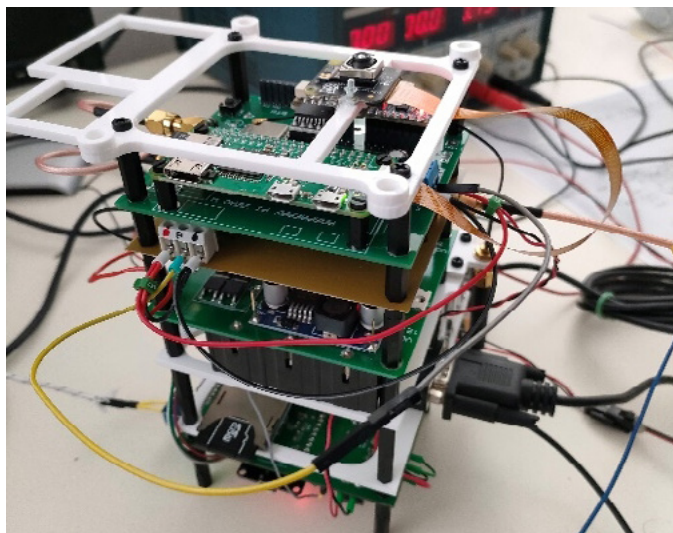


# Émetteur SSTV et LoRa

Radio club F4KMN, Le Mans.  
Ruben Authier, Damien Brochard, Thomas Abraham

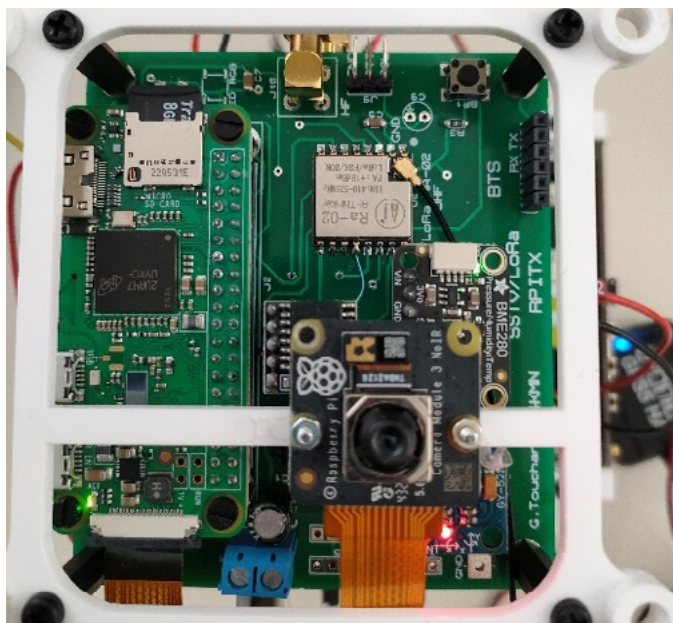


## 1 - Introduction



L'émetteur SSTV et LoRa

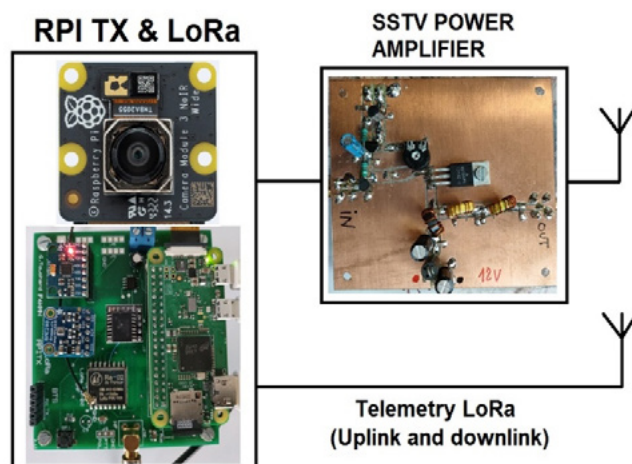
Nous sommes trois étudiants en BTS Informatique et réseaux au lycée Touchard Washington du Mans. Dans le cadre de notre projet de fin d'année, nous programmons un émetteur SSTV HF afin d'envoyer des images. Cette carte sera embarquée dans le prochain vol du ballon sonde le 31 mai 2024 (1). La caméra de l'émetteur orientée vers le haut enverra régulièrement la progression du grossissement de l'enveloppe du ballon avant éclatement. La carte électronique dispose également d'un modem Ra02 LoRa assurant la télémétrie au sol.



