



HORUS 12

RAPPORT D'EXPERIENCE

GD-2522-A-002

Révision 1.7

10 décembre 2025

Rédigé par : Joseph RZEPKA, Axel CHOVET, Elias
ALAOUI

Approuvé par : AC

SOMMAIRE

0.	ÉVOLUTION DU DOCUMENT	5
1.	GLOSSAIRE	6
2.	INTRODUCTION	7
2.1	Rappel des précédentes expériences GAREF et mise en contexte.....	7
2.2	Objectifs	7
2.3	Description générale	8
2.3.1	Classification.....	8
2.3.2	Chaîne de vol.....	9
2.3.3	Bilan de masse	9
2.3.4	Bilan de consommation et autonomie	10
2.3.5	Bilan de liaison et portée de la télémessure.....	10
3.	EXPÉRIENCES EMBARQUÉES	12
3.1	Synoptique et présentation de la nacelle	12
3.2	Modules embarqués.....	12
3.2.1	OBC	12
3.2.2	TimeCode	13
3.2.3	Blocs Piles	14
3.2.4	Emetteur	15
3.2.5	Antenne.....	15
3.2.6	Module Vidéo.....	16
3.2.7	Module mesure de pression	16
3.2.8	Module de mesure de température	18

3.3	Mécanique de la nacelle	18
3.3.1	Conception mécanique de la nacelle.....	18
3.3.2	Étude de la dissipation thermique	19
3.4	Radiosondes et systèmes de récupération.....	20
3.4.1	GPS GARMIN.....	20
3.4.2	Radiosonde METEOMODEM	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 envisagés	23
4.2	Organisation de la campagne	23
	Déroulé de la campagne	24
4.2.1	Journal de bord jour par jour	24
5.	DEPOUILLEMENT ET RESULTATS OBTENUS	27
5.1	Points notables.....	27
5.2	Télémesure en bande S.....	27
5.3	Module vidéo.....	28
5.4	Mesures de pression.....	28
5.5	Mesures de température	29
5.6	GPS Garmin.....	31
5.7	Balise oiseau.....	32
6.	POUR RETOUR EXPÉRIENCE	33
6.1	Problèmes rencontrés	33

6.1.1	Perte du contact radio avec la radiosonde METEOMODEM33
6.1.2	Défaillance critique du groupe électrogène et de l'onduleur de la baie
TELEM	33

0. ÉVOLUTION DU DOCUMENT

Version 1.0 :	26 Juillet 2025	Création du document
Version 1.1 :	10 Août 2025	Rédaction des principaux paragraphes
Version 1.2 :	30 Août 2025	Ajout de paragraphes
Version 1.3 :	29 Septembre 2025	Ajouts d'éléments sur l'exploitation des données
Version 1.4	8 octobre 2025	BS relecture
Version 1.5	18 octobre 2025	EA+AC compléments analyses résultats
Version 1.6	15 novembre 2025	NR partie vidéo
Version 1.7	10 décembre 2025	AC finalisation pour diffusion

1. GLOSSAIRE

OBC :: On Board Computer (Calculateur de Bord)

TU :Temps Universel (UTC : Coordinated Universal Time)

2. INTRODUCTION

2.1 Rappel des précédentes expériences GAREF et mise en contexte

Les ballons HORUS sont une série de ballons atmosphériques non habités légers développés par le GAREF PARIS dont le principal objectif est la prise de vue et la transmission de photos numériques. La 1^{ère} itération du projet, HORUS 1, a volé le 1^{er} Août 2002.

HORUS 12 est un ballon atmosphérique conçu par le GAREF PARIS à partir de Mai 2025. Prenant place aux côtés des projets ZENITH (Fusée) et THALASSAT (Satellite), le but d'HORUS 12 est d'être une plateforme de test des nouveaux modules électroniques développés pour les 2 projets mentionnés ci-dessus.

2.2 Objectifs

Expériences technologiques

- Test en conditions réelles d'un nouveau module vidéo
- Test d'un système de télémesure GAREF permettant l'envoi d'un débit de données plus élevé (5 Mbits/s) en bande S (avec une OBW de 12 MHz)
- Test de la radiosonde METEOMODEM M20

Expériences scientifiques

- Acquisition et retransmission de la température de la nacelle et de la pression au cours du vol
- Suivi de la position GPS de la nacelle via un GPS Garmin

Horus 12 est un ballon léger embarquant l'électronique permettant de retransmettre sur Terre des images du vol en temps réel et de stocker à bord des images. Il sert également à tester un système de télémesure ayant un débit de 5 Mbit/s avec codage PCM/FM conforme à IRIG 106

Compte tenu du matériel qu'il contient, la récupération de la nacelle du ballon est primordiale. À cet effet, deux systèmes GPS indépendants sont embarqués afin de suivre la position du ballon durant son vol.

2.3 Description générale

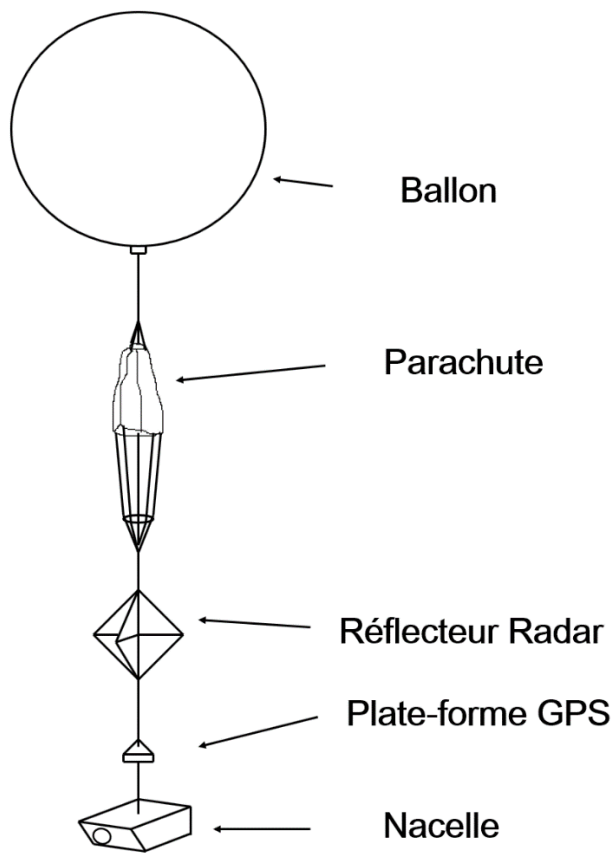
2.3.1 Classification

Le ballon Horus 12 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 » 10^e 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 présente une masse surfacique de plus de 13g.cm⁻²) et avec une liaison ballon-charge utile cassant ou 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). HORUS 12 n'est pas prévu pour être exploité en dehors du territoire français (régions terrestres et eaux territoriales adjacentes).

