



BALLON SONDE HORUS 4

RAPPORT D'EXPERIENCE

GP-0531-D-101

Révision 1.0

29 août 2005

Rédigé par : A. KHUN, A.CHOVET

Approuvé par : BS

SOMMAIRE

0.	EVOLUTION DU DOCUMENT	1
1.	PRESENTATION GENERALE	2
2.	REALISATION DU PROJET.....	4
2.1	Buts de l'expérience.....	4
2.1.1	Observation photographique de l'atmosphère en temps réel	4
2.1.1.1	Mise en œuvre.....	4
2.1.1.2	Principe.....	4
2.1.2	Caractérisation de l'atmosphère en température et en pression en temps réel	5
2.1.2.1	Température	5
2.1.2.1.1	Etalonnage des capteurs.....	5
2.1.2.2	Pression.....	7
2.1.2.2.1	Etalonnage des capteurs.....	7
2.1.2.3	Transmission des mesures.....	9
2.1.3	Repérage et suivi de la nacelle en temps réel.....	9
2.1.3.1	Repérage GPS	9
2.1.3.2	Repérage par radio-tracking.....	9
2.1.3.3	Antenne de réception au sol asservie	9
2.2	Composition de la nacelle.....	10
2.2.1	Synoptique de la nacelle.....	10
2.2.2	Carte PCM	11
2.2.3	Carte Calculateur de bord à base de PC 104.....	11
2.2.4	Récepteur GPS.....	11
2.2.5	Antenne réception GPS	11
2.2.6	Appareil photo numérique.....	11
2.2.7	Boîtiers blindés.....	12
2.2.7.1	Capteurs de température.....	12

2.2.7.2	Capteurs de pression	12
2.2.7.2.1	Capteur hautes pressions.....	12
2.2.7.2.2	Capteur basses pressions.....	12
2.2.8	Emetteur de télémessure TTS-1331.....	13
2.2.9	Antenne d'émission.....	13
2.2.10	Alimentation électrique	13
2.3	Mécanique de la nacelle	14
2.4	Le ballon lui-même.....	15
2.5	Chaîne de vol.....	15
2.6	Fonctionnement	16
2.6.1	Description du logiciel de vol	16
2.6.1.1	Acquisition des trames	16
2.6.1.2	Chronologie du programme.....	16
2.6.2	Description du logiciel au sol	16
2.6.2.1	Principe général.....	16
2.6.2.2	Acquisition	17
2.6.2.3	Récupération des photos.....	17
2.7	Bilan de liaison.....	18
2.8	Chaîne de réception.....	18
2.8.1	Synoptique	18
2.8.2	Réception	19
2.8.3	PC Traitement de données temps réel et stockage.....	20
2.8.4	PC d'affichage d'images	20
2.9	Problèmes rencontrés.....	20
3.	CAMPAGNE DE LANCEMENT ET MISE EN OEUVRE	21
3.1	La campagne de lancement.....	21
3.2	Essais de la chaîne de télémessure	22
3.3	Réglage de la télémessure	23
3.3.1	Réglage du récepteur DR 2000	23
3.3.2	Branchements et programmation synchrones:.....	24

3.3.3	Réglage du synchro secondaire	24
3.4	Récupération de la nacelle	26
3.5	Dépouillement des résultats.....	27
3.6	Problèmes rencontrés.....	27
4.	EXPLOITATION DES RESULTATS.....	28
4.1	Images	28
4.2	Suivi GPS.....	35
4.2.1	Position GPS.....	35
4.2.2	Altitude GPS.....	37
4.3	Mesures effectuées à bord	37
4.3.1	Température.....	38
4.3.1.1	Températures en fonction du temps.....	38
4.3.1.2	Température en fonction de l'altitude GPS	39
4.3.2	Pression.....	40
4.3.2.1	Pression en fonction du temps	40
4.3.2.2	Pression en fonction de l'altitude GPS	41
4.3.2.3	Comparaison entre l'altitude GPS et l'altitude-pression.....	42
4.4	Datation des évènements	42
4.5	Problèmes rencontrés.....	42
5.	SYNTHESE.....	43
5.1	Expériences	43
5.2	Spécifications.....	43
5.3	Campagne.....	43
6.	CONCLUSION	44
7.	INCIDENT D'OPERATION AVEC L'HELICOPTERE	45
8.	POINTS A AMELIORER.....	47

8.1	Matériel oublié.....	47
8.2	Divers	47
9.	ANNEXES.....	48
9.1	DESCRIPTION DES TRAMES HORUS 4.....	48
9.2	PLANS MECANQUES HORUS 4	51
9.3	BULLETIN METEO DU 28 juillet 2005.....	53

0. EVOLUTION DU DOCUMENT

31-07-2005 : version 0.0

29-08-2005 : version 1.0

1. PRESENTATION GENERALE

Le projet Horus 4 (conçu et réalisé par des jeunes de 14 à 19ans) s'inscrit dans la lignée des expériences Horus, réalisées par le Club scientifique de jeunes GAREF AEROSPATIAL depuis 2002.

Il s'agit de petits ballons sondes, avec une nacelle de moins de 2.5 kg, qui ont été lancés lors de campagnes organisées conjointement par le Centre national d'Etudes Spatiales (CNES) et l'association Planète-Sciences.



G05P004 Décollage d'Horus 4 de La Courtine, le 26 juillet 2005 à 16h 29m 31sec

Ces expériences ont été construites autour de la prise de photographies numériques et dernièrement leur transmission en temps réel, tout au long du vol. On a ainsi successivement effectué des photographies du sol (Horus 1), de l'horizon, ce qui a permis de déterminer l'aspect de l'atmosphère en altitude (Horus 2), puis de tenter de recalculer le rayon de courbure de la Terre (Horus 3).

De plus avec chaque expérience, on a pu déterminer l'évolution de la température et de la pression, obtenant des mesures de plus en plus fiables. Toutefois certains aspects n'étaient toujours pas au point après Horus 3. (Températures erronées, basse pression imprécise, transmission temps réel de photos non au point) ce qui finissait par être agaçant.

Nous avons donc décidé fin 2004, de retravailler, de rechercher point par point l'origine des imprécisions, de trouver des solutions, de les valider, pour aboutir à HORUS 4 !

Les ballons réalisés précédemment avaient permis de tester des configurations différentes, aussi bien au niveau du matériel (passage de microcontrôleurs à une carte PC pour gérer l'électronique), et des composants électroniques (les capteurs étant différents pour chaque expérience, en fonction des défauts que nous avons pu relever lors des différents vols), qu'au niveau de la programmation et de la télémesure.

