

Tentative de record d'altitude pour une sonde radioamateur



Auteurs : N. Pradervand G. Pradervand M. Leuppi

Lieu : Atelier ELO

Date : Juin – Octobre 2024

Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Ballon sonde professionnel	3
1.2	Ballon sonde radioamateur	3
2	Electronique	4
2.1	Tracker	4
2.1.1	Introduction au LoRa APRS	5
2.1.2	APRS-IS	5
2.1.3	Modifications + 12'000 m	6
2.1.4	Programmation du tracker	13
2.2	iGate	19
2.3	Caméra et alimentation	24
2.3.1	HB4LO-8 - 22 août 2024	25
2.3.2	HB4LO-9 - 19 septembre 2024	25
2.4	Beeper	27
3	Fabrication	28
3.1	Sonde APRS	31
3.2	Antenne	34
3.3	Sonde caméra	35
4	Prédiction prévol	37
5	Données de vol	38
6	Lancements	39
6.1	3 juin 2024 - HB4LO-7	39
6.1.1	Caractéristiques	39
6.1.2	Déroulement	39
6.1.3	Données et analyse	40
6.2	4 juin 2024 - HB4LO-8	41
6.2.1	Caractéristiques	41
6.2.2	Déroulement	41
6.2.3	Données et analyse	41
6.3	27 juin 2024 - HB4LO-7	42
6.3.1	Caractéristiques	42
6.3.2	Déroulement	42
6.3.3	Données et analyse	42
6.4	18 juillet 2024 - HB4LO-7	44
6.4.1	Caractéristiques	44
6.4.2	Déroulement	44
6.4.3	Données et analyse	44
6.5	22 août 2024 - HB4LO-8	46
6.5.1	Caractéristiques	46
6.5.2	Déroulement	46

6.5.3	Données et analyse	46
6.6	29 août 2024 - HB4LO-9	48
6.6.1	Caractéristiques	48
6.6.2	Déroulement	48
6.6.3	Données et analyse	48
6.7	19 septembre 2024 - HB4LO-9	50
6.7.1	Caractéristiques	50
6.7.2	Déroulement	50
6.7.3	Données et analyse	50
7	Conclusion	52
7.1	Utilisation d'un tracker LoRa	52
7.2	Comment améliorer notre altitude	53
7.3	Remerciements	53
7.4	Conclusion finale	53
	Liste des figures	54

1 Introduction

L'objectif de ce projet est de battre le record d'altitude pour un ballon sonde lancé par des radioamateurs, tout en expérimentant l'utilisation de la modulation LoRa APRS pour l'envoi de la position du ballon.

Le record actuel est détenu par une équipe américaine nommée "California Near Space Project". Le 6 mai 2012, ils ont lancé leur mission CNSP-16, atteignant une altitude maximale de 42'354 mètres.

Un ballon sonde est une plateforme expérimentale utilisée pour réaliser des mesures atmosphériques et d'autres types de données en haute altitude. Le ballon, généralement en latex extensible, est gonflé avec un gaz léger comme l'hélium ou l'hydrogène, ce qui lui permet de monter dans l'atmosphère. Une charge utile, contenant des instruments de mesure et des systèmes de communication, est suspendue au ballon. À mesure qu'il monte, la pression atmosphérique diminue, ce qui provoque l'expansion progressive du ballon jusqu'à son éclatement. Une fois le ballon éclaté, la charge retombe, freinée par un parachute, permettant ainsi la récupération du matériel et des données collectées.

1.1 Ballon sonde professionnel

Les ballons sondes professionnels sont principalement utilisés dans les domaines de l'astronautique et de la météorologie pour effectuer divers types de mesures, du sol jusqu'à la stratosphère. Ces mesures incluent la température, la pression atmosphérique, l'humidité et les vents. Chaque jour, des milliers de ballons sont lâchés par des stations météorologiques à travers le monde. À Payerne, par exemple, MétéoSuisse lâche deux ballons chaque jour, l'un à midi et l'autre à minuit.

1.2 Ballon sonde radioamateur

Le lancement de ballons sondes est une activité prisée par les radioamateurs. Ces ballons représentent une plateforme intéressante pour diverses applications. Certains radioamateurs cherchent à repousser les limites en termes de distance parcourue ou d'altitude atteinte, tandis que d'autres s'intéressent davantage à ce que le ballon emporte dans l'atmosphère. Par exemple, il est possible d'installer un relais radioamateur. En raison de l'altitude élevée, la portée est considérablement augmentée. La puissance d'émission peut rester faible, car il n'y a pas d'obstacles entre les utilisateurs potentiels et le ballon.

Il est également envisageable de transmettre un flux vidéo en direct depuis la sonde ou de mesurer divers phénomènes atmosphériques. Les radioamateurs sont souvent impliqués dans des projets avec des écoles, permettant ainsi aux jeunes de réaliser des expériences uniques.

2 Electronique

2.1 Tracker

Nous avons utilisé le module TTGO T - Beam v1.1 de chez LILYGO, qui utilise le protocole de communication radio "LoRa". Ce module est équipé d'un GPS U-blox et peut être alimenté par une batterie de type 18650. Nous avons flashé le tracker avec le projet "LoRa_APRS_Tracker" développé par Ricardo Guzman (CA2RXU), disponible sur GitHub :

https://github.com/richonguzman/LoRa_APRS_Tracker

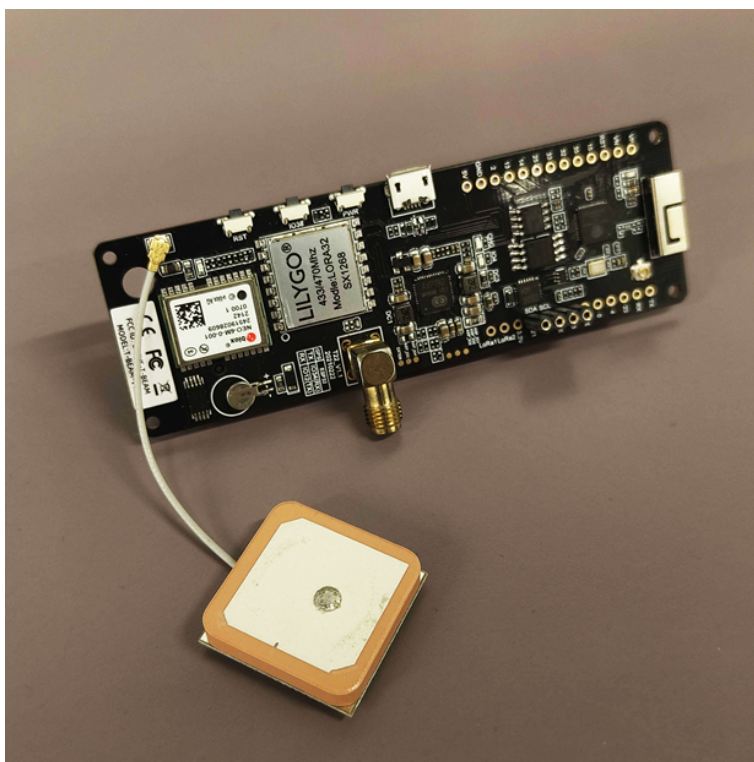


FIGURE 1 – Le tracker

2.1.1 Introduction au LoRa APRS

La modulation LoRa est une technologie sans fil permettant de transmettre des données avec une faible consommation d'énergie sur de longues distances. Chez les radioamateurs, le LoRa est principalement utilisé pour des trackers au sol, comme dans des véhicules. Un réseau de "gateways" (ou "gates") est également déployé, chaque radioamateur pouvant installer une gateway chez lui pour améliorer la couverture du réseau.

La fréquence utilisée pour le LoRa APRS est de 433 MHz, dans la bande des 70 cm.

2.1.2 APRS-IS

APRS-IS (Automatic Packet Reporting System - Internet Service) est le réseau internet qui interconnecte tous les utilisateurs de l'APRS. Il s'agit d'un réseau radioamateur qui ne contient que du contenu radioamateur. Les gates envoient les paquets reçus à APRS-IS, permettant ainsi à tous les utilisateurs d'y avoir accès.

Pour accéder facilement aux positions de nos trackers, nous utilisons le site aprs.fi. Ce site se connecte à APRS-IS pour récupérer les données du monde entier. Aprs.fi est accessible via son site web ou son application mobile, disponible sur iOS.

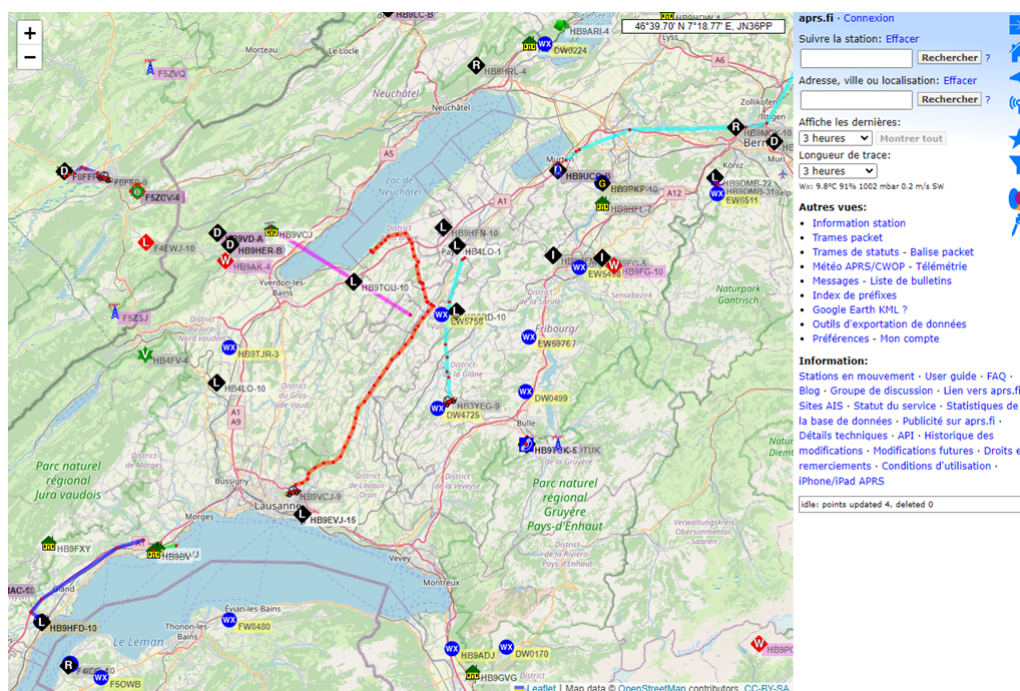
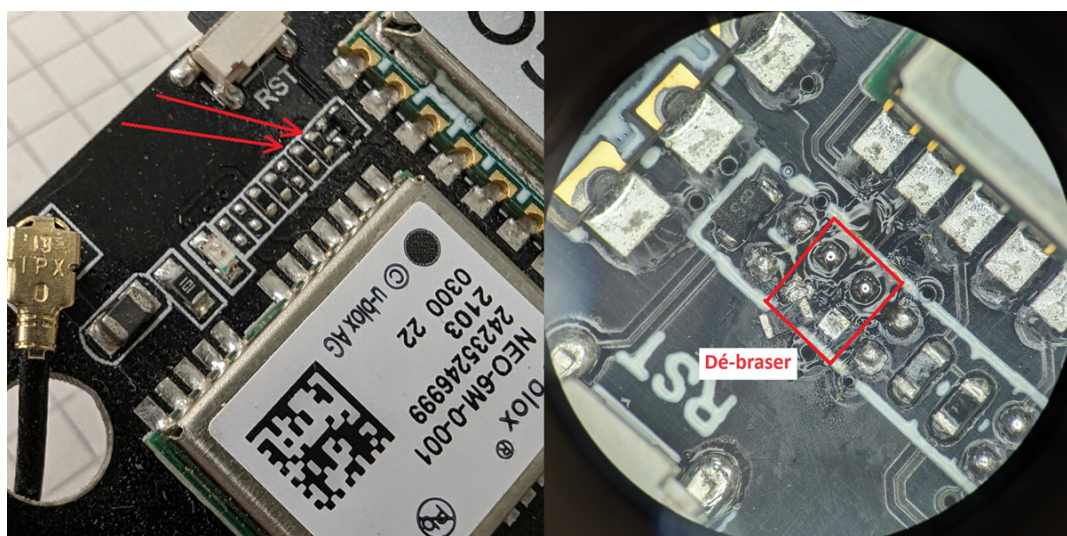


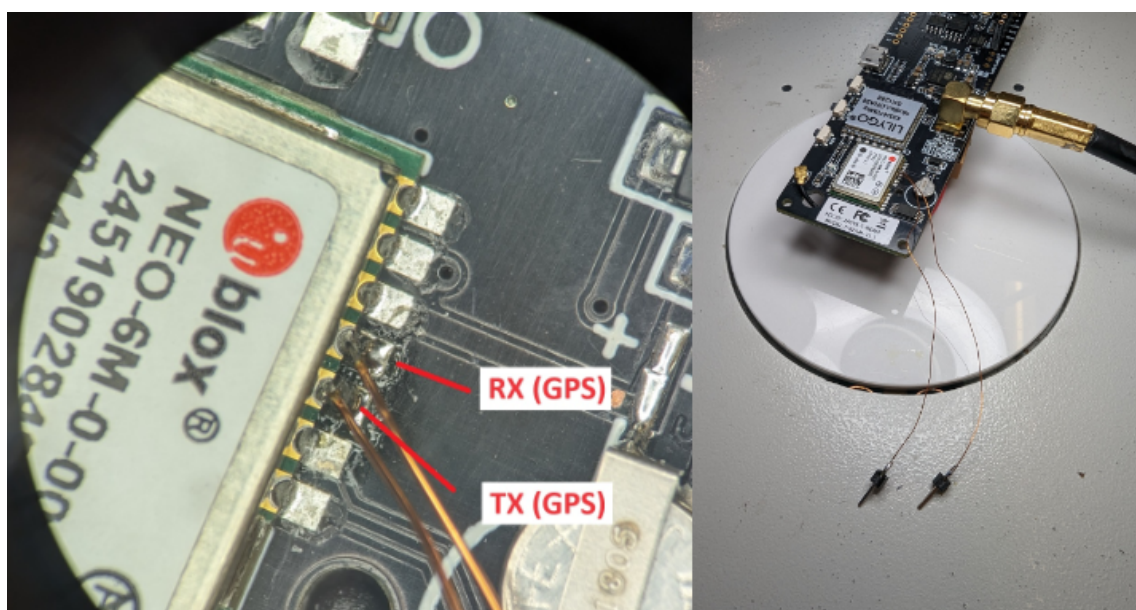
Figure 2 – Le site web aprs.fi

2.1.3 Modifications + 12'000 m

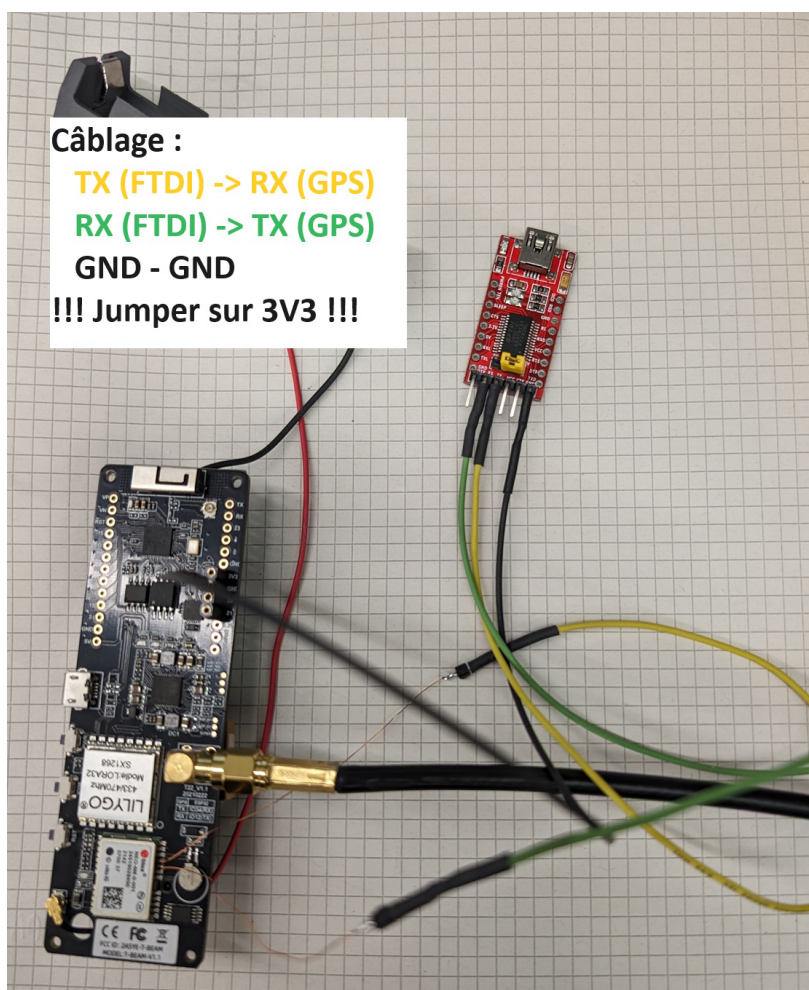
Afin de pouvoir utiliser le GPS au-dessus de 12'000 mètres, il a fallu changer un mode de fonctionnement réglé par défaut. Il est nécessaire de configurer le GPS en mode "Airborne" afin d'outrepasser cette limitation. Le GPS présent sur le tracker est un u-blox NEO-6M. Sa datasheet est consultable sur le site de u-blox : <https://www.u-blox.com/en/product/neo-6-series>. Pour ce faire, il faut débraser les deux résistances de 22 Ohm qui relient le GPS à l'ESP32.



