GAREF PARIS
CLUB SCIENTIFIQUE DE JEUNES

HELIOS 1

RAPPORT D'EXPERIENCE

GD-2611-A-002

Révision 1.2

2 novembre 2026

Rédigé par : JR, AC

Approuvé par : NR

SOMMAIRE

0. ÉVOLUTION DU DOCUMENT 4
1. GLOSSAIRE 5
2. INTRODUCTION 6
2.1 Rappel des précédentes expériences GAREF et mise en contexte 6
2.1.1 Objectifs 6
2.2 Description générale 7
2.2.1 Classification 7
2.2.2 Chaîne de vol 8
2.2.3 Bilan de masse 8
2.2.4 Bilan de consommation et autonomie 10
2.2.5 Bilan de liaison et portée de la télémesure 10
3. EXPÉRIENCES EMBARQUÉES 13
3.1 Synoptique et présentation de la nacelle 13
3.2 Modules embarqués 13
3.2.1 OBC 13
3.2.2 TimeCode 14
3.2.3 Blocs Batteries 15
3.2.4 Emetteur de télémesures 16
3.2.5 Antenne 17
3.2.6 Module Vidéo 17
3.2.7 Module de mesures analogiques 18
3.3 Mécanique de la nacelle 18
3.4 Radiosondes et systèmes de récupération 20
3.4.1 Traqueur GPS 20
3.4.2 Radiosonde 20
3.4.3 Balise "oiseau" 21
3.4.4 Prévision de trajectoire 21
4. CAMPAGNE DE LANCEMENT 23
4.1 Date et lieu de lancement 23
4.2 Organisation de la campagne 23
Déroulé de la campagne 25
4.2.1 Journal de bord jour par jour (en heure locale) 25
5. DEPOUILLEMENT ET RESULTATS OBTENUS 27
5.1 Points notables 27
5.2 Télémesure en bande S 27
5.2.1 Analyse des pertes de télémesure 28
5.3 Module vidéo 29
5.4 Mesures de tension des batteries 31

5.5 Mesures de température 32
5.6 Radiosonde 34
5.7 Traqueur GPS 35
5.8 Balise oiseau 38
6. RETOUR D'EXPÉRIENCE 39
6.1 Points à travailler 39
6.2 Perspectives 39

0. ÉVOLUTION DU DOCUMENT

Version 0.1 :	26 Juillet 2026	Création du document
Version 0.2 :	4 Aout 2026	Rédaction description expérience JR
Version 0.3 :	12 Aout 2026	Ajout résultats AC
Version 0.4 :	15 Aout 2026	Relecture BS + rédaction résultats AC
Version 0.5 :	22 Aout 2026	Meca nacelle AC/AL
Version 0.6 :	29 Aout 2026	Partie alim/batteries SK, ajout photos
Version 0.8 :	26 Septembre 2026	Vidéo embarquée
Version 1.0 :	3 Octobre 2026	Version publiable
Version 1.1 :	30 Octobre 2026	Corrections mineures
Version 1.2 :	2 Novembre 2026	Corrections mineures

1. GLOSSAIRE

OBC : On Board Computer (Calculateur de Bord)

TU :Temps Universel (UTC : Coordinated Universal Time)

FPGA: Field Programmable Gate Array (Logique programmable)

PCM :Pulse Code Modulation (Modulation par Impulsion et Codage)

BCD : Binary Coded Decimal (Décimal Codé Binaire)

Ballon "libre non habité léger": C'est, au sens de l'article 1 de l'appendice 5 de l'annexe 2 à la convention relative à l'aviation civile internationale « Règles de l'air » 10e édition, 12 octobre 2017, un ballon transportant une charge utile d'un ou plusieurs lots dont la masse combinée est inférieure à 4 kg (avec aucun lot n'excédant 3kg et aucun lot de 2kg qui présenterait une masse surfacique de plus de 13g.cm^{-2}) **et** avec une liaison ballon-charge utile cassant ou se séparant sous une force inférieure à 230 N.

2. INTRODUCTION

2.1 Rappel des précédentes expériences GAREF et mise en contexte

En septembre 2025, afin de former les nouveaux membres, le projet d'un nouveau type de ballon atmosphérique nommé **HELIOS 1** voit le jour. L'objectif d'HELIOS 1 est de servir de plateforme pour tester l'utilisation de panneaux solaires (le GAREF n'ayant jamais développé de projets avec panneaux solaires jusqu'à présent) et de nouveaux blocs de batteries rechargeables.

2.1.1 Objectifs

Expériences technologiques

- Test en conditions réelles d'un nouveau module vidéo
- Test en conditions réelles de batteries rechargeables et utilisation de panneaux solaires

Expériences scientifiques

- Acquisition et retransmission de la température de la nacelle
- Suivi de la position GPS de la nacelle en temps réel

HELIOS 1 est un ballon léger embarquant l'électronique permettant de retransmettre au sol, par une télémesure en bande S, des données scientifiques et de stocker à bord les vidéos et images du vol.

Compte tenu du matériel qu'il contient et des données enregistrées, la récupération de la nacelle du ballon est primordiale (la nacelle inclut notamment un émetteur de télémesures en bande S). À cet effet, deux systèmes GPS indépendants sont embarqués afin de suivre la position du ballon durant son vol.

2.2 Description générale

2.2.1 Classification

Le ballon HELIOS 1 est, au sens de l'article 1 de l'appendice 5 de l'annexe 2 à la convention relative à l'aviation civile internationale « Règles de l'air » 10e édition, 12 octobre 2017, un "**ballon libre non habité léger"**, c'est-à-dire transportant une charge utile d'un ou plusieurs lots dont la masse combinée est inférieure à 4 kg (avec aucun lot n'excédant 3kg et aucun lot de 2kg qui présenterait une masse surfacique de plus de 13g.cm^{-2}) et avec une liaison ballon-charge utile cassant ou se séparant sous une force inférieure à 230 N.

La masse surfacique est définie comme la masse totale de l'élément considéré de "charge utile", divisée par sa plus petite surface.

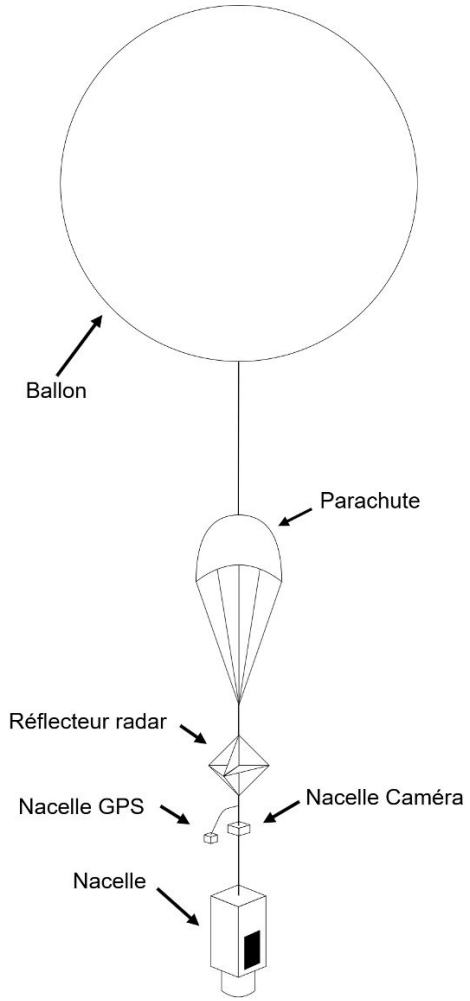
Un "ballon léger" ne nécessite pas l'émission de NOTAM (NOtice To Air Men). Un ballon léger utilisé exclusivement à des fins météorologiques et exploité de la manière prescrite par l'autorité compétente, peut être exploité au-dessus du territoire d'un autre État sans autorisation appropriée de cet État (2.2 de l'appendice 5 de l'annexe 2 à la convention).

HELIOS 1 n'est pas prévu pour être exploité en dehors du territoire français (régions terrestres et eaux territoriales, adjacentes). Pour le point de lancement d'HELIOS 1 l'Allemagne a été considérée comme région adjacente.



HELIOS 1 au décollage

2.2.2 Chaîne de vol



2.2.3 Bilan de masse

BILAN DE MASSE NACELLE	
Désignation	Masse (g)
Mécanique nacelle	700
Bloc de piles rechargeables (420x2)	840
Plaque de dissipation thermique + Émetteur	140
OBC	210
Module timecode	85
CAN + Temp	30
Module vidéo	20
Panneaux solaires (40x6)	240
Caméra avec batteries (220x2)	440
Câblage	100
Total Masse Nacelle	**2805**

BILAN DE MASSE AUTRE	
Désignation	Masse (g)
Parachute	90
Anneaux et suspentes diverses	30
Traqueur GPS	105
Balise Oiseau	10
Radiosonde	140
Réflecteur Radar	170
Ballon (de type HWOYEE 1200)	1200
Total Chaine de vol hors nacelle	**1745**



La nacelle prête au vol

2.2.4 Bilan de consommation et autonomie

BILAN DE CONSO HELIOS 1 **GD2604A501**

Nolan RONJON Rev 1.0 11/07/2026

BLOC BATTERIES réf 1-partie 1	
Designation	Puissance (W)
OBC	4,05
Timecode	0,90
Phidget température	0,13
Phidget CAN	0,16
Total ELEC	**5,24**

BLOC BATTERIES réf 1-partie 2	
Designation	Puissance (W)
Cameras (x1)	6,00
Total GOPRO	**6,00**

BLOC BATTERIES réf 3	
Designation	Puissance (W)
Emetteur	10,32
Total TELEM	**10,32**