Il y a ainsi eu une constante évolution scientifique et technique, afin de régler les problèmes rencontrés et d'augmenter les performances des expériences.



G05O039



G05P009

Horus 4 a été lancé le 28 juillet 2005 à 16h29 au camp militaire de La Courtine. Son vol a duré 2h31m50s, pendant lequel il a pu prendre 27 photos. Il n'y a pas eu de longue perte de télémesure, mais plusieurs décrochages qui ont gêné la réception des photographies.

Le temps très orageux et la nuit ont empêché la récupération immédiate de la nacelle, mais elle a finalement été retrouvée le lendemain matin à environ 120km du point de lâcher.

2. REALISATION DU PROJET

2.1 Buts de l'expérience

Cette expérience avait plusieurs buts : l'observation photographique de l'atmosphère et de l'horizon, le relevé de mesures de température et pression tout au long du vol avec plus de précision que dans les expériences HORUS précédentes, et le repérage GPS de la nacelle, tout cela transmis en temps réel à un logiciel de réception au sol.

2.1.1 Observation photographique de l'atmosphère en temps réel

L'objet principal de cette expérience était la prise de vues photographiques de l'atmosphère à différentes altitudes.

Afin d'être sûrs d'obtenir ces photos, et de nous donner un petit défi technique supplémentaire, nous avons décidé de les transmettre en temps réel au sol, en corrigeant les erreurs de transmission.

2.1.1.1 Mise en œuvre

Pour pouvoir transmettre les clichés, nous devons choisir un appareil photo numérique. Après quelques recherches, nous avons opté pour un Casio QV-4000. En effet, il semblait assez pratique pour nos applications : il est relativement facile de le piloter, via son port série, et de télécharger ses photos, grâce à son port USB.

Pour être sûrs d'obtenir des photos, même en cas de mauvaise télémétrie, nous lui avons mis une carte mémoire 1Go, ce qui a permis de stocker à bord la centaine de photos qui a été prise, tout en les transmettant dans une très bonne résolution : 2256*1504 pixels, en format JPEG, afin d'avoir des photos de bonne qualité.

Il est alimenté par quatre piles Lithium AA Energizer L91 3000mAh (au lieu des batteries livrées, trop lourdes) qui lui assurent une autonomie en fonctionnement d'une dizaine d'heures, écran éteint.

Pour gérer le pilotage de l'appareil photo, nous avons décidé d'utiliser une carte PC sous Linux, programmable en langage C.

2.1.1.2 Principe

Afin de pallier les erreurs lors de la transmission, et d'obtenir des photos correctes, nous les envoyons chacune à l'identique 5 fois de suite, et le programme de traitement compare ces cinq répétitions pour les fusionner en un seul fichier sans erreurs et le stocker. Pour cela, il recherche les trames identiques deux à deux au moins entre les cinq itérations et les conserve (elles sont supposées être sans erreurs, considérant que les chances que les erreurs se reproduisent à l'identique sur deux trames espacées dans le temps sont négligeables).

Une minute après la mise sous tension, la première photo est prise et pré-chargée dans la mémoire vive de la carte PC. Les trames photo contiennent un numéro de trame interne permettant de savoir à quel niveau elles se situent dans la photo entière. Une trame spécifique de fin de photographie est envoyée à la fin de chaque photographie (pour indiquer au programme de dépouillement au sol de fermer le fichier en cours et de préparer le suivant).

Le taux de transfert vers l'émetteur est de 200 kbits par seconde.

Avec cette méthode, une photo est envoyée toutes les 4 minutes environ.

2.1.2 Caractérisation de l'atmosphère en température et en pression en temps réel

2.1.2.1 Température

Afin d'observer l'évolution de la température en atmosphère avec l'altitude, nous avons décidé d'embarquer un système de mesure en dessous de la nacelle, pour qu'il ne soit pas perturbé par le soleil et corresponde ainsi à la température réelle.

Les mesures ont aussi été effectuées à l'intérieur de la nacelle, isolée thermiquement, afin de vérifier que, grâce au réchauffement causé par l'émetteur, la température permettait le bon fonctionnement des appareils électroniques.

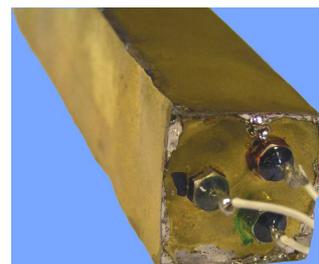
Pour régler les problèmes rencontrés lors d'expériences précédentes avec les sondes au platine, qui s'auto-échauffaient à cause du courant de mesure les traversant (en effet, en atmosphère raréfiée, il y a peu de dissipation thermique), nous avons choisi d'utiliser des thermocouples de type J (fer-constantan)(Fe-Kons)

Des essais en étuve ont alors révélé un effet "thermocouple parasite" au niveau des connecteurs. Nous avons donc dû utiliser des connecteurs spéciaux pour HORUS 4.

Depuis HORUS 2, nous avons remarqué des interférences EMI/EMC qui perturbaient les mesures. Nous les avons localisées dans les systèmes d'amplification des capteurs, qui étaient tous situés sur la carte analogique. Nous avons donc dû réorganiser l'électronique et réaliser des boîtiers blindés avec des filtres de traversée, pour les capteurs et leur amplification. Le résultat a été très concluant.