Le Raspberry Pi 0 et sa caméra

## 2 - La chaîne de transmission et de réception SSTV

L'image capturée par le module caméra Raspberry Pi CAM v3 sera enregistrée toutes les minutes sur la carte SD et transmise en HF sur la bande des 10 m, toutes les 8 minutes en SSTV Martinl.



### Synoptique de l'émetteur SSTV et LoRa

L'image SSTV est reçue par un YAESU FT897-D ou avec un simple récepteur RTL-SDR. Une fois l'image reconstituée par le logiciel YONIQ, elle sera enregistrée sur notre serveur WEB afin que toute la cité scolaire puisse voir les images en temps réel.



### La chaîne de réception au sol

La caméra est orientée vers le ciel, l'objectif est de mesurer l'évolution du diamètre de l'enveloppe du ballon contenant l'hélium.

En effet, le diamètre va augmenter en fonction de l'altitude car la pression atmosphérique diminue et le gaz contenu dans le ballon va donc se dilater.

Cette expérience nous permettra de démontrer l'exactitude de la loi des gaz parfaits :  $PV = nRT$ .

### 3 -Télémessures LoRa

La télémesure en LoRa (abrégé de « Long Range »), permet la transmission de données de télémétrie telles que la température, la pression, l'humidité et l'accélération verticale, via des ondes radio sur la bande des 70 cm. Cette technologie est essentielle pour transmettre les données provenant de différents capteurs embarqués à bord d'un ballon ou d'autres équipements.

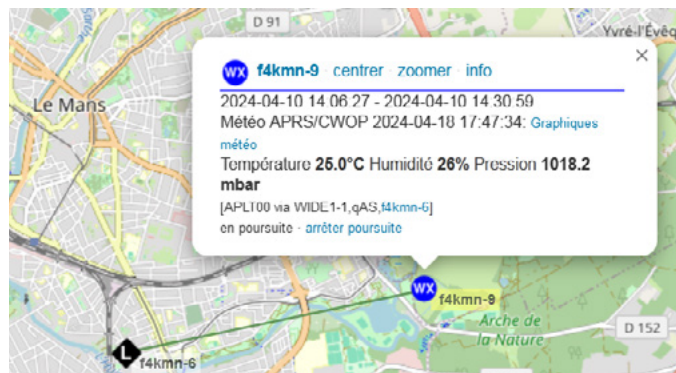
Son principal avantage réside dans sa capacité à assurer une connectivité fiable et efficace avec la station au sol, facilitant ainsi le suivi et la surveillance en temps réel du ballon pendant sa mission. Les capteurs utilisés dans ce contexte, tels que le BME280, le LM75 et le MPU6050, seront utiles dans la collecte de données environnementales et de mouvement.

Pour la réception des données au sol, nous avons choisi d'utiliser un TTGO LoRa équipé d'un ESP32, combiné avec le protocole APRS (Automatic Packet Reporting System).

Cette solution offre une grande flexibilité et une compatibilité élevée avec les réseaux existants. En effet, le ballon est identifié au sol comme une simple station météo (WX), ce qui permet une intégration aisée dans le réseau APRS. De plus, grâce à cette configuration, les données de télémétrie sont visualisées en temps réel sur des plateformes telles que aprs.fi, nous offrant ainsi une surveillance continue et précise du vol du ballon.

Sur la cartographie de APRS.fi, il y aura deux indicatifs :

- ▶ La télémétrie vue comme une station météo classique ;
- ▶ Le symbole du ballon assurant le suivi pendant le vol.

