

1924B Mini Boîte Noire

Enregistreur de données de vol

Ali Zoubir

5 octobre 2023

ETML-ES



Introduction

Pré-étude

Développement schématique

Développement du PCB

Développement du firmware

Conclusion

Introduction



Figure 1 – Boîte noire

Les enregistreurs de données de vol jouent un rôle crucial dans la sécurité aérienne et la compréhension des phénomènes aéronautiques en capturant de manière inaltérable des informations vitales.

Ce projet a pour but la collecte et le stockage des données de mesures et de **localisation** d'un aéronef au moyen d'une centrale **inertielle** et d'un système de positionnement GPS/GNSS.

Principe

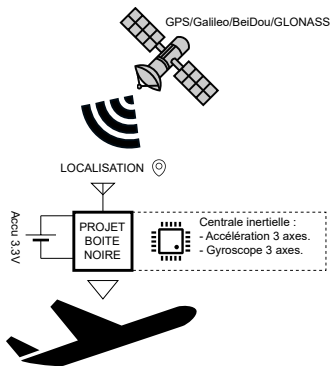


Figure 2 – Schéma de principe.

- Données de localisation, trajectoire.
- Accéléromètre et Gyroscope.
- Miniaturisation.
- Bonne autonomie / Low power.
- Configuration des temps de sauvegardes.
- Charge, lecture et configuration par USB-C.

Pré-étude

Schéma bloc

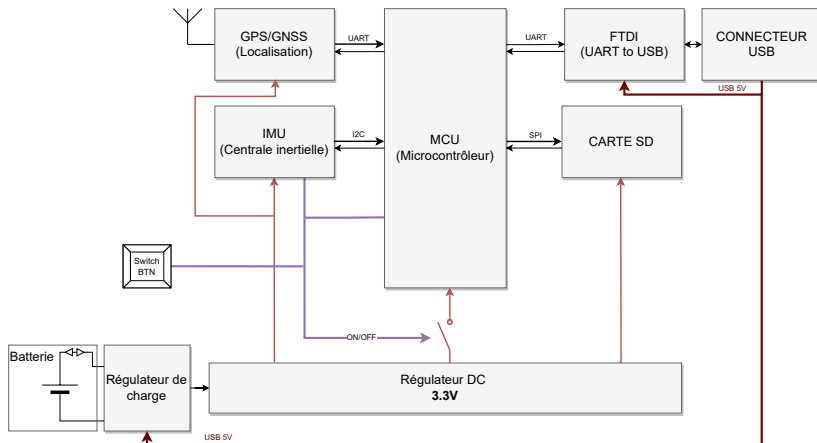
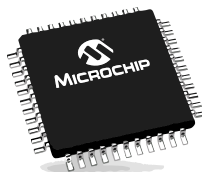


Figure 3 – Schéma bloc.

Choix des composants clés

Microcontrôleur	:	PIC32MX274F256D
Centrale inertielle	:	BN0055
GNSS	:	CAM-M8C-0
Carte SD	:	256MB
Batterie	:	LI-ION 1600mAh
Régulateur	:	MCP73871T-2CCI/ML

PIC32MX274F256D



PINS : 44	Fsys : 72 MHz
UART : 2	Cons. : 25 mA
SPI/I2C : 2	
Ext. Int. : 5	
Timers : 5	

Figure 4 – Caractéristiques PIC32.

Le MCU choisit dispose de différentes configurations de gestion de puissance, notamment des modes d'économie d'énergie, afin de permettre une meilleure autonomie.

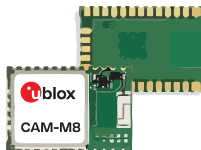


Figure 5 – Illustration BNO055.