G05Y019 Exemple de boîtier blindé réalisé



G05Y018

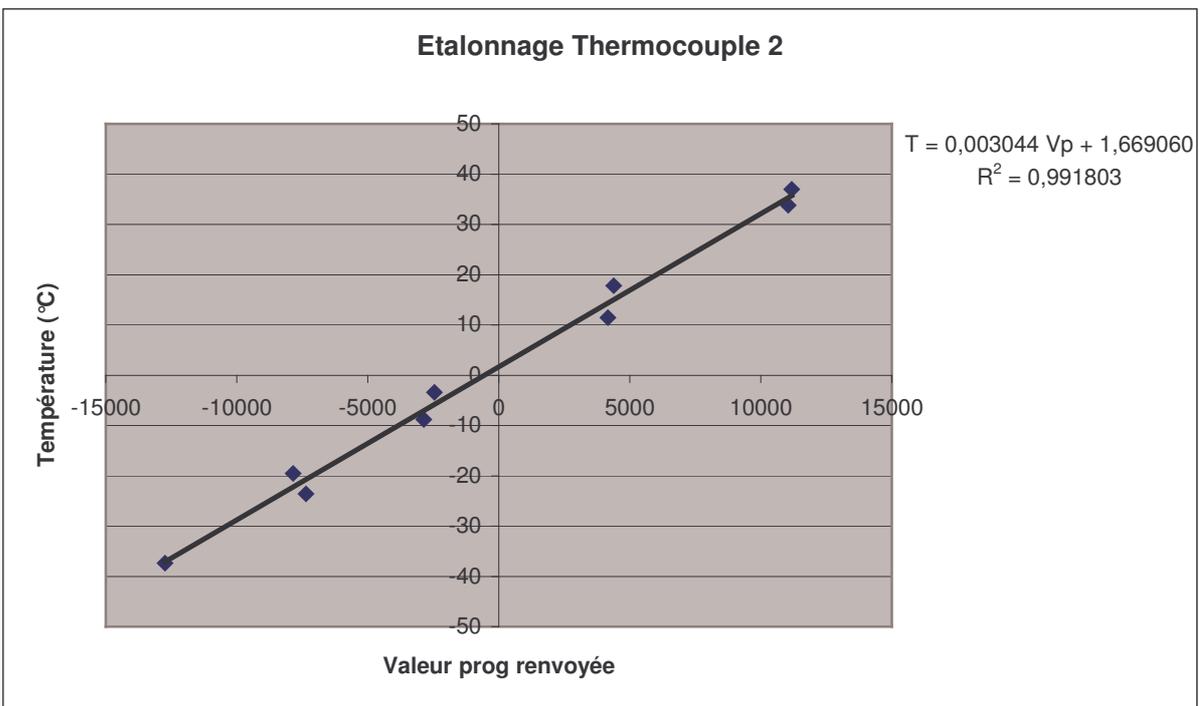
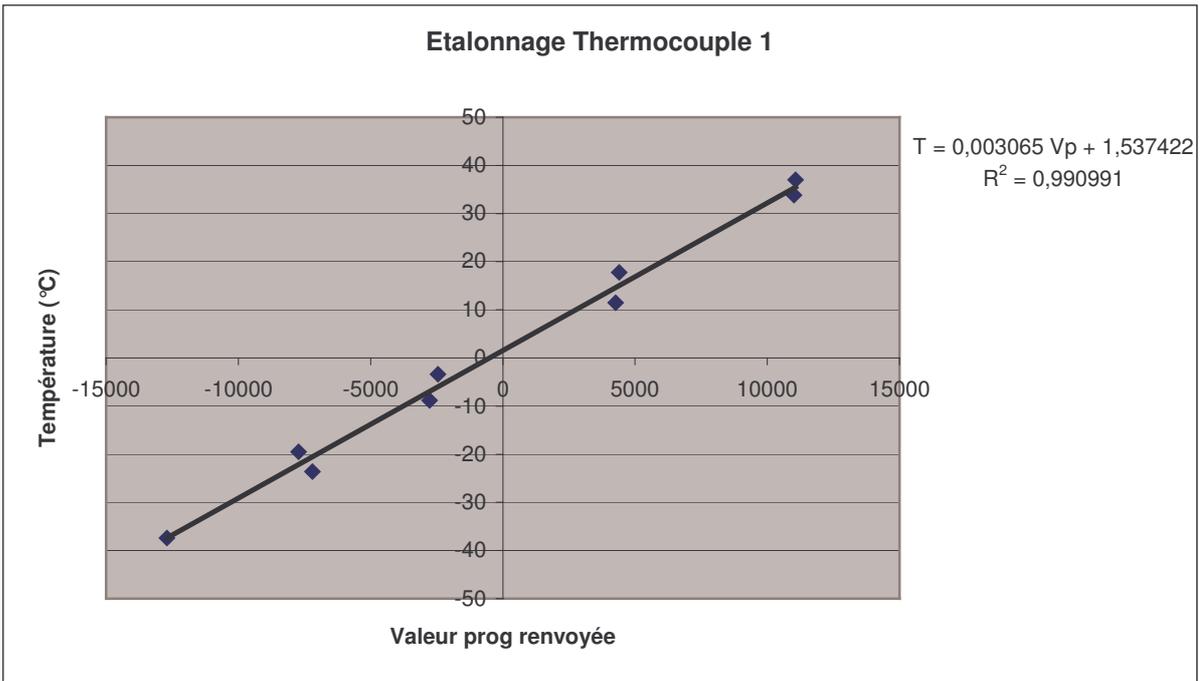
2.1.2.1.1 Etalonnage des capteurs

Les capteurs de température avec l'électronique associée ont été étalonnés dans le caisson climatique Froilabo du GAREF AEROSPATIAL, avec l'ensemble de la charge utile en fonctionnement, et un thermomètre de référence Fluke 52, de -60 °C à 40 °C.

On effectue des points de mesure à 9 températures différentes, d'abord en partant du point le plus froid et en augmentant la température, puis en repartant du point le plus chaud vers le plus froid, pour observer un éventuel effet d'hystérésis. On note les valeurs qui est renvoyée par le programme de traitement.

Puis on trace la courbe P en fonction de la valeur renvoyée par les capteurs au programme de réception sol.

Voir courbes pages suivantes



2.1.2.2 Pression

Toujours dans cette idée de caractériser l'atmosphère en fonction de l'altitude, nous nous sommes intéressés à la pression atmosphérique.

Pour obtenir des mesures précises de la pression, nous avons utilisé deux capteurs spécialisés dans deux plages de pressions : un pour les pressions inférieures à 600mBars (capteur ICSensors Model 85-005A-8C), et un autre pour les pressions plus élevées (capteur Honeywell 142PC15A).

Mais au-delà de la simple connaissance de la pression pendant le vol, on peut également obtenir l'altitude de la nacelle au cours du temps. Pour cela, nous avons utilisé les tables ISO 2533 de "l'atmosphère standard type", en reliant chaque valeur de pression mesurée par les capteurs à l'altitude indiquée par cette norme.

Nous avons ainsi pu obtenir une courbe d'altitude à partir des capteurs de pression et la comparer à la courbe d'altitude fournie par un GPS embarqué pour vérifier l'exactitude des données.