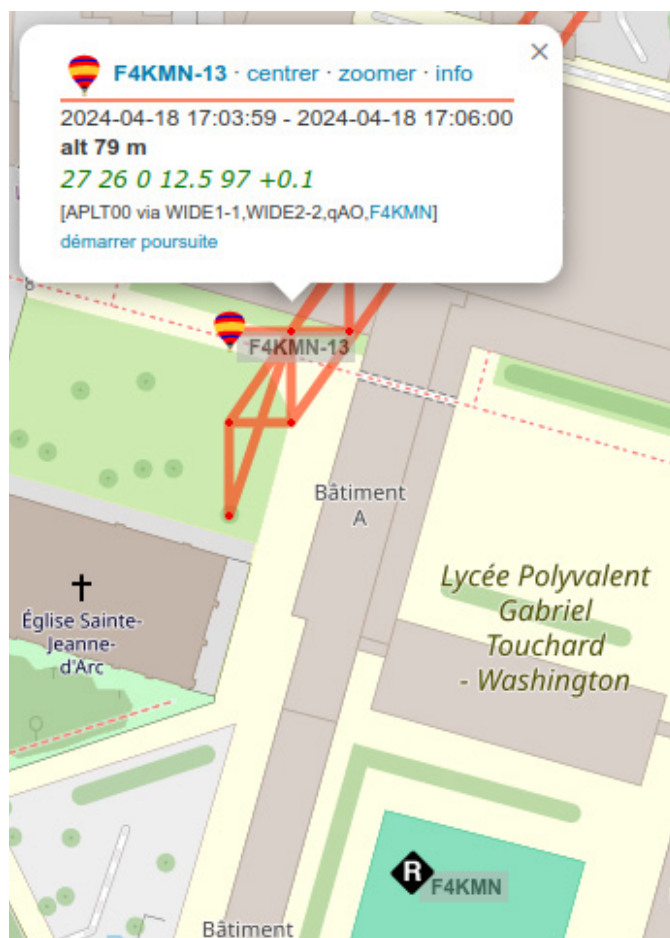


La station « météo volante »

f4kmn-9 Pression 2024-04-17 14:23:51 -> 2024-04-18 17:47:34 CEST



Le tracé de la courbe de pression au cours du temps



La trace de suivi

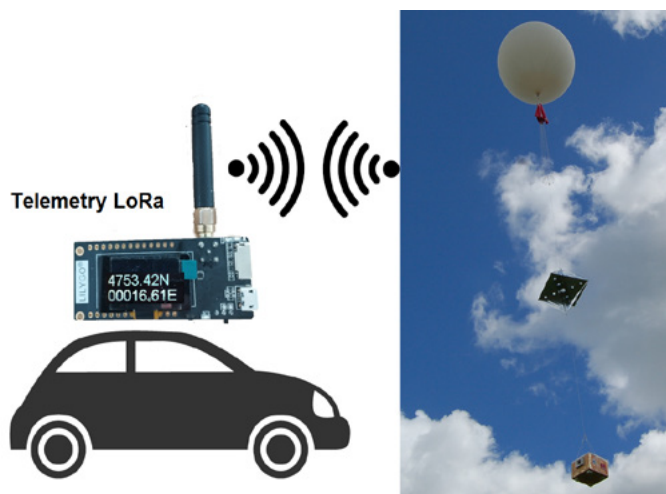
### 4 - Liaison montante

Un des objectifs consiste aussi à changer les intervalles de temps entre deux transmissions SSTV.

Pour cela une liaison montante en LoRa a été programmée, par défaut l'intervalle de temps entre deux transmissions est de 8 minutes. Dans le cas où la batterie s'épuise rapidement, la station sol décidera de changer l'intervalle de transmission toutes les 16 minutes.

Le module TTGO intégrant un ESP32 et un modem LoRa Ra-02, établira la communication en liaison montante avec le ballon.





La liaison montante et descendante entre le véhicule du suivi et le ballon sonde

## 5 - Essais en SSTV

Il existe plusieurs modes de transmission SSTV ayant chacun leurs caractéristiques propres (définition de l'image et vitesse de transmission). Les modes les plus utilisés sont Martin, Scottie et Robot.

Le mode SSTV Martin1 est utilisé sur une fréquence SSB de 29 MHz. Le mode Martin 1 donne un bon équilibre entre vitesse de transmission et résolution d'image.

Le décodage des images transmises via le protocole SSTV est réalisé par le logiciel Yoniq (anciennement MMSSTV).