Caractéristiques importantes :

Résolution gyroscope	: 16	[bits]
Résolution accéléromètre	: 14	[bits]
Résolution magnétomètre	: ~ 0.3	[μT]
I_{DD}	: 12.3	[mA]
Dérive de température	: ± 0.03	[%/K]
Dérive accéléromètre	: 0.2	[%/V]
Dérive gyroscope	: < 0.4	[%/V]

CAM-M8C-0



Model	Category	GNSS				Supply	Interfaces				Features							Grade		
	Standard Precision GNSS High Precision GNSS Dead Reckoning Timing	GPS / QZSS GLONASS Galileo BeiDou	Number of Concurrent GNSS	1.65 V – 3.6 V 2.7 V – 3.6 V	UART USB SPI DDC (I²C compliant)	Programmable (Flash) Data logging Additional SAW Additional LNA RTC crystal Oscillator Built-in antenna Built-in antenna supply and supervisor Timepulse	Standard Professional Automotive													
CAM-M8Q	•	• • • •	3	•	• • •	• • • T •	1													
CAM-M8C	•	• • • •	3	•	• • •	• • ♦ C •	1													

Figure 6 – Caractéristiques du GNSS.

Carte SD

S_{SD}	256	[MB]
S_{gyro}	16	[Bytes]
S_{accel}	16	[Bytes]
S_{gnss}	~ 100	[Bytes]
$T_{inertiel}$	0.5	[s]
T_{gnss}	5	[s]
T_{mesMin}	900	[s]

$$S_{single} = \frac{T_{gnss}}{T_{inertiel}} S_{accel} + S_{gnss} = \frac{5}{0.5} 16 + 100 = 260 \text{ [Bytes]}$$

$$S_{mesures} = \frac{S_{single}}{T_{gnss}} * T_{mesMin} = \frac{260}{5} * 900 = 46'800 \text{ [Bytes]} = 49.8 \text{ [KB]}$$

$$T_{mesures} = \frac{S_{SD} * T_{gnss}}{S_{single}} = \frac{256 * 10^6 * 5}{260} = \sim 82'051 \text{ Minutes} = \sim 1368 \text{ H.}$$

Liste des consommations principales

Microcontrôleur	24	[mA]	Typ.
Carte-SD	100	[mA]	Max.
Carte-SD	60	[mA]	Moyenne
IMU	12.3	[mA]	Typ.
GNSS	71	[mA]	Max.
GNSS	29	[mA]	Typ.
Totale max	<u>207.3</u>	[mA]	Max.
Totale moyennes	<u>125.3</u>	[mA]	Moyenne

Table 1 – Tableau des consommations de courant.

Temps minimum avec tolérance désiré : $10h \Rightarrow \text{min} \sim 1300mAh$

Choix des composants et technologies :

- **Microcontrôleur** : PIC32MX274F256D privilégié, 2 UART, 1 SPI, 1 I2C, économie d'énergie.
- **Centrale inertielle** : BNO055 de BOSCH, mesures avancées, facile à implémenter.
- **GPS/GNSS** : CAM-M8C-0 d'ublox, antenne interne omnidirectionnelle, facile à implémenter.
- **Carte SD** : Capacité de 256MB, suffisante pour données de vol.
- **Batterie** : Nécessité de 1253 mAh pour autonomie minimale.

Développement schématique

Blocs du systèmes

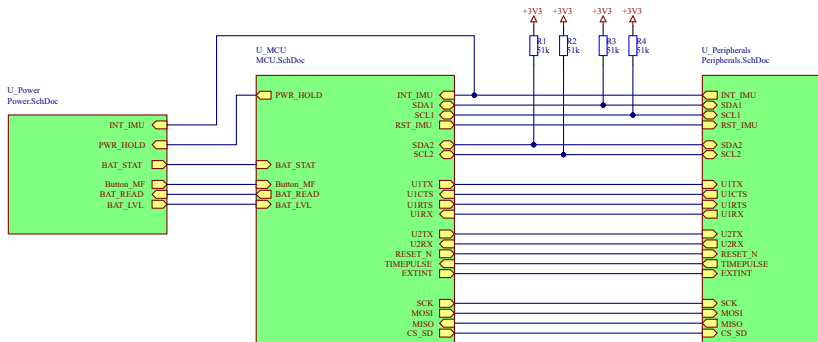


Figure 7 – Blocs du système.

