

Ballon stratosphérique Touchard-Washington 2025 : SURVEILLER, MESURER, COMMUNIQUER... JUSQUE DANS LA STRATOSPHERE



Radio club F4KMN, Le Mans, Erwän Stanislawski F4LTZ

INTRODUCTION

Au lycée Touchard-Washington, la science ne se vit pas seulement en laboratoire : chaque année, elle prend son envol ! Sous l'impulsion des étudiants en BTS Systèmes Numériques et du partenariat avec le CNES et Planète Sciences, le projet de ballon stratosphérique mêle innovation technologique, esprit d'équipe et défi scientifique. L'édition 2025 s'annonce comme la plus ambitieuse, tant sur le plan technique que pédagogique.

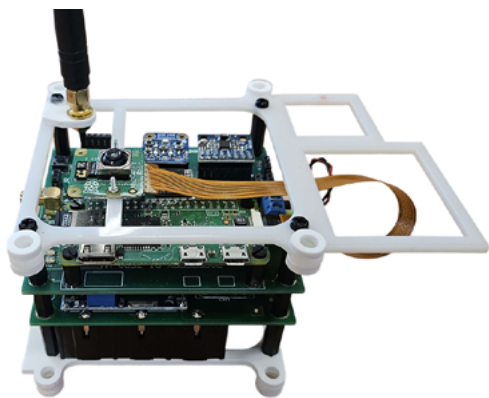


Image 1 - La nacelle prête pour l'ascension.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES ET SCIENTIFIQUES

L'expérience 2025 s'articule autour de deux axes majeurs :

- ▶ Vérifier la loi des gaz parfaits par une estimation en vol du diamètre du ballon, via l'analyse d'images embarquées.
- ▶ Gérer une liaison radio bidirectionnelle LoRa permettant télémétrie, requêtes et retours d'état en temps réel.

En pratique, il s'agit :

- ▶ d'acquérir et de transmettre des photos régulières du ballon et de son réflecteur pour estimer sa taille ;
- ▶ d'enregistrer les paramètres atmosphériques (température, pression, humidité, accélérations sur 3 axes) ;
- ▶ d'émettre ces données à la fois en HF (SSTV) et en UHF (LoRa) pour garantir leur réception et leur archivage ;
- ▶ de détecter et signaler automatiquement les événements critiques (éclatement/atterrissage).

CHAÎNE TECHNIQUE : MATÉRIEL ET ARCHITECTURE

La nacelle embarquée :

- ▶ Raspberry Pi Zero : centre nerveux du système, orchestrant la caméra, la collecte de données et la gestion des communications.
- ▶ Caméra PiCam : capture des images pour l'analyse du diamètre du ballon sans interruption.
- ▶ Capteurs BME280 et MPU6050 pour mesurer pression, température, humidité et accélérations triaxiales, connectés via I2C.
- ▶ Module LoRa RA-02 (433 MHz) : envoie et reçoit les trames de télémétrie au sol, gère les requêtes de supervision.
- ▶ Amplificateur HF 28 MHz, sortie GPIO4 : permet la transmission SSTV directe vers les stations radioamateurs en SSB.
- ▶ Stockage local : photos et logs enregistrés en continu sur une carte SD pour garantir la post-analyse, même en cas de perte de liaison radio.

Station sol : la salle de contrôle et d'analyse

- ▶ Réception HF SSTV : antenne, RX, carte son et logiciel dédié à la réception et au décodage des images ; automatisation du transfert des images vers un serveur web ;
- ▶ Gateway LoRa : pour relayer la télémétrie vers le site <https://aprs.fi> et permettre le dialogue bidirectionnel depuis un poste opérateur (PC via module TTGO ou passerelle Pi) ;
- ▶ Serveur Web PHP/MySQL : partage temps réel de toutes les données, éditions d'analyses, graphiques dynamiques via Highcharts.