2.3.2 Chaîne de vol



2.3.3 Bilan de masse

- Ballon (de type HWOYEE 1 200) : 1200g
- Parachute : 35g
- Anneaux et suspentes diverses : 28g
- Réflecteur radar : 145g
- Radiosonde GPS (avec antenne et câble de 4,80m) : 150g
- **Nacelle : 2450g**
 - Mécanique nacelle : 550g
 - Bloc de piles : 880g (x2)
 - Plaque de dissipation thermique : 400g (environ)
 - OBC : 210g
 - Module timecode : 80g
 - Module pression : 62g
 - Module température : 50g
 - Modules vidéo : 75g (x2)

2.3.4 Bilan de consommation et autonomie

BILAN CONSOMMATION HORUS 12 GD2522A501-1.0

BILAN DE CONSOMMATION ELECTRONIQUE DE VOL	
Designation	Consommation (W)
OBC (Calculateur de Bord)	5
Timecode	1
Module Prise de photo 1	3,5
Module Prise de photo 2	3,5
Pression	3
GNSS	1
Module Tim 4G	5
Phidgets	3
Total Conso electronique de vol :	25

BILAN DE PUISSANCE BLOC PILES ELEC	
Designation	Consommation (Wh)
Bloc Piles ELEC (28V x 3Ah)	84
Bloc Piles TELEM (Partiel) (14V x 3Ah)	42
Autonomie ELEC Estimée (en heures) :	5,04

BILAN DE CONSOMMATION TELEM DE VOL	
Designation	Consommation (W)
Emetteur TELEM 2235MHz +33 dBm	15
Total Conso electronique de vol :	15

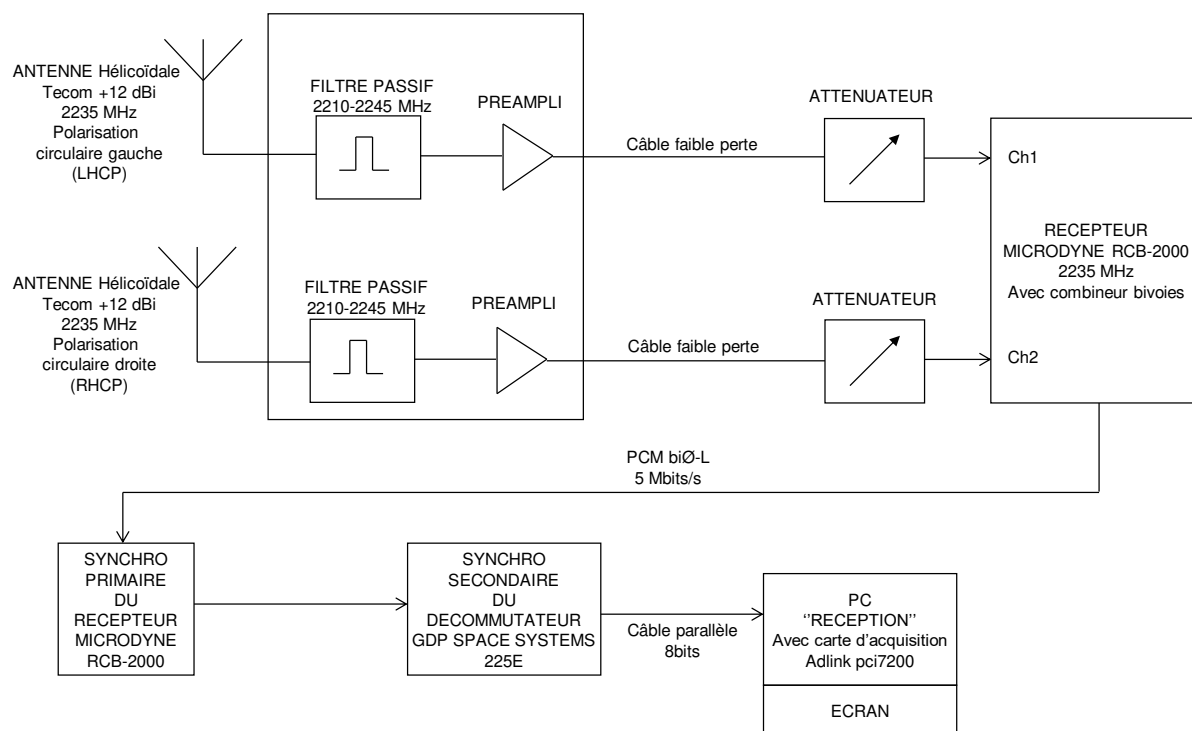
BILAN DE PUISSANCE BLOC PILES ELEC	
Designation	Consommation (Wh)
Bloc Piles TELEM (Partiel) (14V x 3Ah)	42
Autonomie TELEM Estimée (en heures) :	2,80

2.3.5 Bilan de liaison et portée de la télémesure

2.3.5.1 Station de réception en bande S GAREF

La fréquence d'émission de l'émetteur est de 2 235 MHz, au format PCM Biphase-L, pour une puissance de 33 dBm et une bande passante de 12 MHz (débit de données de 5Mbit/s). Nous avons donc, en vue directe, une portée de seulement 60 kilomètres pour avoir un rapport signal sur bruit supérieur à 12 dB, nécessaire en FM. Hélas, **nous avons oublié de retirer le scotch teflon de protection déposé sur toute la surface de l'antenne**, nous faisant perdre sans doute près de 10dB !

La station de réception se compose de deux antennes hélicoïdales, une LHCP (polarisation circulaire gauche) et une RHCP (polarisation circulaire droite).



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.

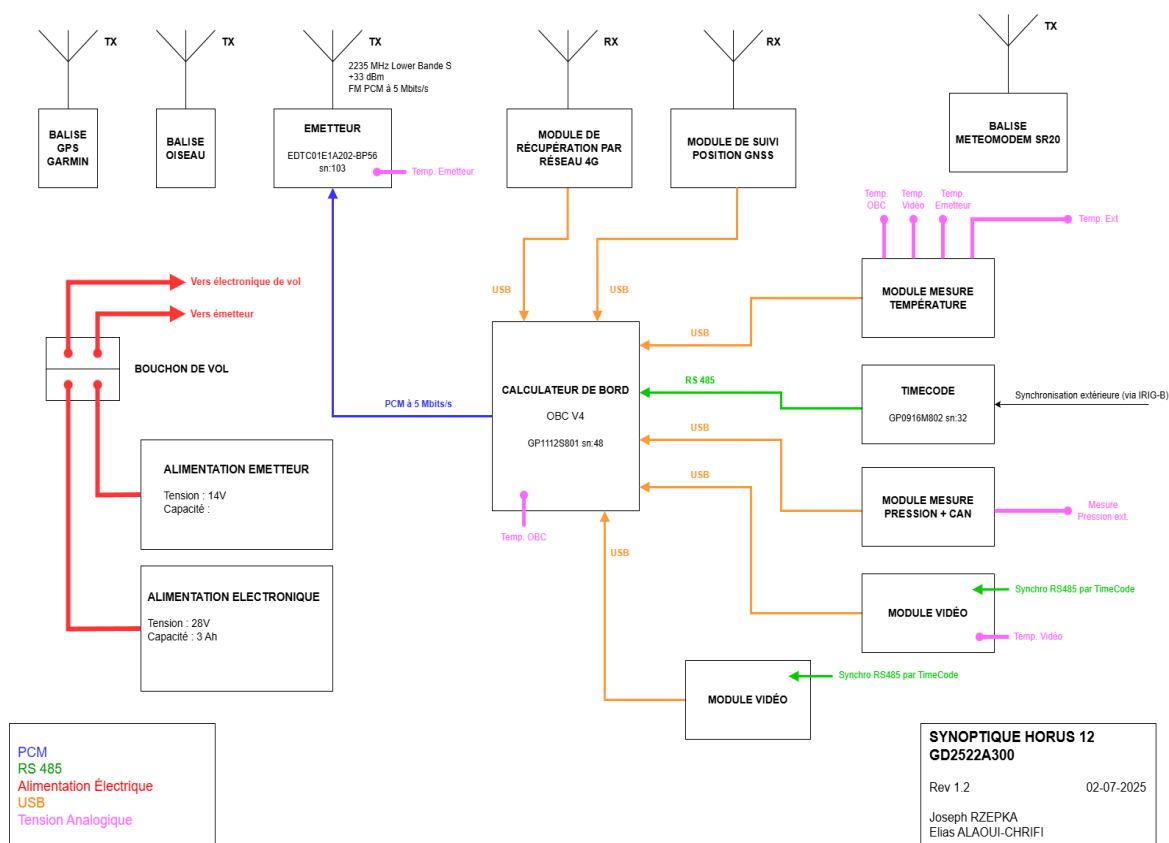
2.3.5.2 Station de réception de la radiosonde