TOTAL	**21,56**

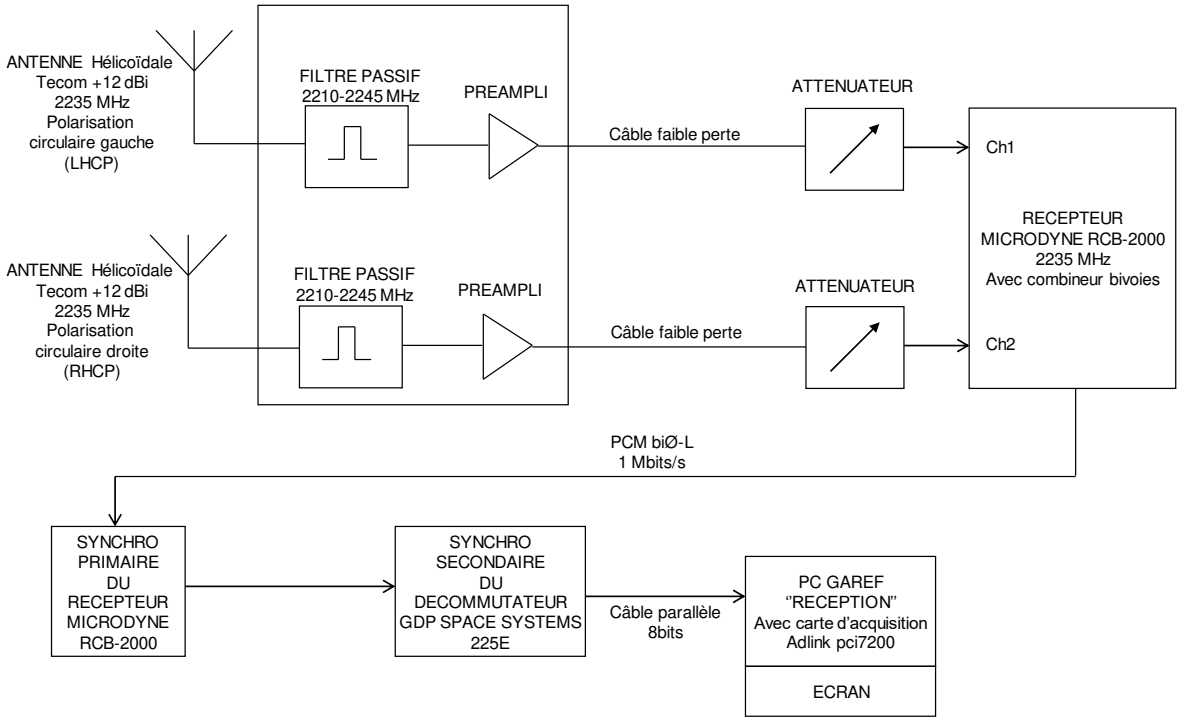
2.2.5 Bilan de liaison et portée de la télémesure

2.2.5.1 Station de réception en bande S GAREF

La fréquence d'émission de l'émetteur est de 2 235 MHz, avec une modulation PCM-FM au format PCM Biphase-L. La puissance émise est de +33 dBm (2W) avec une OBW (Occupation BandWidth) de 2.4 MHz (débit de données de 1Mbit/s).

Ce qui nous donne, en vue directe, une portée de 140 kilomètres pour avoir un rapport signal sur bruit supérieur à +12 dB, nécessaire pour une bonne démodulation en FM.

La station de réception comprend deux antennes hélicoïdales, une LHCP (polarisation circulaire gauche) et une RHCP (polarisation circulaire droite), un récepteur 2 voies avec un combineur (pour obtenir le meilleur signal cumulé), un synchronisateur de bits, un synchronisateur de trames et un PC.



Tous ces équipements ont été intégrés et rassemblés dans une baie roulante par le GAREF PARIS, ce qui nous permet de la déplacer et l'installer facilement même en pleine campagne.



La station de réception principale

2.2.5.2 Station de réception de la radiosonde

L'émetteur de la radiosonde (METEOMODEM M20) a une puissance de 110 mW, c'est-à-dire de +20 dBm, à une fréquence de 401,4 MHz et pour une bande passante de 5 kHz. À une distance de 350 kilomètres on obtient encore un rapport signal sur bruit de 21 dB, ce qui est largement suffisant pour la bonne réception du signal, et donc de la position GPS du ballon, à condition que celui-ci soit en vision directe. Cette station de réception est louée auprès du constructeur de la radiosonde.



L'antenne radiosonde, avec à l'arrière-plan la station principale et ses 2 antennes hélicoïdales.

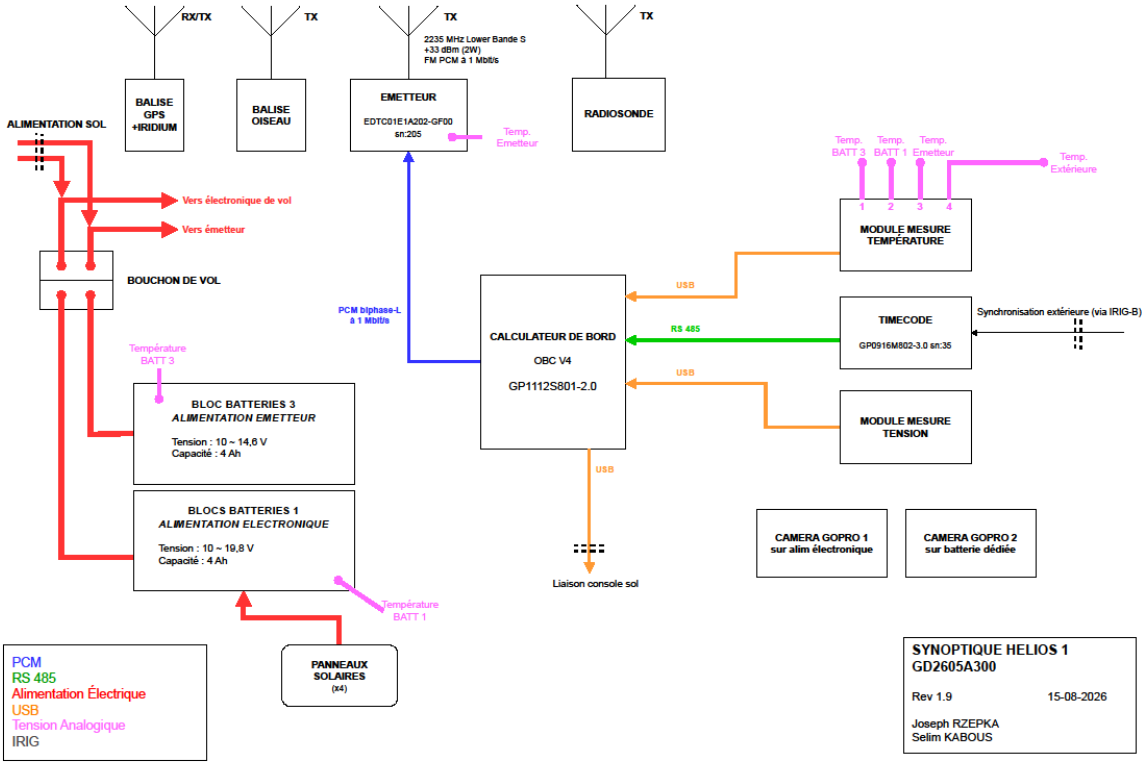
2.2.5.3 Autres transmissions radio

La nacelle contient aussi un traqueur GPS qui communique sur le réseau de satellites IRIDIUM, sur une orbite basse, vers un serveur centralisé accessible par Internet. (Voir chapitre 3.4.1)

Une balise "oiseau" radio VHF (conçue pour suivre des rapaces) a aussi été placée sur la chaine de vol, permettant de localiser la nacelle à une distance de quelques kilomètres par goniométrie, à l'aide d'une antenne râteau portative. (Voir chapitre 3.4.3)

3. EXPÉRIENCES EMBARQUÉES

3.1 Synoptique et présentation de la nacelle



3.2 Modules embarqués

3.2.1 OBC

Le Calculateur de Bord (ci-après OBC) est conçu et fabriqué par le GAREF. Il est composé de trois éléments fonctionnels : une carte processeur, un FPGA gérant les différentes interfaces et une carte hub USB.

La carte processeur est le cœur de l'OBC. Elle joue le rôle d'ordinateur de bord grâce à un logiciel en langage C programmé par le GAREF. Elle reçoit les données des différents modules reliés par le hub USB et des entrées numériques, les met sous forme de trames, les sauvegarde sur une mémoire flash et les transmet au FPGA qui les met au format PCM, pour qu'elles soient transmises à l'émetteur.

Format des trames utilisées

Mot de synchro (hexa FAF320)	Numéro de trame	Identifiant de module	Données de mesure	Checksum de la trame	Total
3 octets	4 octets	1 octet	64 octets	6 octets	78 octets

Les mesures de tension et de température sont demandées par l'OBC aux modules analogiques tous les centièmes de secondes d'après l'heure fournie par le module timecode, puis elles sont mises dans une trame datée avec cette heure, pour être transmise au sol.

Caractéristiques mécaniques OBC	**Caractéristiques électriques OBC**
Masse : ~210 g	Alimentation : 9-36 V
Dimensions : 99 x 102 x 40 mm	Consommation : 4,05 W

3.2.2 TimeCode

La fonction du module *TimeCode* est de fournir à tous les modules le nécessitant, une date (T.U.) commune et synchronisée avec les installations au sol (IRIG-B).

Cela permet de dater, avec une précision de 10 ms, les différentes mesures acquises et les événements survenant durant le vol de manière synchronisée. Il est dès lors possible, avec les équipements au sol, de comparer ces mesures et ces événements entre eux.

Le *TimeCode* est diffusé au format BCD sur un bus RS485.

Le module *TimeCode* embarqué est synchronisé jusqu'au lâcher du ballon par un générateur *TimeCode* au sol (lui-même synchronisé par GPS) via une liaison filaire.

Caractéristiques mécaniques	**Caractéristiques électriques**
Masse : 119 g	Alimentation : 9-36 V
Dimensions : 99 x 102 x 17 mm	Consommation : 0,9 W

3.2.3 Blocs Batteries

Il s'agit de déterminer l'alimentation électrique qui sera nécessaire au bon fonctionnement de l'électronique embarquée. Il faut pouvoir répondre à des contraintes de consommation, de tension et d'autonomie (environ 3 heures de vol, avec marge de sécurité; on cherche à viser les 5h).

La partie électronique et la partie télémesure (émetteur) sont alimentées par un bloc de batteries chacun: n°1 pour l'électronique et n°3 pour la télémesure (un bloc n°2 a été un temps envisagé, pour répartir l'électronique en 2 blocs, abandonné depuis car non nécessaire selon le bilan de consommation). Les panneaux solaires sont mis en parallèle des batteries et peuvent à la fois les recharger et alimenter l'électronique, avec une tension comprise entre 12V et 19V. Cette plage de tension étant trop importante pour la partie télémesure, le bloc de batteries n°3 alimentant la télémesure n'a pas été connecté aux panneaux solaires, donnant une plage de tension du bloc n°3 comprise entre 10V et 14,6V.