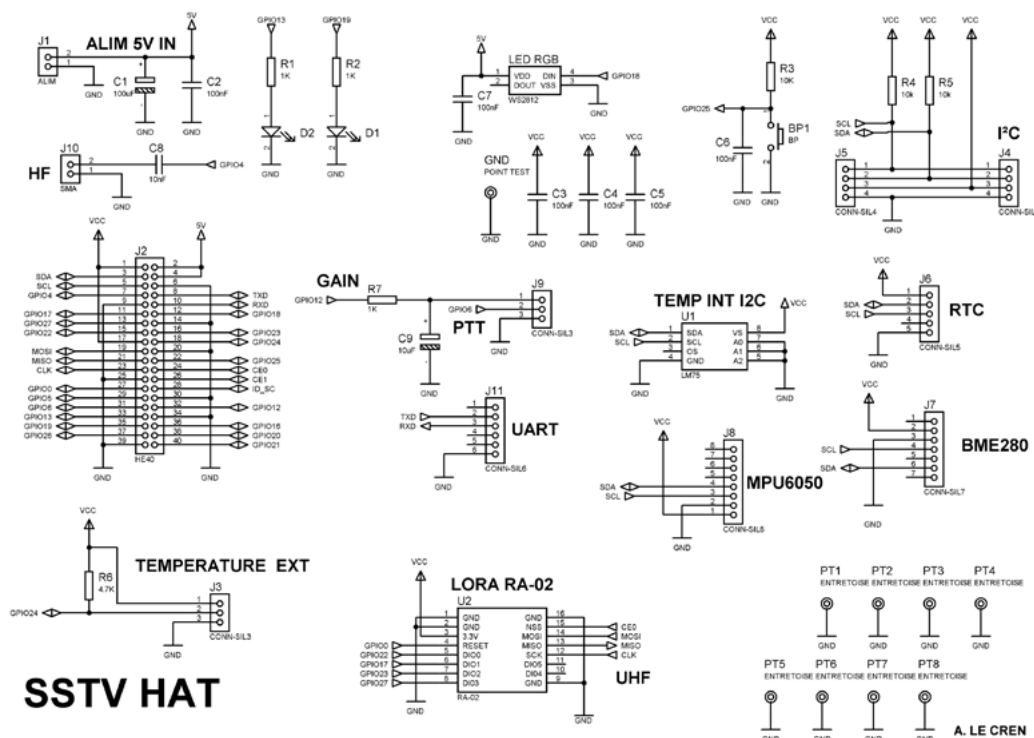


La station de réception au lycée

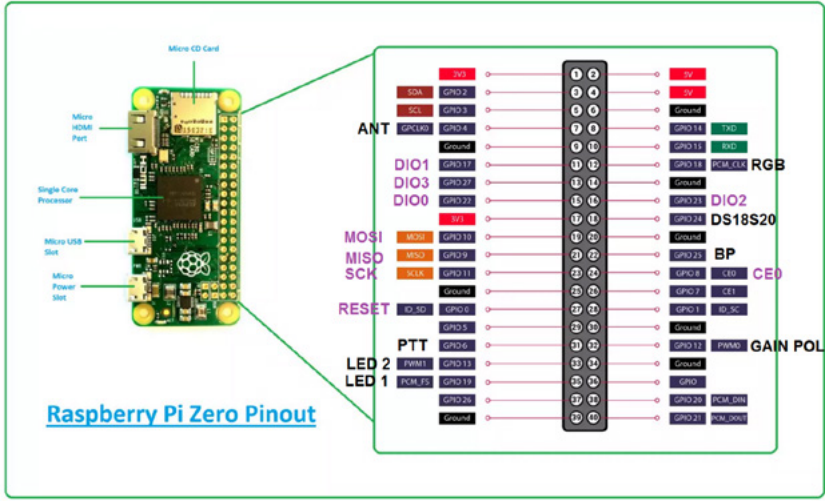
## 6 - Le schéma de l'émetteur

Le schéma structurel très simple s'articule autour d'un Raspberry PI zéro. Le signal SSB SSTV est directement généré par le Raspberry Pi sur le GPIO4. La liaison SPI assure la gestion du modem RA2. Tous les capteurs BME280, LM75 et MPU6050 sont utilisés via le bus I<sup>2</sup>C.

Le bouton poussoir BP1 déclenche proprement l'arrêt de la Raspberry avant la mise hors tension de la carte. Le connecteur J9 est dédié à la commande de l'amplificateur de puissance. Seule la sortie PTT est utilisée. Le contrôle de gain logiciel n'est à ce jour pas géré.



Le schéma structurel de l'émetteur.



