

Titre du projet : Ballon stratosphérique



Référence interne : TW-5
Épreuve : E6 – Projet technique

Établissement : Lycée Touchard-Washington, Le Mans
Commanditaire : CNES & Planète Sciences Espace

Budget indicatif : 2 000 €

Encadrants pédagogiques :

- Philippe Simier
- Jilali Khamlach

Équipe étudiante :

- Étudiant 1 – Module télémétrie CSV – MAINFRAY Camille
- Étudiant 2 – Interface Qt & LoRa – STANISLAWSKI Erwän
- Étudiant 3 – Chaîne image SSTV & Web – BENIANI Ilyès
- Étudiant 4 – Détection événements & messaging – LANCIEN Dorian

I. Contexte du projet

1. Mot de synthèse

Le projet « Ballon stratosphérique » s'inscrit dans une démarche pédagogique exigeante et expérimentale menée chaque année au sein du lycée Touchard-Washington. Il offre aux étudiants de BTS CIEL une opportunité : concevoir, déployer et piloter une mission autonome à haute altitude.

L'édition 2025 se distingue par deux objectifs cruciaux :

- **Revisiter expérimentalement la loi des gaz parfaits**, à travers la mesure du diamètre du ballon en vol grâce à un jeu de prises de vues et de traitements visuels.
- **Établir une liaison radio bidirectionnelle LoRa**, capable non seulement de transmettre les télémétries habituelles (température, pression, accélérations), mais aussi de répondre dynamiquement à des requêtes précises depuis le sol.

Ce projet est soutenu par le CNES et Planète Sciences, et coordonné par deux enseignants référents. Il mêle électronique embarquée, développement logiciel, traitement du signal, communications radio, et administration réseau.

2. Parties prenantes

Les acteurs du projet se répartissent entre stratégies, exécutants, observateurs et bénéficiaires. Chacun d'eux occupe un rôle bien défini dans la symphonie du vol :

- **Commanditaire** :
CNES (Centre National d'Études Spatiales) & Planète Sciences Espace. Financement, orientation scientifique, supervision du cadre général du projet.
- **Acteurs système (définis dans les cas d'usage SysML)** :
 - L'**opérateur** (analyse les données, contrôle la mission)
 - L'**internaute** (observe le vol en temps réel via le serveur web)
 - Le **suiveur** (exploite la liaison montante LoRa pour modifier des paramètres dynamiquement)

3. Contraintes externes

Les contraintes de l'environnement sont multiples :

- **Budget strict** : 2 000 €, financé par le CNES et Planète Sciences.
- **Fenêtre de lancement imposée** : fin mai 2025
- **Normes techniques** : transmission en HF (28 MHz, modulation SSTV Martin 1), liaison LoRa (433 MHz), compatibilité APRS, stockage sur carte SD, systèmes Debian.
- **Sécurité et robustesse** : toutes les données critiques doivent être sauvegardées localement, aucun processus ne doit être bloquant.
- **Publication obligatoire** : un article de synthèse doit être rédigé pour *RadioREF* avant le 6 mai 2025.