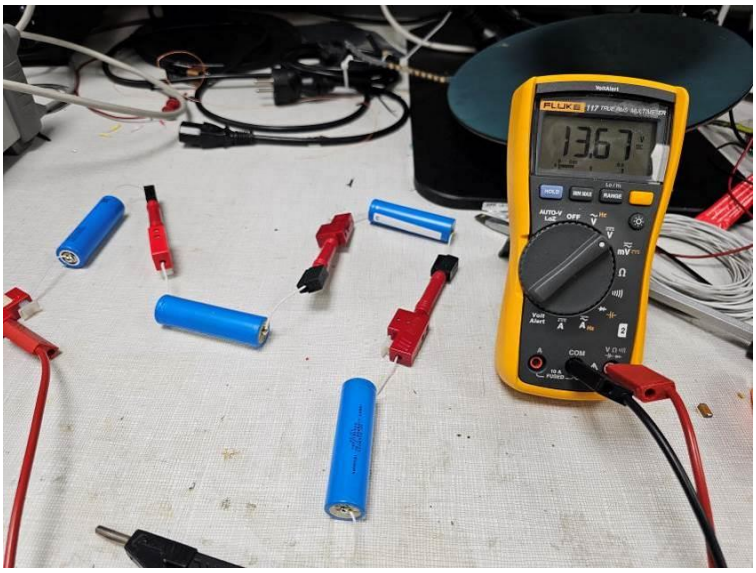
Concernant la case électronique, chaque module possède un convertisseur DC/DC en entrée permettant ainsi de n'utiliser qu'un seul bloc de batteries pour l'électronique.

Il faut ne pas dépasser la tension maximale prévue pour des ballons de type léger, fixée dans les règles de l'air à 24V, mais également fournir une tension suffisante pour le fonctionnement des différents modules. Il faut donc être très attentif à la tension à vide et en fonctionnement en tenant compte de la température.

Le GAREF utilise pour la première fois dans le ballon HELIOS 1, une technologie de batteries LiFePO4 (lithium-fer-phosphate) qui se recharge en vol. C'est d'ailleurs l'objet de l'expérience de HELIOS 1; les résultats de l'expérience montrent une baisse de la tension du module non-solaire qui suit la courbe de décharge attendue.

Caractéristiques des batteries utilisées

Type	Diamètre	Longueur	Masse	Tension nominale	Tension à vide
LiFePO4	18,2mm	65,4mm	45 g	3.2V	2,5 V



Test des batteries individuelles au GAREF

Caractéristiques des deux blocs de batteries

	Nombre de batteries	Tension	Masse totale	Dimensions
Bloc télémesure	8	14,6	420g	Boitier GAREF T2 105x102x43mm
Bloc électronique	8	14,6 V-19V	420g	Boitier GAREF T2 105x102x43mm

3.2.4 Emetteur de télémesures

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électriques	Caractéristiques électromagnétiques
Masse : 57 g	Alimentation : 12 V (+4.5 / -1.5 VDC)	Fréquence d'émission : 2 235 MHz
Dimensions : 95 x 107,8 x 32 mm	Consommation : 650 mA sous 12V	Puissance d'émission : +33 dBm nominal (2,0 W)
		Impédance d'entrée modulation: (TTL 0-5V) 75 Ohm, 35 pF Impédance de sortie HF: 50 Ohm

3.2.5 Antenne

Caractéristiques de l'antenne d'émission ENSEA-GAREF (GP1311Z035-1.3)

Antenne enroulée 4 patchs sur diamètre 160mm substrat verre-Téflon DUROID 5880

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électromagnétiques
Masse : 110 g	Fréquence : 2 100 à 2 300 MHz
Dimensions (déroulée) : 111,4 x 503 mm	Gain : +8 dBi Impédance : 50 Ohm

3.2.6 Module Vidéo

La fonction du module vidéo est d'assurer une capture intégrale du vol, principalement à des fins de communication. Deux caméras (basées sur des GoPro HERO13 Black) fonctionnent ainsi en simultané pour permettre une prise de vue sous plusieurs angles. Une caméra était fixée sur la nacelle principale, avec une vue plongeante sur la nacelle pour se représenter sa position par rapport au sol et au Soleil. L'autre caméra était placée sur une nacelle dédiée, suspendue à la chaine de vol et donc se balançant de façon incontrôlée par rapport à la nacelle principale. Les caractéristiques décrites ci-dessous se rapportent à un module caméra. Deux modules identiques ont été embarqués lors du vol.

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électriques	Caractéristiques vidéo
Masse : 220 g	Alimentation : 5 V	Résolution capteur : 27Mpx Sony IMX677L
Dimensions : 96 x 58 x 29.8 mm	Consommation : 5 W	Mode : 1920x1080p 30images/s

3.2.7 Module de mesures analogiques

La fonction de ce module est d'acquérir en temps réel et tout au long du vol des mesures de température en différents points du ballon (blocs batterie, émetteur télémesure et extérieur du ballon), ainsi que la tension de sortie des blocs batterie, et de transmettre ces données jusqu'au sol via l'OBC et la télémesure.

Pour cela, deux modules d'acquisition analogique de la marque PHIDGETS (qui communiquent par USB) sont utilisées.

Pour chaque module:

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électriques
Masse : 82 g	Alimentation : 9-36 V
Dimensions : 50 x 50 mm	Consommation : <1W

3.3 Mécanique de la nacelle

La nacelle est le support contenant le matériel embarqué par le ballon. Elle doit être suffisamment solide, afin de protéger le matériel de l'extérieur, tout en étant légère, afin de limiter l'impact sur la masse totale.

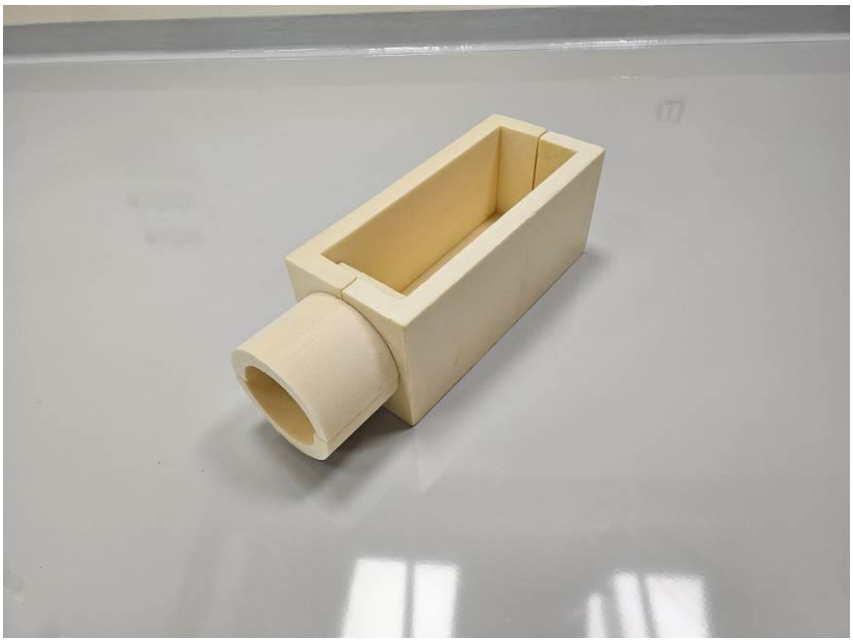
Pour des raisons d'humidité ambiante et de masse totale, il faut utiliser un matériau imperméable peu dense et le plus résistant possible. On utilise un type de polystyrène extrudé ("mousse XPS N3"); traditionnellement utilisé pour des travaux d'isolation, ce matériau présente les avantages d'être rigide, très léger et facile à usiner.

Le volume de la nacelle doit être suffisant afin de pouvoir accueillir tout le matériel et correctement l'organiser, notamment les câbles.

1ère étape : L'idée est de faire un tiroir en mousse pour ranger les modules taille T1(105x102x22mm) et T2(105x102x43mm) et la caméra avec l'antenne cylindrique en bas.

La nacelle a été réalisée en 2 mois, les parois font 3 cm d'épaisseur.
Avantages : solide, assemblage simple, spacieux.
Désavantages : lourd (environ 450 g), large et volumineux.

Nous avons choisi de mettre une vitre en plexiglas à l'avant pour rendre visible l'intégration depuis l'extérieur.



La nacelle vide

2ème étape : L'intégration des modules. Nous avons choisi des supports imprimés en 3D en technologie résine et filament pour fixer les modules à la mousse, les supports étant eux-mêmes collés avec une colle époxy. Les supports en résine étant plus résistants ils ont été retenus.

3ème étape : L'intégration de la caméra POV (Point Of View) sur la nacelle. Nous avons décidé de la mettre en haut et parallèle à la nacelle. De ce fait, l'image comprend 1/3 nacelle, 2/3 terre et ciel. Le support a été imprimé en technologie filament. L'avantage a été une impression rapide et légère. L'inconvénient a été que nous avons dû le peindre en blanc pour éviter la déformation sous la chaleur du soleil. Il a été décidé que la caméra serait collée à ce support, et non vissée. A l'atterrissage, la caméra a été éjectée de la nacelle à cause de la liaison colle - peinture, donc **cette solution est à éviter à l'avenir.**

4ème étape : L'intégration de la nacelle à la chaîne de vol. Nous avons imprimé 4 crochets en résine pour supporter les 4 cordes de la chaîne de vol. Nous avions usiné deux vitres de plexiglas identiques, une pour nos tests, et une qui a gardé son film de protection jusqu'à la veille du lancement. Cette procédure a permis d'avoir une vitre sans trace et très transparente pour le vol (important car visible sur la caméra POV).

5ème étape : Cordage de la chaîne de vol, uniquement avec du double nœud de 8. Le traqueur GPS Garmin a été attaché en parallèle directement sur son boitier, puis emballé de mousse.

Conclusion : Mécanique réussie; qui peut être allégée avec des parois plus fines. L'utilisation de la technologie d'impression 3D en résine est un plus. Les pièces en aluminium auraient pu être en résine également. Chaîne de vol réussie grâce à l'utilisation du nœud de 8 et les crochets en résine.

Comme validé sur les expériences passées, on utilise une plaque d'aluminium anodisée noire pour dissiper la chaleur de l'émetteur de télémesure par rayonnement du "corps noir" (l'air raréfié en haute altitude ne permettant plus de refroidir l'électronique par convection). L'émetteur de télémesure est lui vissé à la plaque d'aluminium en positionnant une pate conductrice thermique silicone de chez *Dow Corning* (DOW CORNING 340) entre les deux afin de garantir un transfert thermique optimal.

La plaque d'aluminium comporte un texte indiquant la nature du ballon et les coordonnées du GAREF pour pouvoir le récupérer. Compte tenu de la proximité du lieu de lancement avec la frontière allemande (et de la frontière suisse), il a été décidé de doubler ce texte en allemand (pour une prochaine expérience un texte en anglais serait cependant préférable).



La plaque de dissipation avec son texte

3.4 Radiosondes et systèmes de récupération

3.4.1 Traqueur GPS

On utilise un appareil de suivi de randonnée Garmin inReach Mini, qui utilise le réseau de satellites orbite basse IRIDIUM pour transmettre la position GPS de l'appareil à un serveur central, accessible par Internet.

