

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

10 juillet 2023



# Table des matières

<b>Acronymes</b>	<b>4</b>
<b>Glossaire</b>	<b>4</b>
<b>1 Cahier des charges</b>	<b>5</b>
1.1 Introduction . . . . .	5
1.2 Aperçu . . . . .	5
1.3 Tâches à réaliser . . . . .	5
1.4 Schéma bloc de principe . . . . .	6
1.5 Description des blocs . . . . .	6
1.6 Jalons principaux . . . . .	7
1.7 Livrable . . . . .	7
<b>2 Pré-étude</b>	<b>9</b>
2.1 Fonctionnement du système . . . . .	9
2.1.1 Schéma bloc . . . . .	9
2.2 Choix des composants . . . . .	9
2.2.1 Centrale inertielle . . . . .	9
2.2.2 GPS / GNSS . . . . .	9
2.2.3 Microcontrôleur . . . . .	9
2.2.4 Batterie, charge et régulation . . . . .	9
2.3 Estimation des coûts . . . . .	9
<b>3 Développement de la schématique</b>	<b>9</b>
3.1 Dimensionnements . . . . .	9
3.1.1 Autonomie du système . . . . .	9
3.1.2 Adaptation mécanique . . . . .	9
3.1.3 Bus de communications . . . . .	9
3.1.4 Périphériques . . . . .	9
3.1.5 Chargeur de batterie . . . . .	9
3.1.6 Synthèse et perspectives de l'étude . . . . .	9
<b>4 Développement du PCB</b>	<b>9</b>
4.1 Bill of materials . . . . .	9
4.2 Mécanique du projet . . . . .	9
4.3 Placement des composants . . . . .	9
4.4 Mécanique du PCB . . . . .	9
4.5 Routage . . . . .	9
<b>5 Développement firmware</b>	<b>9</b>
<b>6 Validation du design</b>	<b>9</b>
6.1 Liste de matériel . . . . .	9
6.2 Contrôle des alimentations . . . . .	9
6.3 Communication UART . . . . .	10
6.4 Communication SPI, carte SD . . . . .	10

<b>7</b>	<b>Caractéristiques du produit fini</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Conclusion</b>	<b>11</b>
<b>9</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>12</b>
<b>10</b>	<b>Annexes</b>	<b>13</b>

## 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.



# 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 avancées, nous pouvons enregistrer des informations précises sur les caractéristiques du vol et la trajectoire de l'avion. En cas d'accident, ces enregistrements jouent un rôle crucial pour 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.

### 1.2 Aperçu

- Sauvegarde de donnée chaque 10s.
- Résistance aux chocs.
- Autonomie de 2 jours.
- Global Positioning System. (GPS)
- Global navigation satellite systems. (GNSS).
- Timestamp.
- Centrale inertielle, Sensing sur 9 axes :
  - Accéléromètre 3-axes.
  - Gyroscope 3-axes.
  - Magnétomètre 3-axes.
  - Senseur de température
- Charge et lecture par USB.
- Lecture des données par radio-fréquence. (RF).

### 1.3 Tâches à réaliser

Développement et intégration d'un PCB avec capteurs et logging sur carte SD dans une lampe de plongée étanche.

- 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 du périphérique de communication RF.
  - Configuration et communication avec l'interface.
  - Communication et traitement des données mesurées.

## 1.4 Schéma bloc de principe

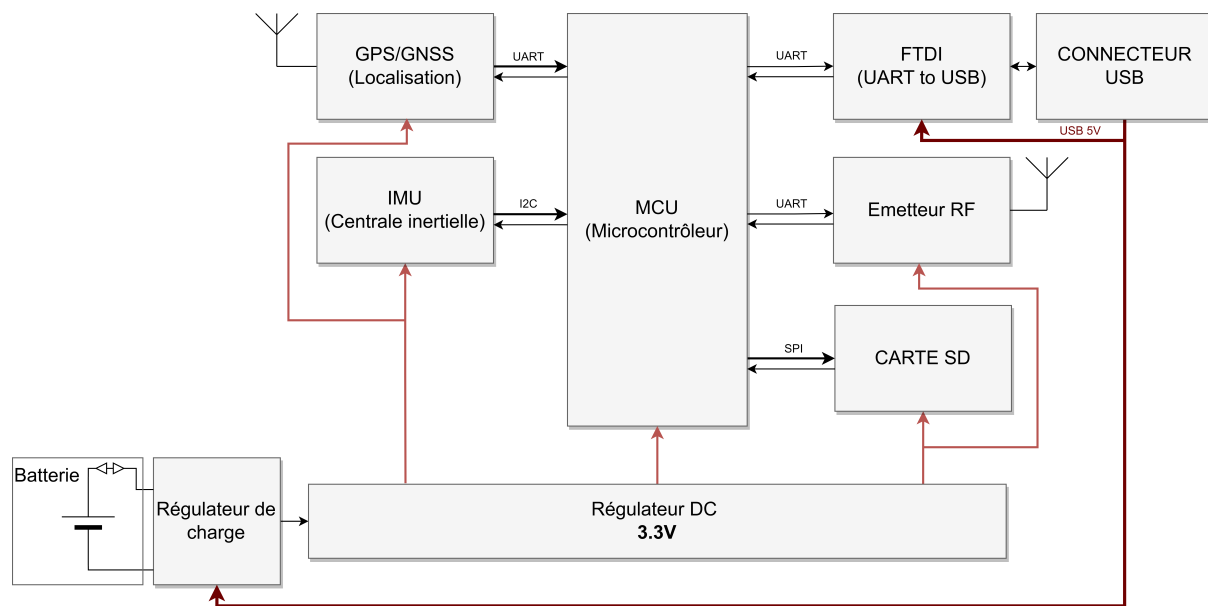


FIGURE 1 – Schéma de principe

Source: Auteur

## 1.5 Description des blocs

## **1.6 Jalons principaux**

### **1.7 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**

#### **2.1.1 Schéma bloc**

### **2.2 Choix des composants**

#### **2.2.1 Centrale inertielle**

#### **2.2.2 GPS / GNSS**

#### **2.2.3 Microcontrôleur**

#### **2.2.4 Batterie, charge et régulation**

### **2.3 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 Périphériques**

#### **3.1.5 Chargeur de batterie**

#### **3.1.6 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**