

Réseau de catastrophe avec LoRa

Sommaire

- 1 - Introduction
- 2 - Objectif du projet
 - 2.1 - Objectif
 - 2.2 - Livrable
- 3 - Mise en place
- 4 - Tests réalisés
- 5 - Résultats et interprétations
 - 5.1 - Résultats
 - 5.2 - Interprétations
- 6 - Difficultés rencontrées
 - 6.1 - Choix de l'approche
 - 6.2 - Flasher les cartes
- 7 - Améliorations possibles
 - 7.1 - Messages EWSS
- 8 - Gestion de projet
- 9 - Annexe

1 - Introduction

La planète est recouverte de réseaux reposant sur différentes technologies (cellulaire, téléphonique, satellites, électrique etc...) nous permettant de communiquer rapidement et efficacement avec n'importe qui dans le monde.

Ces différents réseaux ont tous le même fonctionnement: des endpoints réguliers permettant le routage et la retransmission des messages afin qu'ils atteignent leur destination.

Cependant, on en déduit que si un de ces endpoint tombe en panne, une route est coupée et, potentiellement, une partie entière du réseau devient inatteignable. C'est ce qui s'est passé lors du passage du cyclone Chido sur Mayotte en décembre 2024: 51 antennes sur les 54 composants le réseau mobile de l'île sont tombées en panne, entraînant une communication compliquée, ce qui empêche les autorités de passer des informations vitales pour les habitants.

On peut alors se demander comment cela peut être évité, comment mettre en place un réseau qui serait résilient en cas de catastrophe naturelle ?

2 - Objectif du projet

2.1 - Objectifs

Nous avons décidé de prendre en main le problème avant que toute catastrophe, au moment de la mise en place du réseau.

Notre objectif est de proposer un guide à destination des personnes en charge de mettre en place le réseau afin qu'elles puissent savoir en détail quelles spécificités doivent avoir le réseau selon les différentes caractéristiques de la zone à cartographier.

Nous allons nous baser sur la technologie LoRa (Long Range) qui offre plusieurs avantages, longue portée, faible consommation d'énergie, coût réduit, bonne pénétration des bâtiments etc...).

Notre objectif est le suivant: peu importe les caractéristiques d'un lieu, le réseau mis en place doit pouvoir permettre la communication en cas de situation extrême. Pour cela, nous nous basons sur les capacités fortes de la technologie LoRa et sur le principe de redondance afin d'assurer la communication même avec un certain nombre de machines hors d'usage.

2.2 - Livrable

Notre livrable est donc un arbre de décision (*Annexe 1*), qui permet, en tant qu'installateur, d'identifier le type de terrain qu'on essaye de couvrir, et de nous rediriger vers un guide d'installation adapté comprenant la technologie à utiliser, la topologie, les placements etc... .

Les résultats que nous proposons sont le résultat de tests (*Annexe 2*) que nous avons réalisés sur le terrain et qui nous permettent de justifier les choix présents dans notre arbre de décision.

3 - Mise en place

Pour communiquer en LoRa, nous avons 2 fréquences possibles: 433 GHz et 868 GHz.

Les différences entre les 2 fréquences sont intéressantes à exploiter: la 433 GHz plus efficace dans un environnement dense mais plus énergivore alors que la 868 offre une meilleure portée en environnement dégagé.

Le matériel à notre disposition pour les 2 fréquences sont:

433:

- 4x T-BEAM Supreme (Lyligo)

868:

- 2x T-BEAM Supreme (Lyligo)
- 1x WiFi LoRa 32 (Heltec)
- 1x Wio-WM1110

Les cartes T-BEAM Supreme servent de endPoint tandis que les 2 autres cartes pour la fréquence 868 GHz servent de relais.

Toutes ces cartes tournent avec un firmware Meshtastic qui est un protocole de maillage automatique fonctionnant avec la technologie LoRa et maintenu par la communauté.

4 - Tests réalisés (Annexe 2)

Les critères testés sont les suivants:

- Influence de la hauteur
- Influence de la densité urbaine
- Influence de la distance

Les détails pour chaque test peuvent être retrouvés dans le fichier correspondant.

5 - Résultats et interprétation

5.1 - Résultats

- Influence de la hauteur:

Les tests ont montré que la hauteur des antennes a un impact significatif sur la portée et la qualité du signal LoRa.

- Environnement urbain :
Une hauteur de 10 mètres (~3 étages) améliore la portée par rapport à une installation au niveau du sol.
- Environnement rural/montagneux :
L'effet est moins marqué, mais une hauteur de 5 mètres suffit pour optimiser la couverture.

- Influence de la densité urbaine:

La densité des bâtiments et des obstacles affecte grandement la propagation du signal.

- Zone dense (centre-ville) :
Le signal LoRa à 433 MHz traverse bien les obstacles, contrairement au signal LoRa 868 MHz.
- Zone peu dense (périphérie) :

Le 868 MHz offre une meilleure portée (jusqu'à 2 km de plus que le 433 MHz dans un environnement ouvert).