3.4.2 Radiosonde

Afin de pallier une éventuelle perte de télémesure durant le vol et donc une perte possible de la position du ballon rendant difficile, voire impossible, la récupération du ballon, nous avons décidé d'utiliser une radiosonde météo (M20 de METEOMODEM). Cette dernière possède son propre émetteur (canal 401,4 MHz) ainsi que sa propre station de réception. La radiosonde est fixée sur la nacelle renfermant le traqueur GPS.

La radiosonde est aussi conçue pour effectuer plusieurs mesures : altimétrie, température, manométrie, hygrométrie, position via GPS. Cet équipement ainsi que sa station de réception sont homologués par l'Organisation Mondiale de la Météorologie.

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électriques
Masse : 36 g	Alimentation : pile 3V Li
Dimensions : 98 x 63 x 42 mm	Autonomie : > 4 heures

3.4.3 Balise "oiseau"

Afin de faciliter la récupération, notamment en cas de chute en forêt, nous avons installé un petit émetteur de radio-tracking (ou balise oiseau à 216.065MHz) Marshall en VHF, qui était placé dans la nacelle GPS. (en effet, nous avions remarqué lors d'expériences précédentes des perturbations des mesures dues à la balise, lorsqu'elle est placée sur la nacelle principale donc très près de l'électronique)

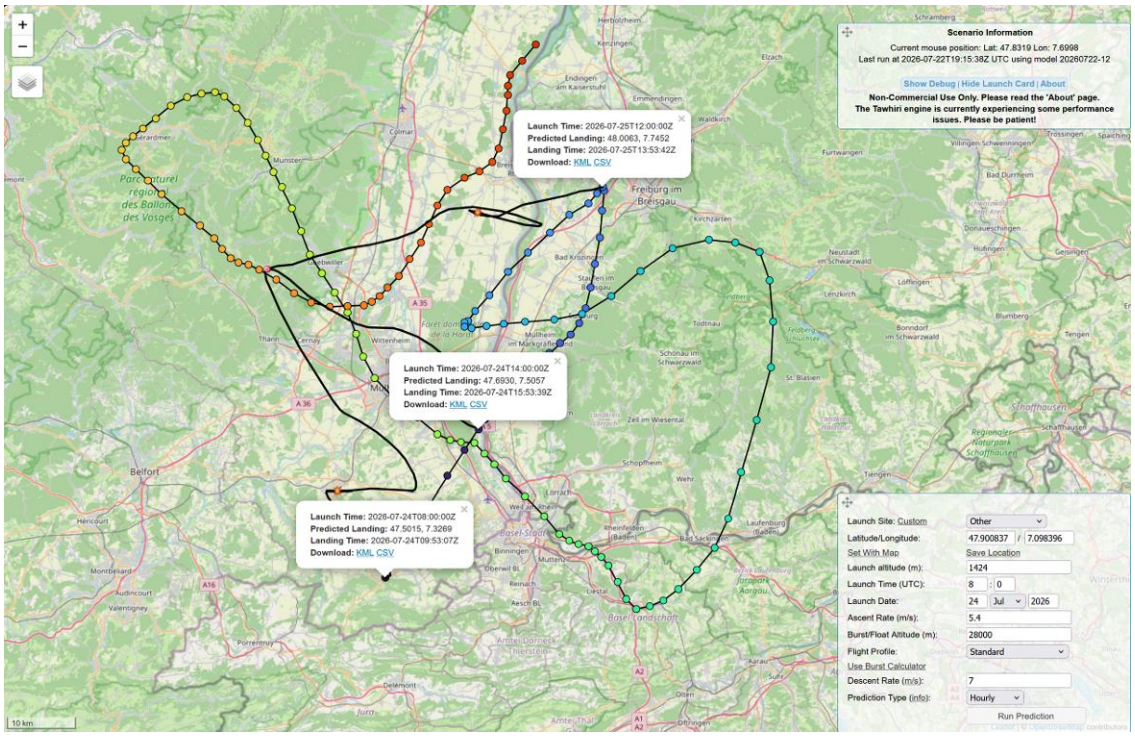
Un récepteur portatif, muni d'une antenne directionnelle Yagi, permet ensuite de déterminer, par goniométrie, la position de la nacelle d'une distance de plusieurs centaines de mètres à quelques kilomètres.

3.4.4 Prévision de trajectoire

En amont du lancement du ballon et afin de mieux prévoir son lieu d'atterrissage en fonction des conditions atmosphériques, nous avons réalisé plusieurs projections de trajectoires de vol. Pour cela, nous nous sommes aidés d'abord du Balloon Burst Calculator du site SondeHub (https://sondehub.org/calc/) afin de calculer l'altitude d'éclatement du ballon en fonction de paramètres donnés (Altitude de lancement, poids de la nacelle, vitesse d'ascension, etc.). Avec cette donnée nous pouvions alors calculer des prédictions de trajectoire sur un deuxième outil : le CUSF Landing Predictor 2.5 (https://predict.sondehub.org/). Celui-ci nous fournit un ensemble de lieux d'atterrissage au cours du temps, calculés à partir d'une heure de lancement sur une durée choisie et nous permettant ainsi de choisir un intervalle de lancement évitant un éloignement trop important du ballon du point de lâcher, ou que celui-ci finisse sa course dans un lieu à risque.

Notre démarche a donc été d'effectuer plusieurs prédictions les jours précédant le lancement, ainsi que de se renseigner sur les conditions météorologiques de la semaine afin de, dans un premier temps, choisir une date et heure de lâcher, puis de la confirmer. En effet, les projections du site pour une date donnée devenant de plus fiables au fur et à mesure que nous nous rapprochons de celle-ci, cela nous a assuré que notre choix était le bon.

Bien que pouvant assez nettement varier d'un jour sur l'autre, notre expérience sur des ballons sondes précédents nous a confirmé que ces prévisions étaient très fiables et précises à moins d'un jour de délai.



Prévision de trajectoire effectuée le jour du lancement, montrant le déplacement du point final de retombée selon le moment de lâcher (points colorés), et 3 exemples de trajectoire (courbes noires)

4. CAMPAGNE DE LANCEMENT

4.1 Date et lieu de lancement

HELIOS 1 a été lancé le **Vendredi 24 Juillet 2026 à 12h34 TU** depuis le sommet du Grand Ballon en Alsace. (Coordonnées précises 47° 53’ 49.5" N, 07° 06’ 13.4" E)



L'envol d'HELIOS 1

4.2 Organisation de la campagne

Ont Participé à la campagne une équipe restreinte, selon les disponibilités de chacun, et leur assiduité aux activités liées au ballon-sonde HELIOS 1.

Trois postes informatiques étaient chargés du suivi du vol :

- PC 1 fixe, de réception des télémesures (et potentiellement logiciel de pointage d'antenne, pas nécessaire sur ce vol car le les vents ont porté la nacelle quasiment en ligne droite, donc l'antenne est restée pointée dans la même direction).

- PC 2 mobile, fourni avec la radiosonde et son logiciel de réception, en panne de batterie (pb d'adaptateur 220V) donc non utilisé, le logiciel a été reporté sur le PC 3.

- PC 3 mobile, avec suivi de position sur Internet du traqueur GPS, ainsi que le logiciel de réception de la radiosonde.

L'équipe de LANCEMENT (TELEMESURE + PREPARATION) est au complet sur l'aire de lancement au Grand Ballon jusqu'au lancement. Puis commence à partir une équipe RECUPERATION qui dispose d'un récepteur de la "balise oiseau" pour s'approcher du point de retombée estimé grâce aux données du traqueur GPS. L'équipe TELEMESURE elle, reste au point de lancement pour recevoir les données des modules GAREF sur son PC 1. Son PC 3 assure la réception du traqueur GPS et de la radiosonde.



Gonflage du ballon

TELEMESURE	PRÉPARATION	RECUPERATION
Axel	Elias	Timothée
Joao	Amaël	Nathanael
Joseph	Nolan	Amaël
Zeinab	Selim	
Bernard	Timothée	
	Jeanne	

Déroulé de la campagne

4.2.1 Journal de bord jour par jour (en heure locale)

Mercredi 22 Juillet 2026

- 8h30 : Départ Peugeot 107
- 10H : Départ Audi + Kangoo : incident de monte-voiture (BS)
- 12h20 : Arrêt Burger King
- 13H50 : Départ TGV à Gare de l'Est
- 16h30 : Arrivée TGV à Colmar
- 17h51 : Arrivée Audi et Kangoo à l'Hôtel Husseren Les Châteaux
- 18h : Arrivée de la 107 à l'Hôtel Husseren Les Châteaux
- 18h30-19h20 : Réunion -> Problème sur Bloc Batterie P3
- 19h27 : Dîner
- 21H20 : Travail en salle de séminaire pour régler le problème batterie
- 22h40 : Extinction des feux

Jeudi 23 Juillet 2026

- 8h : Petit Déjeuner
- 9h00 : Début du travail dans la salle de séminaire
- 9h20 : Réparation du blocs batterie - Fabrication Chaîne de vol
- 10h30 : Départ pour chercher la bouteille d'Hélium
- 11h00 : Récupération Bouteille Hélium
- 11h40 : Retour Hôtel avec Bouteille Hélium
- 12h30 : Achats Sandwichs à Auchan
- 14h40 : Départ vers le Grand Ballon de l'équipe de Récupération
- 15h00 : Tests de la balise oiseau
- 15h30 : Tests nacelle sur Alim externe
- 16h00 : Test du matériel radiosonde (Penser à adaptateur 220V)

Vendredi 24 Juillet 2026

9h00 : Arrivée en salle de séminaire
9h02 : Mesure des Tensions batterie Bloc 1 : 14,38V --- Bloc 3 : 14,25V
9h05 : Chargement des véhicules (Kangoo, Audi)
9h34 : Arrivée en salle de réunion
Prévision Météo altitude 28,9km -> Volume Hélium nécessaire : 7,22 m^3 --- Atterrissage prévu au sud de Mulhouse
9h58 : Départ de l'hôtel
11h11 : Arrivée sur le site de lâcher
11h16 : Visite du site
11h32 - 11h39 : Déballage -- Mise en place de la bâche
12h15 : Groupe Electrogène allumé
Test Sur Batteries avant lancement :
Tension 13,18 V Bloc 1
Tension 13,01 V Bloc 3
12h46 : Début Test sur Alim externe -- ON Télem / ON Elec
Boot OBC 12h48
Panneaux solaires OK
12h54 : Coupure Alim externe -> Test batteries 13,97 V, OK
13h01 : Allumage traqueur GPS