Les résistances (0402) sont très petites, attention à ne pas les perdre !
Brasez ensuite deux fils sur les pins "RX" et "TX" du module GPS.



Dès que c'est fait, branchez selon l'image suivante :

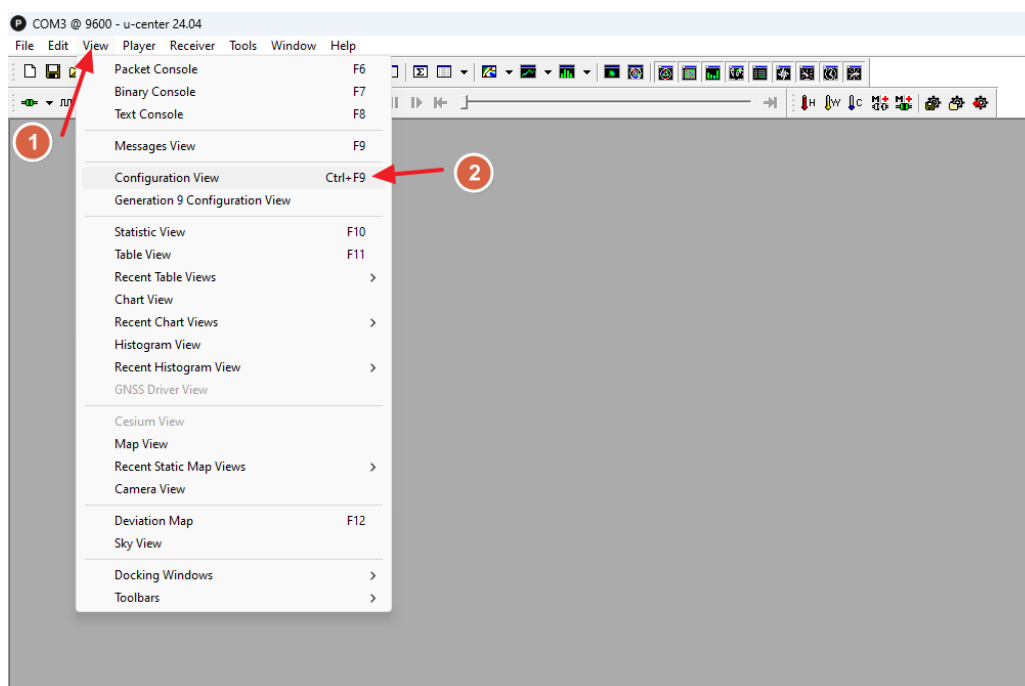
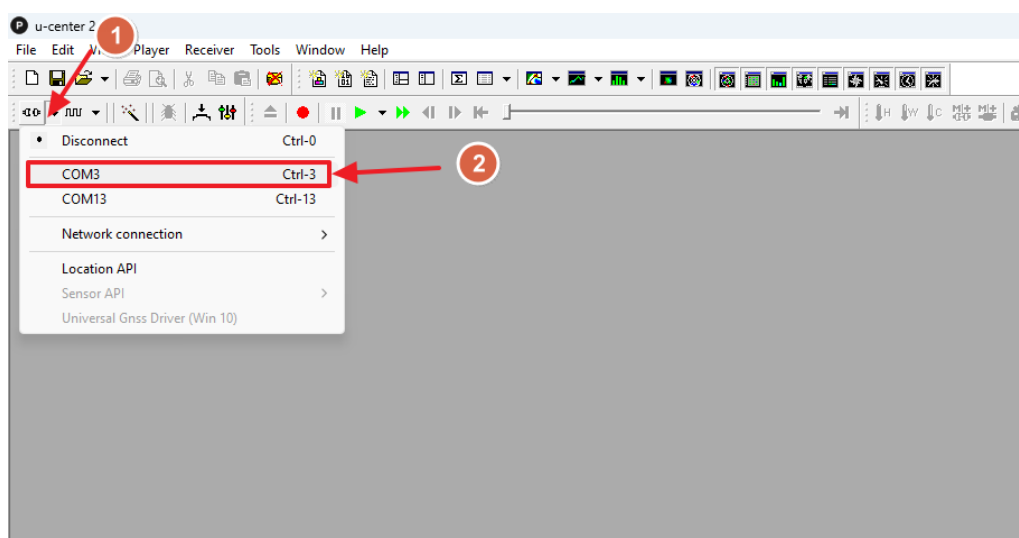


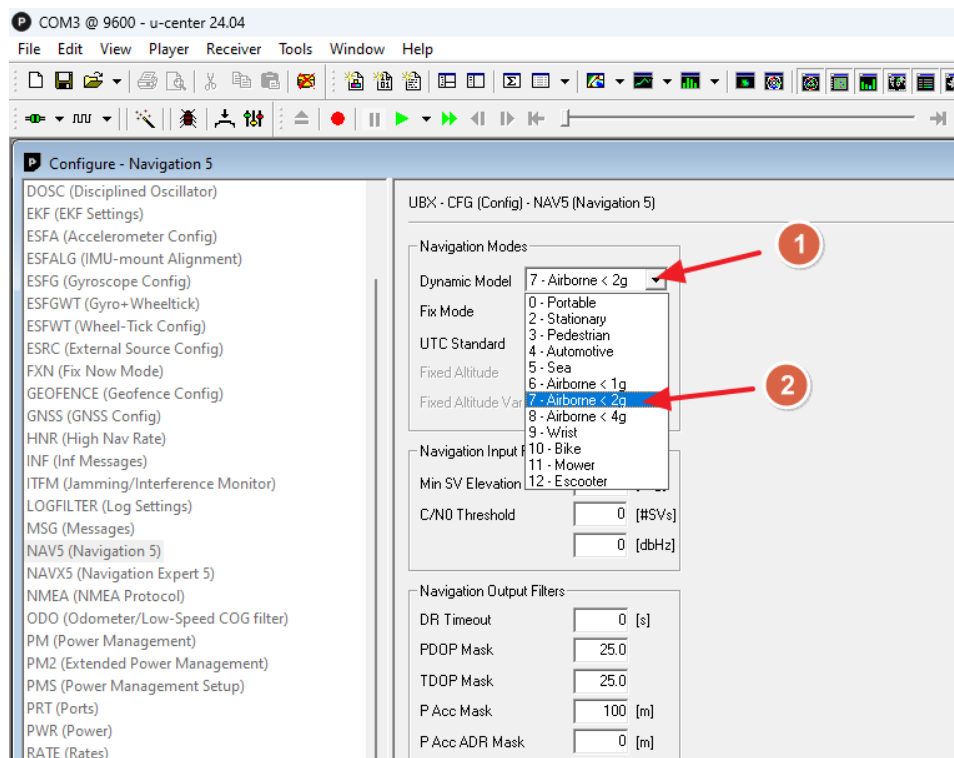
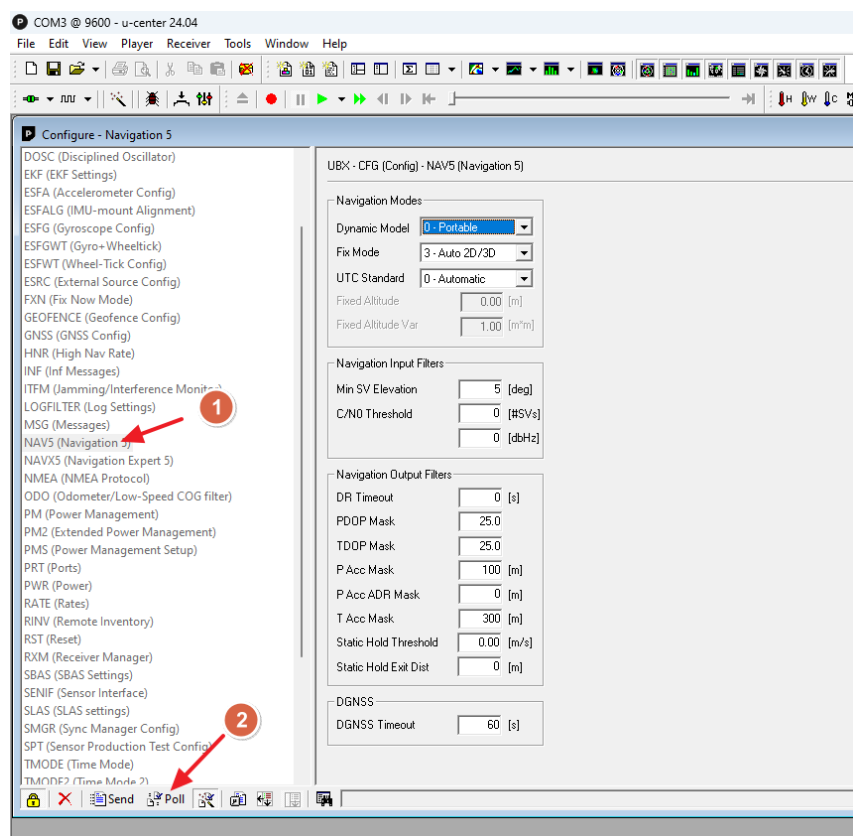
Branchez le T-BEAM à un câble micro-USB (pour l'alimenter) et branchez le FTDI à votre PC. Cherchez un port "Serial USB Port".

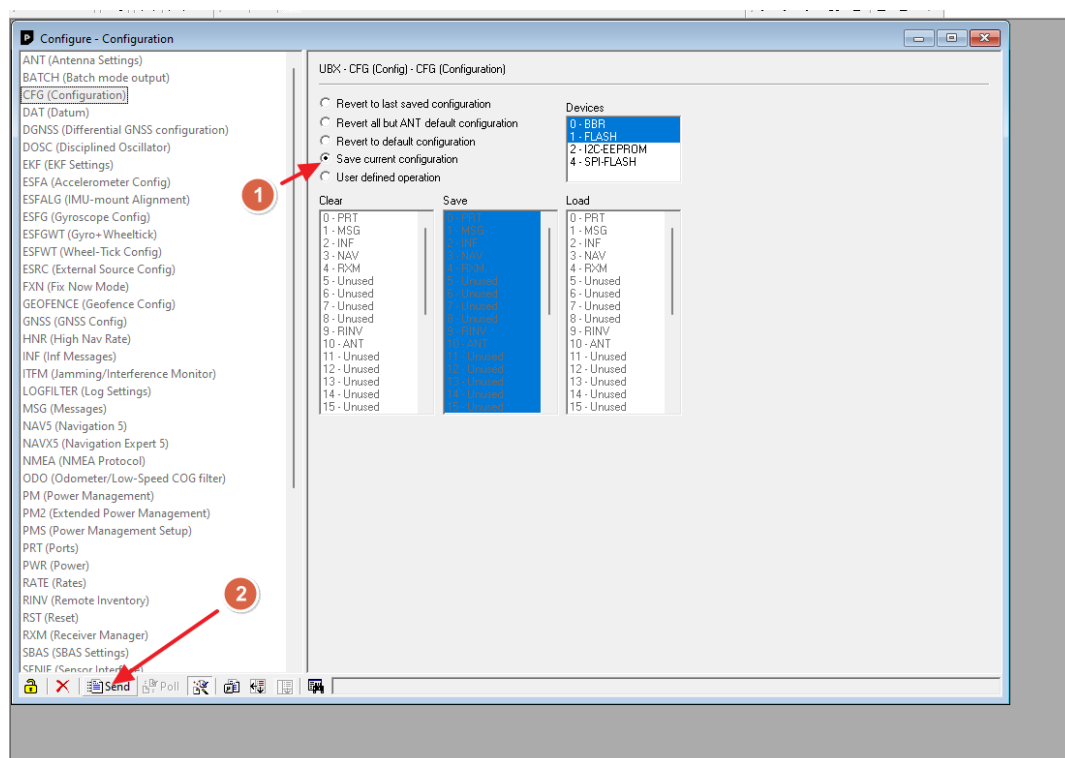
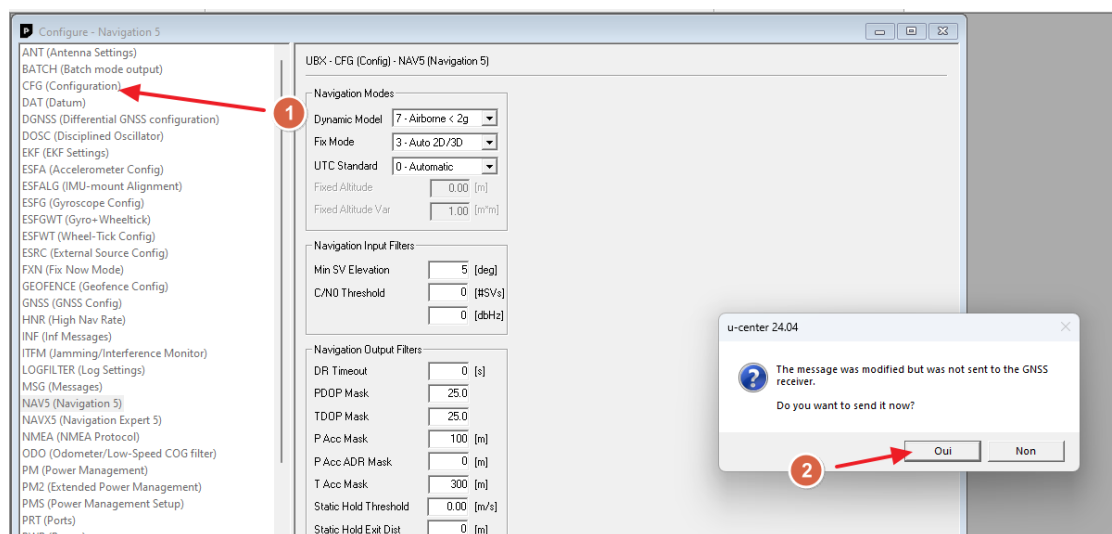
Un FTDI est une interface USB-UART qui permet par exemple de reprogrammer le GPS. Un FTDI semblable au notre est trouvable facilement chez divers fournisseurs en cherchant "FTDI".

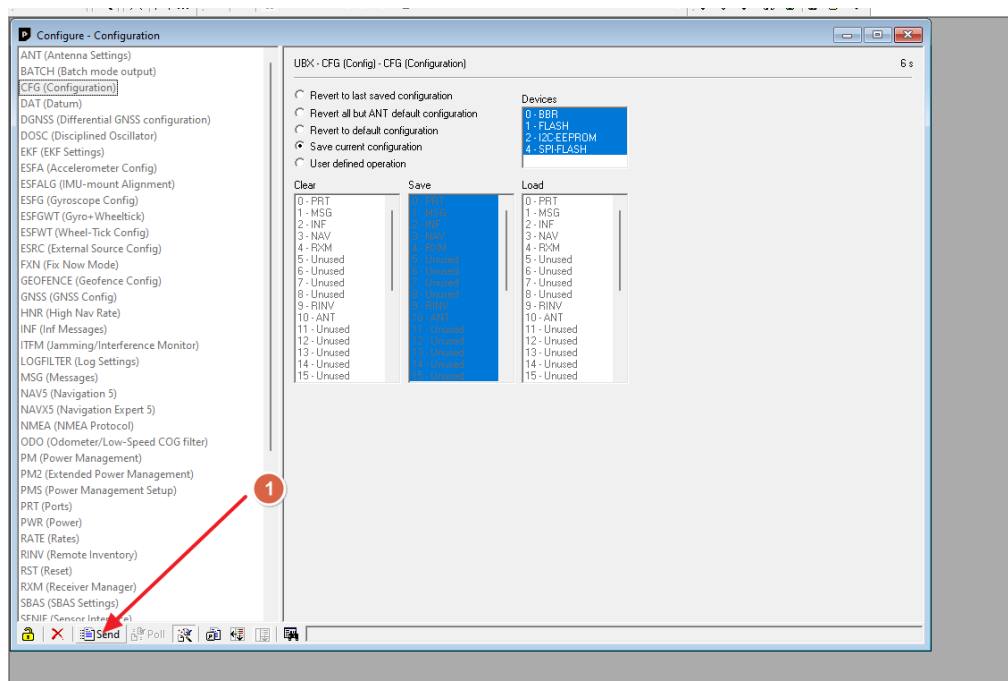
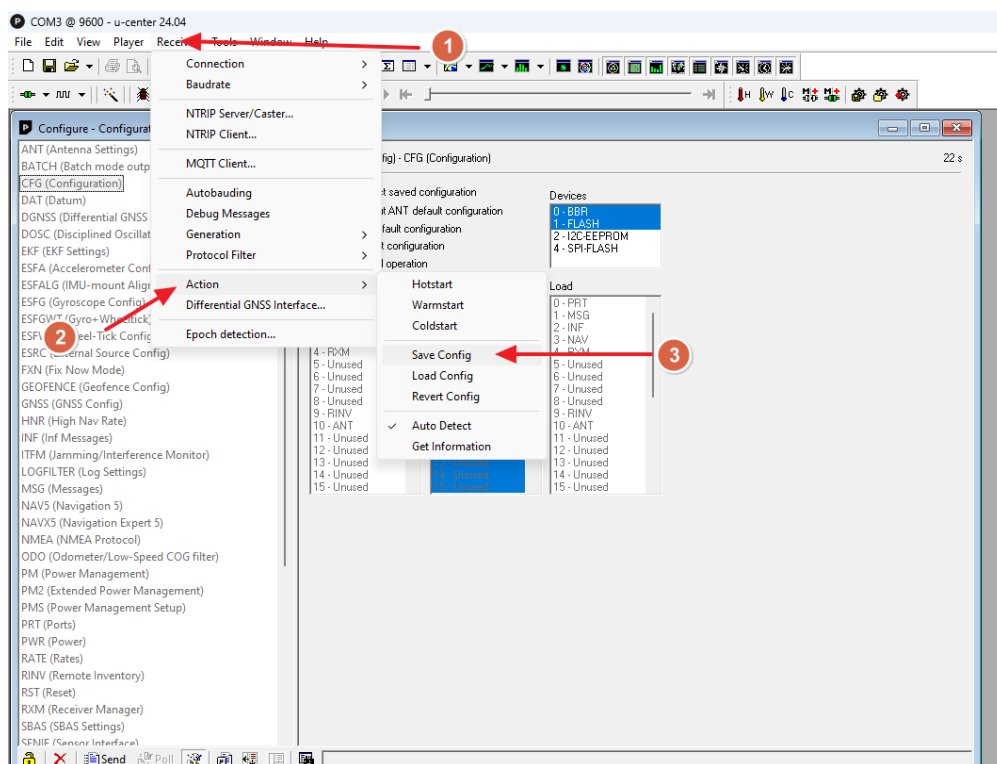
Le programme "U_Center", à installer est téléchargeable sur le site de U-blox : <https://www.u-blox.com/en/product/u-center>

