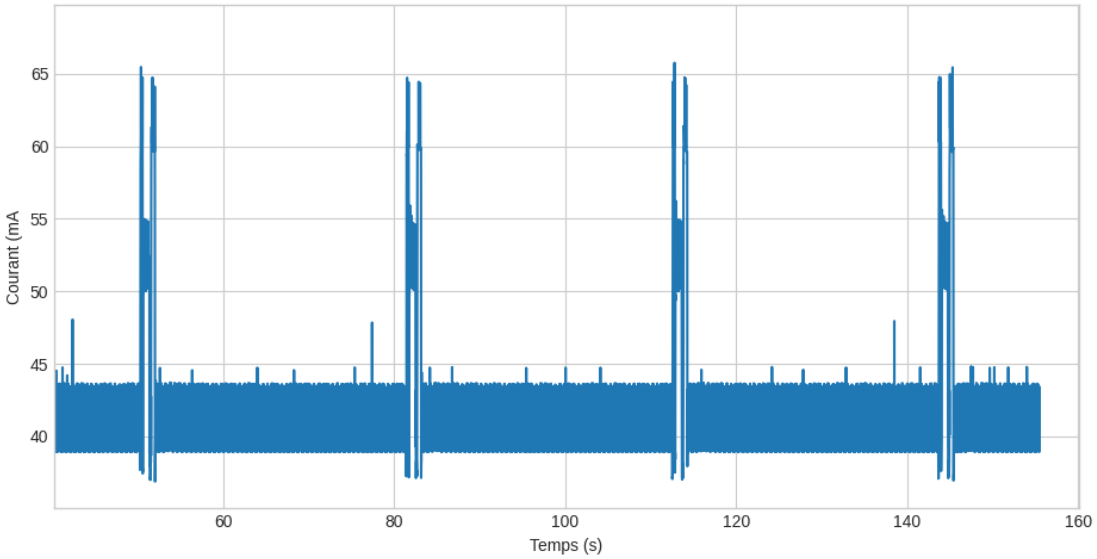
Figure – Piles réseau.

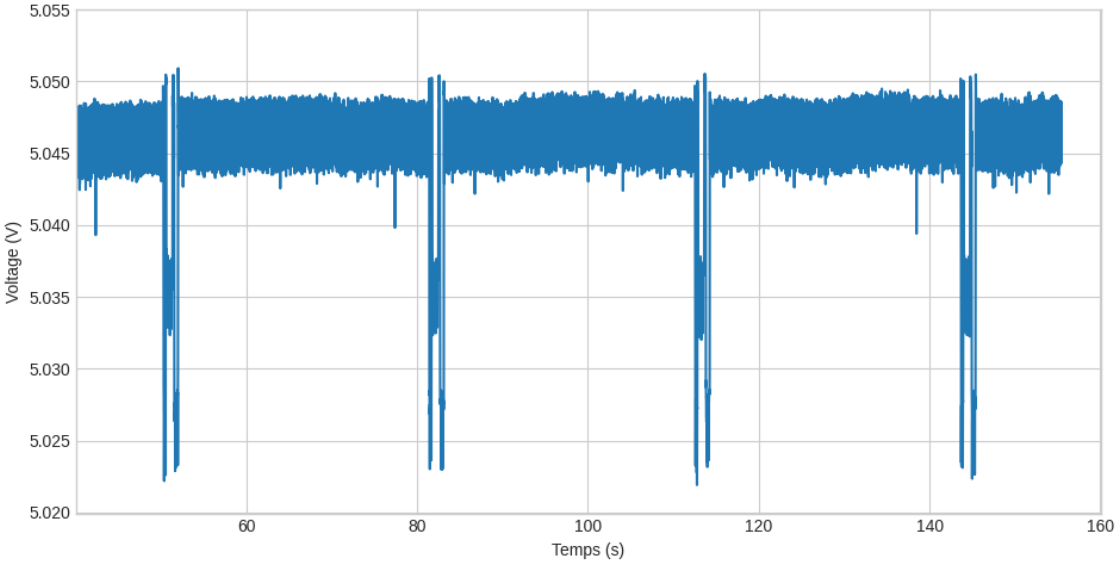
Section 5

Evaluation

Consommation électrique - Racine RPL

- $max = 154.92mA$
- $min = 32.81mA$
- repos : $\mu \approx 39.48mA$
- 1^{er}pic : $\mu \approx 52.96mA$





Débit

	Trafic montant [1]		Trafic descendant	
SF \ Taille payload	10	200	10	200
SF7	58.79	211.29	14.32	117.03
SF12	4.81	18.2	2.91	20.38

Table – Débit moyen en o/s en fonction du SF et de la taille de la payload UDP.

1. Sans acquittement

Débit

	Trafic montant [1]		Trafic descendant	
SF \ Taille payload	10	200	10	200
SF7	58.79	211.29	14.32	117.03
SF12	4.81	18.2	2.91	20.38

Table – Débit moyen en o/s en fonction du SF et de la taille de la payload UDP.

Observations :

- Le débit diminue lorsqu'une QUERY est envoyée

1. Sans acquittement

Débit

	Trafic montant [1]		Trafic descendant	
SF \ Taille payload	10	200	10	200
SF7	58.79	211.29	14.32	117.03
SF12	4.81	18.2	2.91	20.38

Table – Débit moyen en o/s en fonction du SF et de la taille de la payload UDP.

Observations :

- Le débit diminue lorsqu'une QUERY est envoyée
- Trafic descendant : trames incorrectes reçues

1. Sans acquittement

Débit

	Trafic montant [1]		Trafic descendant	
SF \ Taille payload	10	200	10	200
SF7	58.79	211.29	14.32	117.03
SF12	4.81	18.2	2.91	20.38

Table – Débit moyen en o/s en fonction du SF et de la taille de la payload UDP.

Observations :

- Le débit diminue lorsqu'une QUERY est envoyée
- Trafic descendant : trames incorrectes reçues
- Trafic descendant : paquets non livrés à l'application Contiki

1. Sans acquittement

Section 6

Conclusion

Conclusion

- Le réseau hybride LoRa - IEEE 802.15.4 est fonctionnel
- L'implémentation a permis de découvrir le RTOS Contiki-NG
- Améliorations possibles du protocole LoRaMAC et l'implémentation d'une racine RPL
- Ajout de l'aggrégation nécessaire
- Tester la faisabilité du projet avec d'autres technologies et plateformes

Références I

Sakshama Ghoslya.
Lora : Symbol generation.
[Accès en ligne le 11 juillet 2021].

Raspberry Pi 3 Model B+.
https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/.
[Accès en ligne le 15 juin 2021].

Zolertia RE-Mote.
https://zolertia.io/product/re-mote/.
[Accès en ligne le 14 juin 2021].