## Les GPIO utilisés sur le Raspberry PI Zéro

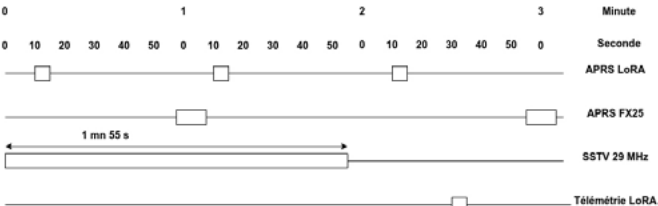
## 7 - Le logiciel

L'intérêt du Raspberry Pi est son système d'exploitation Linux. En effet, trois programmes sont exécutés au démarrage :

- ▶ Programme de gestion de la SSTV ;
- ▶ Programme émission réception LoRa ;
- ▶ Programme de la lecture des capteurs et de la télémetrie au format APRS.

Les trois programmes communiquent ensemble grâce aux techniques logicielles de communication Inter processus local.

Cela permet de faciliter les intervalles de transmissions en minimisant les chevauchements entre les émissions (2).

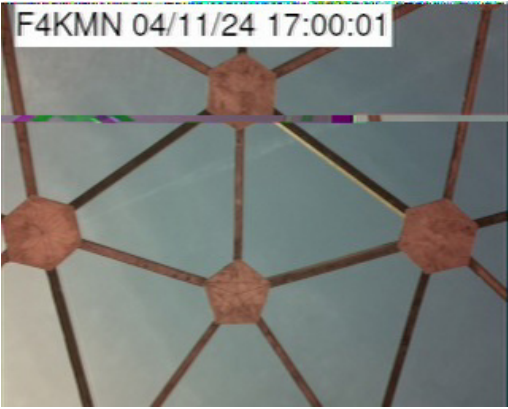


## Les intervalles de transmission entre les différents émetteurs

Malgré cela, si on enregistre une image jpg dans la carte mSD du RPI pendant la transmission SSTV, il se produit une interruption très brève, d'où la ligne indésirable dans la réception au sol.

La programmation a été réalisée avec l'IDE NetBeans et RPITX conçu par F5OEO (3) (4).

Le TTGO LoRa étant dans le véhicule de suivi, l'esp32 utilise la bibliothèque FreeRTOS, permettant une gestion multitâche en temps réel.



## Essai sous le kiosque dans la cour du lycée

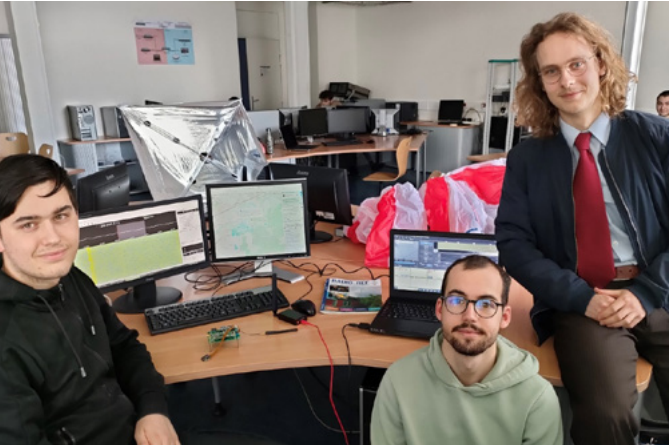
## 8 - Conclusion

# Le projet de ballon sonde SSTV utilisant un Raspberry Pi et le modem

LoRa a été une expérience incroyablement enrichissante pour nous en tant qu'étudiants de BTS informatique et réseaux. Ce projet nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises tout au long de notre formation, ainsi que de développer de nouvelles compétences en matière de programmation et de développement électronique.

Nous espérons que ce projet pourra inspirer d'autres étudiants et développeurs.

Nous remercions M. Simier F4JRE, M. Le Cren F4GOH, M. Martin, M. Cruchet et M. Bernard (professeurs au lycée Touchard) pour l'aide apportée tout au long de ce projet et de notre formation.



## Les étudiants dans la salle informatique

73 et bonnes transmissions en SSTV et LoRa.

- (1) <http://urls.r-e-f.org/no174tw>
- (2) <http://urls.r-e-f.org/no174tw>
- (3) <https://github.com/F5OEO/rpitx>
- (4) <http://urls.r-e-f.org/fl919iw>