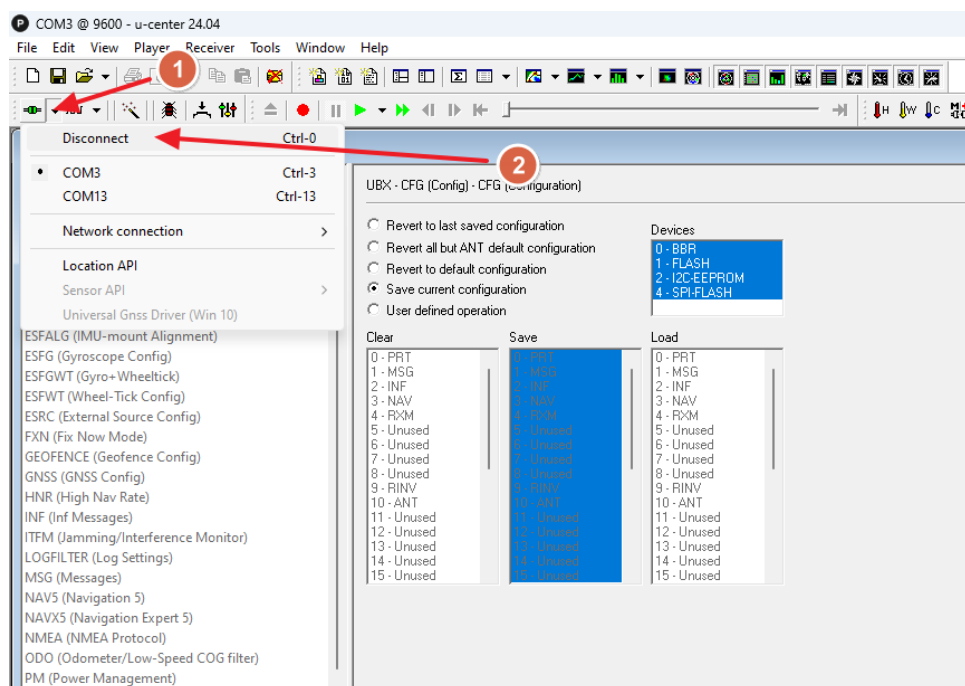
Dès que c'est fait, ouvrez-le et sélectionnez le port COM correspondant au module FTDI branché sur le GPS. Il ne vous reste plus qu'à suivre les images suivantes dans l'ordre.











Dès que c'est fait, il ne reste plus qu'à re-braser les résistances.

Dans le code, il faut modifier le type de la variable qui contient l'altitude car elle n'est pas assez grande pour contenir des altitudes très élevées. Par défaut, la variable est de type "int" et nous l'avons modifiée en "long".

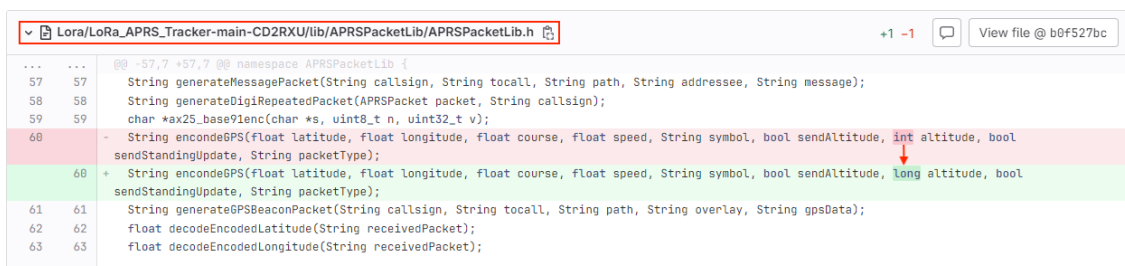


Figure 3 – Modification dans le prototype de la fonction "encodeGPS"



Figure 4 – Modification dans la fonction "encodeGPS"

2.1.4 Programmation du tracker

Le tracker peut facilement être acheté sur AliExpress :

- LILYGO T-BEAM V1.1 (chip : SX1268)
<https://fr.aliexpress.com/item/4001286458852.html>
- LILYGO T-BEAM V1.2 (chip : LoRA32(SX1262))
<https://fr.aliexpress.com/item/4001178678568.html>

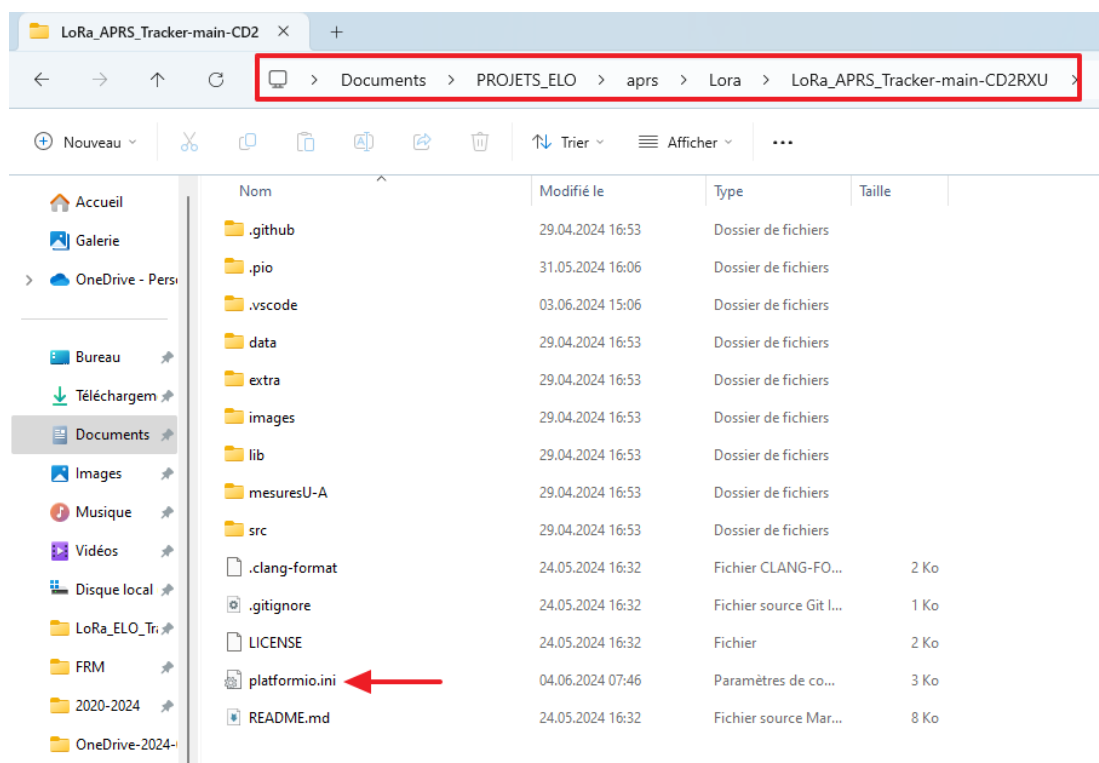
La version 1.2 est la plus facilement trouvable.

Il est conseillé d'installer les logiciels suivants pour la programmation du tracker :

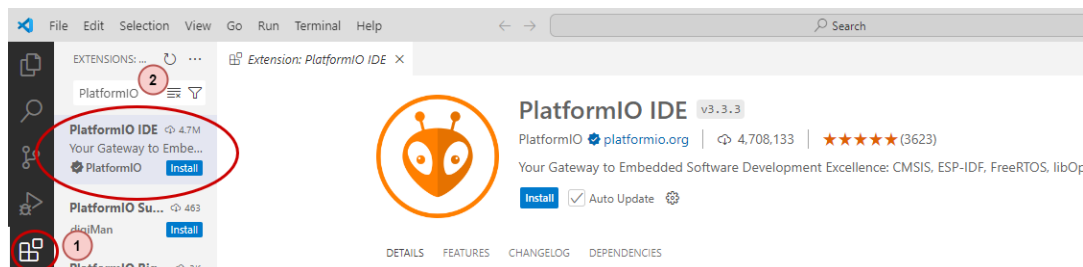
- Python (dernière version)
- Visual Studio Code

Après avoir installé ces logiciels, il faut télécharger le dossier du projet sur GitHub. Ce dossier doit contenir le fichier "platformio.ini".

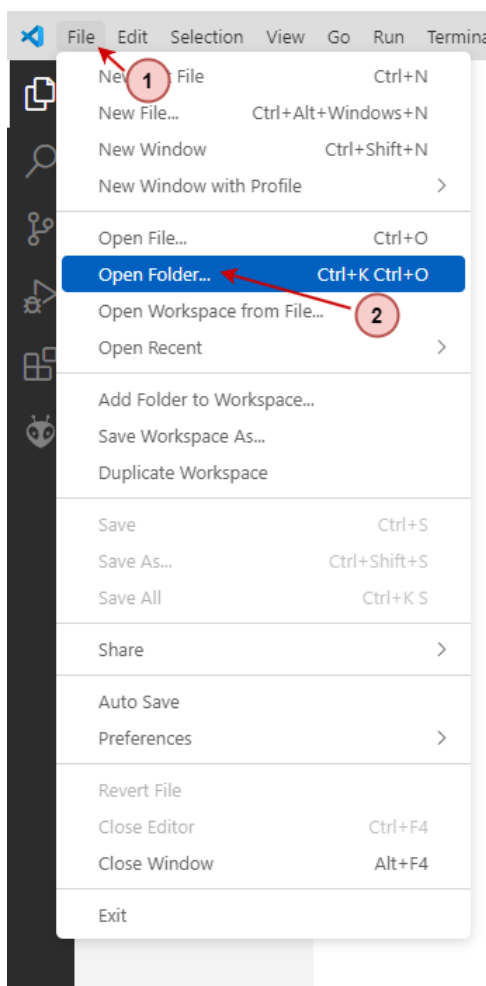
https://github.com/richonguzman/LoRa_APRS_Tracker



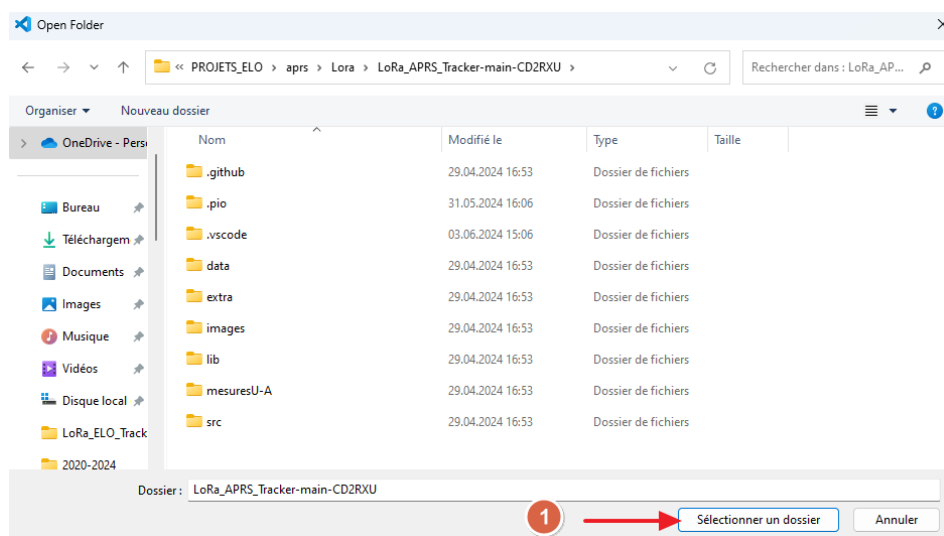
Dans Visual Studio Code, sous "Extension" (1), tapez "PlatformIO" (2), sélectionnez "PlatformIO" et cliquez sur "Install" (3).



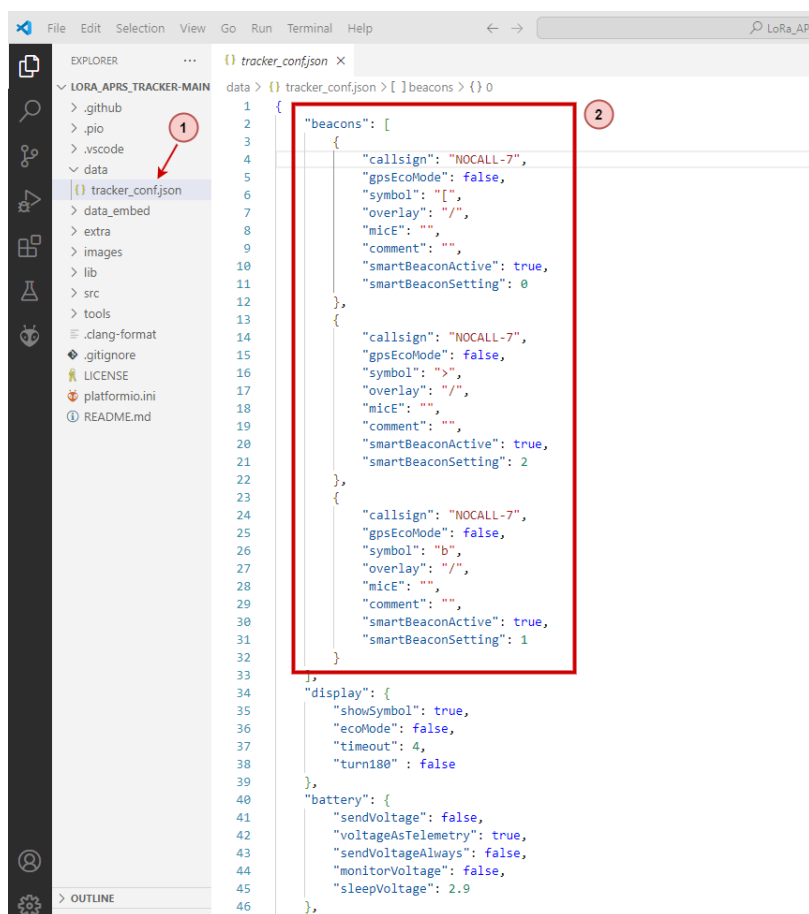
Cliquez ensuite sur "Fichier" (File) (1), "Ouvrir un fichier" (Open Folder) (2).



Sélectionnez le chemin vers le dossier que vous avez téléchargé (1).

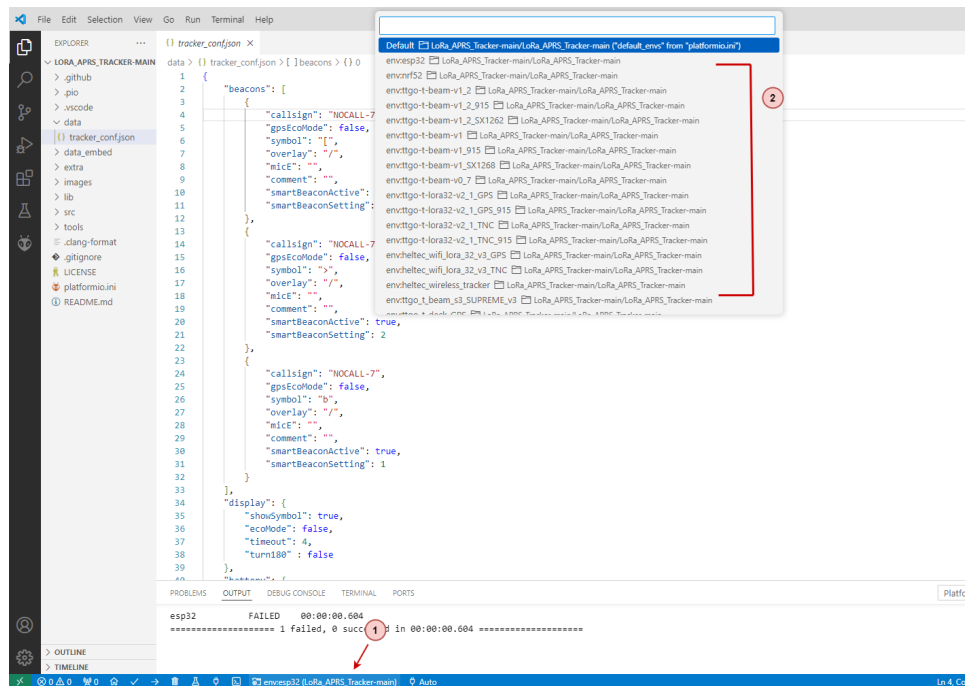


Il ne reste plus qu'à configurer la transmission APRS et à flasher.
Le fichier contenant les configurations se trouve dans le dossier "data" et s'appelle "tracker_config.json". Veuillez remplir avec votre CALL !