13h26 : Balise Oiseau Allumée
13h34 : Début du gonflage 6206 gr de Contrepoids (fait avec des bouteilles d'eau)
13h54 : Mise Bouchon de vol
13h55 : Test de réception télémesure GAREF
13h57 : Connecteur ombilical (H-J1) débranché
14h05 : Allumage radiosonde
14h08 : Fin du gonflage
14h34 : Lâcher du ballon (14h34 local = 12h34 TU)
15h02 : Départ de l'équipe récupération
16h04 : Ballon éclaté (il est à 24 000m)
16h20 : Perte signal radiosonde
16h30 : Perte signal télemesure
16h34 : Atterrissage ballon
16h53 : Récupération du ballon
20h03 : Arrivée restaurant (Mc DO)
22h00 : Retour à l'hôtel

Samedi 25 Juillet

10h : Lever
11h-13h : Analyse et partage des données reçues et stockées à bord
13h : Restaurant "L'assiette d'Eguisheim"
15h : Retour à l'hôtel
15h30 - 19h : Temps Libre, piscine
20h30 : Dîner à l'hôtel

Dimanche 26 Juillet

9h00 : Départ vers le Musée Mémorial Franco-Allemand HWK
15h00 : Départ du mémorial Hartmannswillerkopf (HWK)
15h40 : Arrivée au Restaurant des Cimes
16h25 : Sortie du Restaurant, visite des tranchées (guerre de 14-18)
17h20 : Retour à l'hôtel
20h00 : Dîner à l'hôtel

Lundi 27 Juillet

9h30 : Début travail salle de séminaire :
copie des données, démontage, rangement, emballage
12h00 : Départ vers Château du Hohlandsbourg
13h : Déjeuner à la brasserie du château
16h : Retour à l'hôtel
20h : Diner à l'hôtel

Mardi 28 Juillet

9h15 : Départ en Train de 2 personnes
9h-10h30 : Chargement des voitures
10h45 : Départ de l'hôtel des 3 voitures
12h30 : Pause Burger King
18h30 : Arrivée au GAREF

5. DEPOUILLEMENT ET RESULTATS OBTENUS

5.1 Points notables

Toutes les mesures sont synchronisées par une datation à l'aide du module *timecode*, (synchronisé au temps TU juste avant le lâcher par un générateur IRIG-B). De plus, les positions GPS sont datées avec une heure TU synchronisée par satellite.

Lâcher	Latitude : 47° 53’ 49.5" N Longitude : 07° 06’ 13.4" E Altitude GPS : 1280 m	Vendredi 24 Juillet 2026 **12 h 34 min 00 s TU (H0)**
Culmination	Latitude : 47° 40' 42.9" N Longitude : 07° 27' 50.0" E Altitude GPS : 24 459 m	14 h 01 m 25 s TU (H0+5245s)
Atterrissage	Latitude : 47° 36’ 36.3" N Longitude : 07° 36’ 05.8" E Altitude GPS : 260 m	14 h 31 m 04 s TU (H0+7024s)

5.2 Télémesure en bande S

La télémesure a très correctement fonctionné pendant une bonne partie du vol, les données ont pu être reçues sur la quasi-totalité du vol. La liaison a cependant été rompue à la toute fin du vol lorsque la visibilité radio avec le ballon a été perdue, alors que celui-ci était sur le point de se poser.

L'émetteur en 2235 MHz, est modulé en FM par un signal PCM 1Mbit/sec. La bande passante occupée par les données est en moyenne de 12.6% sur le PCM à 1Mbit/s, le reste étant des trames de remplissage sans données utiles.

Points notables tirés de cette télémesure :

- Allumage 11:54:00 H0-2400
- Décollage 12:34:00 H0
- Culmination 14:01:22 H0+5242 déterminée d'après l'inflexion de la courbe de température
- Atterrissage 14:31:04 H0+7024

L'analyse détaillée des données reçues et stockées à bord montre que l'OBC s'est coupé à l'atterrissage, sans doute à cause du choc. L'OBC et le module timecode ont ensuite redémarré (L'OBC mettant 4mn25s à redémarrer, à cause du temps des traitements de récupération du système de fichiers suite à une coupure brutale) et ont re-fonctionné pendant 26mn09s jusqu'à 14:57:12 TU (H0+8592s) (retrait du bouchon de vol), au sol, avec une heure timecode repartie à 0 lors du boot.

On ignore si l'émetteur était actif pendant ce temps, mais la batterie émetteur était très faible.

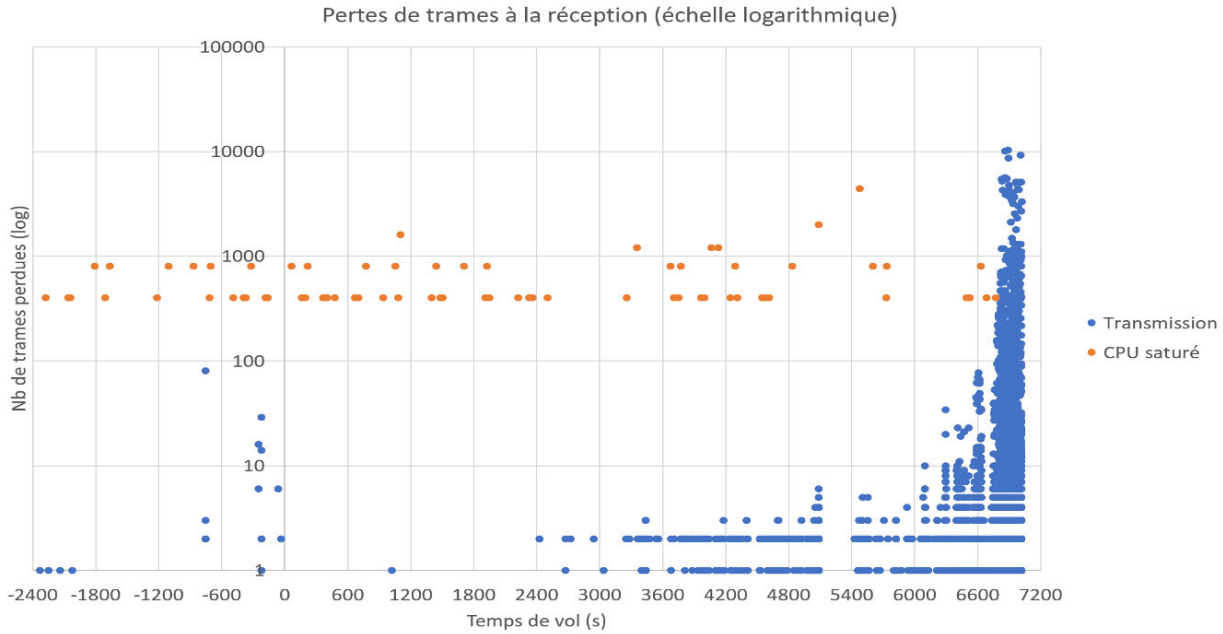
5.2.1 Analyse des pertes de télémesure

530 457 trames ont été perdues à cause d'une coupure du programme de réception, suite à un souci d'alimentation du groupe électrogène, entre 13:58:43TU (H0+5083) et 14:04:14TU (H0+5414).

Sur toute la durée de réception, on a eu 355 350 trames perdues sur 15 millions de trames transmises au total (hors la coupure du programme précédemment mentionnée).

Parmi ces pertes, on observe un problème récurrent : sur tout le vol, aléatoirement mais assez souvent, on a des blocs de 400 trames non reçus (ou un multiple : 800,1200...) +1 trame coupée en deux. Cette taille précise nous indique que la cause vient de la perte d'un ou plusieurs buffers tournants de transmission de la carte d'acquisition du PC de réception, on suppose que la CPU du PC était saturé. **D'autres tests sont à effectuer pour confirmer ce comportement et le corriger sur les missions futures**. (74 occurrences de ce problème, entrainant 46874 trames perdues)

Les vraies pertes de transmission (voir ci-dessous) se résument à quelques centaines de trames perdues, jusqu'à la toute fin du vol vers 14:23:20TU (H0+6560) quand la nacelle était vers 4000m et quand on perd la visibilité directe (on a une colline sur le chemin) : on a de fortes pertes à partir de ce moment.



5.3 Module vidéo

Le module vidéo a fonctionné de façon nominale tout au long du vol. Chacune des deux caméras embarquées alternait en boucle entre des phases de 10 minutes de vidéo 1920x1080pixels 30images/sec, suivies de 3 images HD (4608 x 2592). Cela a permis, après extraction des images, de reconstituer le vol complet en vidéo sur chacun des deux points de vue. Les métadonnées des images et des vidéos contiennent les horodatages précises permettant de reconstituer à postériori les événements importants.

Pour rappel, les deux caméras disposent d'objectifs grand angle, déformant fortement l'image : la courbure visible de l'horizon vient de l'objectif, la courbure réelle de la Terre étant encore assez légère à cette altitude de quelques dizaines de kilomètres. On voit cependant très bien le dégradé du bleu vers le noir de l'atmosphère, montrant que la nacelle est déjà au-dessus de la grande majorité de l'air entourant la planète.



Photo prise par la caméra accrochée à la nacelle principale, vers 17km d'altitude



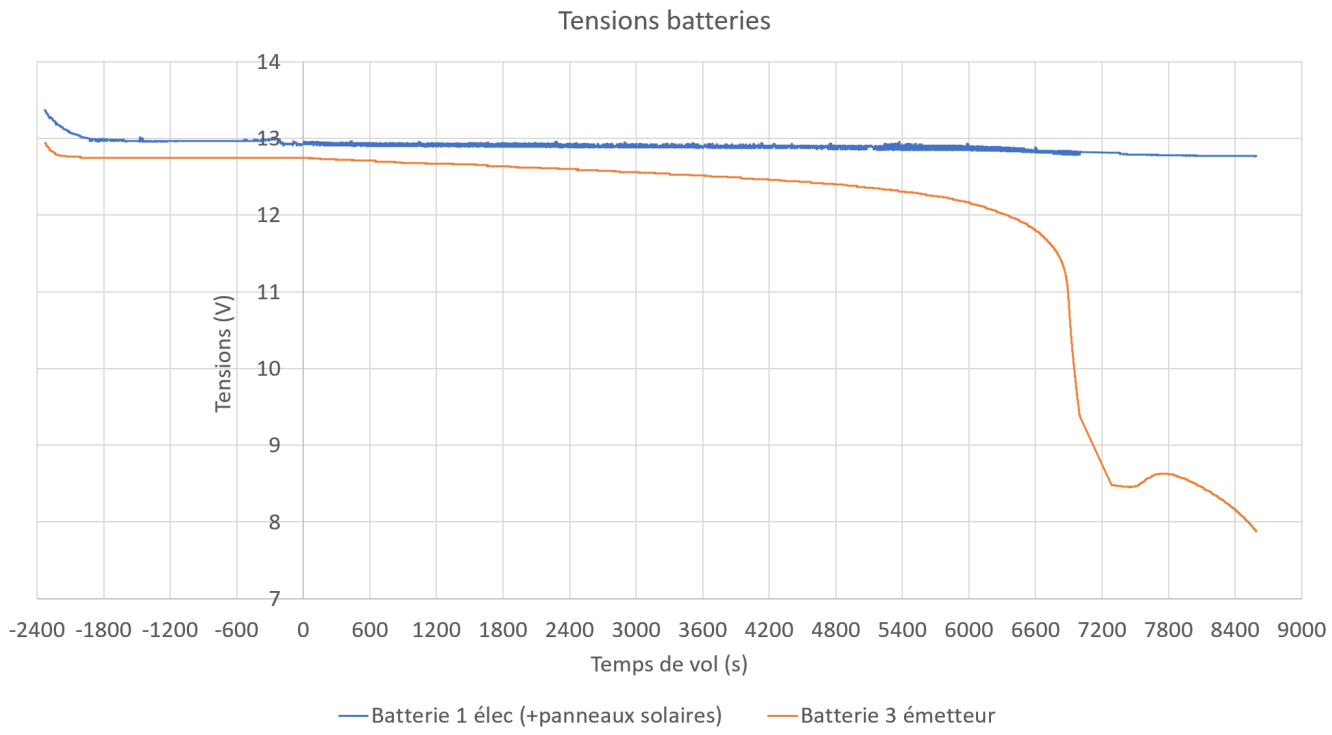
Photo prise par la caméra de la nacelle caméra, vers 18km d'altitude