4. Objectifs de réussite

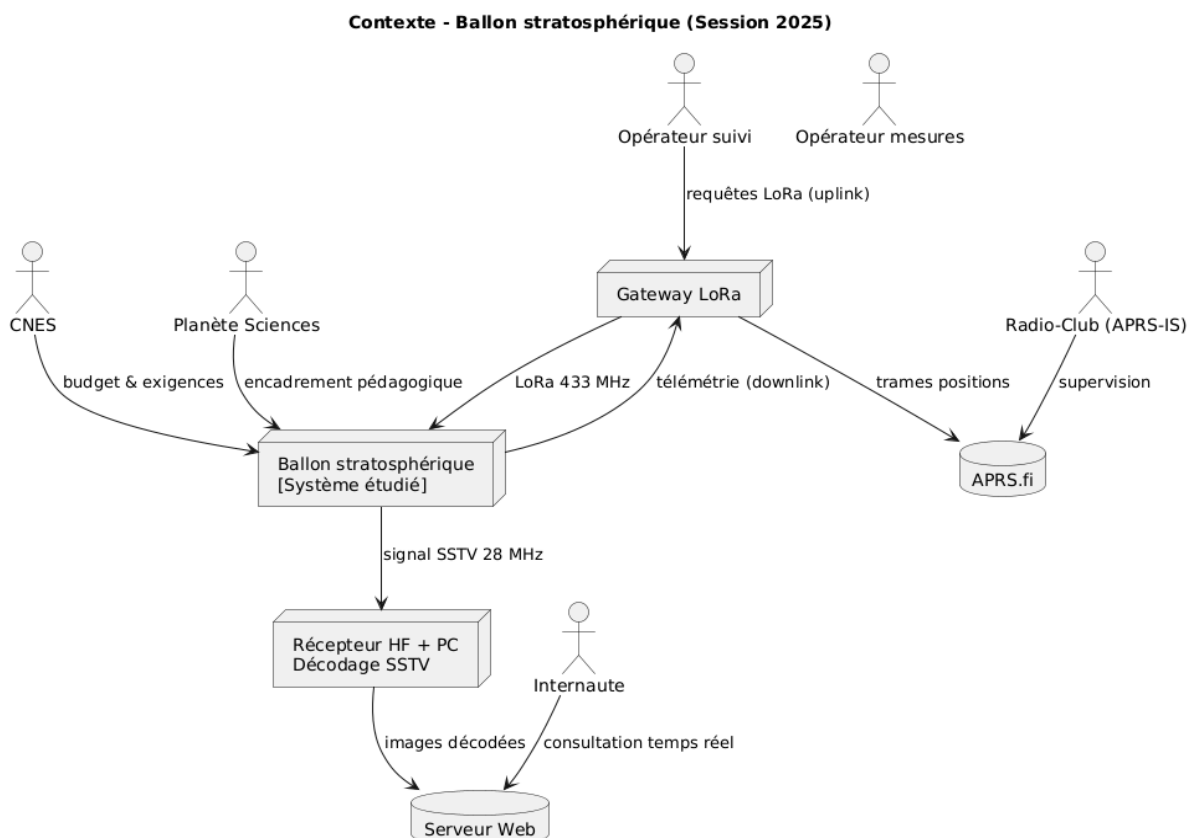
Critères de réussite du projet exigés :

- **Photographies** du ballon prises toutes les 5 minutes, stockées localement, et transmises en SSTV au sol.
- **Télémétries horodatées** toutes les 2 minutes : température, pression, humidité, accélérations X-Y-Z, sauvegardées en CSV et diffusées sur APRS.fi.
- **Détection fiable d'événements critiques** : éclatement du ballon et atterrissage, suivis de messages formatés en temps réel.

- **Interface web publique** : pour suivre le vol, en afficher les images et historiser les échanges LoRa.
- **Réponses dynamiques aux requêtes** (QSA, QTR, etc.), preuves que le système est vivant, réactif, maîtrisé.

II. Analyse fonctionnelle du besoin

2.1 – Diagramme de contexte



2.2 – Fonctions de service principales (FS)

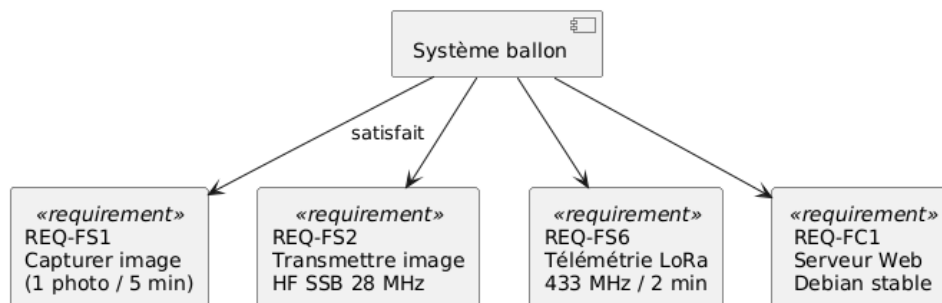
Réf.	Intitulé (résultat attendu)	Critères essentiels
FS1	Capturer une image du ballon + réflecteur	Format compatible SSTV Martin 1
FS2	Transmettre l'image au sol (HF SSB 28 MHz)	1 image/5 min durant le vol
FS3	Afficher les images en temps réel	Décodage & publication Web

FS4	Enregistrer localement les images	Horodatage + compression adaptée (4 h de vol)
FS5	Enregistrer localement les mesures	CSV horodaté, 1 enregistrement/20 s, reprise après reboot
FS6	Transmettre la télémétrie	LoRa 433 MHz, trame APRS Weather toutes 2 min
FS7	Détecter mouvements critiques	Éclatement (chute libre) & atterrissage
FS8	Répondre aux requêtes (Q-codes)	Fournir RSSI, SNR ; protocole à définir

2.3 – Fonctions de contrainte (FC)

Réf.	Intitulé	Contraintes clés
FC1	Installer un serveur Web	Debian stable, accessible Internet, partage dossier images
FC2	Installer une Gateway LoRa	Raspberry Pi + HAT LoRa, code C++, relay APRS.fi
FC3	Installer un client LoRa	ESP32 TTGO, relais série ↔ LoRa
FC4	Installer un décodeur SSTV	Logiciel compatible Martin 1, interface carte son