L'émetteur de la radiosonde a une puissance de 200 mW, c'est-à-dire de +23 dBm, à une fréquence de 401,4 MHz et pour une bande passante de 5 kHz. À une distance de 350 kilomètres on obtient un rapport signal sur bruit de 24 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.

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, et 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 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.

Tous les modules USB sont en esclave, alors que l'ordinateur de bord assure le rôle de maître.

Le flux vidéo venant du module vidéo par USB est découpé en trames pour être envoyé. Les mesures de pression et de température sont demandées par l'OBC aux modules concernés toutes les secondes d'après l'heure timecode, puis elles sont mises dans une trame avec cette heure pour être transmise au sol.

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électriques
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 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 de comparer ces mesures et ces événements entre eux avec les équipements au sol.

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 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 Piles

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).

La case électronique et la case télémesure (émetteur) n'ayant pas besoin de la même tension, elles sont alimentées par un bloc de piles chacun.

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

Il faut ne pas dépasser la tension maximale prévue pour des ballons de type léger, fixée à 24 V, 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 a déjà qualifié des piles dont il dispose les courbes de décharge pour ce type d'application.

Caractéristiques des piles utilisées

Type	Diamètre	Longueur	Masse	Tension nominale	Tension à vide
AA	14 mm	50 mm	14,3 g	1,5 V	1,7 V

Caractéristiques des deux blocs de piles

	Nombre de piles	Tension	Masse totale	Dimensions
Bloc piles télémesure	9	13,5 V	~135 g	à définir
Bloc piles électronique	12	18 V	~180 g	à définir

3.2.4 Emetteur

Caractéristiques de l'émetteur de télémessure

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	Puissance d'émission : +33 dBm nominal (2,0 W)
		Impédance d'entrée : 75 Ohm, 35 pF Impédance de sortie : 50 Ohm

3.2.5 Antenne

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

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électromagnétiques
Masse : 110 g	Fréquence d'émission : 2 100 à 2 300 MHz

Dimensions :	Gain : 8 dBi
95 x 107,8 x 32 mm	Impédance : 50 Ohm

3.2.6 Module Vidéo

La fonction du module vidéo est de retransmettre une vidéo du vol en temps réel, en utilisant 3 Mbits/s sur les 5 Mbits/s disponibles, et ce, durant toute la durée de la montée du ballon.

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électriques	Caractéristiques vidéo
Masse : 80g	Alimentation : 9-36 V	Résolution capteur : 12Mpx Sony IMX708
Dimensions : 60 x 60 x 20 mm	Consommation : 3 W	Mode : 1080p30

3.2.7 Module mesure de pression

La fonction de ce module est d'acquérir en temps réel et tout au long du vol des mesures de pression et de transmettre ces données jusqu'au sol via l'OBC et la télémesure.

Les données recueillies, comparées au modèle standard de l'atmosphère, permettront, entre autres, de déterminer par calcul l'altitude du ballon.

Ce module est composé d'un capteur de température et d'un capteur de pression asservi en température.

Le capteur de pression utilisé est le MPX2100AP.

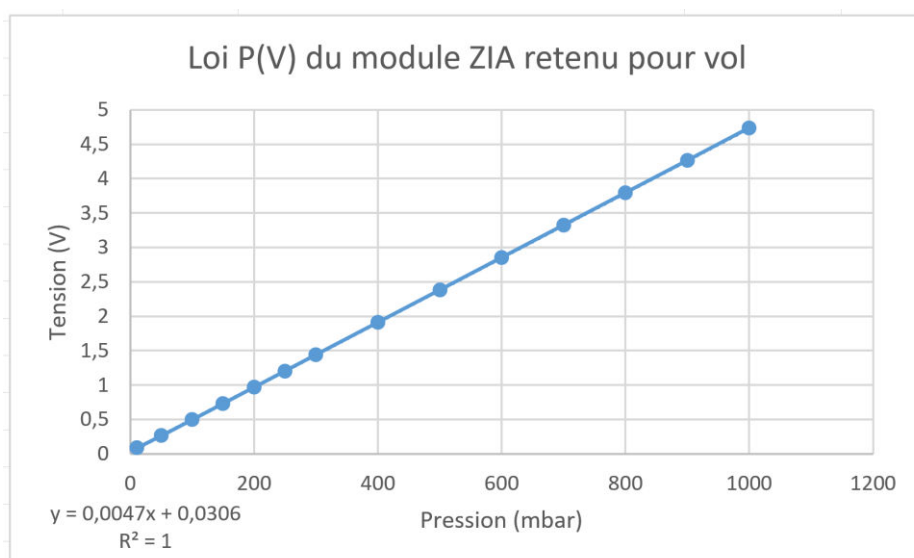
Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électriques
Masse : 62 g	Alimentation : 9-36 V
Dimensions : 100 x 105 mm	Consommation : 200 mA

3.2.7.1 Etalonnage du module Pression

Pour associer une tension lue par l'OBC à une mesure de pression captée lors du vol, nous avons étalonné 2 modules pression dans une cloche à vide.

Nous mesurons à des pressions définies la tension en sortie du module et on détermine la loi P(V). C'est-à-dire la pression mesurée en fonction de la tension en sortie du module.

2 Modules ont été fabriqués, identifiés TAO et ZIA, nous avons retenu ZIA pour le vol.



Pression (mBar)	Tension (V)
Ambiant	4,79
1000	4,737
900	4,264
800	3,795
700	3,325
600	2,854
500	2,383
400	1,913
300	1,443
250	1,206
200	0,97
150	0,733
100	0,498
50	0,265
11	0,09

Nous avons dû ajouter un pont diviseur sur les modules TAO et ZIA pour rehausser la tension en sortie afin de rester dans l'intervalle de tension [0 ; 5] V qui est plus adapté à la lecture par l'OBC.