MCU - Microcontrôleur

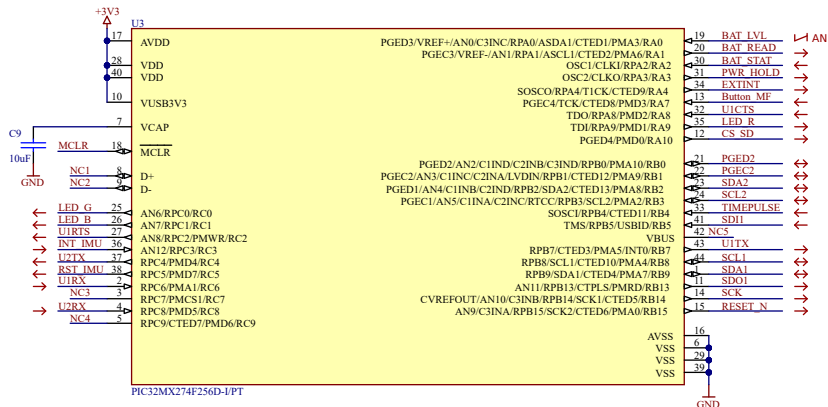


Figure 8 – Connexions du microcontrôleur

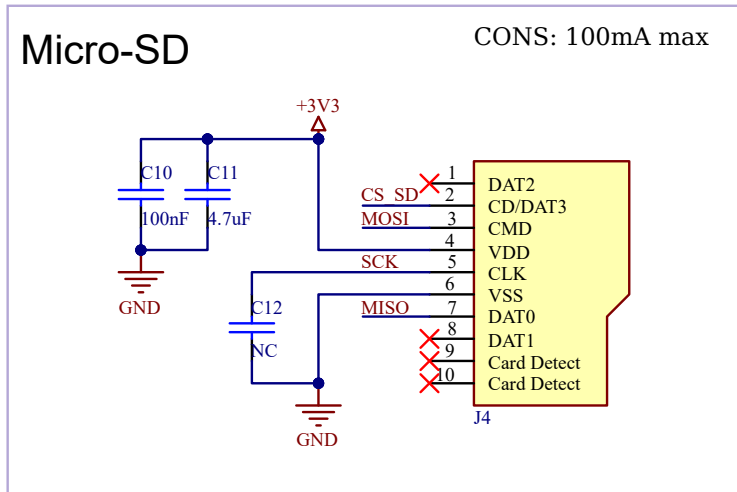


Figure 9 – Branchement carte SD.

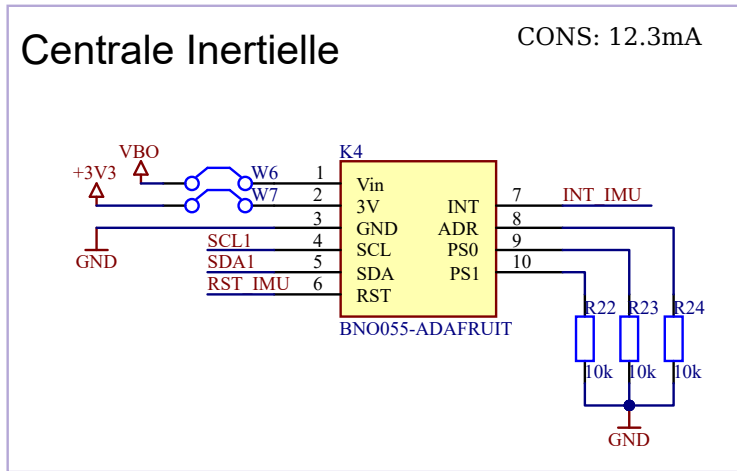


Figure 10 – Schéma centrale inertielle.

Peripherals - GNSS

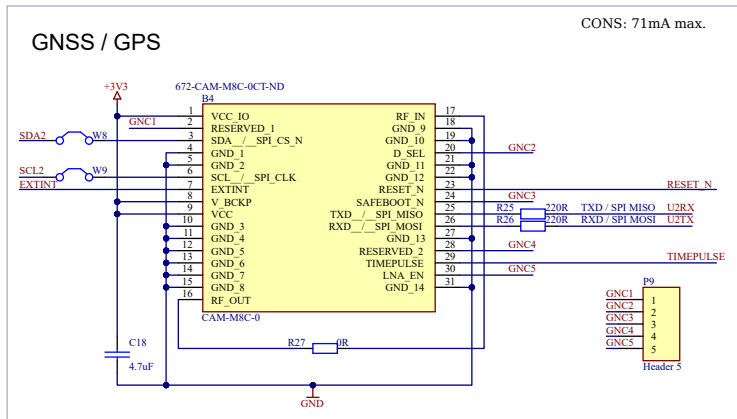


Figure 11 – Schéma du GNSS.