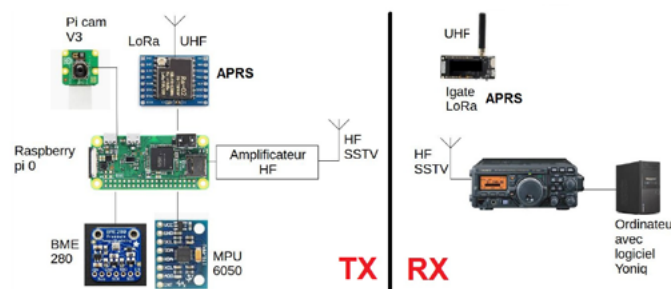


Image 2 - Schéma fonctionnel : caméra, Pi Zero, capteurs, module LoRa et ampli HF.



Image 3 - Vue rapprochée du module embarqué (PhotoModuleNacelle.png).

UN DISPOSITIF LOGICIEL SUR MESURE.

Côté nacelle :

- ▶ Trois applications en C++ (NetBeans) interagissant par IPC (Communication inter-processus) et conçues pour la robustesse :

- acquisition d'images (stockage SD, émission SSTV) ;
- gestion des capteurs (logs CSV horodatés) ;
- système de réception/traitement des commandes LoRa (codes Q).

- ▶ Détection automatique d'événements : passage en chute libre (free fall) et atterrissage, signalés par message avec timestamp.

Côté sol (interface Qt Creator) :

Application GUI (graphical user interface) pour :

- ▶ dialoguer avec la nacelle : envoi de requêtes LoRa (QSA : force signal, QSL : accusé réception, QTR : heure locale, etc.) ;
- ▶ recevoir et journaliser des retours dans une base distante MariaDB ;
- ▶ afficher en temps réel la position, les télémesures, et le statut du ballon ;
- ▶ gérer les trames KISS, la conversion AX.25/TNC2, la liaison directe avec APRS-IS.

Côté web :

Tableau de bord moderne affichant :

- ▶ des graphiques de trames par source/destination/horaire ;
- ▶ le top 10 des messages ;
- ▶ l'historique intégral consultable (recherche multi-critères) ;
- ▶ l'évolution et l'archivage automatisé des données téléométriques pour analyse scientifique et restitution pédagogique.

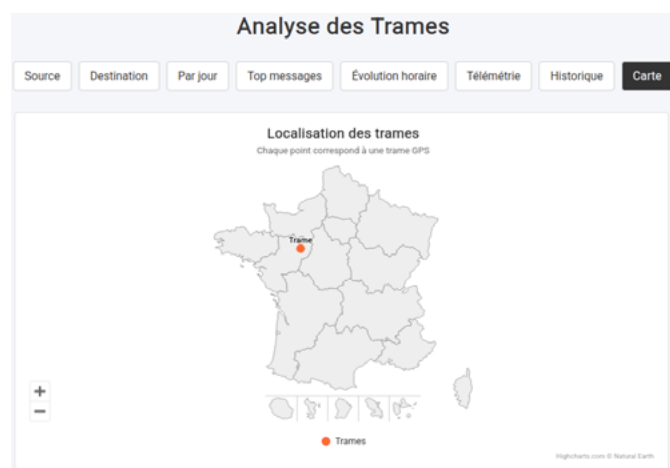


Image 4 - Exemple de carte GPS intégrée.

 A screenshot of the "Analyse des Trames" web application showing the "Historique des trames" tab. It displays a table with columns for Date, Source, Destination, and Message. The table contains several rows of data, including timestamps and LoRa frame details.