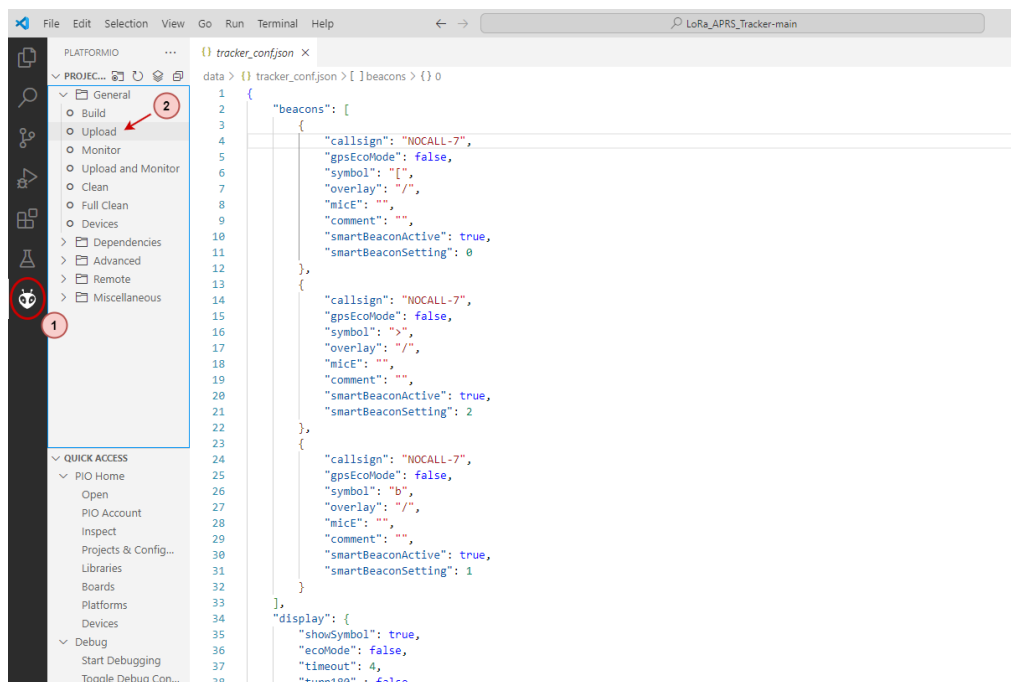


Pour flasher le tracker, il faut le connecter au PC à l'aide d'un câble micro-USB.

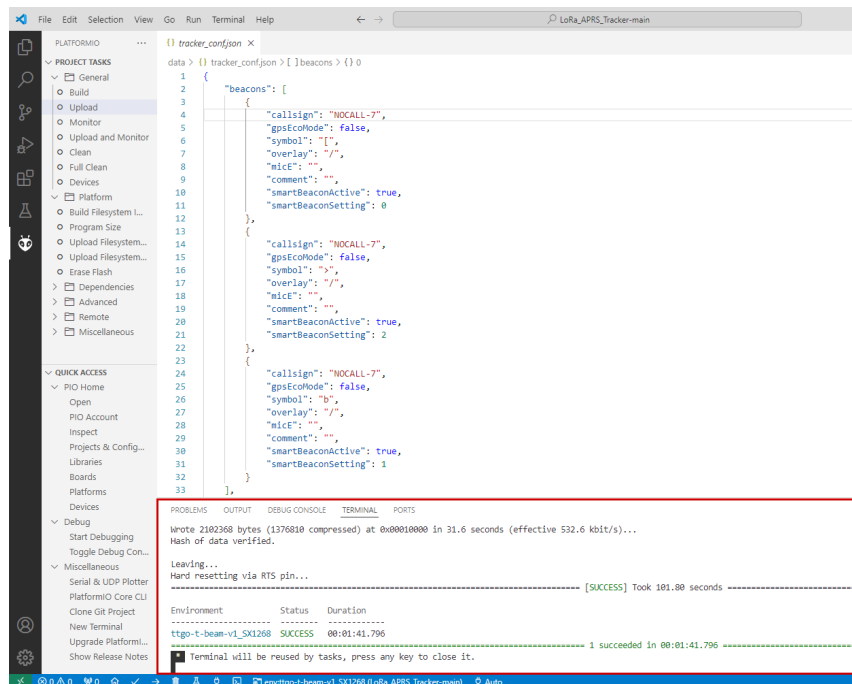
Sélectionnez la carte correspondant à celle que vous avez commandé en cliquant en bas (1) et en sélectionnant la carte (2).



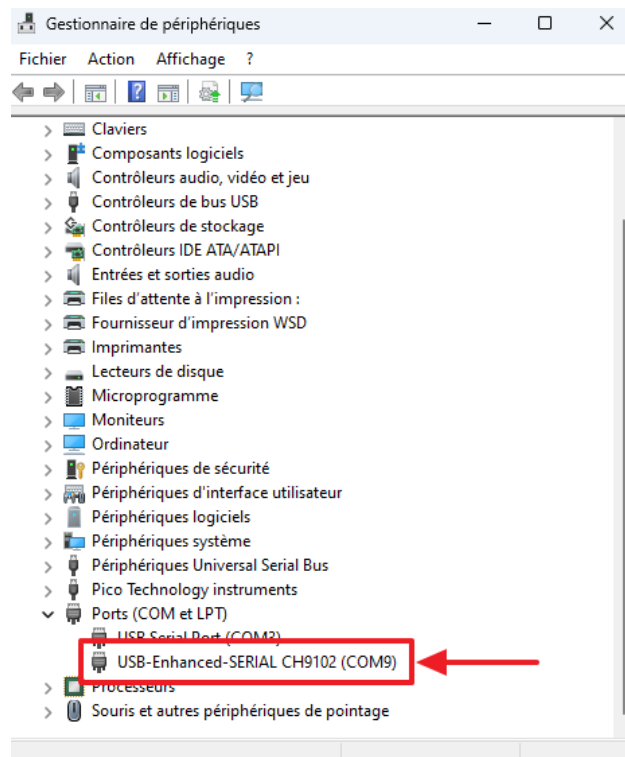
Pour compiler, il faut cliquer sur le symbole de platformIO (1) et sous "general", cliquez sur "upload" (2) la compilation et la programmation du micro se font automatiquement.



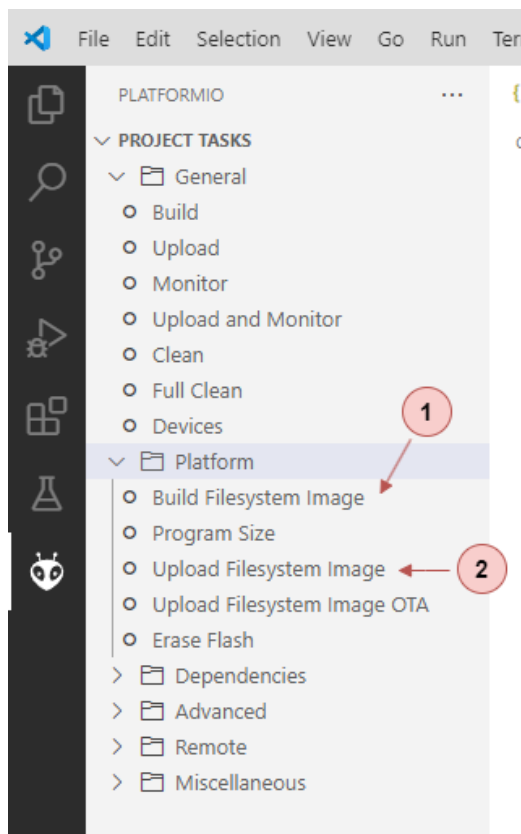
Dès que c'est fait, un message succès doit apparaître.



Si la carte n'est pas reconnue, assurez - vous d'installer le driver CH9102, qui est devenu un standard lorsque l'on travaille avec les cartes chinoises.
https://github.com/Xinyuan-LilyGO/CH9102_Driver



Il ne reste plus qu'à envoyer les informations liées à votre CALL. Sous "platform", cliquez sur "Build Filesystem image" (1) puis sur "Upload Filesystem image" (2).



Il ne vous reste plus qu'à sortir et tester le module ! Après quelques minutes, le GPS doit avoir une position suffisamment précise.

2.2 iGate

Le succès du LoRa repose également sur la densité du réseau de récepteurs, appelés iGate ou plus simplement gate. En 2024, il existe déjà un bon nombre de gates sur le plateau suisse. En Suisse alémanique, la densité est légèrement plus élevée qu'en Suisse romande.

Pour compenser le manque de gates dans certaines régions, nous disposons également de gates mobiles, que nous pouvons emmener lors des phases de recherche. Ces gates se connectent via un partage de connexion d'un téléphone afin d'envoyer les paquets reçus vers la base de données.



Figure 5 – Une iGate mobile

En ce qui concerne le hardware, nous avons décidé d'utiliser la carte suivante, disponible sur AliExpress :

— TTGO LoRa32 (chip SX1278) :

<https://fr.aliexpress.com/item/32872078587.html>

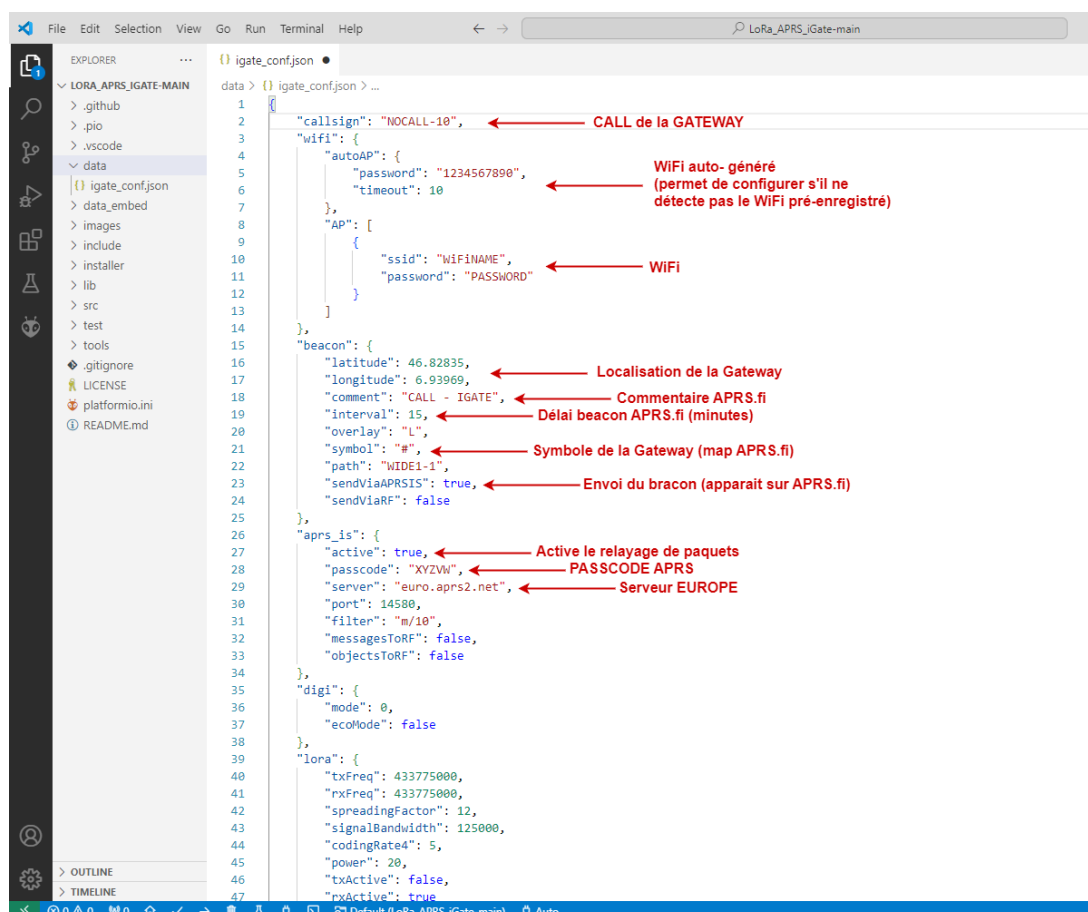
Le code a également été fait par Ricardo Guzman (CA2RXU), il est disponible sur GitHub :

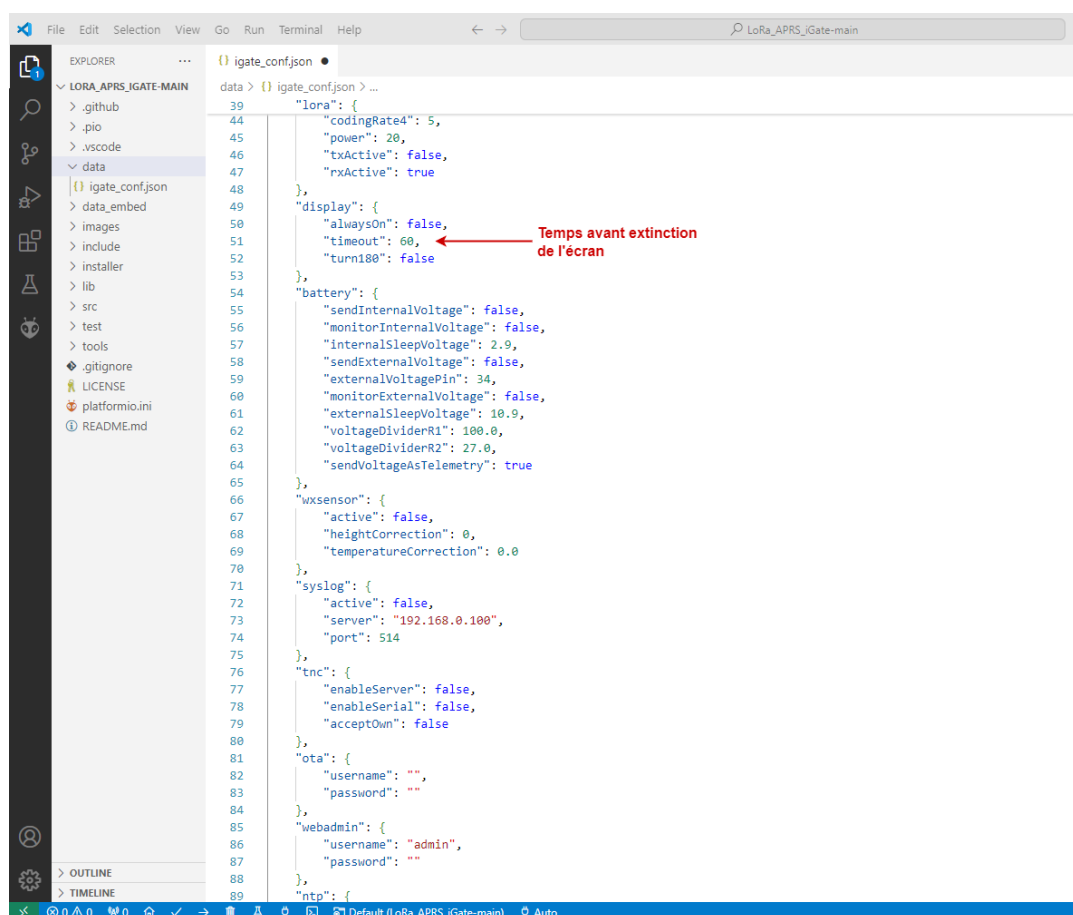
https://github.com/richonguzman/LoRa_APRS_iGate

Pour l'installation, la procédure est la même que pour le tracker. Il faut premièrement :

- Installer Python
- Installer Visual Studio Code
- Installer l'extension PlatformIO dans VSCODE
- Télécharger le projet "APRS-iGate"
- Ouvrir le dossier contenant le fichier "platformio.ini"

Les figures suivantes représentent les configurations à modifier pour la gateway.





Il est absolument nécessaire de modifier le PASSCODE si vous désirez configurer la gateway avec votre CALL ! Pour ce faire, cherchez "APRS passcode generator", il y a plusieurs sites qui permettent de le générer !

- <https://apps.magicbug.co.uk/passcode/>
- <https://github.com/D03SWW/web-aprs-passcode>

APRS Passcode Generator

Enter your amature radio callsign to get a Passocde for the APRS-IS network.