Peripherals - USB-FTDI

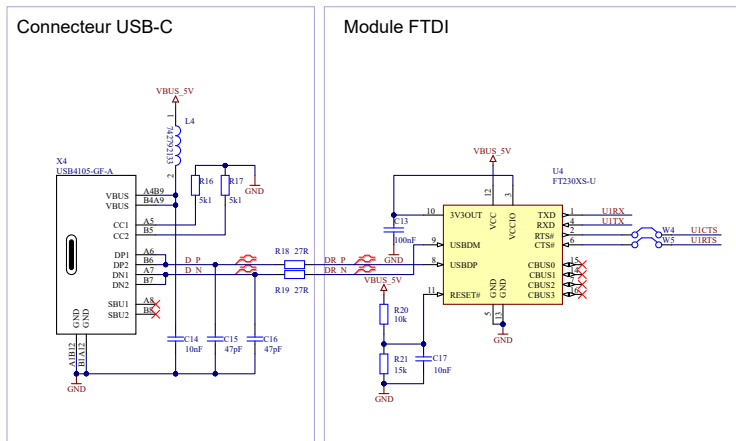


Figure 12 – Schéma connecteur USB et FTDI.

Power - Chargeur de batterie

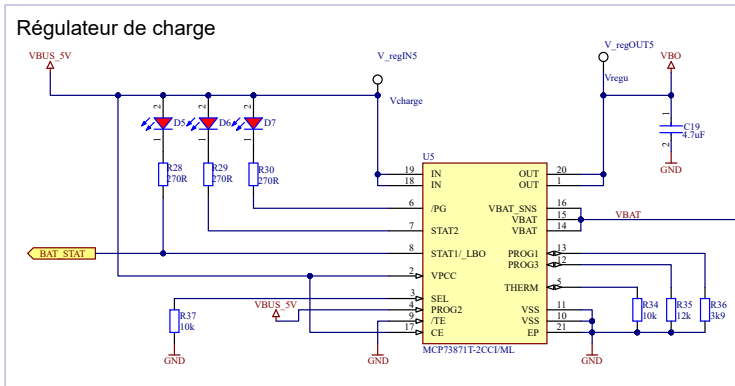


Figure 13 – Schéma chargeur de batterie.

Power - Enclenchement

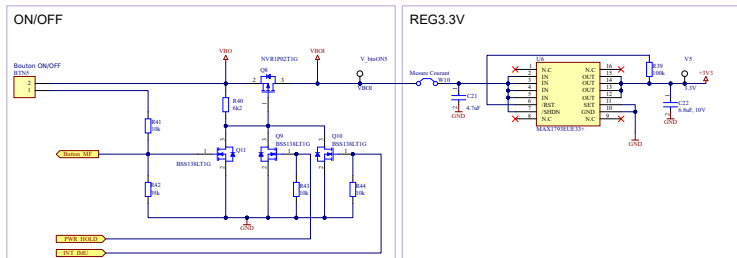


Figure 14 – Schéma allumage du système.

Développement du PCB

Placement des composants

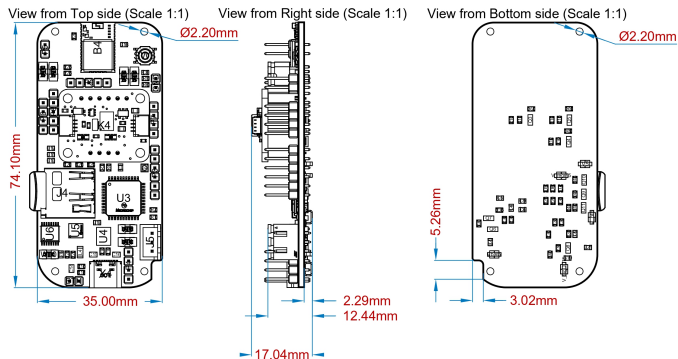
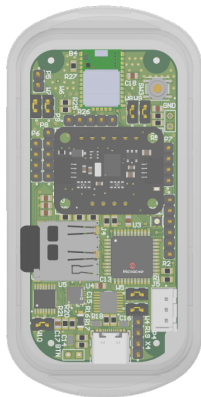
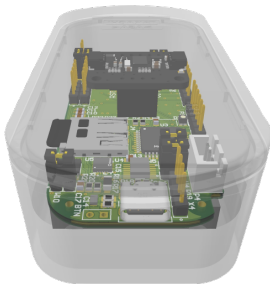