- Influence de la distance:

433 MHz : Portée maximale efficace d'environ 500 m en zone urbaine et 1,5 km en zone rurale.

868 MHz : Portée maximale efficace de 1,5 km en zone urbaine, mais jusqu'à 5 km en zone rurale.

5.2 - Interprétations

Les tests démontrent clairement l'importance d'adapter la configuration LoRa au terrain. En ville, le 433 MHz à 10m de hauteur offre la meilleure pénétration du signal, tandis qu'en zone rurale, le 868 MHz à 5m permet des liaisons longue portée. Ces résultats confirment la nécessité d'une approche différenciée selon l'environnement, intégrant hauteur d'antenne, fréquence et densité de nœuds pour garantir un réseau résilient. Nos recommandations opérationnelles s'appuient sur ces observations pour optimiser les déploiements.

6 - Difficultés rencontrées

Nous avons rencontré plusieurs difficultés au cours de la réalisation de notre projet.

6.1 - Choix de l'approche

Tout d'abord, il était indispensable de cerner le problème et le formaliser afin de trouver une approche adaptée. La situation de départ est vague et la solution que nous proposons se met en place avant la catastrophe. Une autre approche possible aurait été de voir comment rétablir efficacement un réseau hors service efficacement (juste le nécessaire, afin d'assurer les communications de base) ou bien de voir quels types de messages envoyer en cas de catastrophe.

L'approche que nous avons finalement choisie est selon nous la meilleure car elle se situe en amont des autres. En effet, si le réseau est adapté aux caractéristiques de terrains et prévus pour résister à une catastrophe, il n'y aura pas besoin de le rétablir. De plus, le choix des messages à envoyer n'a pas lieu d'être si le réseau n'a pas résisté à la catastrophe. Cependant, cette question reste importante et est traitée dans la partie 7.

6.2 - Flasher les cartes

Notre objectif était d'utiliser le protocole Meshtastic sur les cartes qui nous étaient données. Pour les T-BEAM Supreme, le protocole est natif à la carte. Si nous souhaitons une version plus récente, nous pouvons utiliser le web flasher.

Pour d'autres cartes, flasher le firmware Meshtastic était plus compliqué. Pour flasher ces cartes, nous nous sommes appuyés sur la documentation (*Annexe 3*) ainsi que sur l'aide de camarades de filière IESE.

Nous voulions nous assurer de pouvoir représenter ces 2 topologies:

- EndPoint en communication réseaux
- EndPoint reliés par des relais

Les cartes que nous avons réussi à flasher nous permettent d'assurer ces 2 topologies. Nous avons donc pris la décision de commencer la phase de test qui représente une partie

importante de notre approche plutôt que de continuer à flasher, ce qui demande beaucoup de temps de documentation.

7 - Améliorations possibles

7.1 - Messages EWSS

Comme mentionné dans la partie 6.1, le choix des messages est important. Nous avons la possibilité de mettre notre travail en commun avec un autre groupe de projet qui travaille sur les messages EWSS (Early Warning System for Satellites). Ce sont des alertes utilisées dans le domaine spatial pour prévenir les satellites des menaces potentielles, comme les débris spatiaux, les risques de collision, les orages solaires ou les perturbations électromagnétiques...

En adaptant la logique utilisée par ce type de messages aux situations de catastrophe naturelle, ils auraient fait des bons messages à envoyer sur notre réseau.

C'est une piste d'amélioration.

7.2 - Flasher les cartes avec architecture STM32

Difficile car pas assez de mémoire pour supporter Meshtastic.

Solution -> Adapter un firmware meshtastic pour être compatible avec les architectures STM32 utilisant RIOT-OS.

8 - Gestion de projet

Pour mener à bien ce projet, nous avons adopté une méthodologie structurée en plusieurs phases:

1. Formalisation du sujet et rédaction du cahier des charges
2. Prise en main du matériel
3. Flashage des cartes
4. Planification des tests
5. Réalisation des campagnes de tests
6. Analyse des résultats et création de l'arbre de décision

Notre approche collaborative nous a permis de tirer parti des compétences complémentaires de chaque membre. La majorité des tâches ont été réalisées en groupe pour favoriser les échanges et maintenir une cohésion d'équipe. Cependant, certaines transitions entre phases ont été gérées différemment en séparant le groupe pour travailler sur plusieurs tâches simultanément.

Plus spécifiquement, lors du passage entre le flashage des cartes et la planification des tests :

- Maxime Bossant, plus à l'aise avec les aspects techniques, a pris en charge la finalisation du flashage accompagné d'Antonia Ivanova.
- Parallèlement, Erwan Poncin et Maxence Maury ont initié la planification détaillée des tests.
- Antonia Ivanova a rejoint l'équipe de planification des tests, apportant sa connaissance du terrain, utile pour la planification des tests en milieu rural et montagneux.

Cette organisation fluide nous a permis de maintenir une progression constante sans temps mort, tout en garantissant que chaque tâche était réalisée par les membres les plus compétents.

9 - Annexe

1. **Arbre de décision:** *src/decision_tree/decision_tree.md*
2. **Tests:** *src/tests/Readme.md*
3. **Documentation:** *documentation/*