Callsign:

Your Passcode: 16620

Source Code on [Github](#)

Pour programmer la carte il faut suivre les étapes suivantes (même chose que le tracker) :

1. Sélectionner la carte ; ttgo-lora32-v21
2. Cliquer sur le bouton "Upload" sous "General", dans le menu de PlatformIO
3. Si la carte ne se programme pas, vérifier que le PORT COM soit reconnu et le driver installé (CH9102).
4. Cliquer sur "Build Filesystem Image" sous l'onglet "Platform".
5. Cliquer sur "Upload Filesystem image" sous l'onglet "Platform".

Lorsque le module s'enclenche, il va tenter de se connecter au WiFi selon la configuration du fichier "igate_conf.json". Dès que la connexion est établie, l'adresse IP attribuée est affichée sur la gateway. Il est alors possible de s'y connecter et de modifier la configuration ! Il ne faut "juste" pas oublier de cliquer sur le bouton "save" !

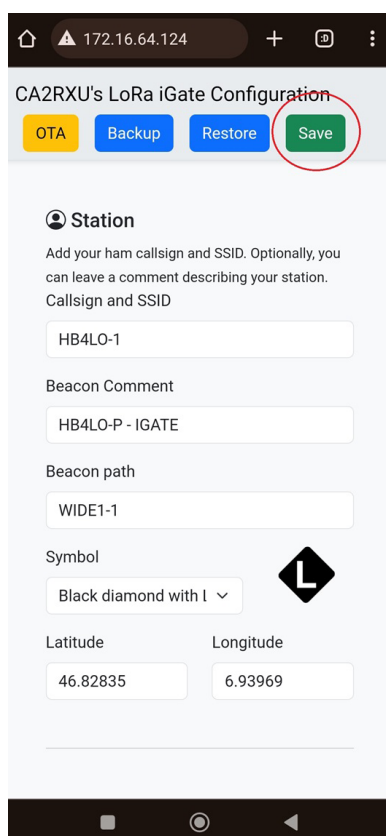


Figure 6 – Interface Web de l'iGate

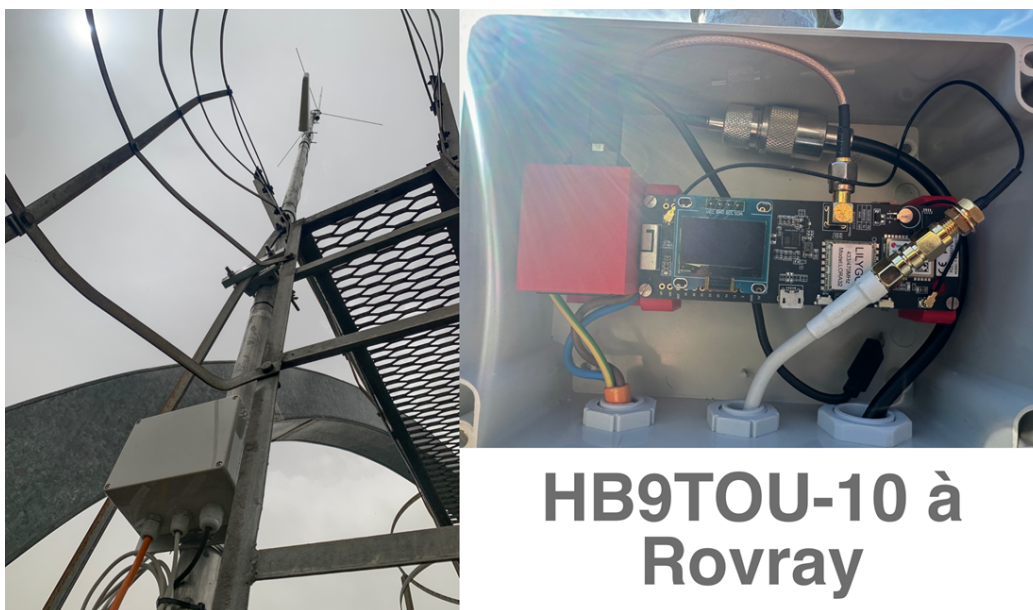


Figure 7 – iGate HB9TOU-10

Exemple d'application : Le boîtier contient une alimentation 5V branchée sur le 230V. Le tracker est chargé via le port micro-USB. Le tracker se trouvant sur un silo, il a fallu utiliser des antennes directrices pour se connecter au WiFi de la maison. L'antenne VHF/UHF utilisée est une Diamond X300N.

2.3 Caméra et alimentation

Nous avons utilisé deux modèles de caméras : la IronX action cam pour le premier vol et la LAMAX X7.1 Naos pour le second. Ce sont des petites caméras d'action, assez légères et abordables.

L'une des conditions essentielles était de pouvoir filmer pendant plus de trois heures (en tenant compte de la capacité des batteries et du stockage). Pour répondre à cette exigence, nous avons réalisé plusieurs tests à différentes résolutions afin de définir les paramètres optimaux pour la caméra, ainsi que les besoins en termes de stockage et de batterie.

Les tests que nous avons effectués sont les suivants :

- Test d'alimentation (Coupure du courant / Baisse de tension)
- Test de résolutions (720p60 / 1080p30)
- Test de longévité (Carte SD pleine / Batterie déchargée)



(a) IronX



(b) LAMAX

FIGURE 8 – Les caméras

2.3.1 HB4LO-8 - 22 août 2024

Après avoir effectué les tests mentionnés ci-dessus sur les caméras IronX, nous avons conclu que la résolution adoptée serait de 1080p à 30 FPS, nécessitant une carte SD de 32 Go.

Chaque caméra sera alimentée par une seule batterie 18650 de 3400 mAh, ce qui sera suffisant pour un vol d'une durée d'environ trois heures. La batterie a été soudée directement à l'emplacement de la batterie d'origine. Nous avons également ajouté un connecteur de type WR-WTB 1,5 mm 2 pôles entre les caméras et les batteries afin de faciliter les manipulations et d'être plus opérationnels.

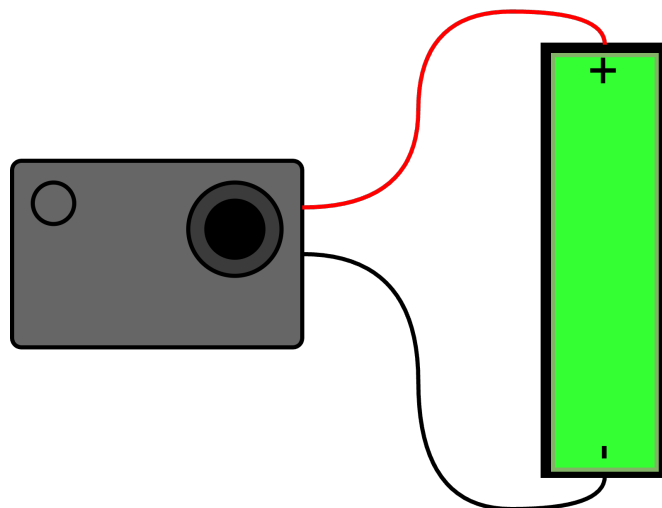


Figure 9 – Alimentation des caméras

2.3.2 HB4LO-9 - 19 septembre 2024

Comme nous n'avions pas réussi à récupérer la sonde avec les caméras lors du premier vol, nous avons décidé de créer une deuxième sonde avec d'autres caméras. Après avoir effectué les mêmes tests, nous avons conclu qu'une batterie 18650 par caméra serait à nouveau suffisante. Cependant, pour continuer à filmer en 1080p30, une carte SD de 64 Go était nécessaire.

L'accès au connecteur de la batterie d'origine étant plus difficile sur ce modèle de caméra, nous avons décidé de laisser la batterie interne et de charger la caméra via le port micro USB. Pour cela, nous avons utilisé deux batteries et un système de gestion de batterie (BMS) qui alimente deux convertisseurs DC-DC 5V pour charger les caméras. Le BMS sert à éviter une décharge excessive des batteries dans le cas où nous ne pourrions pas récupérer la sonde rapidement.

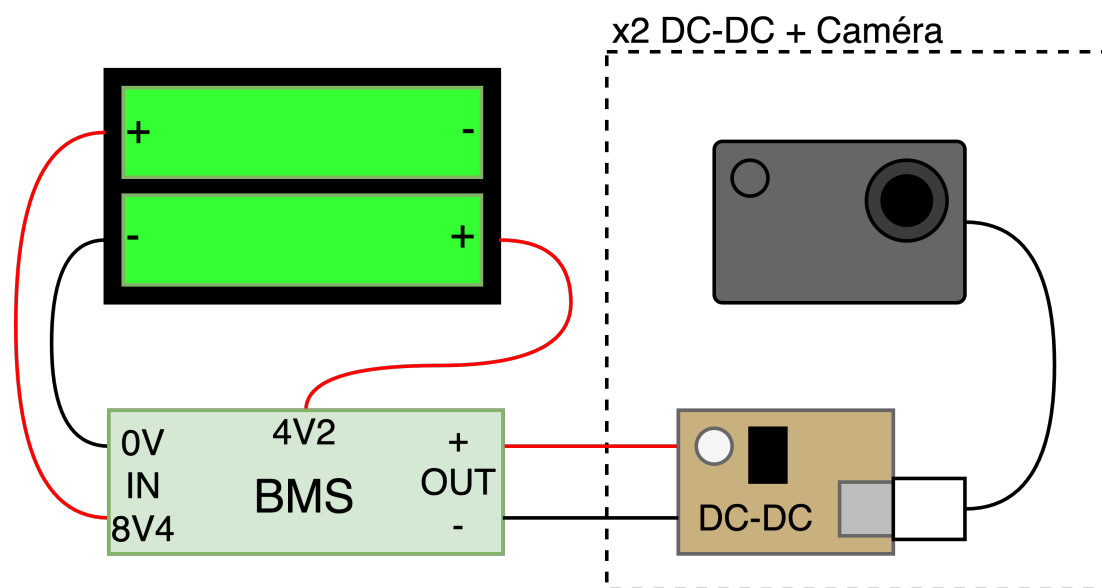


Figure 10 – Alimentation des caméras avec DC-DC

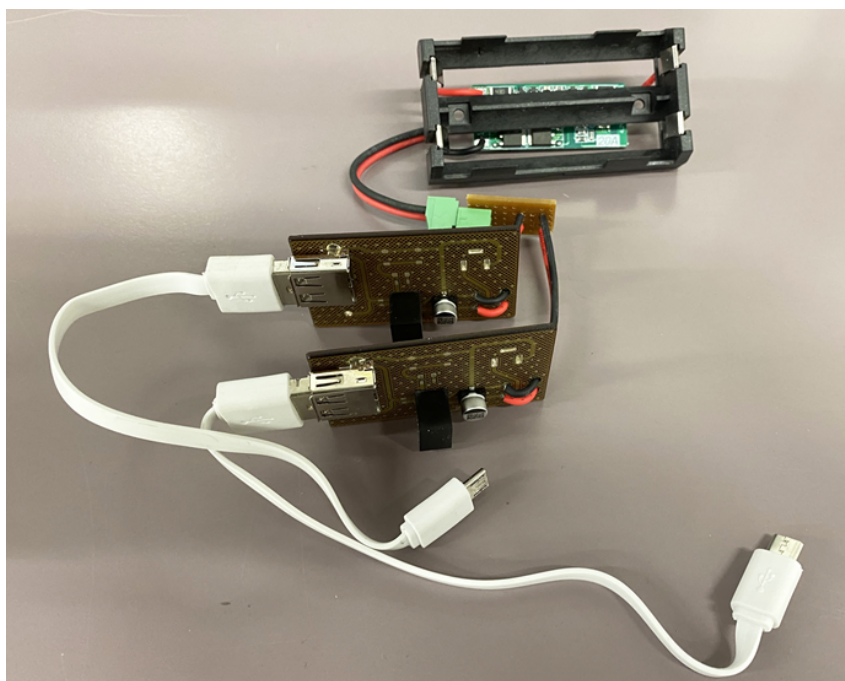


Figure 11 – L'alimentation des caméras

2.4 Beeper

À la suite des difficultés que nous avons eues pour retrouver la sonde avec caméra lancée le 22 août, nous avons décidé de rajouter un beeper dans les sondes.

Le système du beeper est composé de deux ESP32, l'un est dans la sonde pour commander le beeper et l'autre est utilisé comme télécommande pour activer le beeper à distance. Une fois toutes les deux minutes, l'ESP32 dans la sonde active son WiFi pour permettre à la télécommande de s'y connecter et de déclencher le beeper.

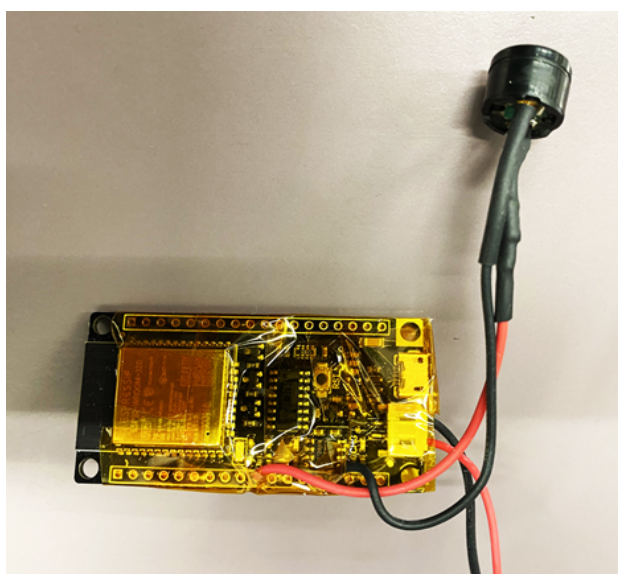


FIGURE 12 – Le module beeper

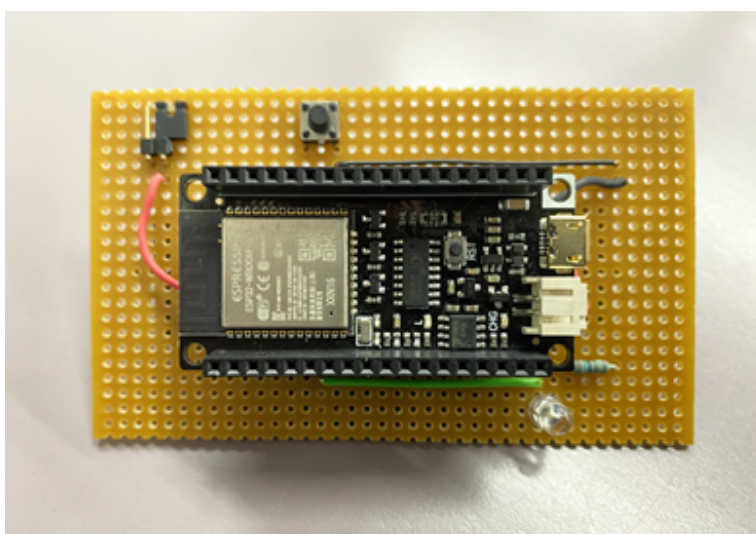


FIGURE 13 – La télécommande

3 Fabrication

Pour usiner les sondes, nous avons utilisé du matériel spécifique adapté au polystyrène. Afin de réaliser des découpes et du modelage sans effriter le sagex, nous avons employé des instruments de découpe chauffants. Ces outils permettent de faire fondre légèrement le sagex, assurant des découpes lisses et précises.



Figure 14 – Couteau à sagex



Figure 15 – Scie électrique

Nous avons dû trouver une colle qui n'endommage pas le polystyrène, car certaines colles peuvent attaquer le sagex. Après quelques recherches, nous avons opté pour la colle de la marque Soudal, la colle Fix ALL, une colle à base de silicone qui n'altère pas le sagex. Nous avons trouvé cette colle chez Jumbo.



Figure 16 – Colle Soudal Fix ALL

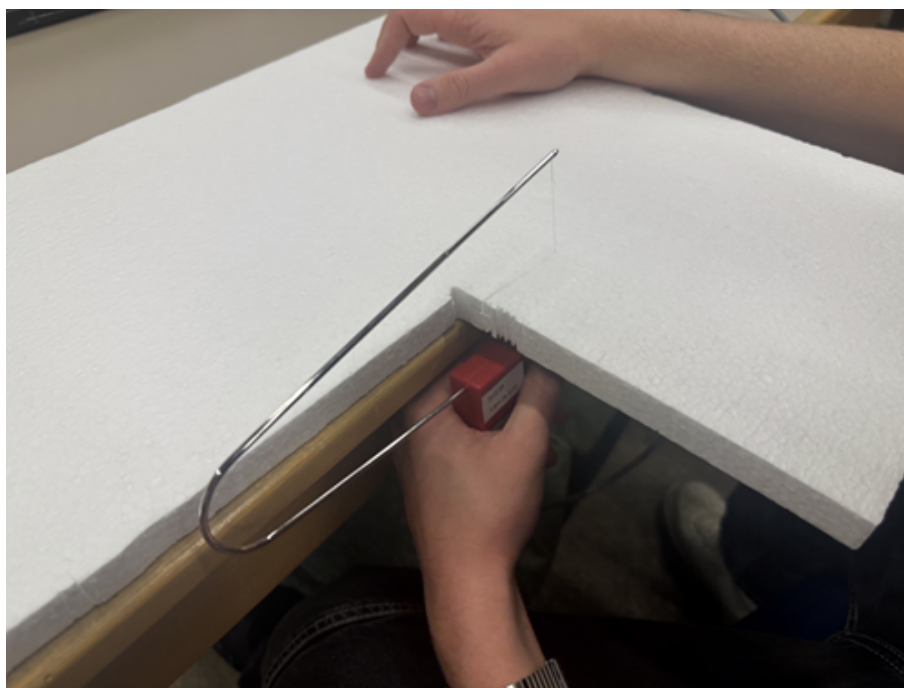


Figure 17 – Découpage du sagex

Pour découper les sections de la sonde dans les plaques de sagex, nous avons utilisé une scie électrique.