Arbre des exigences - extrait



3. Conception préliminaire – Architecture générale du système

3.1 – Topologie matérielle globale

Le dispositif se divise en deux théâtres :

1. Nacelle embarquée

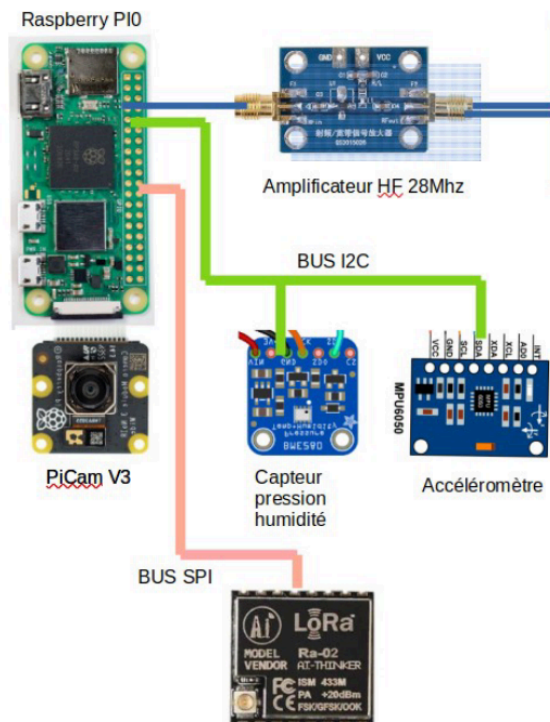
- **Cœur du système** : Raspberry Pi Zero, alimentation dédiée, interface GPIO.
- **Capteurs** : caméra orientée vers le ballon ; capteur BME280 (T°, P, HR) ; accéléromètre IMU 3 axes.
- **Radio HF 28 MHz SSB** : générée par le Pi sur GPIO 4 pour le signal SSTV (Martin 1).

- **Radio UHF 433 MHz LoRa** : module RA-02, télémetrie descendante + requêtes montantes.
- **Stockage local** : carte SD ≥ 32 Go (images compressées + CSV horodaté).
- **Alimentation** : batterie Li-Po + convertisseur 5 V régulé (autonomie ≥ 5 h avec marge).

2. Station au sol

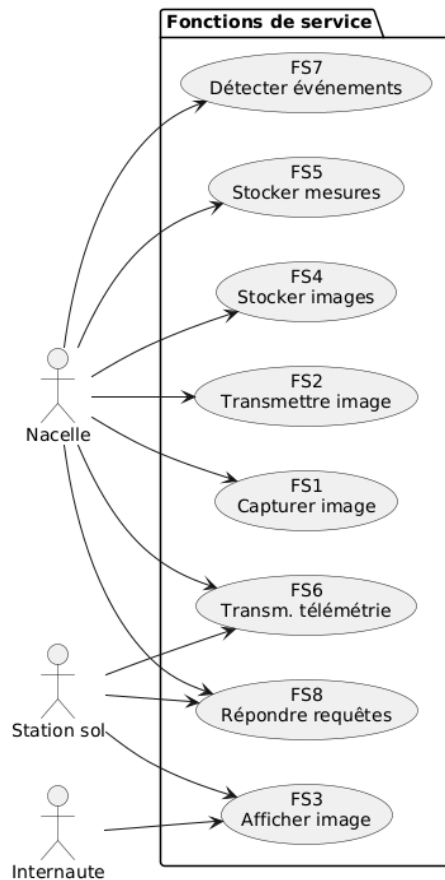
- **Récepteur HF + carte son PC** pour décoder le SSTV et déposer l'image dans le répertoire partagé .
- **Gateway LoRa** sur Raspberry Pi + HAT LoRa ; relaie les trames vers APRS.fi et accepte les commandes.
- **Serveur Web Debian** : Apache + PHP/Highcharts, publication temps réel des images et télémetries.
- **Base MySQL** : stockage persistant des trames (table machines, table trames).
- **Client Esp32 TTGO** (option) pour les tests terrain ou suivi dans le véhicule suiveur .

3.2 – Synoptique carte Raspberry Pi0



3.3 – Cas d'utilisations

Cas d'utilisation - Fonctions de service



3.4 – Contraintes techniques & qualitatives

- **Rugosité climatique** : -60 °C à la tropopause, isolation & tests cryogéniques légers.
- **Robustesse logicielle** : aucun processus bloquant ; watchdog maternel sur Pi; redémarrage sûr, CSV append-only .
- **Sécurité radio** : puissance émise LoRa < 10 mW ERP (norme 433 MHz France).
- **Documentation** : toutes classes C++ commentées ; dépôt Git public ; article Radioref à remettre avant le 06/05/2025.