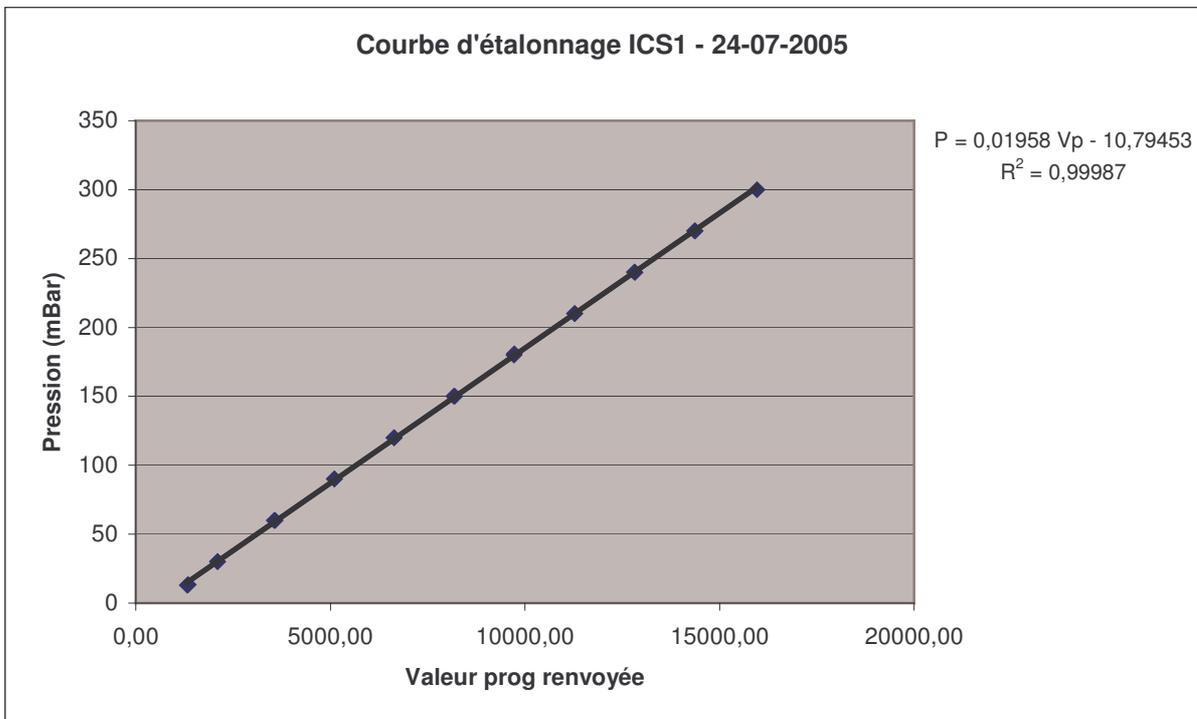
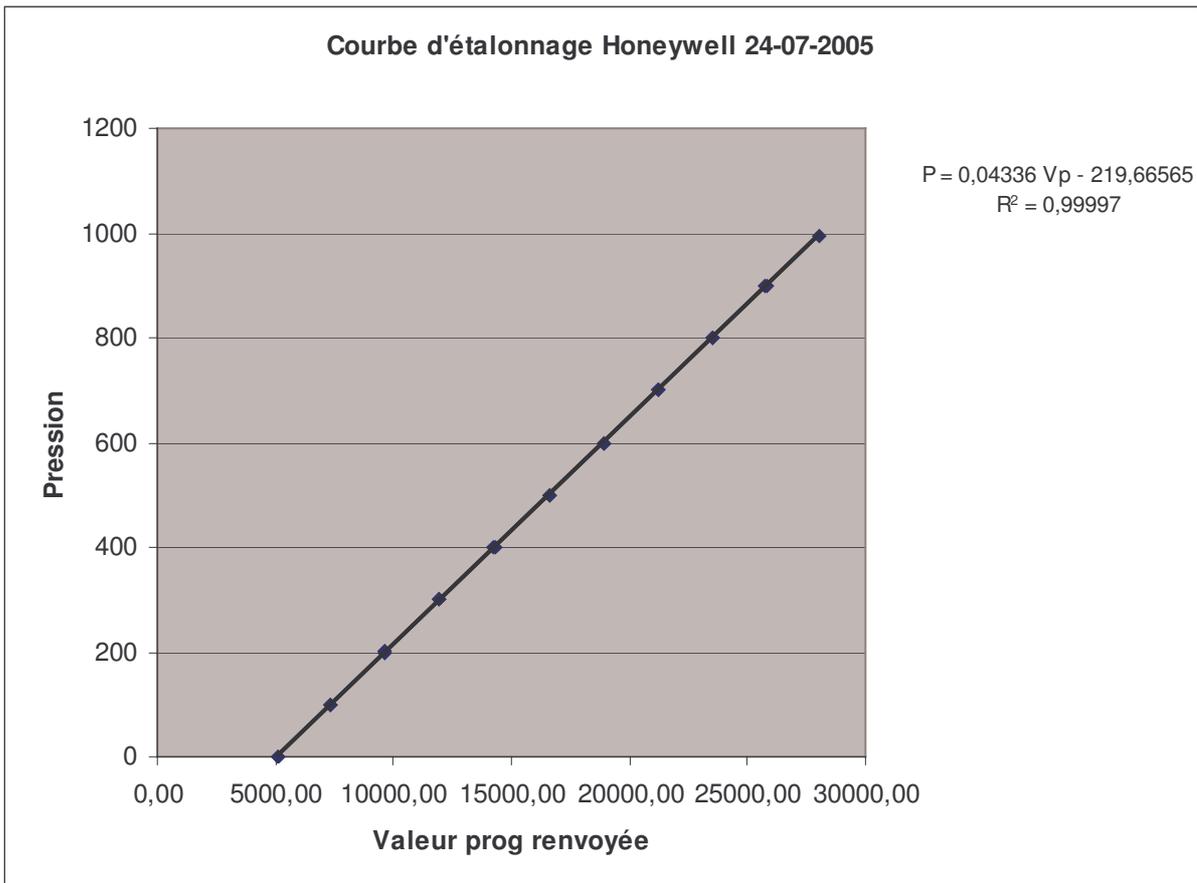
De même que les thermocouples, le capteur de pression ICSensors était sensible aux perturbations EMI/EMC (le Honeywell et son amplification, étant déjà "blindés"). Nous lui avons donc aussi confectionné un petit boîtier métallique avec filtres de traversées.

2.1.2.2.1 Etalonnage des capteurs

Les capteurs de pression ont été étalonnés en les raccordant à une pompe à vide et en contrôlant la pression par un calibrateur de pression absolue DRUCK DPI 520. Celui-ci permet d'obtenir une pression voulue jusqu'à une dizaine de mBar.