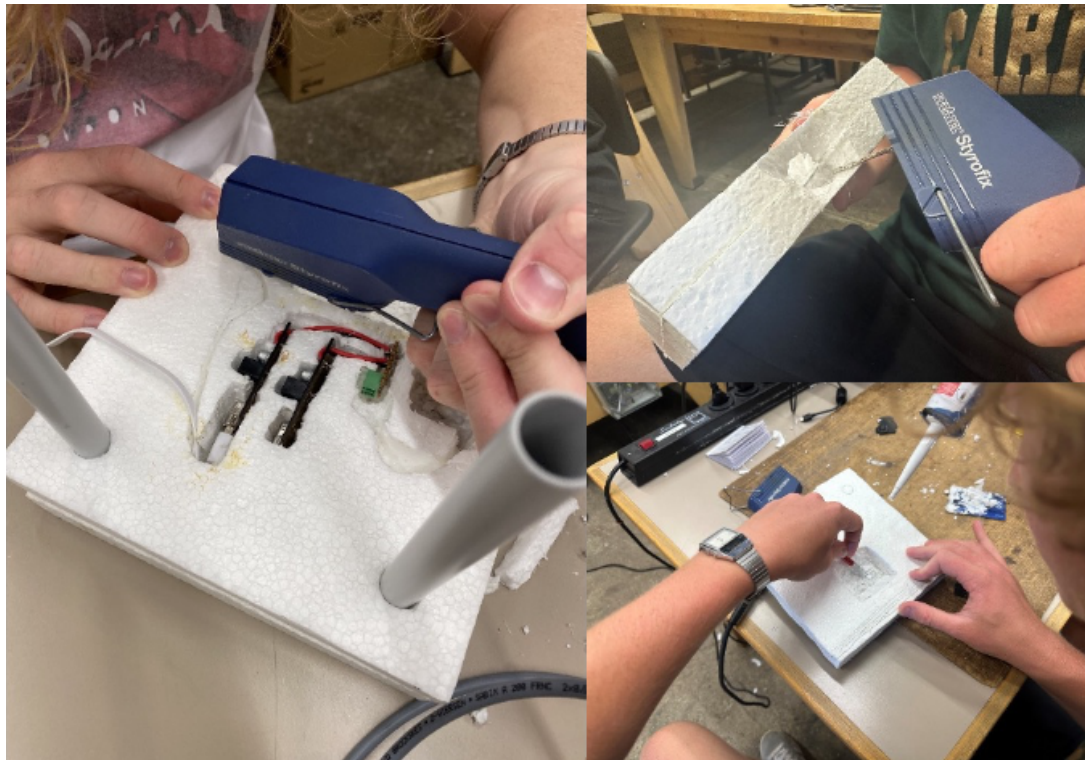


Figure 18 – Fabrication de la sonde caméra

L'usinage a ensuite été réalisé à l'aide d'un couteau à sagex pour créer des passages pour les câbles, ainsi qu'une ouverture pour l'objectif de la caméra. Sur l'image en bas à droite, nous avons renforcé certaines zones de la sonde en créant une pâte à base de colle et de morceaux de sagex.

3.1 Sonde APRS

La sonde APRS mesure 140 mm de large, 130 mm de haut et 70 mm d'épaisseur. Elle contient deux batteries 18650 ainsi que le module tracker APRS et l'antenne. Deux tubes en PVC permettent de faire passer la ficelle pour attacher la sonde.

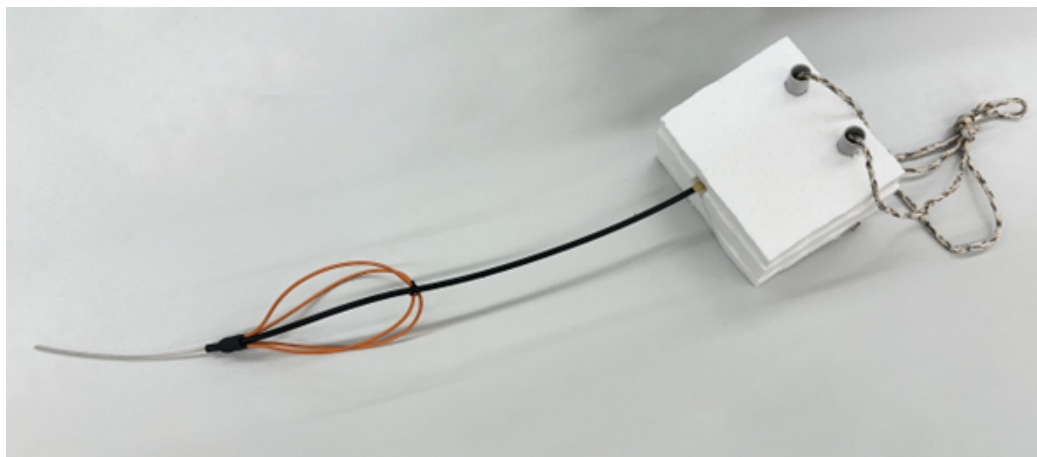


FIGURE 19 – La sonde APRS

Le boîtier est constitué de trois parties en polystyrène. Les deux faces extérieures sont découpées dans une plaque de 20 mm d'épaisseur et ne comportent que deux trous pour laisser passer les tubes en PVC (diamètre 15 mm). La partie centrale est découpée dans une plaque de 30 mm d'épaisseur et comporte toutes les découpes nécessaires pour insérer le tracker, le support des batteries et l'antenne. Cette dernière est fixée par une petite plaque d'aluminium afin d'éviter que le poids total ne repose sur le connecteur du tracker.



FIGURE 20 – La plaque qui retient l'antenne



Figure 21 – Partie centrale de la sonde APRS

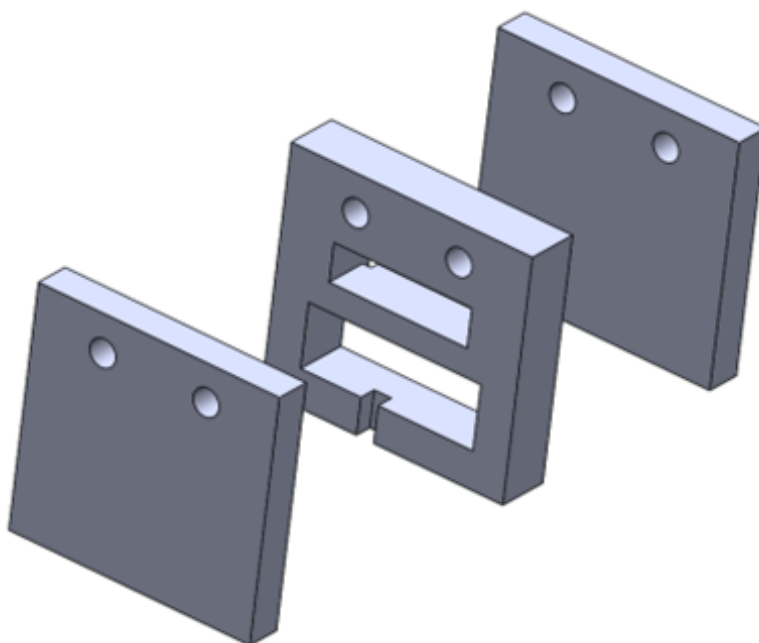


Figure 22 – Vue des trois parties de la sonde

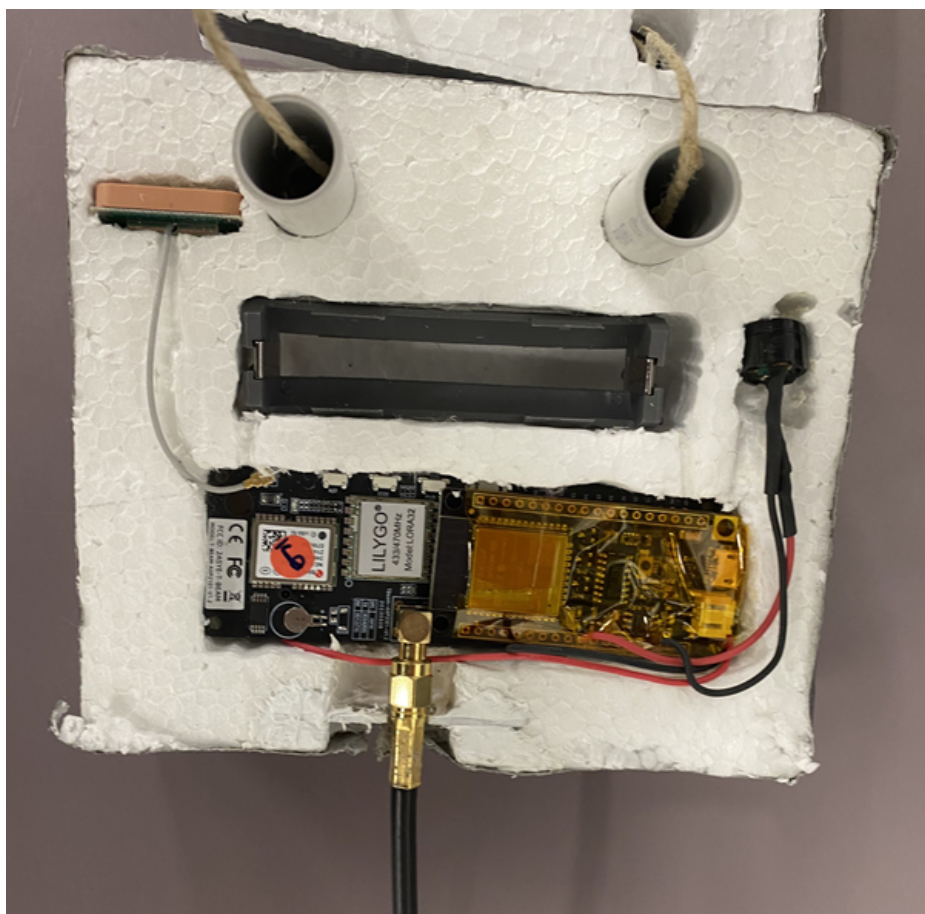


Figure 23 – Vue de l'intérieur de la sonde



Figure 24 – Le tube PVC

3.2 Antenne

Nous avons fabriqué nos propres antennes afin de remplacer celles fournies avec le tracker, dans le but d'obtenir un SWR (rapport d'ondes stationnaires) plus faible. Le SWR des antennes livrées avec la carte varie entre 4 et 5, tandis que celui de nos antennes est inférieur à 2. Il s'agit d'antennes "quart d'onde" fabriquées à partir de câble coaxial de type RG58. Nous avons dénudé le câble sur un quart de la longueur d'onde et retiré le blindage, ne laissant que l'âme. Ensuite, nous avons brasé les radians au blindage. Les radians, fabriqués avec du fil de 1 mm², mesurent la moitié de la longueur d'onde. Le connecteur de l'antenne est un SMA mâle. Enfin, nous avons accordé les antennes afin d'obtenir le SWR le plus faible possible à 433 MHz.



FIGURE 25 – Une antenne

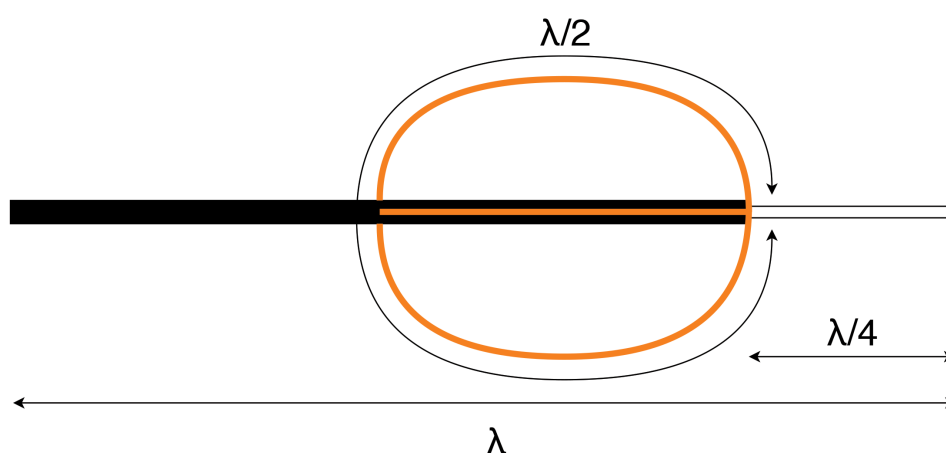


FIGURE 26 – Dimensions de l'antenne

3.3 Sonde caméra

Les sondes caméras ont été conçues pour accueillir deux caméras : l'une filmant le ballon et l'autre filmant l'horizon, ainsi que leur système d'alimentation. La sonde destinée aux caméras mesure 200 mm de large, 200 mm de haut et 90 mm d'épaisseur. Les deux faces extérieures ont une épaisseur de 20 mm, tandis que la partie centrale fait 50 mm d'épaisseur.

Une des faces extérieures comporte un trou découpé pour laisser passer l'objectif de la caméra. La partie centrale est découpée pour maintenir et protéger les caméras ainsi que leur système d'alimentation. Un trou est également présent sur le dessus pour permettre à l'objectif de la caméra orientée vers le haut de filmer le ballon. Toutes les parties sont dotées de deux trous sur le haut pour insérer les tubes en PVC (diamètre 15 mm), lesquels maintiennent les différentes parties en place et permettent de passer la ficelle qui attachera le ballon.

La sonde caméra est fixée à un bambou pour améliorer sa stabilité et permettre à la caméra supérieure de capturer la petite sonde APRS ainsi que le ballon.

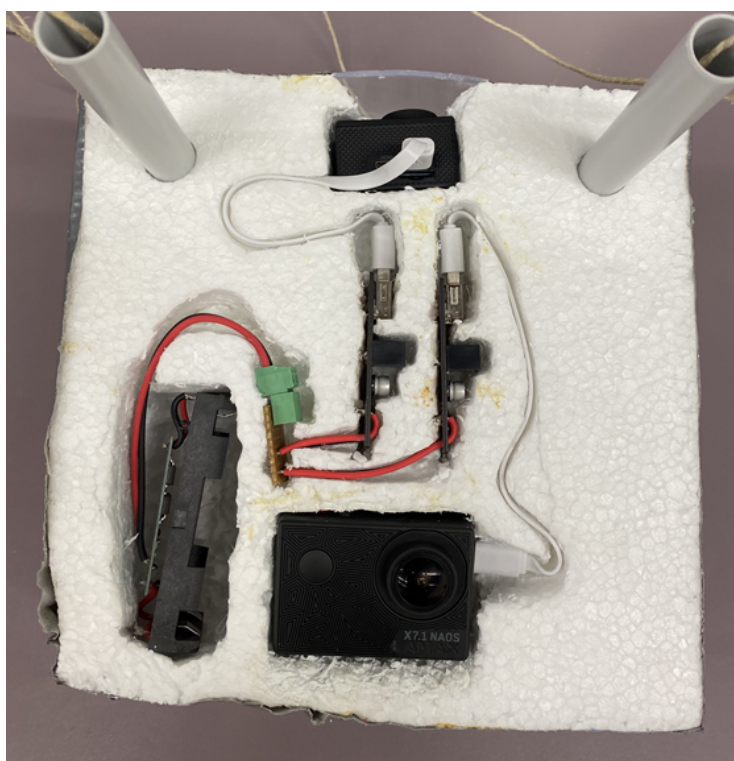


Figure 27 – L'intérieur de la deuxième sonde caméra

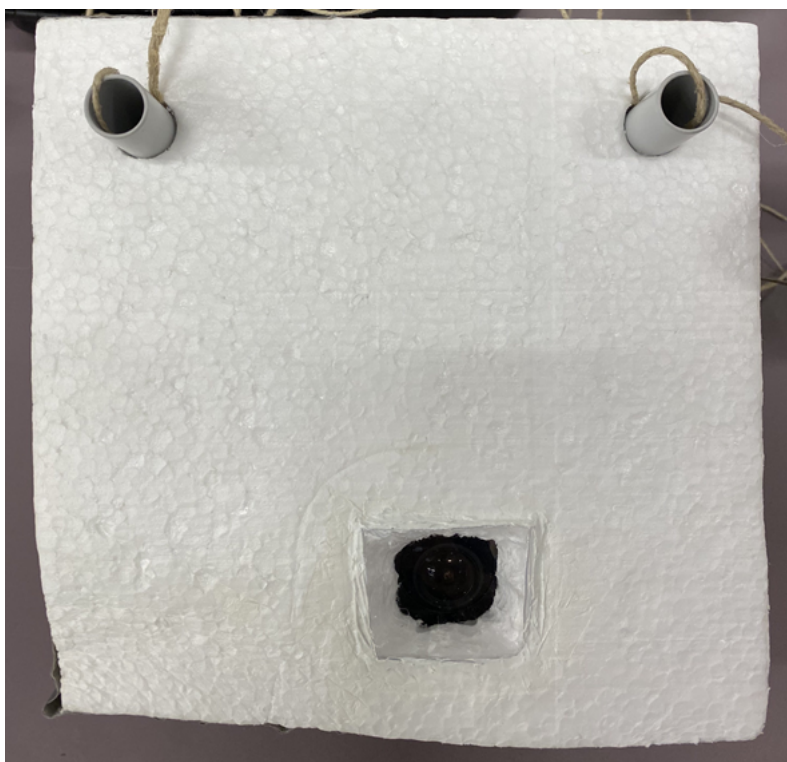


FIGURE 28 – Face avant de la sonde (après le vol)



FIGURE 29 – Les sondes suspendues au bambou

4 Prédiction prévol

Afin de garantir des conditions optimales pour le lancement, nous nous sommes basés sur plusieurs critères. Tout d'abord, nous souhaitons que nos sondes retombent à une distance acceptable de Payerne. Nous voulions également minimiser le risque d'atterrissage dans un lac ou une zone montagneuse. Le deuxième critère était la météo : il fallait éviter les jours où le ciel est très nuageux, pour éviter que le ballon ne soit endommagé et que la sonde n'absorbe trop d'humidité.

