

ÉCOLE DES MÉTIERS DE LAUSANNE
ÉCOLE SUPÉRIEURE

GÉNIE ÉLECTRIQUE

SYSTÈME D'ENREGISTREMENT DE TRAJECTOIRES DE VOL

Boîte noire miniaturisée

Auteur

Ali ZOUBIR

Superviseur

Juan José MORENO

Mandataire

ASSOCIATION POUR LE MAINTIEN
DU PATRIMOINE AÉRONAUTIQUE

8 août 2023

Table des matières

Acronymes	4
Glossaire	4
1 Cahier des charges	5
1.1 Introduction	5
1.2 Aperçu	5
1.3 Tâches à réaliser	5
1.4 Schéma de principe	6
1.5 Planification	7
1.6 Livrable	7
2 Pré-étude	8
2.1 Fonctionnement du système	8
2.1.1 Schéma bloc	8
2.2 Description des blocs	8
2.3 Choix des composants	9
2.3.1 Microcontrôleur	9
2.3.2 Centrale inertielle	9
2.3.3 GPS / GNSS	9
2.3.4 Transmetteur radio-fréquence	9
2.3.5 Batterie, charge et régulation	10
2.4 Estimation des coûts	10
3 Développement de la schématique	10
3.1 Dimensionnements	10
3.1.1 Autonomie du système	10
3.1.2 Adaptation mécanique	10
3.1.3 Bus de communications	10
3.1.4 Interface	10
3.1.5 Périphériques	10
3.1.6 Chargeur de batterie	10
3.1.7 Synthèse et perspectives de l'étude	10
4 Développement du PCB	10
4.1 Bill of materials	10
4.2 Mécanique du projet	10
4.3 Placement des composants	10
4.4 Mécanique du PCB	10
4.5 Routage	10
5 Développement firmware	10
6 Validation du design	10
6.1 Liste de matériel	10
6.2 Contrôle des alimentations	10
6.3 Communication UART	10

6.4	Communication SPI, carte SD	11
7	Caractéristiques du produit fini	11
8	Conclusion	12
9	Bibliographie	13
10	Annexes	14

Acronymes

MCU microcontrôleur.

IMU centrale inertielle.

RF radio-fréquence.

GPS global Positioning System.

GNSS global navigation satellite systems.

Glossaire

Centrale inertielle Instrument utilisé en navigation, capable d'intégrer les mouvements d'un mobile (accélération et vitesse angulaire) pour estimer son orientation (angles de roulis, de tangage et de cap), sa vitesse linéaire et sa position.

Timestamp Enregistrement de l'heure et/ou la date d'un événement.

Traceur de G Indique et enregistre les forces d'accélération grâce à un capteur de pression numérique de haute précision intégré et à une plate-forme inertielle.

GPS Le système de positionnement global (GPS) est un service public américain qui fournit aux utilisateurs des services de positionnement, de navigation et de synchronisation (PNT). Ce système se compose de trois segments : le segment spatial, le segment de contrôle et le segment utilisateur. L'U.S. Space Force développe, entretient et exploite les segments spatial et de contrôle.

GNSS Le système mondial de navigation par satellite (GNSS) est un terme général décrivant toute constellation de satellites qui fournit des services de positionnement, de navigation et de synchronisation (PNT) à l'échelle mondiale ou régionale.

PIC32 Famille de microcontrôleur 32-bits de Microchip.

FTDI Composant Future Technology Devices International. Ici sert de convertisseur USB to UART.



Boîte noire miniaturisée 2023, 1942B

1 Cahier des charges

1.1 Introduction

Ce projet vise à stocker les données de mesures et de localisation d'un avion en utilisant une centrale inertielle et un GPS/GNSS. En combinant ces technologies, nous pouvons enregistrer des informations précises sur les caractéristiques du vol et la trajectoire de l'avion. En cas d'accident, ces enregistrements permettent de déterminer les causes potentielles. En somme, ce système de collecte et de stockage de données fournit une compréhension approfondie des vols et des données essentielles. Le cahier des charges détaillé est disponible en annexe.

1.2 Aperçu

- Sauvegarde des données inertielles chaque 500ms par défaut.
- Sauvegarde des données de localisation chaque 5'000ms par défaut.
- Possibilité de configurer les temps de sauvegarde.
- Résistance aux chocs.
- Bonne autonomie / Low power.
- Global Positioning System. (GPS)
- Global navigation satellite systems. (GNSS).
- Timestamp par satellite.
- Centrale inertielle :
 - Accéléromètre 3-axes.
 - Gyroscope 3-axes.
- Charge, lecture et config. par USB-C.

1.3 Tâches à réaliser

Développement et intégration d'un PCB avec capteurs et logging sur carte SD dans un boîtier compact.