Pour la méthode de l'étalonnage, on procède de la même manière que pour les thermocouples. On effectue des points de mesure à 9 pressions différentes, d'abord en partant du point de plus basse pression, puis en repartant du point à pression ambiante, pour observer un éventuel effet d'hystérésis. Le capteur de pression Honeywell est prévu pour relever des pressions élevées, jusqu'à la pression atmosphérique, alors que le capteur IC Sensors relève les pressions inférieures à 600 mBar.

Voir courbes d'étalonnage page suivante



2.1.2.3 Transmission des mesures

Les mesures de pression et de température sont transmises entre chaque paquet de cinq répétitions d'une photographie (voir format de trame en annexe chapitre 9.).

2.1.3 Repérage et suivi de la nacelle en temps réel

2.1.3.1 Repérage GPS

Le fait de suivre la nacelle par GPS a plusieurs intérêts: d'abord, évidemment, de connaître sa position à chaque instant. Cela permet par exemple de connaître l'altitude à laquelle chaque photo a été prise et aussi de faciliter la récupération en estimant le point de chute. On peut aussi connaître la vitesse et optimiser la télémessure grâce à une antenne asservie (voir 2.1.3.3 Antenne de réception).

Le récepteur GPS situé dans la nacelle envoie sa position et son altitude, intégrée dans une trame spécifique, qui est décodée par le programme de traitement au sol qui l'affichera sur une carte. Cette carte a été réalisée par reconstitution à partir de multiples morceaux de carte adjacents provenant du logiciel *Via Michelin*. 1km sur la carte représente environ 0.3 cm à l'écran, soit 11 pixels.

2.1.3.2 Repérage par radio-tracking

Afin de faciliter la récupération de la nacelle au sol, dont le point de chute n'est qu'approximativement connu à la fin du vol, et qui peut être camouflée par un rideau de végétation, nous avons fixé un émetteur de *radio-tracking* Marshall (ou balise oiseau) fréquence 216.085 MHz (canal 9) dans la nacelle. Un récepteur à main muni d'une antenne directionnelle permet de déterminer précisément la direction dans laquelle se trouve la balise dans un rayon de plusieurs centaines de mètres à quelques kilomètres dans une zone dégagée. La balise ayant une autonomie de plus de 8 jours, cela augmente les chances de retrouver la nacelle grâce à ce système.

2.1.3.3 Antenne de réception au sol asservie

Pour pointer l'antenne directionnelle de réception vers le ballon en vol, on procède de la manière suivante : le site et l'azimut de pointage de l'antenne sont calculés à partir de la position et de l'altitude GPS du ballon transmise par la télémessure et de la position GPS de la station de réception tout en tenant compte de la courbure de la terre. Ces données peuvent être envoyées à un pied motorisé de télescope (faisant office de positionneur) soutenant l'antenne de réception qui pointe vers le ballon.

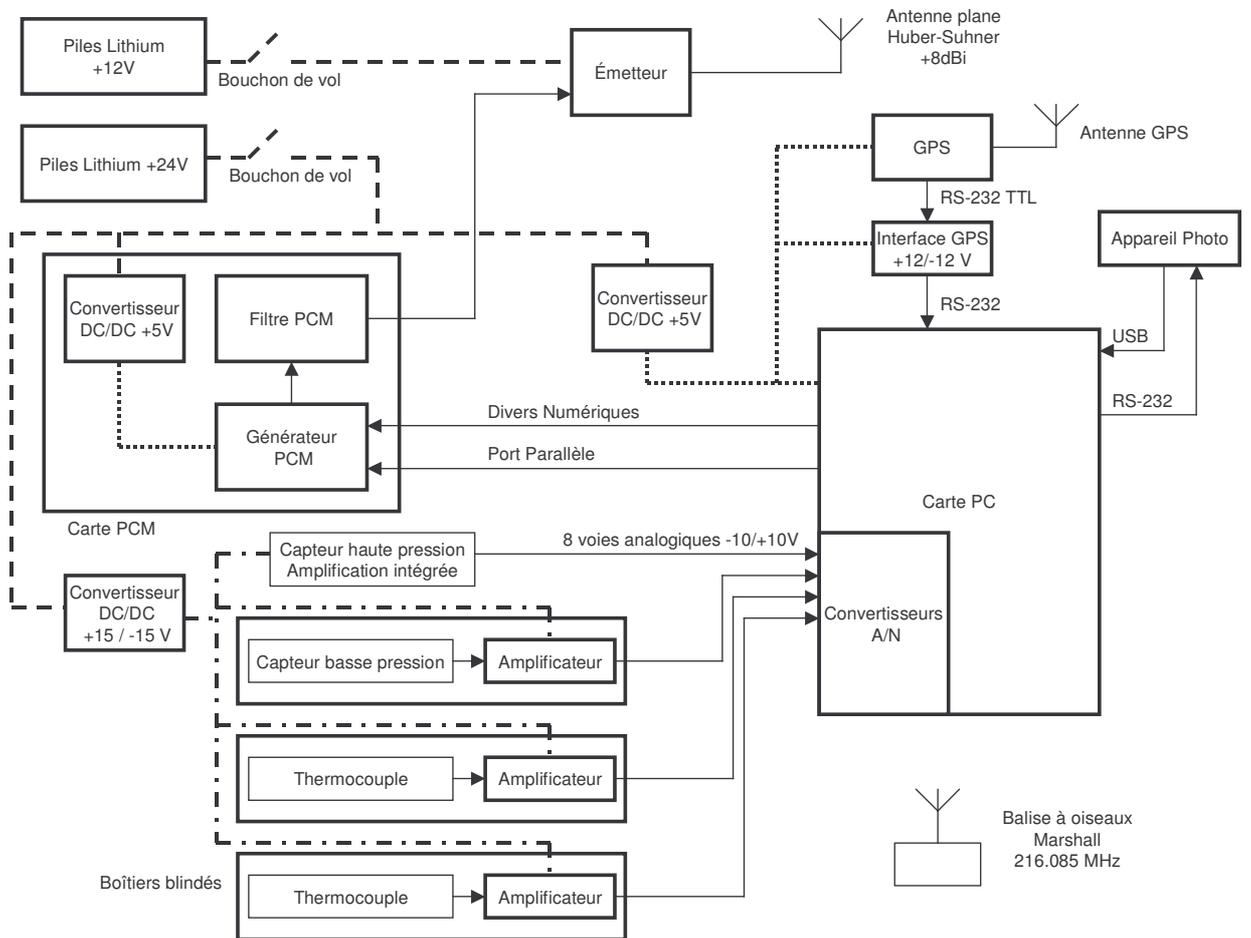
Cependant le lancement s'étant effectué plus tôt que prévu, le programme n'a pu être modifié pour intégrer la position GPS de l'antenne de réception, ce qui était nécessaire pour les calculs. L'antenne a donc été dirigée à la main, d'après sa position sur la carte GPS.