Pour les simulations de vol, nous avons utilisé SondeHub Predictor, ce qui nous a permis de déterminer avec une assez bonne précision la zone d'atterrissage. Bien que nous ne connaissions pas exactement l'altitude à laquelle le ballon allait exploser, nous avons pu effectuer plusieurs simulations pour estimer une zone d'atterrissage. Un autre paramètre important est la vitesse de montée, qui varie selon le niveau de gonflage du ballon.

SondeHub Predictor : <https://predict.sondehub.org/>

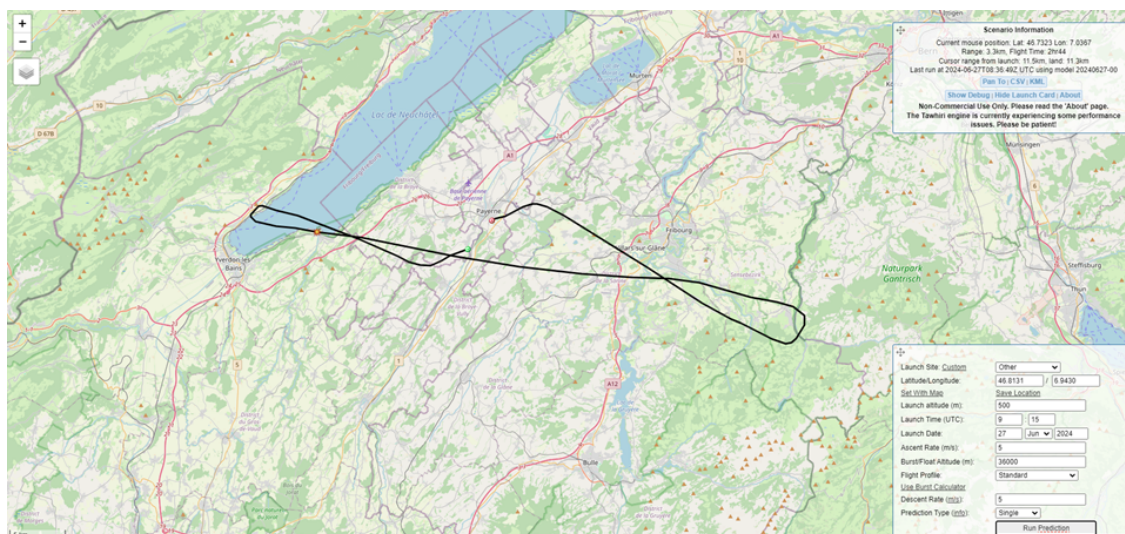


FIGURE 30 – Prédiction du troisième vol à 36'000 m

5 Données de vol

Pour récupérer les données de positionnement de la sonde, nous avons utilisé l'outil d'exportation d'aprs.fi : <https://aprs.fi/export/>

Pour pouvoir utiliser cet outil, il est nécessaire de disposer d'un compte aprs.fi. Cet outil permet d'exporter les données d'un appareil en fonction de son SSID et selon une plage de temps donnée. Les formats de données exportables sont les suivants :

- KMZ / Google Earth
- CSV / Excel
- JSON
- XML

Attention : L'outil d'exportation ne peut être utilisé que cinq fois par jour.

Nous avons utilisé les fichiers KMZ pour visualiser les trajectoires de nos sondes dans Google Earth. Le format CSV nous a permis de collecter toutes les trames envoyées, ce qui nous a aidés à calculer des valeurs telles que la vitesse de montée et à créer facilement des graphiques. Le fichier JSON a été utilisé pour générer automatiquement les graphiques que l'on retrouve dans les chapitres "Données et analyse". Le programme qui génère ces graphiques a été conçu par notre formateur, David Perrin (HB9HIZ). Le programme peut être retrouvé sur la page QRZ de HB4LO.

<https://www.qrz.com/db/HB4LO>

Un autre aspect intéressant consiste à copier les trames dans un fichier. Cela permet d'avoir accès à plusieurs trames envoyées simultanément par différentes gates.

6 Lancements

6.1 3 juin 2024 - HB4LO-7

6.1.1 Caractéristiques

Lieu du lâcher : MétéoSuisse à Payerne

Type de ballon : 1200 g

Poids de la sonde : 230 g

Volume de gonflage : 2 m³

Traction : Pas de données

Descriptif de la sonde :

La sonde contenait le tracker LoRa et était équipée d'une petite antenne GPS.

Résultat espéré :

Pour ce premier vol, nous n'avions pas d'attentes particulières, si ce n'était de valider le bon fonctionnement du tracker.

Remarques :

Nous avons été avertis d'un exercice de brouillage effectué par l'armée de l'air française, ce qui aurait pu affecter le GPS de notre tracker.

6.1.2 Déroulement

Après avoir été accueillis par l'équipe de MétéoSuisse, le ballon a été préparé par leurs soins pendant que nous préparions la sonde. Le gonflage a été effectué avec 2 m³ d'hydrogène, gracieusement offert par MétéoSuisse, tout comme le ballon.

Le ballon a été lâché à 9h22. Ne connaissant pas la portée exacte de notre tracker, nous nous sommes rendus à Yverdon, qui devait se trouver sous le passage de la sonde. Nous étions équipés de gates mobiles pour recevoir les paquets de la sonde dans les zones non couvertes par des gates fixes. Alors que nous étions en route, nous avons remarqué que la sonde avait envoyé une dernière trame à 10h55, à une altitude de 11'841 m, puis plus rien. Pourtant, jusque-là, les résultats semblaient positifs : la sonde avait été captée par plusieurs gates, y compris en France voisine, et elle envoyait sa position toutes les minutes.

Pendant que nous allions dîner, un nouveau paquet a été reçu. La sonde se trouvait un peu en dessous de 12'000 m et descendait en direction de l'ouest, au-dessus de la Vallée de Joux. Comme il n'y a pas de gate dans la Vallée de Joux, les paquets ne passaient plus lorsque la sonde s'approchait du sol.

L'après-midi, nous nous sommes rendus dans la Vallée de Joux et avons mis en marche une gate mobile. En nous rapprochant, nous avons facilement reçu un nouveau point de position, ce qui a guidé nos recherches. Nous avons trouvé la sonde dans un arbre, et le parachute dans un autre. Malheureusement, ils n'étaient pas récupérables avec les moyens dont nous disposions ce jour-là.

Le mercredi 5 juin, nous sommes retournés avec le matériel adéquat. Après quelques tentatives, nous avons réussi à attraper le fil reliant la sonde au parachute et avons pu faire descendre l'ensemble.

6.1.3 Données et analyse

L'envoi des données s'étant arrêté aux alentours de 12'000 m, nous avons cherché à comprendre pourquoi. Le premier problème identifié concernait la capacité de certaines variables. Il nous a suffi de vérifier la capacité des variables liées à l'altitude.

En reproduisant une simulation avec les valeurs obtenues, nous avons estimé que l'altitude maximale atteinte était d'environ 36'000 m. Bien que cette altitude ne soit pas exacte, il est intéressant de noter que la sonde a atteint une altitude significative.



FIGURE 31 – Le parachute de la sonde dans le sapin

6.2 4 juin 2024 - HB4LO-8

6.2.1 Caractéristiques

Lieu du lâcher : MétéoSuisse à Payerne

Type de ballon : 1200 g

Poids de la sonde : 230 g

Traction : 1 kg

Volume de gonflage : 1,6 m³

Descriptif de la sonde :

La sonde contenait le tracker LoRa et était équipée d'une petite antenne GPS.

Résultat espéré :

Après les correctifs apportés au code du tracker, nous voulions démontrer qu'il était possible de dépasser les 12'000 m d'altitude.

6.2.2 Déroulement

Après avoir préparé la sonde et que MétéoSuisse a gonflé le ballon, nous avons procédé au lâcher à 10h50. Jusqu'à 12'000 m, il n'y a eu aucun problème. Cependant, au-delà de cette altitude, plus aucune donnée n'a été reçue. À 13h37, nous avons récupéré le signal : la sonde était en train de redescendre au-dessus du Jura. Nous nous sommes alors dirigés vers Vaux-Marcus. Grâce à une gate bien placée de l'autre côté du lac, nous avons pu obtenir la position précise de la sonde, qui s'était posée à proximité de Provence.

En arrivant sur place, nous avons constaté que la sonde était effectivement sur un toit, comme le suggérait sa position. Après nous être assurés que la récupération de la sonde ne dérangeait personne, nous avons procédé à sa récupération sans difficulté. Le parachute était facilement accessible depuis le sol, et la sonde a pu être tirée sans problème.

6.2.3 Données et analyse

L'échec de l'envoi de données au-delà de 12'000 m s'étant répété, nous avons cherché à en identifier la cause. Nous avons découvert que le GPS avait plusieurs modes de fonctionnement. Le mode par défaut sur le tracker était le mode "Portable", nous avons donc modifié ce paramètre pour passer au mode "Airborne", qui est fonctionnel jusqu'à 50'000 m.

6.3 27 juin 2024 - HB4LO-7

6.3.1 Caractéristiques

Lieu du lâcher : MétéoSuisse à Payerne

Type de ballon : 1200 g

Poids de la sonde : 230 g

Volume de gonflage : 1,8 m³

Traction : Pas de données

Descriptif de la sonde :

La sonde contenait le tracker LoRa et était équipée d'une petite antenne GPS.

Résultat espéré :

Après les correctifs effectués sur le code du tracker, nous voulions démontrer qu'il était possible de dépasser les 12'000 m d'altitude.

6.3.2 Déroulement

Comme d'habitude, le ballon a été gonflé par MétéoSuisse pendant que nous préparions la sonde. Le lâcher a eu lieu à 11h18. Cette fois-ci, le tracker a pu envoyer des trames au-delà des 12'000 m. Tout au long du vol, nous avons reçu les trames sans problème via plusieurs gates, certaines situées à plusieurs centaines de kilomètres. Grâce aux conditions météorologiques des jours précédents, la visibilité était excellente. Nous avons même eu la chance d'apercevoir le ballon depuis l'atelier en rentrant du dîner. Quelques minutes plus tard, le ballon a éclaté. Nous nous sommes alors déplacés en bus dans l'espoir de voir la descente, étant donné la proximité de l'éclatement avec Payerne.

Nous avons d'abord estimé que le lieu d'atterrissage se situerait au sud-est de Payerne, vers Prez-vers-Noréaz. Finalement, nous avons suivi la descente du ballon en direction de Fétigny. Nous avons eu la chance de voir et de filmer les derniers mètres de la descente de la sonde. Après nous être parqués, nous nous sommes dirigés à pied vers le lieu d'atterrissage. Nous ne l'avons pas vue immédiatement, car elle était dans un champ de blé. En nous rapprochant, nous avons pu la localiser à environ un mètre d'un passage entre les rangées de blé, ce qui nous a permis de la récupérer sans difficulté.

6.3.3 Données et analyse

Nous avons tout d'abord été satisfaits de battre le précédent record de l'atelier, qui était d'environ 32'000 m. La deuxième observation intéressante était la précision de la prédiction. En comparant la simulation avec l'altitude réelle atteinte, nous avons constaté une différence de seulement 3 km entre la simulation et le lieu d'atterrissage réel.

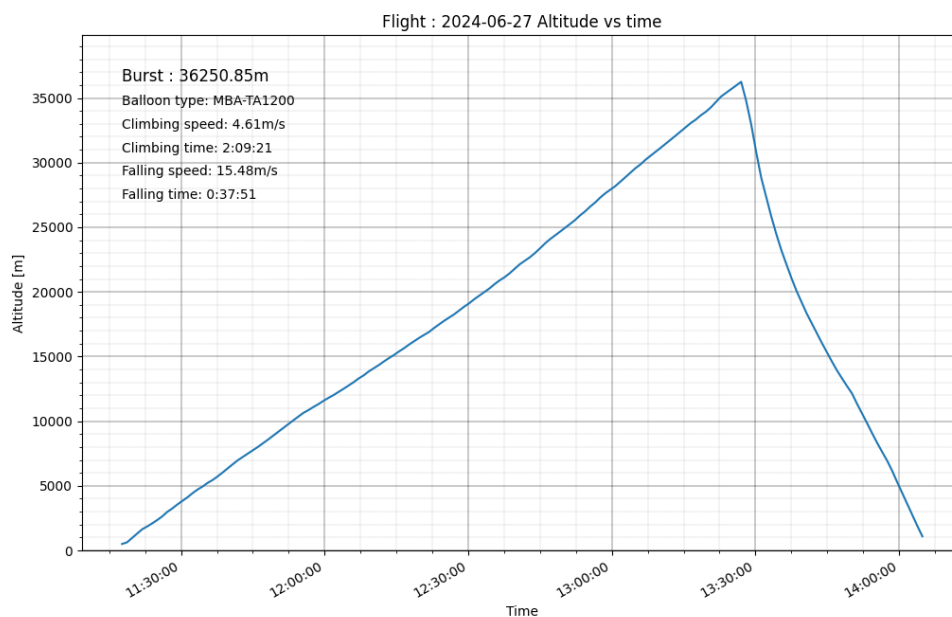


FIGURE 32 – Statistiques vol 27 juin 2024



FIGURE 33 – Sonde retrouvée dans le blé

6.4 18 juillet 2024 - HB4LO - 7

6.4.1 Caractéristiques

Lieu du lâcher : MétéoSuisse à Payerne

Type de ballon : 1200 g

Poids de la sonde : 230 g

Volume de gonflage : Pas de données

Traction : 800 g

Descriptif de la sonde :

La sonde contenait le tracker LoRa et était équipée d'une grande antenne GPS.

Résultat espéré :

Après avoir prouvé la fonctionnalité du tracker, notre objectif était de faire monter le ballon aussi haut que possible.

6.4.2 Déroulement

Pour atteindre une altitude maximale, nous avons décidé de lancer la sonde de nuit et de réduire légèrement le gonflage du ballon afin de lui donner plus de marge pour s'agrandir. Nous avons donc préparé la sonde et procédé nous-mêmes au gonflage du ballon avec de l'hélium. Le lâcher a eu lieu à 22h12.

Comme lors du vol précédent, nous n'avons rencontré aucun problème avec le tracker. Le ballon a éclaté à 35'040 mètres d'altitude. La sonde est ensuite descendue en direction de Thoun, où elle s'est accrochée dans un arbre, au-dessus d'un vallon traversé par une rivière. Nous avons finalement décidé de ne pas tenter de récupérer la sonde, jugeant que cela comportait trop de risques.

6.4.3 Données et analyse

Le ballon a éclaté relativement tôt, ce qui nous a surpris, car lancer de nuit et réduire le gonflage aurait dû améliorer ses performances. Cependant, il reste toujours une part d'incertitude, d'autres facteurs pouvant provoquer l'éclatement prématuré du ballon.

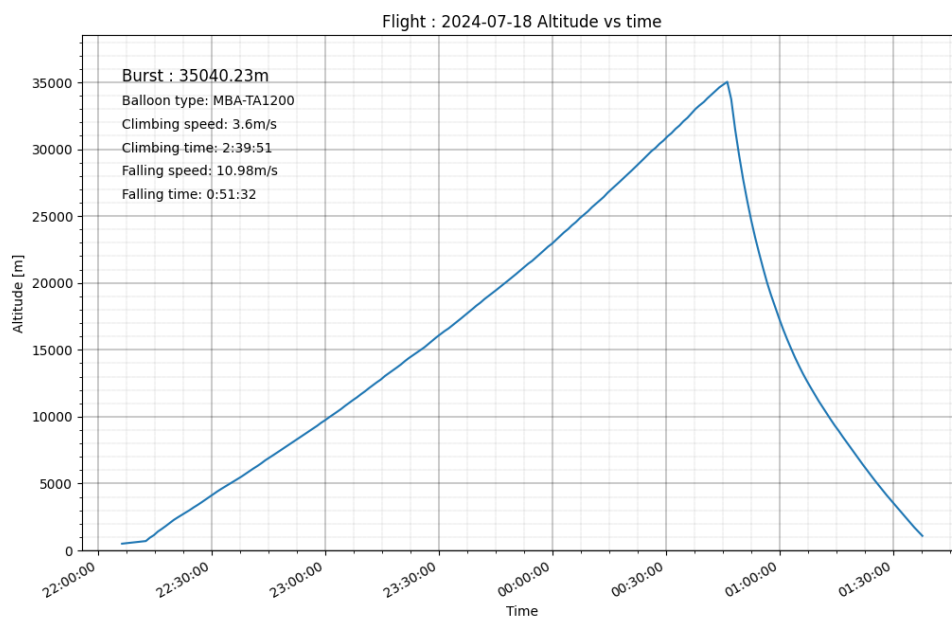


FIGURE 34 – Statistiques vol 18 juillet 2024



FIGURE 35 – Prêt pour le vol de nuit

6.5 22 août 2024 - HB4LO-8

6.5.1 Caractéristiques

Lieu du lâcher : MétéoSuisse à Payerne

Type de ballon : 1200 g

Poids de la sonde : 600 g

Volume de gonflage : Pas de données

Traction : 1,2 kg

Descriptif de la sonde :

La sonde contenait le tracker LoRa et était équipée d'une grande antenne GPS.