3.2.8 Module de mesure de température

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 (OBC, émetteur télémessure, module vidéo et extérieur du ballon) et de transmettre ces données jusqu'au sol via l'OBC et la télémessure.

Pour cela, une carte 1048 de la marque PHIDGETS est utilisé.

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

3.3 Mécanique de la nacelle

3.3.1 Conception 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 rappel, la masse totale de la nacelle (à l'exclusion du ballon, du parachute, des ficelles et du réflecteur radar) doit être inférieure à 2,5 kg tout en ayant une masse surfacique inférieure à 13 g/cm².

Il est souhaitable que la nacelle soit bien équilibrée afin que l'ensemble, nacelle et électronique, puisse supporter des contraintes environnementales. Il n'est pas rare que l'ensemble soit soumis à des mouvements brutaux et à des vitesses élevées : vitesse des vents et vitesse verticale (en montée 20 km/h environ, en descente moyenne 50 km/h, mais 180 km/h en très haute altitude).

Pour des raisons d'humidité ambiante et de masse totale, il faut utiliser un matériau imperméable peu dense et le plus résistant possible. Le choix se porte en général sur du styrodur, un type de polystyrène extrudé, qui est rigide mais cassant, ou du carton plume, une mousse plastique souple entre deux feuilles de carton rigide, qui est plus léger mais moins résistant (700g.m⁻² pour une épaisseur de 5 mm).

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

La nacelle sera équipée d'une étiquette GAREF normalisée et de deux plaques noires destinées à assurer le refroidissement de l'émetteur par rayonnement du corps noir, en l'absence d'atmosphère.

3.3.2 Étude de la dissipation thermique

Dans l'environnement de la haute atmosphère, l'absence d'air ne permet pas le refroidissement efficace des modules s'échauffant beaucoup. Nous avons donc employé des plaques de dissipation servant à faire office de réservoir thermique et à expulser cette chaleur par rayonnement.

Dans le but de dissiper les 13 watts de perte thermique générée par l'électronique GAREF, nous avons conçu 2 plaques en aluminium 6061 T6. Ce matériau a été choisi du fait de sa faible densité ($\sim 2700 \text{ g.m}^{-3}$) et de son émissivité reportée élevée, comprise entre 0,82 et 0,88.

Pour calculer la surface minimale nécessaire de cette plaque, nous utilisons la loi de Stefan-Boltzmann, selon laquelle :

$$P = S \times \varepsilon \times \sigma \times T^4$$

Avec :

- S : la surface en m^2
- ε : l'émissivité du matériau (0,82 ~0,88 pour l'aluminium)
- $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$: la constante de Stefan-Boltzmann
- T : la température en Kelvin (K)
- P : la puissance rayonnée en watt (W)

Ainsi :

$$S = \frac{P}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4} = \frac{13}{0,85 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 343,15^4} = 0,03 \text{ m}^2$$

Nous avons réalisé le calcul en considérant le "pire" cas où l'émetteur atteint sa température maximale au cours du vol, soit 70 °C ou 343,15 K. La surface minimale nécessaire pour dissiper la puissance rayonnée est ainsi de 0,03 m^2 .

Nous avons divisé cette surface sur 2 plaques, une de surface $\sim 0,01 \text{ m}^2$ et l'autre de surface $\sim 0,02 \text{ m}^2$.

L'émetteur de télémesure est vissé à la plaque d'aluminium en positionnant un compound silicone de chez *Dow Corning* entre les deux composants 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 des besoins de récupération.

3.4 Radiosondes et systèmes de récupération

3.4.1 GPS GARMIN

On utilise un appareil de suivi de randonnée 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 METEOMODEM

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. Cette dernière possède son propre émetteur ainsi que sa propre station de réception. Celle-ci est fixée sur la nacelle renfermant le GPS GARMIN.

La radiosonde est conçue pour effectuer plusieurs mesures. (altimétrie, température, manométrie, hygrométrie, position via GPS).

Cet équipement ainsi que sa station de réception sont fabriqués par la marque Météo MODEM et homologués par l'Organisation Mondiale de la Météorologie.

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques électriques
Masse : 150 g	Alimentation : batterie indépendante
Dimensions : 95 x 95 x 88,5 mm	Autonomie : > 4 heures

3.4.3 Balise oiseau

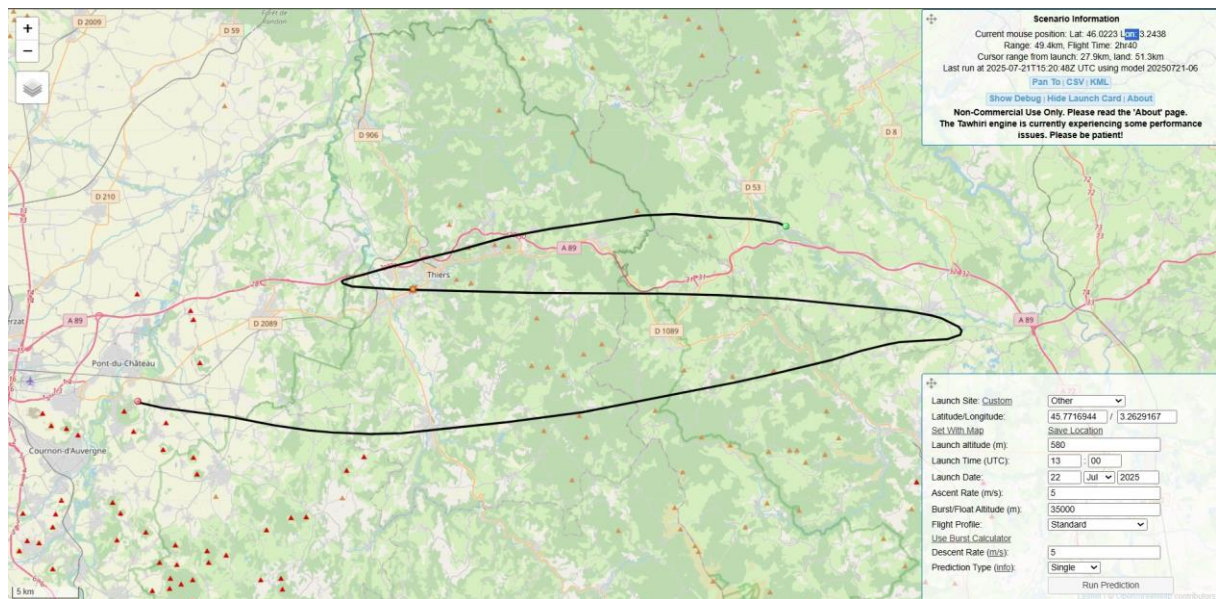
Afin de faciliter la récupération, notamment en cas de chute en forêt, nous avons installé un petit émetteur de radio-tracking (ou balise oiseau) Marshall en VHF, qui était placé dans la plateforme GPS avec le GPS Garmin. (en effet, nous avons remarqué lors d'expériences précédentes des perturbations de la télémessure bande S dues à la balise lorsqu'elle est placée sur la nacelle 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

Une prévision de trajectoire a été réalisée à l'aide de l'outil CUSF Landing Predictor 2.5 (url : <http://predict.habhub.org/>). Plusieurs prédictions ont été effectuées tous les jours précédant le lancement, en faisant varier légèrement les paramètres tels que l'altitude d'apogée, la vitesse de montée et la vitesse de descente. Elles nous ont permis de choisir une date et un lieu de lancement nous assurant d'éviter le survol de zones urbaines, un vol très éloigné du point de départ, et un atterrissage dans des zones à risques (villes, aéroports...).