G050054 Antenne bande S et station de réception installée dans la Kangoo

2.2 Composition de la nacelle

2.2.1 Synoptique de la nacelle



G050022 L'intérieur de la nacelle (avant mise en forme !)

2.2.2 Carte PCM

Cette carte est réalisée par le GAREF AEROSPATIAL.

Elle permet de convertir le signal sortant d'un port parallèle de la carte PC 104 du calculateur de bord, en un signal PCM bi-phase L qui modulera l'émetteur.

Cette carte réalise aussi un filtrage passe-bas (filtre de Bessel) des harmoniques du signal PCM pour optimiser l'utilisation de la puissance de l'émetteur.

2.2.3 Carte Calculateur de bord à base de PC 104

Nous utilisons précédemment des microcontrôleurs 68HC11 programmés en assembleur pour faire fonctionner le programme de vol, mais nous les avons remplacé par une carte microcontrôleur, programmable en C, ce qui offrait nettement plus de possibilités.

Carte Prometheus PC 104 de Diamond System Corporation

Processeur ZF86x à 100 MHz, 32 Mo de SDRAM, Disque dur Flash 32 Mo, 2 ports USB, 4 ports série, un port parallèle, 24 entrées sorties numériques, 4 sorties analogiques, 16 entrées analogiques.

La carte fonctionne sous le système d'exploitation Linux. Le GAREF AEROSPATIAL a créé un programme de vol en langage C pour acquérir les données, gérer l'envoi de trames au format PCM, piloter l'appareil photo et transmettre les mesures de pression et de température, ainsi que la position GPS du ballon. Il vérifie aussi le bon fonctionnement de la carte PCM, et peut effectuer un reset si nécessaire.

2.2.4 Récepteur GPS

Modèle : Lassen SK II de Trimble.

Le récepteur GPS se présente sous la forme d'une carte.

Dimensions : 83 mm x 31 mm x 10 mm

Masse : 19.6 g

Consommation : 120 mA sous 5V

Fonctionne entre -40 °C et 85 °C

Fréquence de rafraîchissement de 1Hz

Son logiciel interne a été modifié par le fabricant pour permettre son utilisation au-delà de 18000m

Le GPS fonctionne avec huit satellites.

2.2.5 Antenne réception GPS

Antenne plate "active micropatch antenna" de Trimble.

Dimensions : 40,6 x 48,3 x 13,9 mm

Masse : 130g.

Afin d'éviter les pertes de réception lors des mouvements désordonnés de la nacelle lors de la descente sous parachute comme cela s'était déjà produit, Nous avons placé l'antenne GPS à environ 1m50 de la nacelle, sur une petite plate forme horizontale en Styrodur (mousse plastique rigide peu dense).

2.2.6 Appareil photo numérique

Casio QV-4000, capteur 4.13M pixels.

Poids : 636g, avec des piles lithium Energizer L91 AA (3000mAh) et câbles inclus.

Cet appareil a été choisi pour sa simplicité de commande par port série et la facilité de chargement des images par port USB.

Résolution : 2256 * 1504 en qualité supérieure (soit 0.9 à 1.5 Mo par image)

2.2.7 Boîtiers blindés

Depuis HORUS 2, nous avons remarqué des interférences EMI/EMC qui perturbaient les mesures. Nous les avons localisées dans les systèmes d'amplification des capteurs, qui étaient tous situés sur la carte électronique dédiée à l'amplification des capteurs.

Nous avons donc dû réorganiser l'électronique et réaliser des boîtiers blindés, en feuille de laiton de faible épaisseur (70um), avec des filtres de traversée, pour les capteurs et leur amplification isolément, défi de miniaturisation et d'électronique de précision.



G050002

2.2.7.1 Capteurs de température

Thermocouples de type J (fer-constantan)(Fe-Kons) environ 50uV/°C
Marque : Labfacility

Nous avons utilisé des thermocouples plutôt que des sondes de température au platine, qui s'auto-échauffaient (de part leur courant de mesure) dans le vide et faussaient les mesures en altitude. Des essais en étuve ayant révélé des "thermocouples parasites" au niveau des anciens connecteurs, nous avons utilisé des connecteurs spéciaux pour HORUS 4.

Ces thermocouples et leur amplification sont insérés dans des boîtiers feuille de laiton de faible épaisseur (70um) complètement fermés pour blinder les capteurs contre les interférences de l'émetteur de télémessure et des cartes logiques.

Seul un trou d'un millimètre de diamètre a été percé pour laisser passer le thermocouple.

2.2.7.2 Capteurs de pression

2.2.7.2.1 Capteur hautes pressions

Capteur piézorésistif de pression absolue Honeywell, série 142PC15A
Tension d'alimentation : 15V DC.
Dimensions : 59.8x30x18.5 mm
Amplification intégrée

2.2.7.2.2 Capteur basses pressions

Capteur ICSensors Model 85-005A-8C 5psi Low Pressure non amplifié (amplification par nos soins), pour les pressions inférieures à 600 mBars.

Ce capteur et son amplification sont insérés dans des boîtiers en feuille de laiton de faible épaisseur (70um) complètement fermés pour blinder le capteur contre les interférences de l'émetteur de télémesure.



G050001 Câblage

2.2.8 Emetteur de télémesure TTS-1331

Modèle TTS-1331 de Emhiser Research .

Masse : 57 grammes (donc particulièrement léger)

Puissance d'émission : 30 dBm nominal (1.0 W)

Tension d'alimentation/consommation : 12 V 650mA tolérance +4.5 / -1.5 VDC

Fréquence d'émission utilisée : 2235MHz (elle permet une plus grande bande passante pour la transmission des photos) (2200.5 MHz à 2299.5 MHz par incrément de 0.5 MHz)

Impédance d'entrée : 75 Ohm, 35 pF

Impédance de sortie : 50 Ohm

Sensibilité de déviation : 8 MHz / V crête à crête

2.2.9 Antenne d'émission

Masse : 110g

Fréquence d'émission : 2100 à 2300 MHz

Gain: 8dBi,

Polarisation circulaire droite,

Impédance: 50 Ohm.