5.4 Mesures de tension des batteries

35 185 points de mesures ont été reçus sur 37 325 envoyés au total (42 538 en comptant le rallumage après atterrissage, non émis), à un rythme de 4Hz. Ces points étaient répétés 25 fois pour être robuste aux pertes de transmission.

On observe que la tension de la batterie 3 (émetteur) se met à descendre de façon visible seulement à partir de l'instant du décollage (qui ne devrait pas avoir d'effet direct). La durée totale de la batterie (environ 2h30mn/9000s) est aussi **en-dessous de la durée prévue**, même si elle a suffi pour ce vol précis.

La tension de la batterie 1 (électronique) montre des fluctuations pendant tout le vol, indiquant la charge provenant des panneaux solaires. Ces panneaux ont permis de maintenir la charge sur la batterie 1, nettement mieux que sur le bloc émetteur (batterie 3) sans panneaux. La mesure ne permet cependant pas d'estimer la charge effectivement apportée par les panneaux solaires sur toute la durée du vol (prévoir une mesure de courant pour une prochaine expérience).

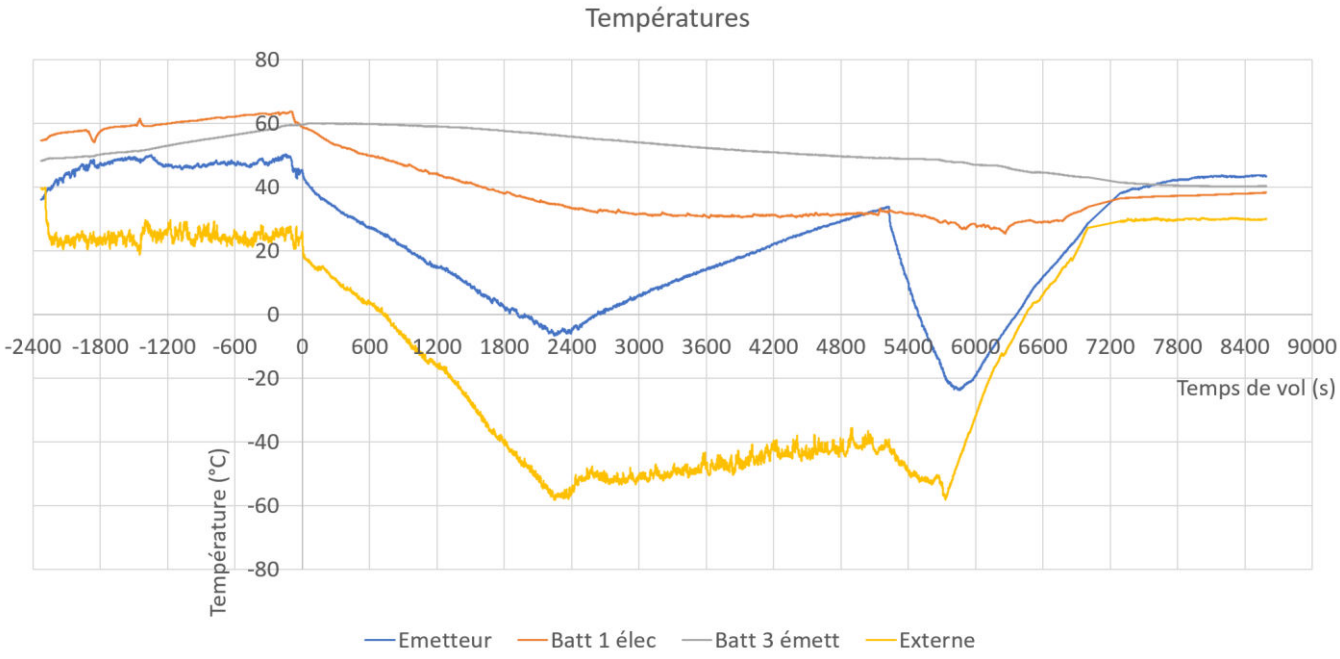


5.5 Mesures de température

35 185 points de mesures ont été reçus sur 37 325 envoyés au total (42 538 en comptant le rallumage après atterrissage, non émis), à un rythme de 4Hz. Ces points étaient répétés 25 fois pour être robuste aux pertes de transmission.

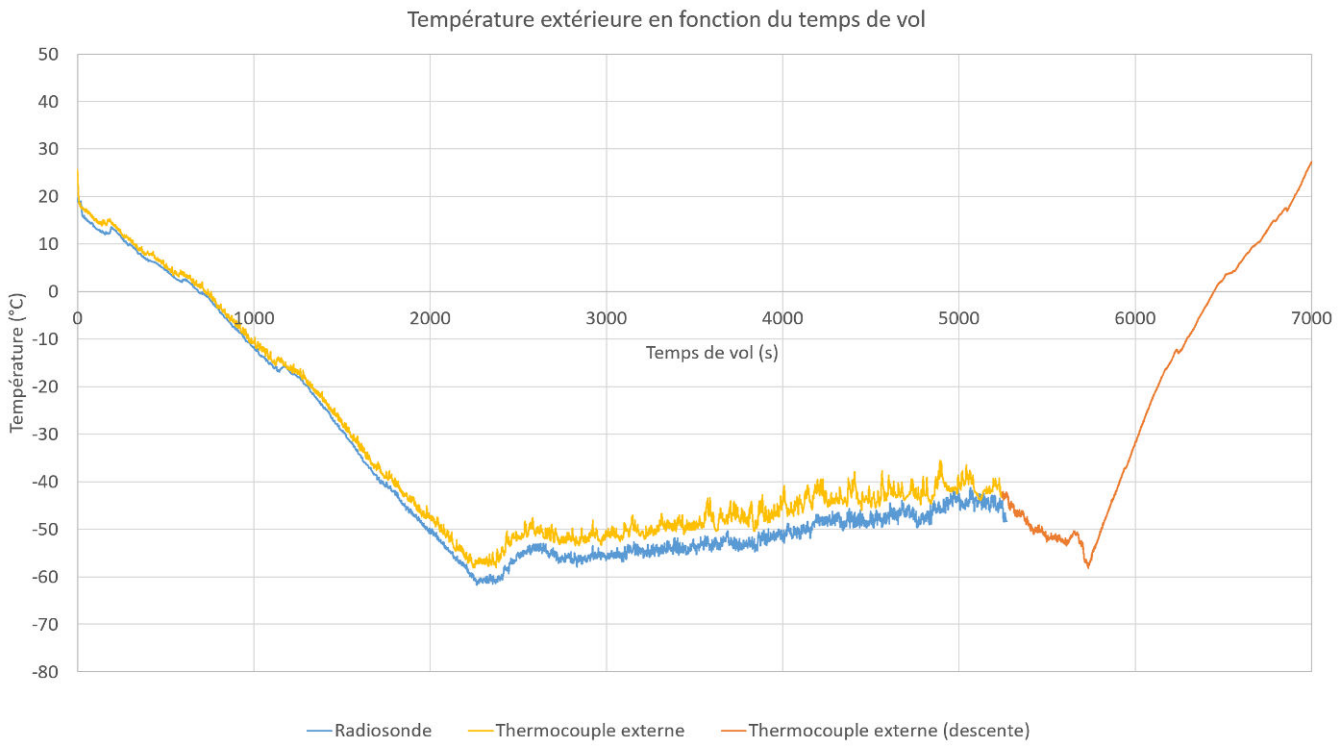
Dès l'allumage de l'électronique de la nacelle, les données de température ont pu être acquises : à partir de H0-2400 secondes jusqu'à H0+8592 secondes.

On voit ci-dessous les graphiques présentant l'évolution de la température en différents points de la nacelle **:** Emetteur, Batterie 1(élec), Batterie 3(émetteur), Extérieur nacelle.