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.



4. CAMPAGNE DE LANCEMENT

4.1 Date et lieu de lancement envisagés

Le lieu de lancement privilégié était le sommet du Puy-de-Dôme (Orcines, 63870, 45°46'20.79"N 2°57'46.66"E), mais face aux difficultés pour y acheminer le matériel GAREF en voiture et au risque de survol de l'aéroport de Clermont-Ferrand par HORUS 12 en cas de lancement, nous avons étudié 2 autres sites de lancement :

- Le Puy de Mur (Mur-sur Allier, 63111, 45°46'18.1"N 3°15'46.5"E)
- Le Puy de Sancy (Chambon-sur-Lac, 63790, 45°31'42"N 2°48'51"E)

Au final, HORUS 12 a été lancé depuis le site du Puy de Mur.

4.2 Organisation de la campagne

3 pc reliés en ethernet par switch et câbles RJ45:

- Pc réception fixe avec récep mesures, récep vidéo, diffusion par ethernet à pc live video
- PC mobile live vidéo avec diffusion 5G
- PC mobile avec site GARMIN de suivi de position et logiciel de calcul de pointage d'antenne

<u>Équipe de RECEPTION TELEM:</u>	<u>Équipe de RECUPERATION :</u>
Nolan RONJON	Bernard SCACHE
Axel CHOVEL	Maya SENOTIER-YU
Joseph RZEPKA	Elias ALAQUI

Équipe de lancement au complet sur aire de lancement à Mur-Sur-Allier jusqu'au lancement, puis séparation d'une équipe RECUPERATION avec balise oiseau pour s'approcher du point de retombé prévu selon sondehub (recherche bip pendant que le ballon est en l'air), pendant que équipe RECEPTION TELEM s'occupe de TELEM DATA, GARMIN et METEOMODEM

Nomination de responsables de communication entre les 2 équipes : Joseph et Maya

Déroulé de la campagne

4.2.1 Journal de bord jour par jour

- **Vendredi 18 Juillet 2025 :**

- 0h30 : Rangement du matériel emporté pour la campagne dans la Kangoo GAREF par Nolan RONJON et Joseph RZEPKA
- 9h00 : La Kangoo est prête à partir du local GAREF
- 9h45 : Les voitures sont prêtes au départ
- 10h30 : Insertion tardive sur l'autoroute A10 en raison d'embouteillages
- 12h35 : Après quelques galères concernant les stations essences, le convoi s'arrête à l'Aire de Salbris Ouest
- 13h45 : Départ du convoi après plein essence, gonflage pneus et déjeuner à la station
- 14h30 : Arrêt du convoi à l'Aire du centre de la France pour détente
- 15h05 : Départ du convoi
- 17h00 : Arrivée à l'hôtel Kyriad Clermont Pardieu
- 19h00 : Déballage des affaires et prise en main des chambres
- 19h10 : 30 minutes de piscine
- 19h40 : Inventaire du matériel GAREF emporté pour la campagne
- 20h00 : Dîner au Quai 63
- 21h00 : Fin de journée

- **Samedi 19 Juillet 2025 :**

- 8h30 : Réveil du groupe et petit-déjeuner
- 12h30 : Récupération de Nolan a la gare de Clermont
- 13h30 : Déjeuner au Burger King de Clermont, courses, galères de voitures
- 15h30 : Arrivée en bas du Puy-de-Dôme dans le but de voir le lancer de ballon de M. Sylvain VALAT
- 16h15 : Arrivée au sommet, repérage des lieux, discussions sympathiques avec l'équipe de VALAT
- 17h00 : Départ et retour à l'hôtel
- 19h00 : Départ de Axel et Joseph pour aller chercher Elias a la gare de Clermont
- 19h45 : Retour à l'hôtel avec Elias
- 20h10 : Diner au Quai 63
- 21h15 : Retour en chambre, Axel sur prog du ballon, Joseph Maya Elias Nolan sur réflecteur de vol
- 23h30 : Réflecteur fini, couché de tout le monde

- **Dimanche 20 Juillet 2025 :**

- 8h00 : Réveil du groupe et petit-déjeuner
- 8h00 à 23h00 : Débogage de la liaison et construction de la chaîne de vol (journée de travail donc peu de chose à noter)
- 19h00 : Dîner au jap à volonté
- 23h00 : Couché

- **Lundi 21 Juillet 2025 :**

- 8h00 : Réveil du groupe et petit-déjeuner
- 9h00 : Nolan et Joseph récupèrent la bouteille d'hélium chez GMA tandis que Axel et Bernard partent au concessionnaire Audi
- 11h00 : Retour à la chambre et début du travail en chambre
- 12h30 : Départ pour aller manger au MEMPHIS
- 13h30 : Départ Joseph, Elias, Maya, Bernard au Leroy-Merlin pour chercher matériel
- 14h30 : Retour chambre et travail en chambre
- 19h00 : Dîner au QUAI 63, au retour préparation de la Kangoo pour lancement

-3h00 : Fin du débogage logiciel et couché

- **Mardi 22 Juillet 2025 :**

-8h00 : Réveil du groupe et petit-déjeuner

-9h30 : Préparation de l'équipe et départ sur zone de lancement à Mur-sur-Allier (45°46'18,1" N 3°15'46,5" E)

-10h30 : Fin du déballage du matériel

-11h03 : Appel DGAC (2h avant lancement)

-11h30 : Début du gonflage ballon

-11h45 : Arrivé du propriétaire du champ, celui-ci nous regarde faire



Gonflage d'HORUS 12 en compagnie du propriétaire du champ

-13h01 : Fin gonflage ballon

-13h00 : Problème vidéo et débogage sur zone

-14h53 : Lancement du ballon

-15h45 : Perte telem de la balise METEOMODEM M20

-17h55 : Découverte du ballon et récupération de celui-ci par l'équipe RÉCUPÉRATION (45,902456° N 3,880255° E)



Panoramique de la zone d'atterrissage



Découverte de la nacelle

- 18h27 : Départ du site d'atterrissage de l'équipe de réception
- 20h30 : Dîner au jap à volonté et mots de félicitations de Bernard
- 23h00 : Couché

- **Mercredi 23 Juillet 2025 :**

- 8h00 : Réveil du groupe et petit-déjeuner
- 9h00 : Retour en chambre et début du dépouillement
- 13h30 : Déjeuner au resto italien
- 15h00 : Retour en chambre et sieste pour certains
- 19h00 : Détente
- 23h00 : Couché