Date	Source	Destination	Message
2025-04-30 09:27:20	14kmn-11	APLT00	4759.71N/00012.23E/0016/002/A-000222Bat:3.84V/101mA
2025-04-29 11:49:43	F4KMN-8	APLT00	04291149c...s.g.10859-34b/10173
2025-04-29 11:49:33	F4KMN-8	APLT00	04291149c...s.g.10859-34b/10172
2025-04-29 11:49:23	F4KMN-8	APLT00	04291149c...s.g.10859-34b/10173
2025-04-29 11:49:13	F4KMN-8	APLT00	04291149c...s.g.10859-34b/10172
2025-04-29 11:49:03	F4KMN-8	APLT00	04291149c...s.g.10859-34b/10173

Image 5 - Historique des trames.

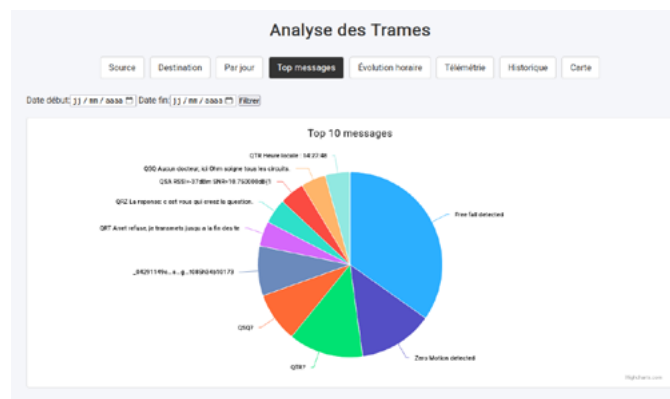


Image 7 - Top 10 des messages les plus reçus.

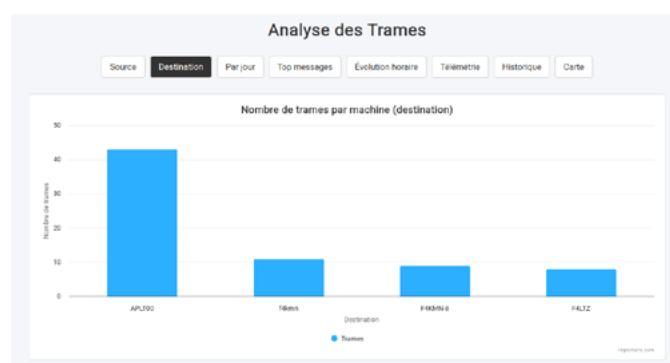


Image 8 - Nombre de trames par destinataire.

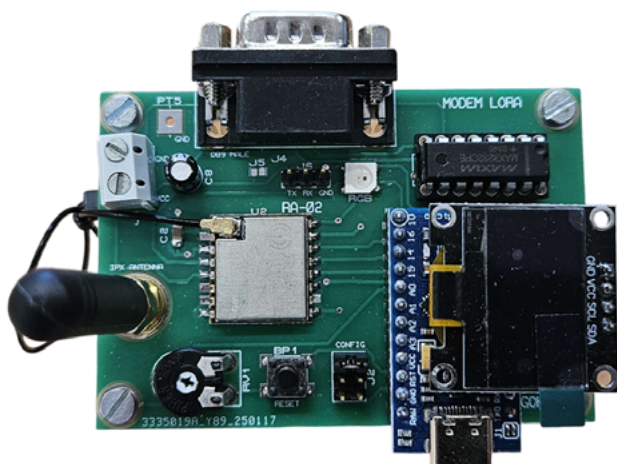


Image 10 – Le modem LoRa version KISS, prêt pour la récupération.

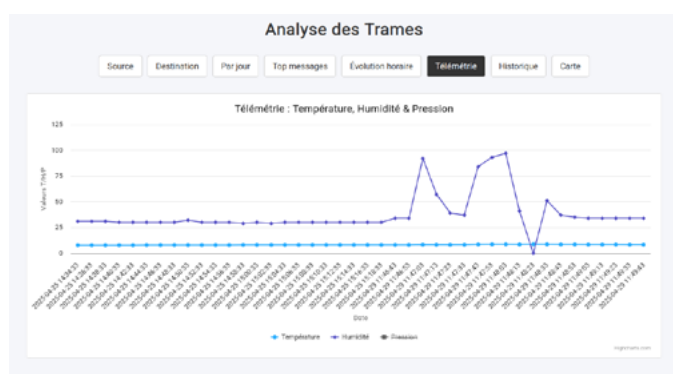


Image 6 – Courbes températures, humidité, pression.