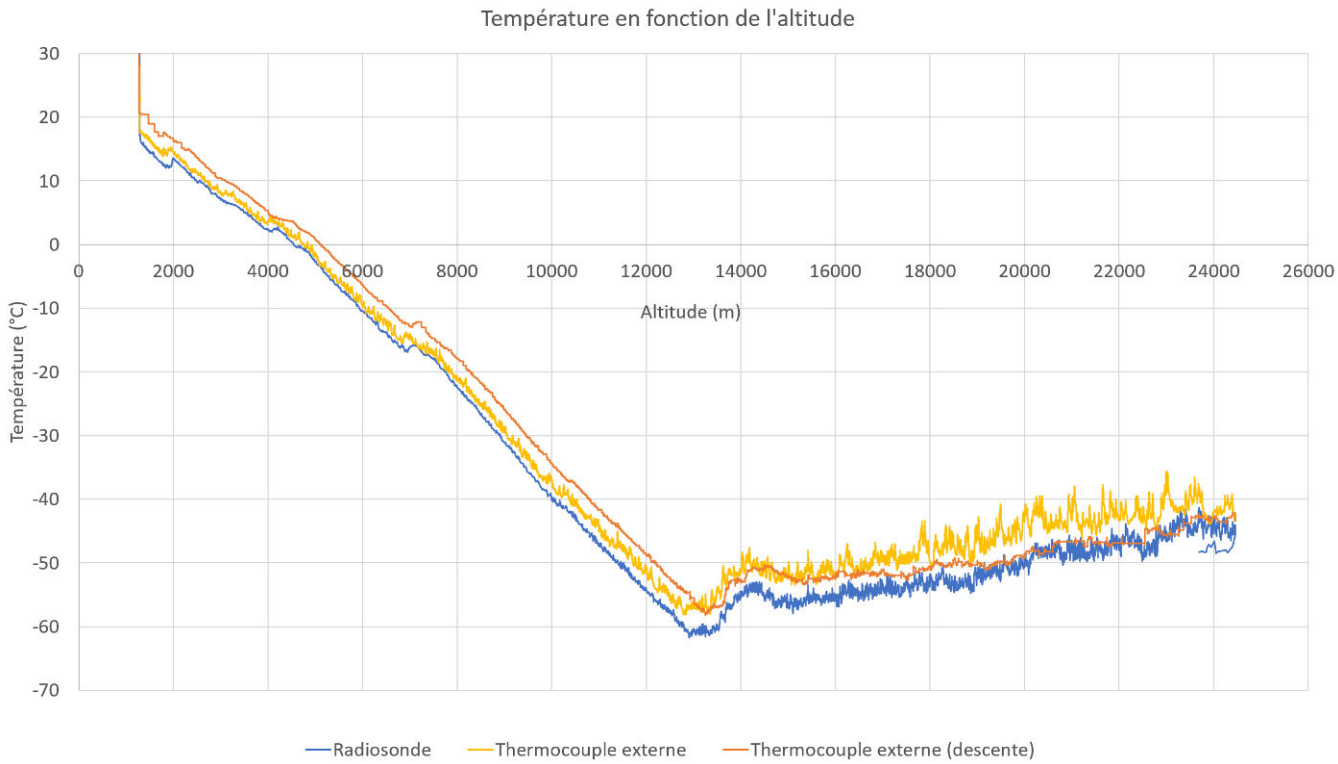


La plaque de dissipation a bien rempli son rôle, la température émetteur restant sous 40°C. Il faut cependant noter que le thermocouple était placé sur la plaque de dissipation elle-même, côté extérieur, et donc que l'émetteur placé de l'autre côté de la plaque était à une température légèrement supérieure.

On observe une évolution assez différente entre la température de la batterie 1 (élec) et de la batterie 3 (émetteur). La batterie 1 (élec) semblant suivre la température externe alors que la batterie 3 (émetteur) est nettement plus amortie. On soupçonne que lors des manipulations de la nacelle le thermocouple de la batterie 1 (élec) est sorti de son emplacement, et donc prend plutôt la température de l'air interne, affecté par l'air externe par de petites ouvertures présentes dans la nacelle.



La température externe respecte bien le modèle standard d'atmosphère, avec une descente linéaire de -6.5°C/km à partir du décollage, jusqu'à la tropopause vers 13 000m, puis une stabilisation à +1.3°C/km

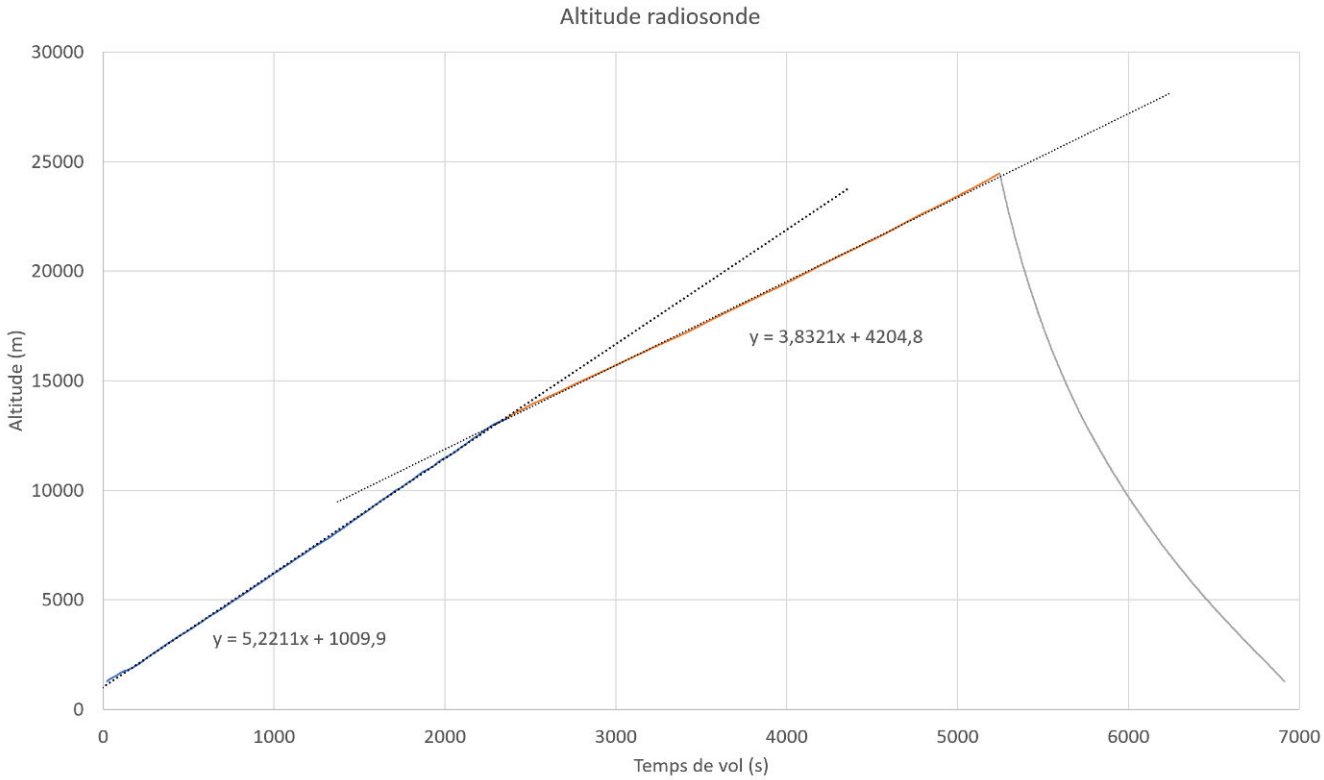


5.6 Radiosonde

6 228 points de mesures ont été reçus pendant le vol (un point par seconde).

Points notables tirés de cette télémesure :

- Allumage électronique 12:21:19 H0-761s 1290m
- Décollage ballon 12:34:21 H0+21s 1290m
- Inflexion 13:13:31 H0+2371s 13338m
- Culmination 14:01:25 H0+5245s 24459m
- Dernier point 14:29:14 H0+6914s 1280m



On observe une vitesse de montée qui passe de 5.2m/s à 3.8m/s autour d'un point d'inflexion de façon très nette (qui correspond à l'altitude de la tropopause à cet endroit, en accord avec les valeurs de température et d'humidité mesurées par la radiosonde). L'altitude radiosonde est calculée d'après la pression, et l'inflexion est aussi visible sur le traqueur GPS, ce n'est donc pas une erreur de mesure. **Cette inflexion de vitesse à la tropopause avait déjà observée au GAREF sur l'expérience HORUS11**, où on était passé de 6m/s à 4m/s à 10 000m, ce qui nous avait déjà étonné à l'époque. Elle est aussi légèrement visible sur l'expérience HORUS12, mais très faible.

Des recherches sur Internet montrent que cet effet a déjà été vu sur d'autres ballons-sondes mais sans explication claire, certains supposant des vents ayant une composante verticale : mais la vitesse restant constante après l'inflexion, cette explication n'est pas satisfaisante. Cela pourrait correspondre à la masse volumique de l'air qui diminue plus vite que prévu dans le modèle standard, dans certaines conditions météo ? **Des recherches supplémentaires sont à mener sur ce point** : comparaison des données des autres ballons HORUS, questions à poser auprès de météorologues…

Les données de pression et de température fournies par la radiosonde ne sont plus valides suite à culmination (températures aberrantes à -150°C, pressions qui augmentent jusqu'à 15 bar), car la sonde n'est pas prévue pour (son but est de faire un radiosondage au cours de la montée). De plus **elle cesse de fournir sa position GPS lorsqu'elle descend en dessous de son altitude de décollage**, ici 110s avant l'atterrissage, donc elle ne nous a pas donné le point précis de retombée.

Les mesures de température fournies par la radiosonde, et par les thermocouples lues par le module température, sont très proches (écart <5°), avec un étalonnage légèrement différent (voir chapitre 5.5).

5.7 Traqueur GPS

229 points GPS ont été reçus pendant le vol (point toutes les 30s).

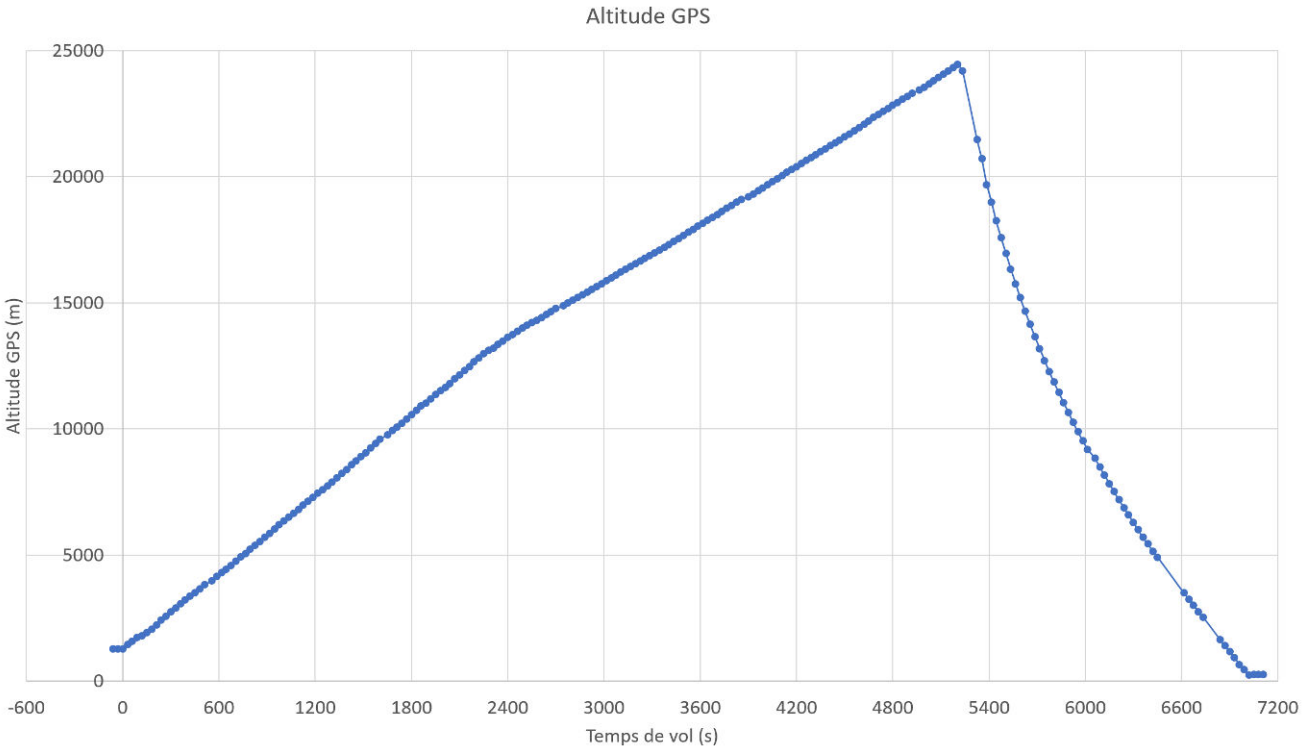
Points notables tirés de cette télémesure :