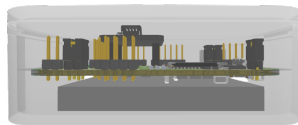
Figure 16 – Placement des composants et dimensions de la carte.



(a) Vue 3D, 1



(b) Vue 3D, 2



(c) Vue 3D, 3

Figure 17 – Vues 3d de l'assemblage.

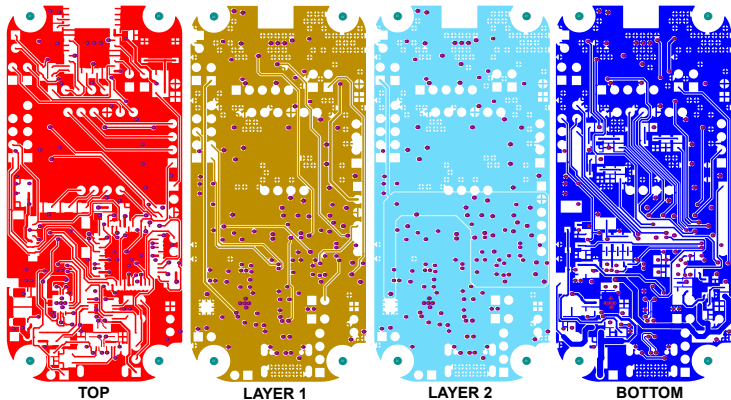


Figure 18 – Routage des différentes couches.

Développement du firmware

Configuration des périphériques

ID du timer	Description	Période
Timer 1	sert pour les attentes bloquantes précises.	1 [ms]
Timer 2	gère les délais entre les mesures et l'affichage des LEDs.	10 [ms]

ID du BUS	Utilité	Fréquence	Interruption	Trame	Parité
UART ID1	Réceptions commandes USB.	9600 [Baud]	Priorité 1	8bits + 1stop	Non
UART ID2	Communication avec le GNSS.	9600 [Baud]	Non	8bits + 1stop	Non
SPI	Communication avec la carte SD en FAT32.	12'000 [MHz]	Priorité 1	-	-
I2C	Communication avec la centrale inertielle.	400 [kbit/s]			

Table 2

Diagramme application principale

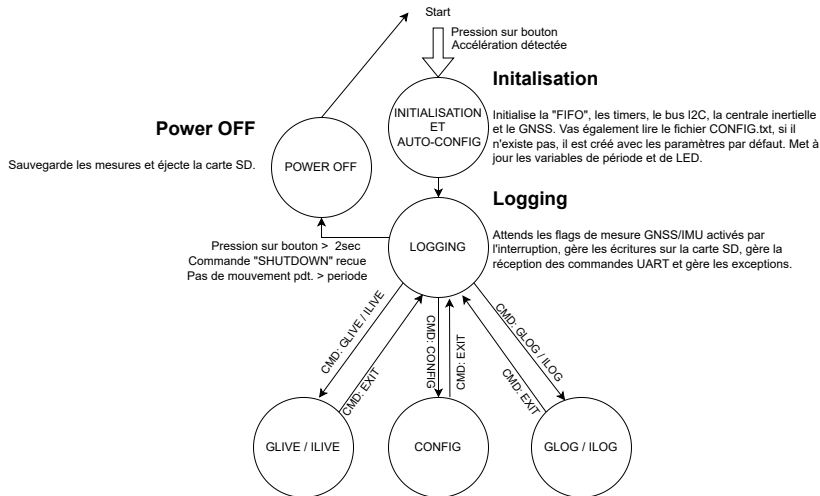
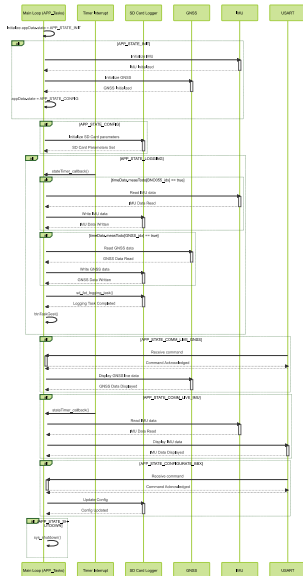
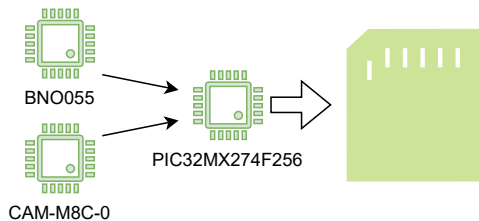