- Développement schématique
 - Fonctionnement MCU.
 - Périphériques de mesures et de sauvegarde / Bus de communication.
 - Gestion batterie
- Routage pour intégration dans boîtier résistant aux chocs.
- Programmation mesure et sauvegarde des données.
 - Configuration MCU.
 - Configuration du périphérique de mesure pour centrale inertielle. (IMU).
 - Configuration du périphérique de sauvegarde (Carte SD).
 - Configuration du périphérique de localisation GPS/GNSS.
 - Configuration et communication avec l'interface.
 - Communication et traitement des données mesurées.

1.4 Schéma de principe

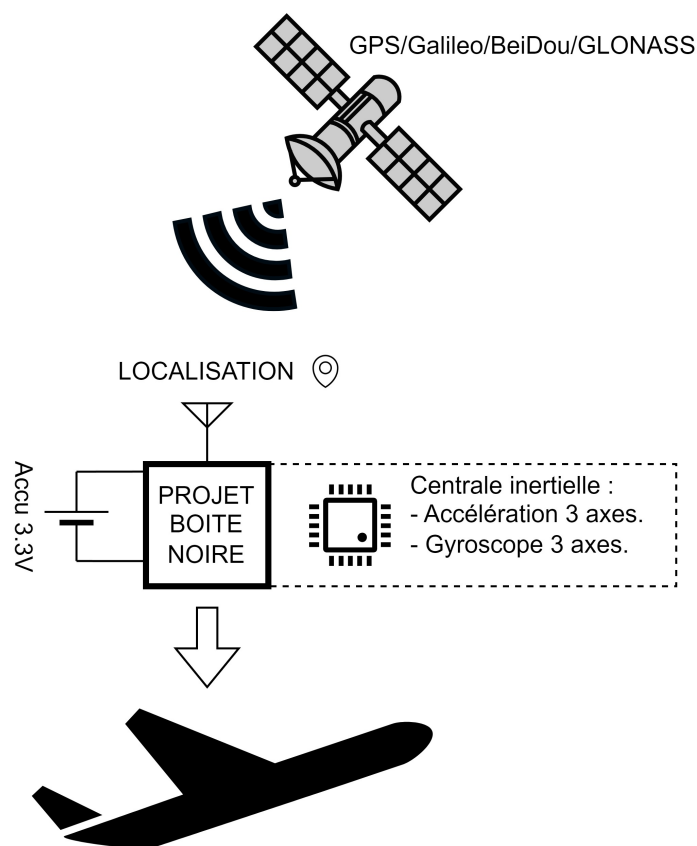


FIGURE 1 – Schéma de principe

Source: Auteur

Ce système électronique de mini boîte noire pour avion, serait capable d'enregistrer des informations récentes sur les données inertielle et la position d'un vol, dans une mémoire non volatile (carte microSD). Le dispositif, abrité dans un boîtier plastique pour assurer une réception optimale des données GPS et une installation compact. Celui-ci fournirait des données via un port USB pour l'extraction des mesures sur la carte microSD ou pour configurer des paramètres tels que les intervalles de mesures. Les mesures sur les trois axes d'accélération et de vitesse angulaire seraient recueillies par défaut toutes les 500 ms et les données de position GPS toutes les 5000 ms. Des intervalles d'enregistrement plus longs sont envisageables pour optimiser la durée de vie de la carte SD, selon la taille et l'organisation des données. Le dispositif sauvegarderait les données des 15 dernières minutes de vol (ou plus) dans un fichier CSV pour traitement ultérieur, selon le principe FIFO. L'objectif principal du prototype est de privilégier la compacité pour minimiser son encombrement à bord de l'avion.