HUBER+SUHNER 1322.19.006

95x107.8x32mm

2.2.10 Alimentation électrique

Type de piles utilisé: lithium Energizer réf L91 Type AA 3000mAh (

Ø 14mm, longueur : 50mm, masse : 14,3g chacune

Tension nominale : 1,35V en utilisation (1.7 à vide tension d'arrêt retenu :1.1V)

Nous avons utilisé 25 piles, mises en série par fils soudés pour former les deux blocs d'alimentation.

Le bloc de 9 piles (12V pour 130g) était dédié à l'alimentation de l'émetteur (0.61A à12V). Le bloc de 16 piles (21 V pour 230g) alimentait le reste de la charge utile.(0.52A sous 17.6V, 0,45A à 20,5V)

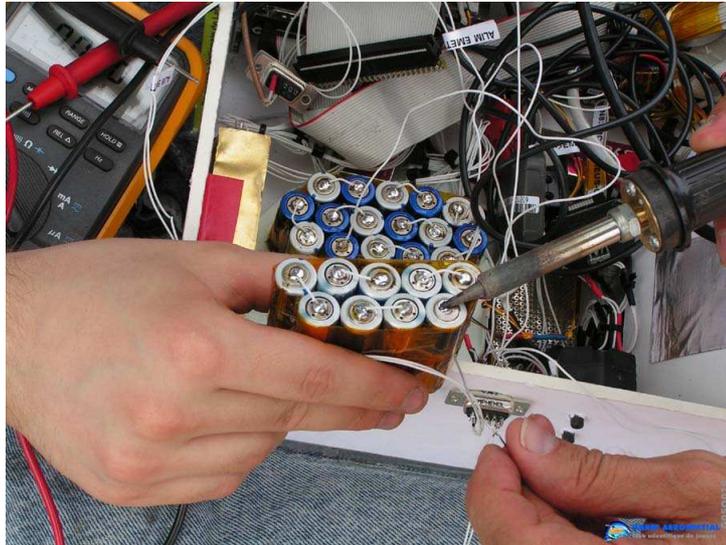
Le bloc de pile est déterminé après avoir vérifié par calcul et par mesure que les tensions à vide et en charge pile pleine et pile en fin de décharge (on a retenu 1.1V/pile) sont compatible avec la plage de fonctionnement des équipements. Il a aussi été réalisé une courbe de décharge d'une pile, au courant nominal prévu, pour vérifier ces points et l'autonomie réelle.

Le soudage nécessite des précautions pour ne pas altérer la pile. Soudage très rapide sans trop chauffer mais cependant avec une soudure qui "mouille" bien le capot de la pile.

Une fois les blocs soudés (1 bloc de vol, un bloc de recharge, 1 bloc d'essais) on fait des mesures de tension de chaque élément du bloc et si un élément a sa tension qui "sort du lot" il est éliminé ou le bloc est mis au rebut.

Le nombre de piles a été choisi pour que l'on ait une autonomie d'au moins 4 heures, selon les courbes de décharge que nous avons réalisées.

Le jour du lancement, l'étude des résultats nous a montré que le ballon avait fonctionné pendant presque 7 heures.



G050019 Bloc de pile lithium

2.3 Mécanique de la nacelle

La nacelle est réalisée dans du carton plume, peu dense (environ 650g.m^{-2} pour 5mm d'épaisseur), mais rigide et résistant à l'humidité, assemblé avec du scotch aluminium 3M 425.

Dimensions : 30*31*11cm

Poids de la nacelle à vide : 250g

Poids de la nacelle complète en ordre de marche : 2450g

(voir plan d'ensemble en annexe)



G050025

2.4 Le ballon lui-même

Caractéristiques du ballon:

Ballon de chez KAYSAM référence: KCI 1200 en latex naturel
Masse du ballon seul: 1200g
Diamètre non gonflé: 2,26m
Diamètre à l'explosion en altitude (vers 33200m 7,3hPa) 8,60m
Vitesse ascensionnelle 5m/s environ (320m/min)