Figure 19 – Diagramme d'état principal.

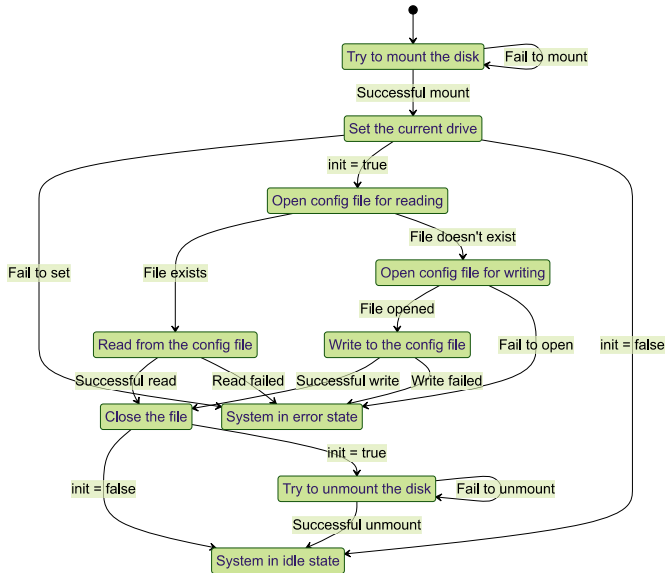
Diagramme de séquence principale



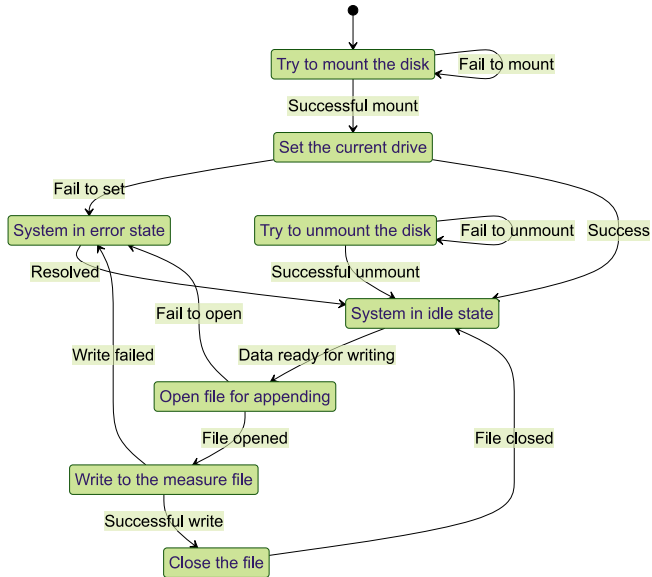
Carte SD



Machine d'état carte SD - Initialisation






Machine d'état carte SD - Logging



Enregistrement des données

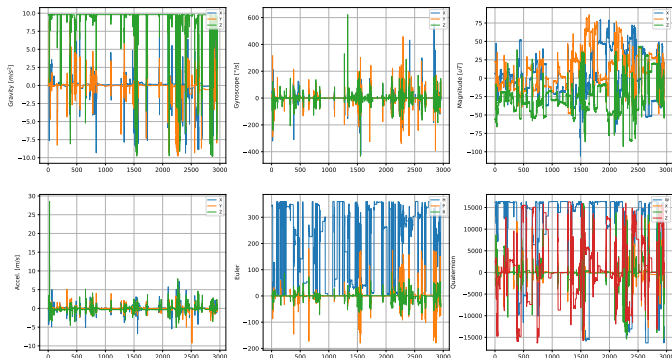


 CONFIG.txt	05/10/2023 10:43	Document texte	1 KB
 LOG_GNSS.txt	13/09/2023 20:22	Document texte	1,282 KB
 LOG_IMU.csv	13/09/2023 20:22	Microsoft Excel C...	1,075 KB