CONTRAINTES ET EXIGENCES

- Cadre scolaire : planning serré, 150 h dont 2 semaines de tests préalables ;
- Robustesse : chaque transmission critique (événement, image, log capteur) doit être enregistrée localement ET diffusée ;
- Ouverture : hardware, code et documentation publiés en open-source ; serveur web accessible publiquement au cours de la mission*.

DÉROULEMENT DU PROJET ET ORGANISATION

- Trois étudiants s'impliquent, chacun étant responsable d'un pan du projet : télémétrie, interface requêtes, gestion images, détection événements.
- Encadrement : deux enseignants et soutien du Radio-Club F4KMN.

Validation finale : le projet sera une réussite si et seulement si :

- Les photos sont récupérables sur la carte SD et le web.
- Les trames sont exploitées en temps réel sur APRS.fi et site web.
- Les événements "free fall" et "atterrissage" sont détectés et notifiés.

INNOVATIONS ET PERSPECTIVES

Une des améliorations du vol de 2025 est la supervision bidirectionnelle en LoRa. Désormais, les opérateurs au sol peuvent interroger la nacelle, vérifier le bon fonctionnement à distance. Cette communication en temps réel ouvre la voie à des expériences plus complexes (ex : récupération du SNR et du RSSI via le code Q, etc.).

L'intégration du stockage en base de données, de l'outil d'analyse web et de la visualisation enrichit significativement l'exploitation des données : du simple suivi « radio » à une analyse scientifique collaborative, partagée et documentée.

CONCLUSION

Le projet de ballon stratosphérique 2025 du lycée Touchard-Washington franchit un nouveau palier. Riche d'une équipe motivée, d'un encadrement solide et d'outils logiciels pointus, il ambitionne d'allier rigueur scientifique, apprentissages techniques et partage grand public. Tous les ingrédients sont réunis pour faire de ce vol une aventure humaine et technologique qui, en stratosphère ou sur terre, marquera durablement étudiants, enseignants et partenaires.

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.

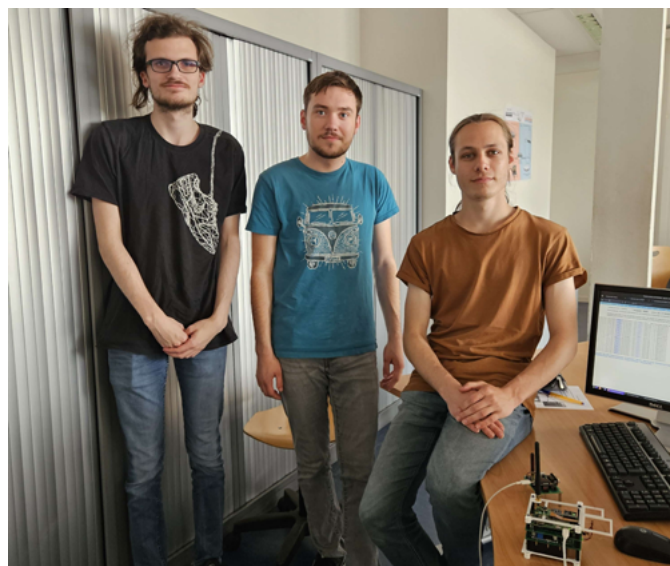


Image : L'équipe Ballon 2025 dans la salle informatique.

De gauche à droite : Dorian Lancien, Camille Mainfray, Erwän Stanislawski (F4LTZ).

73 à toutes et à tous et rendez-vous pour les prochaines aventures aériennes !

* <https://github.com/estanislawski4/ProjetBallon>