Résultat espéré :

Récolter des images de l'horizon ainsi que du ballon.

6.5.2 Déroulement

Nous avons décidé de lancer le ballon au lever du soleil, ce qui nous a amenés à préparer le ballon très tôt pour le lâcher à temps. Nous avons nous-mêmes procédé au gonflage du ballon à l'hélium, préparé les caméras et le tracker. À 5h57, nous avons lancé le ballon, qui est monté jusqu'à 35'676 m avant de redescendre. Le lieu d'atterrissage se trouvait à Saint-Cierges, où nous nous sommes rendus immédiatement.

Nous avons vu au préalable que la sonde devait se trouver dans une forêt. Sur place, nous avons tenté de repérer la sonde depuis le sol, mais sans succès. Nous avons donc utilisé un drone pour localiser la sonde. Par la suite, nous sommes retournés plusieurs fois dans la forêt, employant des techniques audacieuses pour essayer de la récupérer.

6.5.3 Données et analyse

Le vol s'est déroulé comme prévu. Nous avons même été surpris de constater que le ballon a éclaté à une altitude similaire à celle des précédents lancements, malgré une charge utile plus lourde et un volume d'hélium plus important.

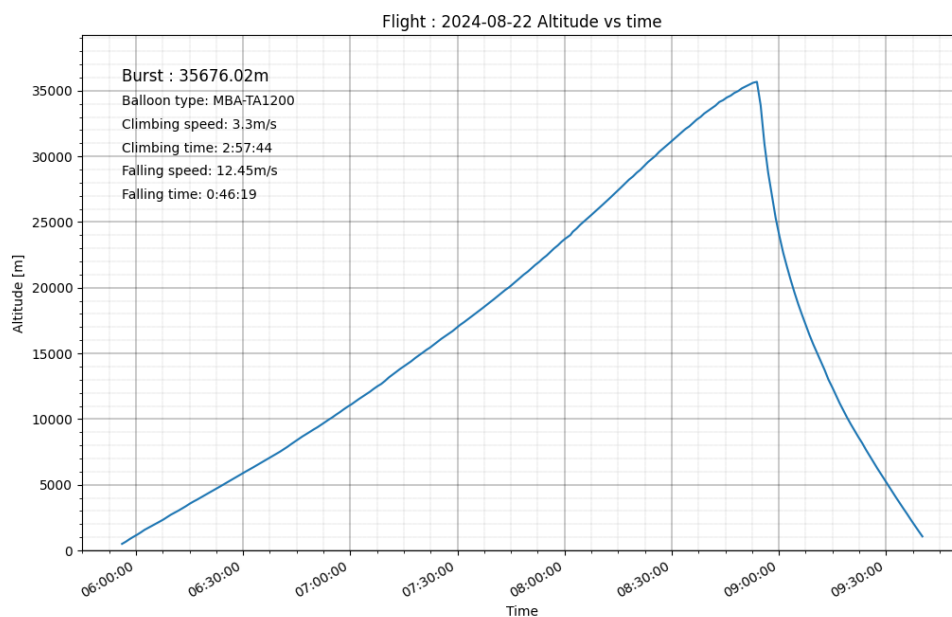


FIGURE 36 – Statistiques vol 22 août 2024



FIGURE 37 – Vue de la sonde depuis le drone

6.6 29 août 2024 - HB4LO-9

6.6.1 Caractéristiques

Lieu du lâcher : MétéoSuisse à Payerne

Type de ballon : 2000 g

Poids de la sonde : 230 g

Volume de gonflage : Pas de données

Traction : 600 g

Descriptif de la sonde :

La sonde contenait le tracker LoRa et était équipée d'une grande antenne GPS. Nous y avons également ajouté un beeper pour faciliter sa récupération.

Résultat espéré :

Monter aussi haut que possible grâce au ballon de 2000 g.

6.6.2 Déroulement

Le ballon a été gonflé à l'hydrogène par MétéoSuisse. Nous avons préparé la sonde et l'avons lâchée à 8h04. L'objectif de ce vol était de monter le plus haut possible grâce au ballon de 2000 g et à son sous-gonflage. Le vol a répondu à nos attentes jusqu'à l'éclatement du ballon, qui est survenu à 35'180 m d'altitude. Le ballon est retombé près de Corminboeuf. Nous n'avons même pas eu besoin de chercher la sonde : elle était tombée dans un champ, et un radioamateur que nous connaissons l'avait déjà retrouvée.

6.6.3 Données et analyse

Ce vol a été celui qui a monté le plus lentement, à une vitesse de 3,16 m/s. Malgré cela, il n'a pas atteint une altitude supérieure à celle de nos précédents vols, pourtant réalisés avec des ballons de 1200 g et légèrement plus gonflés.

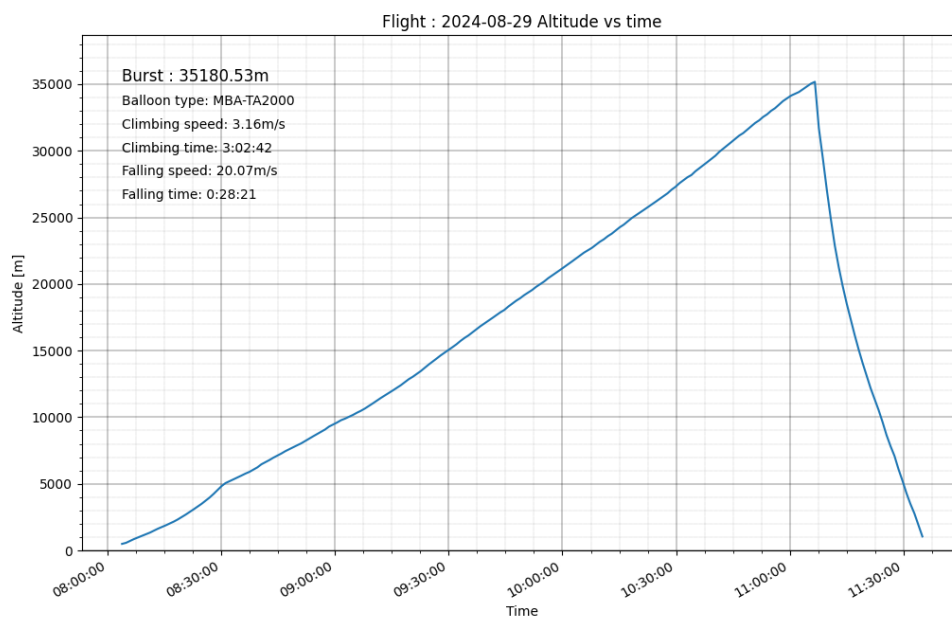


FIGURE 38 – Statistiques vol 29 août 2024



FIGURE 39 – Le ballon 2000 g en vol

6.7 19 septembre 2024 - HB4LO-9

6.7.1 Caractéristiques

Lieu du lâcher : Torny

Type de ballon : 1200 g

Poids de la sonde : 660 g

Traction : 1,4 kg

Volume de gonflage : Pas de données

Descriptif de la sonde :

Le ballon tractait deux sondes : l'une équipée de deux caméras avec leur système d'alimentation, et l'autre contenant le tracker LoRa avec la grande antenne GPS. La sonde du tracker était également équipée d'un beeper pour faciliter sa localisation.

Résultat espéré :

Capturer des images du vol, notamment de l'horizon et du ballon.

6.7.2 Déroulement

Ce jour-là, nous n'avions pas la possibilité de lancer notre sonde depuis MétéoSuisse, et nous avons donc dû trouver un autre point de lancement. Nous avons choisi de lancer la sonde depuis Torny. Souhaitant capturer des images du lever du soleil, nous nous sommes donnés rendez-vous à l'atelier à 6h30 pour partir ensemble vers Torny.

Une fois sur place, nous avons gonflé le ballon à l'hélium pour une traction de 1,4 kg, puis nous avons activé les caméras et refermé les sondes. À 7h35, nous avons procédé au lâcher. Le ballon a atteint une altitude maximale de 34'554 m avant de redescendre et d'atterrir près de Semsales, dans un champ proche de l'autoroute.

6.7.3 Données et analyse

Le vol s'est déroulé comme prévu. Étant donné qu'il s'agissait d'une sonde équipée de caméras destinée à filmer le vol et que nous étions en fin septembre, nous savions que le ballon ne monterait pas aussi haut que d'habitude. Finalement, le ballon a atteint 34'500 m, comme nous l'avions anticipé. Nous avons eu la chance de collecter de belles images du vol.

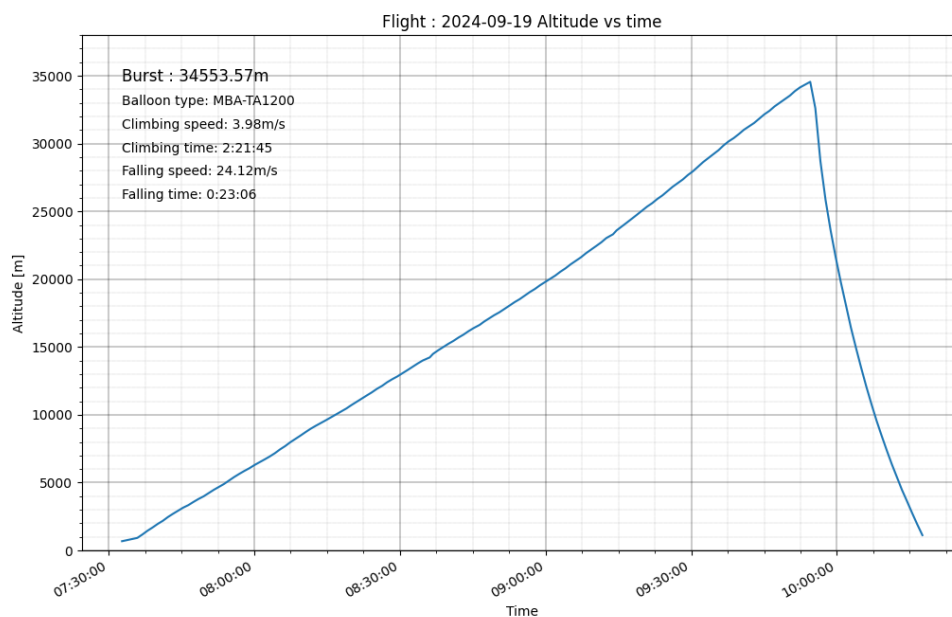


FIGURE 40 – Statistiques vol 19 septembre 2024



FIGURE 41 – Points d'intérêt vus depuis le ballon

7 Conclusion

7.1 Utilisation d'un tracker LoRa

Le tracker que nous avons utilisé a répondu à nos attentes après quelques tests et modifications. En adaptant la configuration, nous avons pu rendre le tracker pleinement fonctionnel pour les ballons sondes.

En altitude, nous n'avons rencontré aucun problème une fois les ajustements effectués. Grâce au réseau de gates des radioamateurs, les paquets ont été reçus à plusieurs endroits. Avec une puissance d'émission de 100 mW, nous avons pu être captés à près de 600 km, ce qui s'explique par l'absence d'obstacles. La propagation peut également jouer un rôle : par exemple, sur certains vols, l'Italie a été mieux atteinte que sur d'autres. L'image ci-dessous montre une grande partie des gates ayant entendu nos sondes.



FIGURE 42 – Les gates nous ayant entendu

Les problèmes rencontrés étaient relativement rares. Le principal concernait le mauvais paramétrage de certaines gates ayant reçu les trames de notre sonde. Il est arrivé que certaines trames soient corrompues, envoyées plusieurs fois à APRS-IS ou avec un retard de plusieurs minutes. Bien que cela ne cause pas de problèmes majeurs, cela complique l'analyse et le traitement des données.

Nous avons également utilisé des gates mobiles connectées au réseau d'un téléphone, afin qu'elles puissent envoyer les paquets à APRS-IS. Sur les sept vols effectués, nous n'avons reçu la position de la sonde une fois au sol que trois fois. Dans certains cas, la sonde a cessé d'émettre à quelques centaines de mètres du sol, comme au Brassus, où le dernier paquet a été reçu à plus de 300 mètres d'altitude. L'utilisation des gates mobiles a été d'une grande aide, notamment en forêt, où il est particulièrement difficile de chercher dans une zone étendue.

7.2 Comment améliorer notre altitude

Bien que nous n'ayons pas réussi à battre le record du monde, nous avons pu améliorer celui de l'atelier. Cependant, certains points sont apparus comme importants pour de futures tentatives. Le succès du vol d'un ballon sonde dépend de nombreux critères et comporte également une part de chance. Nous n'avons pas de recette parfaite, mais les critères ci-dessous méritent d'être explorés :

- Importance de la taille du ballon
- Importance du gonflage et de la vitesse de montée
- Lâcher de jour ou de nuit

Un autre critère serait d'attendre les conditions météorologiques idéales, ce qui allongerait la durée du projet, mais permettrait d'optimiser les performances des lancements.

En observant les altitudes maximales atteintes par les ballons de Météo-Suisse, nous avons constaté que les ballons lâchés de nuit montent plus haut que ceux lâchés de jour. Les ballons atteignent leurs altitudes maximales principalement entre avril et août.

Enfin, il serait possible d'envisager des innovations comme l'utilisation d'une valve pour mieux gérer la pression à l'intérieur du ballon.

7.3 Remerciements

Nous remercions MétéoSuisse pour nous avoir offert les trois premiers ballons ainsi que quatre gonflages à l'hydrogène. Merci aux radiosondeurs de Payerne pour leurs conseils et leur soutien. Merci à Herbert Aeby (HB9BOU) pour le prêt de la caméra utilisée pour filmer les lâchers de ballon. Merci à tous nos amis radioamateurs pour leur aide et leur soutien, ainsi qu'à toutes les personnes non citées.

Un grand merci à David Perrin (HB9HIZ) et Jean-Yves Dupertuis (HB9FOU) pour nous avoir donné la possibilité de réaliser ce projet.

7.4 Conclusion finale

Nous avons particulièrement apprécié travailler sur ce projet, qui nous a permis de vivre de belles expériences au cours de ces quelques mois. Cela nous a ouvert les portes du monde des ballons sondes. Nous avons pu préparer des sondes, aussi bien sur le plan structurel qu'électronique, suivre nos ballons sonde et les récupérer à divers endroits en Suisse romande. Nous avons également appris à analyser les données récoltées par nos ballons afin d'améliorer nos futurs lâchers.

Guillaume Pradervand (HB9IKR)
Mathieu Leuppi (HB9IKP)
Noah Pradervand

Table des figures

1	Le tracker	4
2	Le site web aprs.fi	5
3	Modification dans le prototype de la fonction "encodeGPS" . .	12
4	Modification dans la fonction "encodeGPS"	12
5	Une iGate mobile	19
6	Interface Web de l'iGate	22
7	iGate HB9TOU-10	23
8	Les caméras	24
9	Alimentation des caméras	25
10	Alimentation des caméras avec DC-DC	26
11	L'alimentation des caméras	26
12	Le module beeper	27
13	La télécommande	27
14	Couteau à sagex	28
15	Scie électrique	28
16	Colle Soudal Fix ALL	29
17	Découpage du sagex	29
18	Fabrication de la sonde caméra	30
19	La sonde APRS	31
20	La plaque qui retient l'antenne	31
21	Partie centrale de la sonde APRS	32
22	Vue des trois parties de la sonde	32
23	Vue de l'intérieur de la sonde	33
24	Le tube PVC	33
25	Une antenne	34
26	Dimensions de l'antenne	34
27	L'intérieur de la deuxième sonde caméra	35
28	Face avant de la sonde (après le vol)	36
29	Les sondes suspendues au bambou	36
30	Prédiction du troisième vol à 36'000 m	37
31	Le parachute de la sonde dans le sapin	40
32	Statistiques vol 27 juin 2024	43
33	Sonde retrouvée dans le blé	43
34	Statistiques vol 18 juillet 2024	45
35	Prêt pour le vol de nuit	45
36	Statistiques vol 22 août 2024	47
37	Vue de la sonde depuis le drone	47
38	Statistiques vol 29 août 2024	49
39	Le ballon 2000 g en vol	49
40	Statistiques vol 19 septembre 2024	51
41	Points d'intérêt vus depuis le ballon	51
42	Les gates nous ayant entendu	52