- **Jeudi 24 Juillet 2025 :**

- RAS

- **Vendredi 25 Juillet 2025 :**

- 8h00 : Réveil du groupe et petit-déjeuner
- 11h00 : Départ de l'hôtel
- 13h10 : Arrivée à l'aire du centre de la France
- 14h12 : Redépart
- 17h21 : Arrivée au local GAREF

5. DEPOUILLEMENT ET RESULTATS OBTENUS

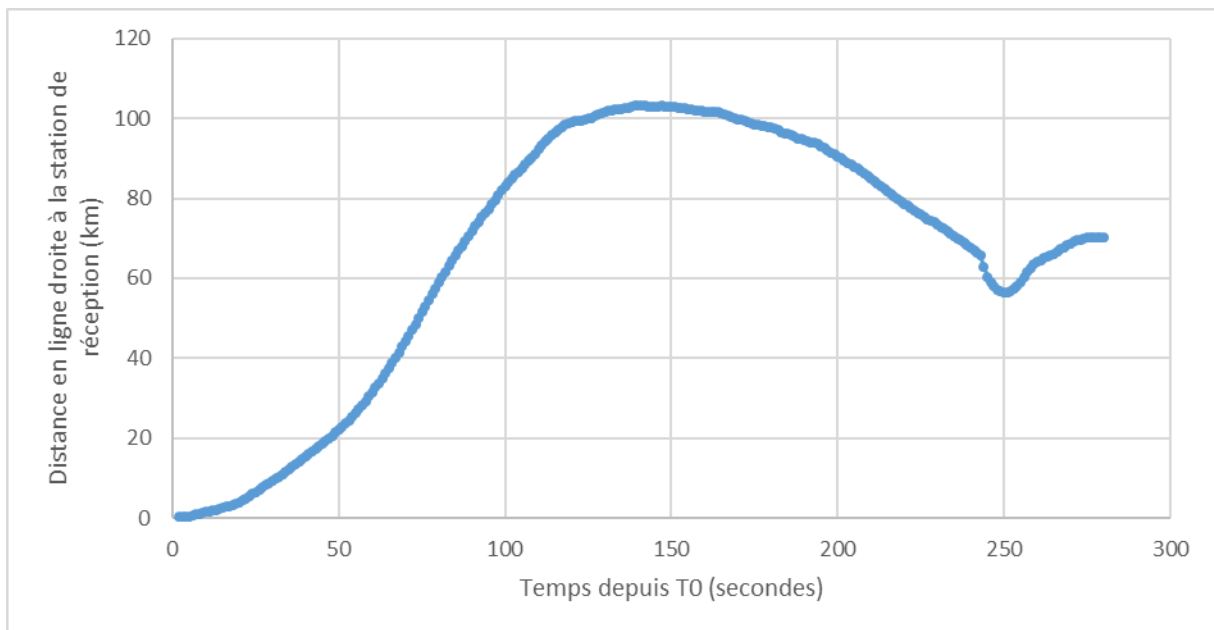
5.1 Points notables

Toutes les mesures sont synchronisées par une datation à l'aide du module *timecode*, synchronisé en temps TU juste avant le lâcher par un générateur IRIGB. De plus, les positions GPS sont mesurées avec une heure UTC synchronisée par satellite.

Lâcher	Latitude : 45° 46' 17.6" N Longitude : 03° 15' 45.7" E Altitude GPS : 470 m	22 juillet 2025 12 h 52 min 15 s UTC (H0)
Apogée	Latitude : 45° 53' 18.8" N Longitude : 03° 45' 33.9" E Altitude GPS : 33 400 m	14 h 53 m 15 s UTC (H0+7260s)
Atterrissage	Latitude : 45° 54' 08.9" N Longitude : 03° 52' 48.8" E Altitude GPS : 650 m	15 h 10 m 30 s UTC (H0+8295s)

5.2 Télémessure en bande S

La télémessure a correctement fonctionné pendant une bonne partie du vol, mais a fini par se dégrader fortement avec la distance, comme le bilan de liaison calculé nous l'avait prédit. Sur la deuxième moitié du vol nous n'avons donc eu par télémessure que quelques points épars de mesures et quelques images fortement corrompues du flux vidéo, qui nous ont simplement indiqué que l'expérience continuait de fonctionner. Les données transmises étaient néanmoins aussi stockées à bord et ont pu être récupérées après le vol.

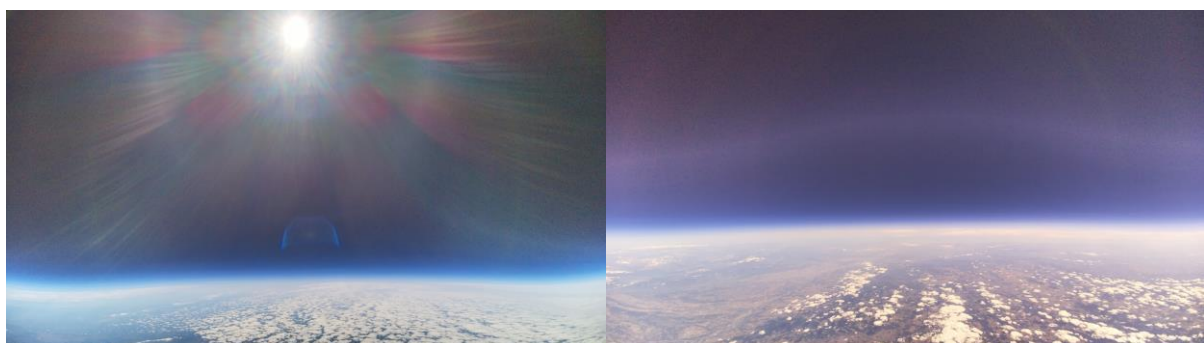


Courbe de distance entre la nacelle et la station de réception au cours du vol

A noter pour les expériences futures, les mesures de températures et de pression transmises par télémesure prennent une bande passante négligeable, et aurait mérité d'être redondées pour permettre d'avoir plus de points même au milieu d'une télémesure très perturbée.