1.5 Planification

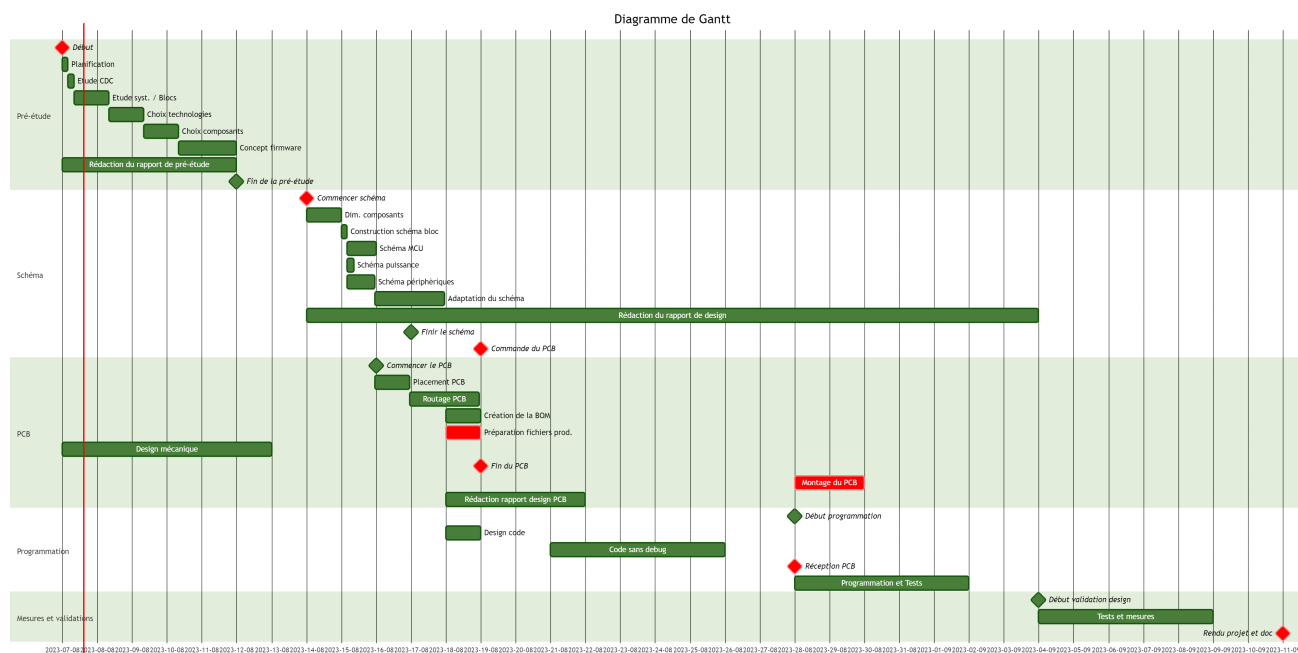


FIGURE 2 – Planification - Diagramme de gantt

Source: Auteur

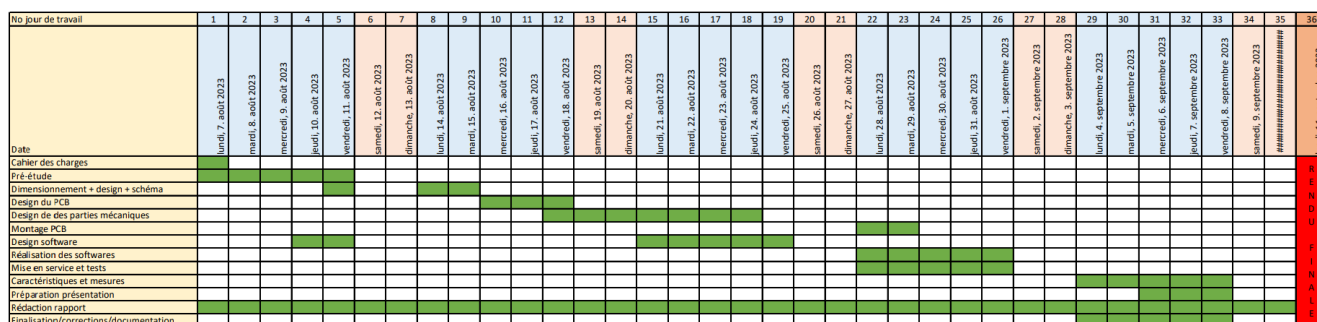


FIGURE 3 – Planification théorique

1.6 Livrable

- Les fichiers sources de CAO électronique des PCB réalisés
- Tout le nécessaire à fabriquer un exemplaire hardware de chaque :
- fichiers de fabrication (GERBER) / liste de pièces avec références pour commande / implantation
- Prototype fonctionnel
- Modifications / dessins mécaniques, etc
- Les fichiers sources de programmation microcontrôleur (.c / .h)
- Tout le nécessaire pour programmer les microcontrôleurs (logiciel ou fichier .hex)
- Un calcul / estimation des coûts
- Un rapport contenant les calculs - dimensionnement de composants - structogramme, etc.

2 Pré-étude

2.1 Fonctionnement du système

Le microcontrôleur interagît avec 4 périphériques principaux : Avec le GNSS, il partage une communication qui lui permet d'obtenir les informations de localisation par le biais de plusieurs systèmes de satellites. Il y a ensuite, la centrale inertielle qui lui donne accès de une multitude de mesures sur 9 axes, or, ici les mesures gyroscopiques et d'accélération sont exploitées. La carte SD, permet quant-à-elle, de stocker toutes ces données pour avoir minimum les information des 15 dernières minutes de vol. Le dernier périphériques principale FTDI, permet d'avoir une interface avec un ordinateur via connexion USB-C.