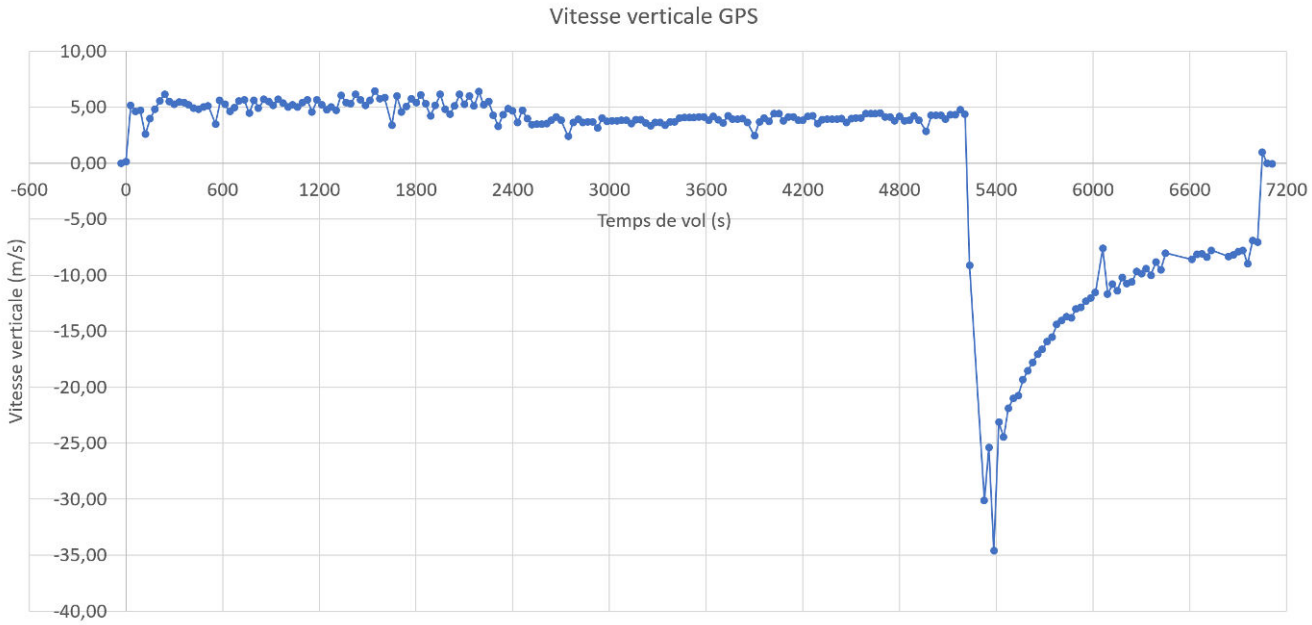
- Allumage 11:04:00 H0-5400s altitude: 1280m
- Décollage 12:34:00 H0 1280m
- Culmination 14:00:45 H0+5205s 24 464m
- Atterrissage 14:31:00 H0+7020s 260m
- Récupération 15:16:45 H0+9765s 260m (arrivée sur le site de récupération à 14:53, mais récupération physique à 15:16 récupération dans l'arbre)

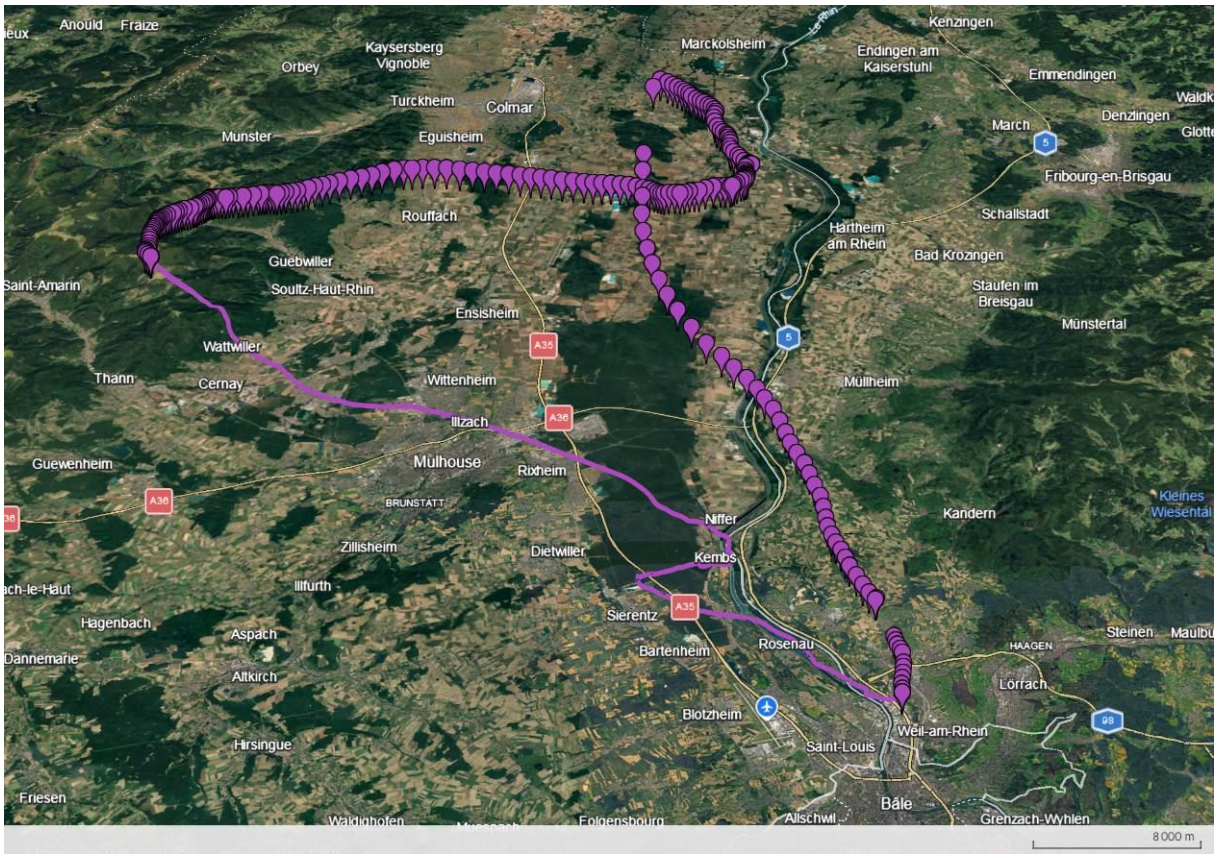
La distance horizontale totale parcourue a été de 61.2km (50.0km en ligne droite)

Le traqueur GPS Garmin, communiquant par la constellation de satellites Iridium, a déjà pu être utilisé au cours d'expériences précédentes. Malgré un dysfonctionnement sur HORUS 11, ce module GPS a parfaitement fonctionné pour HELIOS 1. (tout comme sur HORUS 12)

Ce module envoie sa position GPS dans les 3 dimensions toutes les 30 secondes, et ces positions peuvent être lues et tracées sur une carte via un site web dédié. Ce module a l'avantage de disposer d'une très longue autonomie, et de ne pas nécessiter de système de réception dédié. Il nous a permis d'avoir la position exacte de retombée et donc de retrouver la nacelle immédiatement.


Altitude GPS
Altitude GPS (m)
25000
20000
15000
10000
5000
0
-600
0
600
1200
1800
2400
3000
3600
4200
4800
5400
6000
6600
7200
Temps de vol (s)


Vitesse verticale GPS
Vitesse verticale (m/s)
10,00
5,00
0,00
-5,00
-10,00
-15,00
-20,00
-25,00
-30,00
-35,00
-40,00
-600
0
600
1200
1800
2400
3000
3600
4200
4800
5400
6000
6600
7200
Temps de vol (s)



Représentation en 3D du vol sur Google Earth

Par rapport à la prévision de trajectoire effectué la veille (cf chap. 3.4.4), nous avons suivi un trajet très similaire, à la différence près que le net ralentissement de la vitesse verticale au passage de la tropopause (vers 13 000m) a allongé la distance parcourue, et l'éclatement un peu plus tôt que prévu a raccourci le tronçon de trajectoire vers l'ouest.

Ces deux effets combinés nous ont fait atterrir environ 10km au Sud-Est de notre prévision, nettement plus près de la frontière Allemande que ce que nous avions envisagé.



Récupération de la nacelle dans un arbre

5.8 Balise oiseau

Lors de la récupération de la nacelle nous avons pu vérifier que la balise oiseau était bien fonctionnelle, et aurait pu permettre de localiser plus précisément la nacelle si nous n'avions pas eu sa position précise de retombée. En l'occurrence, nous savions déjà sa position GPS à quelques mètres près, donc elle n'a pas été exploitée.

6. RETOUR D'EXPÉRIENCE

6.1 Points à travailler

Travailler sur la durée de vie des batteries.

Revoir la conception du module électronique "Batteries" pour éviter une décharge permanente.

Réfléchir à un moyen de mesurer plus précisément la charge fournie par les panneaux solaires.

Corriger les pertes de buffers tournants de la carte d'acquisition du PC réception.

Faire des recherches sur le point d'inflexion de la vitesse de montée.

Voir utilité/réutilisation de la radiosonde pour éviter de louer la station de réception, 2000 E/semaine ! (Le traqueur GPS peut suffire ou un deuxième)

Récupération : Prévoir ciseaux et procédure concernant le bouchon du vol.

6.2 Perspectives

L'expérience principale utilisant des batteries (LiFePO4) avec panneaux solaires a prouvé sa validité et sera réutilisée sur des projets futurs (satellites ou ballons-sondes)

Les systèmes de suivi et localisation de positions sont validés, ayant prouvé qu'ils sont maitrisés.

Le nouveau module vidéo a fourni de très belles vidéos qui gagneraient à être transmises en temps réel.