5.3 Module vidéo

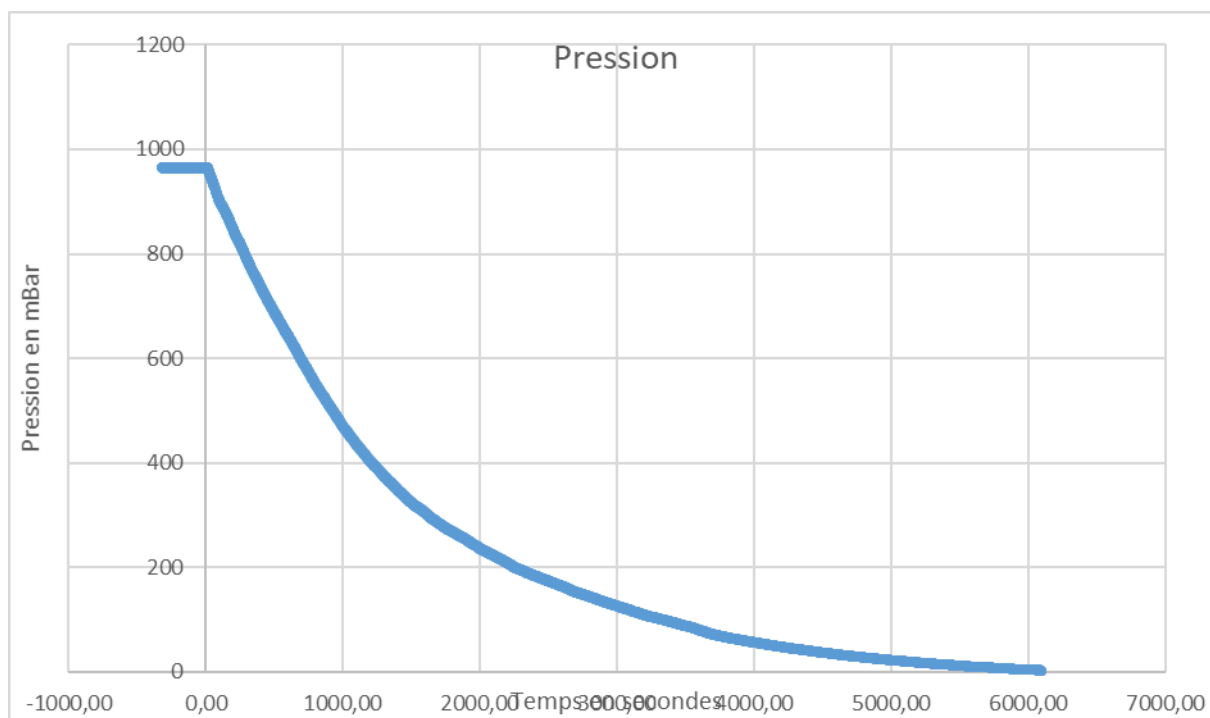
Le module vidéo a fonctionné de façon nominale tout au long du vol. Il alternait en boucle entre des phases de 10 minutes de vidéo 1080p30, suivies de 3 images HD (4608 x 2592). Cela a permis, après extraction des images, de reconstituer le vol complet en vidéo. Les métadonnées des images contiennent les horodatages précises, afin de reconstituer à posteriori les événements importants.



5.4 Mesures de pression

Dès l'allumage de l'électronique de la nacelle des données de pression ont pu être mesurées.

Les mesures de pression ont bien été enregistrées sur l'OBC entre T - 317s et T + 6095s, voici le graphique ci-dessous montrant l'évolution de la pression en fonction de l'altitude, conformément à ce qui était attendu.



5.5 Mesures de température

Dès l'allumage de l'électronique de la nacelle, les données de température ont pu être acquises : à partir de T- 317 secondes jusqu'à T +6095 secondes.

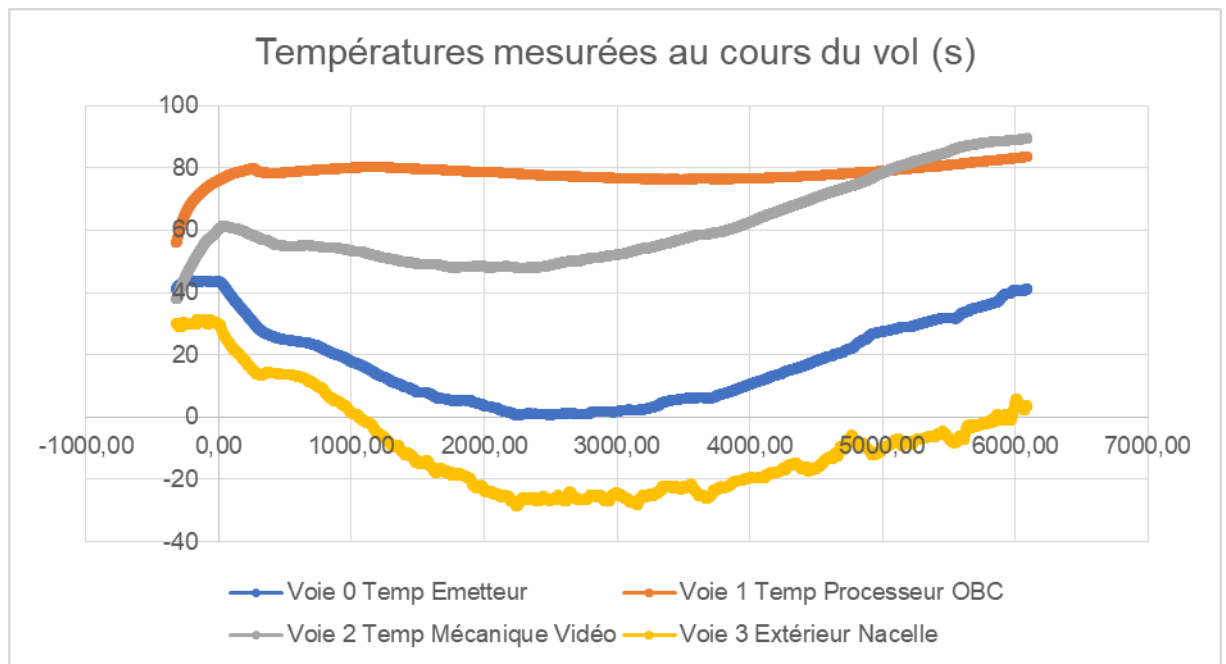
On voit ci-dessous les graphiques présentant l'évolution de la température en différents points de la nacelle :

Voie 0 : Emetteur

Voie 1 : Processeur OBC

Voie 2 : Mécanique Vidéo

Voie 3 : Extérieur Nacelle



On remarque que la température extérieure correspond bien avec le modèle de l'atmosphère Standard International (voir en annexe)

Avant le lâcher, la température augmente selon un premier ordre pour les éléments électroniques actifs (émetteur, processeur, Vidéo).

On remarque bien le lâcher du ballon à T 00:00 avec la baisse rapide de température sur les voies 0, 2 et 3 dû au vent en altitude. Seule la température du processeur OBC n'est pas impacté car ce dernier n'est pas exposé au vent.

Autrement la température de l'émetteur et de l'OBC baisse dans un premier en raison de la convection créée par le vent en altitude. Aux alentours de T+2500 secondes on observe une ré-augmentation de la température, en raison de la plus faible densité de l'air.

Enfin concernant la température de la mécanique du module vidéo, la baisse de température est moins élevée mais suit la même tendance que la température de l'émetteur.

A T +6095 secondes, la température atteinte est de 89 °C. Cette température relativement élevée n'a pas empêché le bon fonctionnement du module. On remarque aussi une inflexion de la courbe de température ce qui laisse supposer une stabilisation de la température en régime permanent.

Ce test nous permet d'assurer un bon fonctionnement du module en continu sur 1h42 min avec des conditions d'éclairement élevées.