2.1.1 Schéma bloc

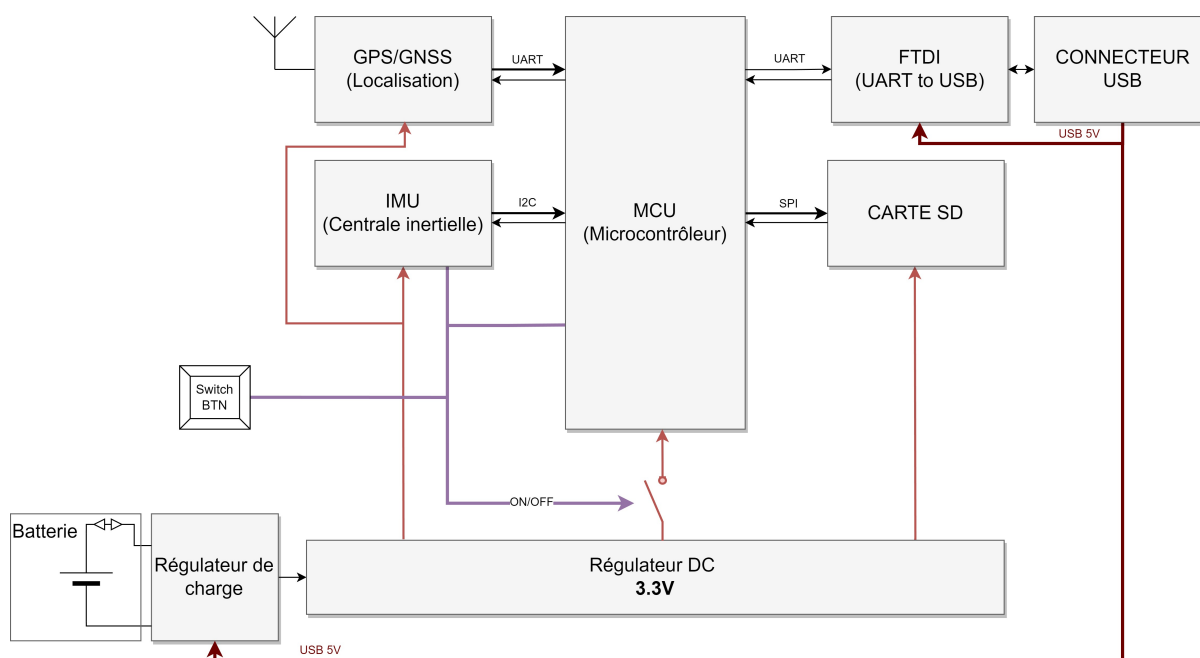


FIGURE 4 – Schéma de principe

Source: Auteur

2.2 Description des blocs

Bloc	Description
GNSS.	Récepteur Radio-fréquence. (RF) avec antenne interne/externe et communication UART.
Microcontrôleur. (MCU).	Microcontrôleur PIC32, intelligence du système, basse consommation.
IMU.	Centrale inertielle, accélération, gyroscope...
Carte SD	Stockage des données de vol.
FTDI.	Convertis la communication USB en série.
Régulateurs.	Le régulateur de charge gère la charge de l'accu. et un régulateur 3.3V le suit.
Batterie.	La batterie est un accu que l'on peut charger par USB et permet une bonne autonomie.

2.3 Choix des composants

2.3.1 Microcontrôleur

2.3.2 Centrale inertielle

2.3.3 GPS / GNSS

2.3.4 Transmetteur radio-fréquence

NEC IR transmission protocol

2.3.5 Batterie, charge et régulation

2.4 Estimation des coûts

3 Développement de la schématique

3.1 Dimensionnements

3.1.1 Autonomie du système

3.1.2 Adaptation mécanique

3.1.3 Bus de communications

3.1.4 Interface

3.1.5 Périphériques

3.1.6 Chargeur de batterie

3.1.7 Synthèse et perspectives de l'étude

4 Développement du PCB

4.1 Bill of materials

4.2 Mécanique du projet

4.3 Placement des composants

4.4 Mécanique du PCB

4.5 Routage

5 Développement firmware

6 Validation du design

6.1 Liste de matériel

6.2 Contrôle des alimentations

Méthode de mesure

Mesures

6.3 Communication UART

Méthode de mesure

Mesures

6.4 Communication SPI, carte SD

Méthode de mesure

Mesures

7 Caractéristiques du produit fini

8 Conclusion

9 Bibliographie

Références

- [1] P. Kordowski, Z. Jakielaszek, M. Nowakowski, and A. Panas, “Miniaturized flight data recorder for unmanned aerial vehicles and ultralight aircrafts,” in *2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*, pp. 484–488, 2018.

10 Annexes