Données CSV - Centrale inertielle

0;500;-3.5900;-3.9900;8.2000;17.3750;141.6875;20.0625;-0.8750;28.3750;-17.8750;0.9700;-0.0300;-0.4700;19.4375;25.9375;-21.4375;15475;-2902;3674;-2655;
0;500;-9.1700;-3.4500;-0.2200;6.0625;184.1250;-153.9375;21.0000;26.7500;-9.3750;0.0200;-1.0300;-0.3300;35.1875;93.6875;-69.3125;11140;-521;11538;-3308;
0;500;-0.7300;-2.2000;-9.5200;-26.1875;26.6250;1.5625;12.2500;26.7500;19.5000;0.3500;0.5500;0.0000;21.0625;166.9375;-4.3125;272;2977;15992;-1936;
0;500;-9.1600;-2.9400;1.8500;21.7500;80.5000;-52.6875;22.0000;24.1875;-14.5625;1.6800;-0.9300;-0.2700;45.2500;57.7500;-69.1875;11613;936;10478;-4787;
0;500;2.4100;-2.6900;9.1100;-32.1250;-58.6875;-29.3750;-14.3750;28.2500;-19.5625;1.2500;0.6500;-1.1100;24.1250;16.1875;13.6250;15752;-2619;-1450;-3367;
0;500;9.6700;-0.1800;-1.5900;18.1875;-87.3125;-61.8750;-26.8750;26.1875;6.5000;-0.5400;0.2900;-0.3300;10.6250;173.3125;80.5000;10648;-1472;-12328;-958;
0;500;5.2100;-2.8900;7.7800;-2.2500;129.8125;-21.5625;-24.0625;25.2500;-7.7500;0.5000;0.5100;-0.8700;26.8125;20.3750;32.0625;15093;-3554;-3876;-3605;

Mesures IMU



Données NMEA - GNSS

\$GNVTG,,T,,M,0.120,N,0.221,K,D*3A

\$GNGGA,103925.00,4631.50777,N,00636.99253,E,2,07,2.85,474.2,M,47.2,M,,0000*44

\$GNGSA,A,3,28,02,04,03,31,,,,,,,,,3.75,2.85,2.44*1D

\$GNGSA,A,3,85,70,,,,,,,,,3.75,2.85,2.44*1A

\$GPGSV,3,1,12,02,21,142,28,03,66,056,39,04,69,181,25,06,28,310,*74

\$GPGSV,3,2,12,09,42,211,,17,40,250,18,19,40,280,,21,14,141,*7E

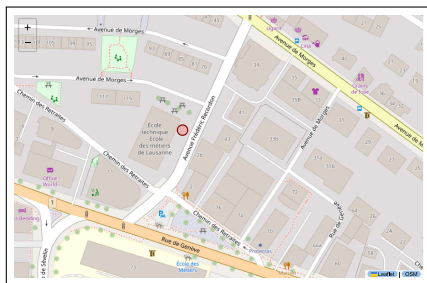
\$GPGSV,3,3,12,28,16,041,27,31,26,068,39,36,34,157,,49,36,182,32*76

\$GLGSV,2,1,08,70,34,044,26,71,77,325,18,72,37,244,,79,09,017,*63

\$GLGSV,2,2,08,80,11,067,,85,26,163,22,86,73,202,22,87,40,323,*6A

\$GNGLL,4631.50777,N,00636.99253,E,103925.00,A,D*7B

\$GNRMC,103926.00,A,4631.50778,N,00636.99255,E,0.088,,110923,,,D*60



Fichier de configuration

\$LOG INTERVAL GNSS [ms] : 2000
\$LOG INTERVAL IMU [ms] : 500
\$LED ENABLE [1/0] : 1
\$INACTIVE PERIOD [s] : 60

Validation du design

Conclusion

Conclusion

Résumons ce que nous avons appris.

Questions?