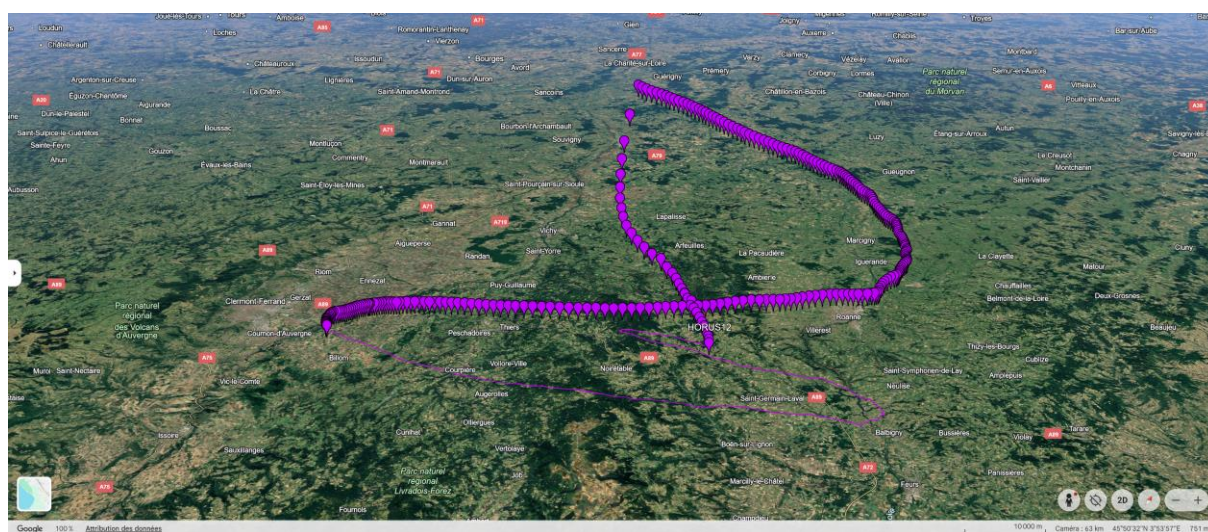
En effet, lors d'une orbite de 1h 35 minutes (Période à une altitude de 500 km), la moitié est parcourue dans l'éclairement de la terre tandis que l'autre se fait dans la nuit orbitale. Cette deuxième partie permet le refroidissement global de l'électronique.

Au début du vol, le module était à 50°C ce qui est une température élevée pour une mise en poste en orbite. On prend en compte le comportement thermique du module sur la période de 3000 (52 °C) à 6000 secondes (89 °C) lorsque la convection est moins présente.

On observe une augmentation de la température de 52 °C à 89 °C sur 3000 secondes soit 50 minutes.

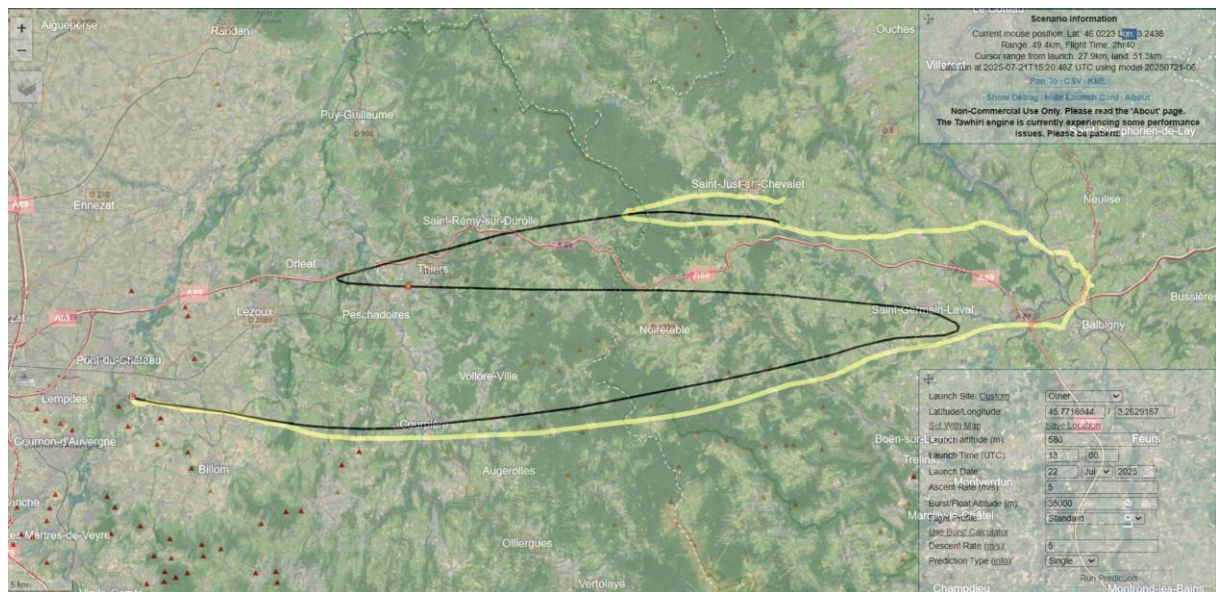
5.6 GPS Garmin

Le module GPS Garmin, communiquant par la constellation de satellites Iridium, déjà utilisé lors d'expériences précédentes mais qui n'avait pas fonctionné pour diverses raisons, a cette fois-ci parfaitement fonctionné. Il nous a donné par internet la position précise en 3 dimensions de la nacelle, aussi bien au sol avant le vol, que pendant toute la durée du vol, et même après l'atterrissage. L'équipe de récupération a ainsi pu retrouver la nacelle immédiatement après son atterrissage, et nous avons pu retracer l'intégralité du vol :



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, l'écart des vents par rapport à la prévision se compensant entre la montée et la descente, atterrissant finalement à seulement 2km du point prévu, confirmant la validité de ces prévisions pour les expériences futures.



Superposition trajet prévu (noir) / réel (jaune)

5.7 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 eu d'utilité.

6. POUR RETOUR EXPÉRIENCE

6.1 Problèmes rencontrés

6.1.1 Perte du contact radio avec la radiosonde METEOMODEM

Environ 30 minutes après lâcher du ballon, la station sol a perdu le contact radio avec la sonde METEOMODEM M20, qui a ensuite été impossible à récupérer. Nous avons d'abord cru à un problème d'antenne, cependant une discussion avec M. Valat nous a orienté vers une défaillance des piles de la radiosonde. Celui-ci nous a informé que les piles ne tenaient pas sur la M20, et qu'ainsi elles étaient à proscrire au bénéfice de la sonde M10, elle aussi produite par METEOMODEM.

→ Bannissement du vol des M20, et mail d'explication avec METEOMODEM.

6.1.2 Défaillance critique du groupe électrogène et de l'onduleur de la baie TELEM

Au cours des répétitions et tests l'avant-veille du lancement, nous avons remarqué que la batterie de l'onduleur de la baie TELEM étaient morte, alors qu'elle affichait une autonomie de 30min (ce qui est déjà faible pour cette batterie) son autonomie réelle aura été de 2min30.

Durant les manipulations le jour du lancement, le groupe électrogène, qui est censé délivrer une puissance max de 1,5 kW (ce qui est bien supérieur à toute la puissance que nous avons à tirer) a plus d'une fois manqué de caler, et avait un mal croissant à sortir la puissance nécessaire.

Ce problème de groupe électrogène est récurrent, puisque déjà survenu au lancement de HORUS 11.

→ Tests à effectuer une fois de retour au local, et nécessité de trouver une solution **fiable** et **durable**.