2.5 Chaîne de vol

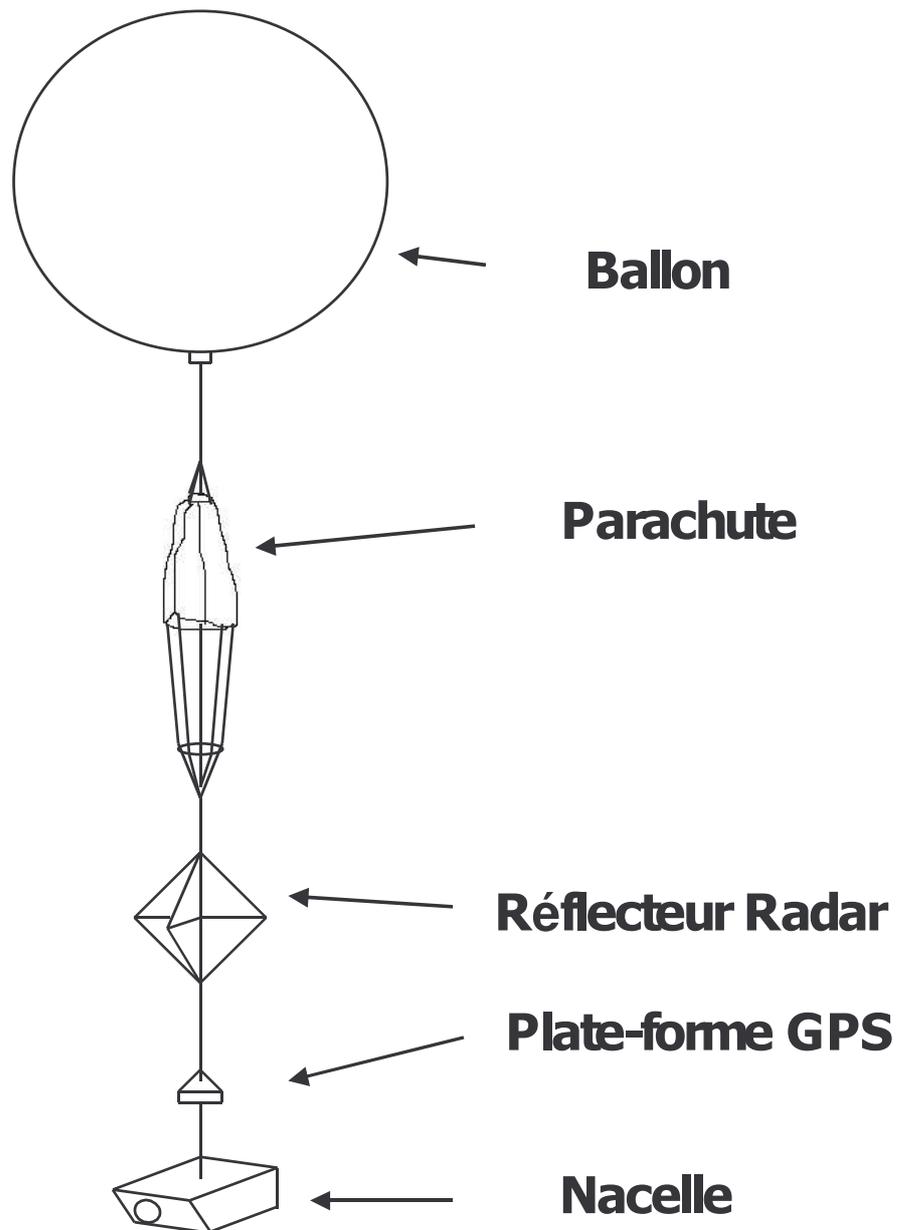


Schéma de la chaîne de vol

2.6 Fonctionnement

2.6.1 Description du logiciel de vol

Le programme de vol, intitulé « run007os », est chargé du traitement des données recueillies en temps réel à bord de la nacelle par les différents modules, pour permettre notamment leur transmission.

2.6.1.1 Acquisition des trames

Les tensions aux bornes des différents capteurs sont mesurées par le convertisseur analogique-numérique de la carte PC, et sont intégrées à la trame mesure.

La carte GPS est branchée sur le port série de la carte PC. Celui-ci lit en permanence les données de ce port pour récupérer les données position et vitesse du ballon, puis les intègre dans la trame GPS.

La carte PC commande l'appareil photo par une télécommande, puis copie les fichiers image dans sa mémoire vive par le port USB. Ces fichiers sont ensuite découpés en tranches pour être intégrés dans la trame photo.

2.6.1.2 Chronologie du programme

- Le programme récupère les données jusqu'à remplir en mémoire l'équivalent d'une moitié de la mémoire FIFO (First In First Out : Premier Entré Premier Sorti) qui sert à réguler le débit de données.
- Une fois les données prêtes (pendant ce temps, la carte PCM lit les données dans la mémoire FIFO et les convertit en PCM), le programme se met en attente du message de la carte PCM. Celle-ci envoie un signal une fois que la mémoire FIFO est à moitié vide.
- Quand la carte PC reçoit ce message, elle transmet les données qu'elle a préparées.

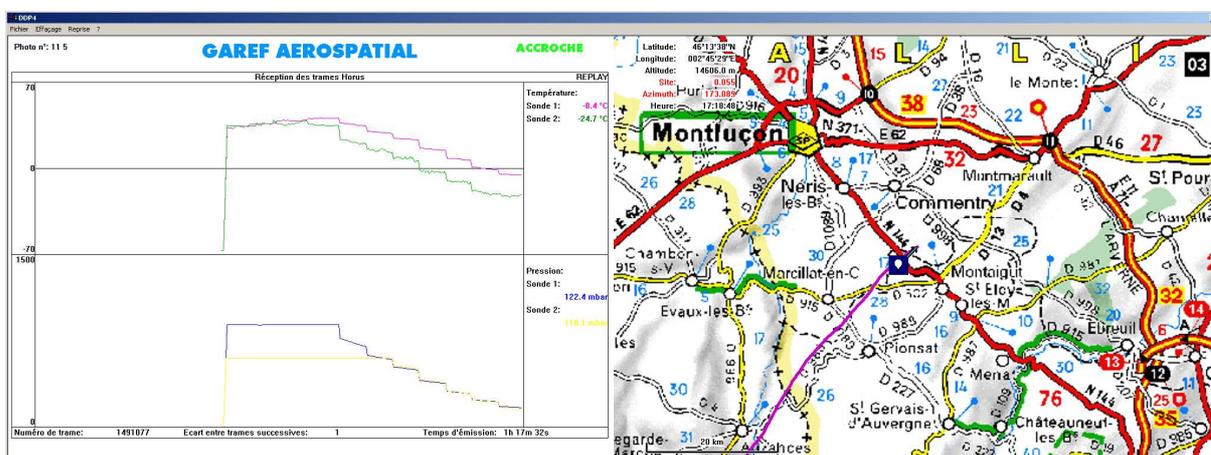
2.6.2 Description du logiciel au sol

2.6.2.1 Principe général

Le programme de réception au sol, « Dynamic Data Processing », entièrement programmé en Visual C++ 6.0 par les membres du GAREF AEROSPATIAL, est situé sur un PC disposant d'un affichage sur double écran, et d'une carte d'acquisition lisant les données sur un port parallèle de 32 entrées. Un deuxième PC relié par réseau Ethernet au premier récupère et affiche les photos transmises.

Il affiche sur un écran une carte GPS à l'échelle de 6 pixels/km, sur laquelle est reportée la trajectoire du ballon en temps réel pour permettre la récupération de la nacelle, ainsi que diverses informations GPS comme l'heure, l'altitude et la vitesse.

L'autre écran affiche les courbes correspondant aux données des capteurs, telles que la température en différents points de la nacelle et la pression atmosphérique. Les valeurs numériques des derniers points des courbes sont aussi présentes. On affiche aussi le numéro de trame, de prise de vue, les erreurs de transmission et la durée depuis le début de l'émission.



Le deuxième PC possède un autre programme développé en Visual C++ 6.0, qui analyse et recompose les photos transmises grâce à un algorithme correcteur d'erreurs. Il est ensuite utilisé pour les afficher en attendant la suivante.

2.6.2.2 Acquisition

La télémétrie, sous forme de trames, est fournie à la carte d'acquisition par le synchro secondaire. La carte remplit des buffers tournants auxquels le programme accède par une librairie adaptée.

Les données sont stockées brutes sous forme de fichiers puis ceux-ci sont analysés. On repère le découpage en trames d'après un mot de synchronisation de 24 bits.

Ensuite les données des photographies sont rassemblées dans des fichiers séparés, pendant que les données GPS et capteurs sont converties en valeurs utilisables et affichées, d'après les calculs de l'étalonnage. Les courbes disposent d'un correcteur de pics, mesurant les variations de valeurs successives pour éliminer les valeurs erronées dues aux erreurs de transmission.

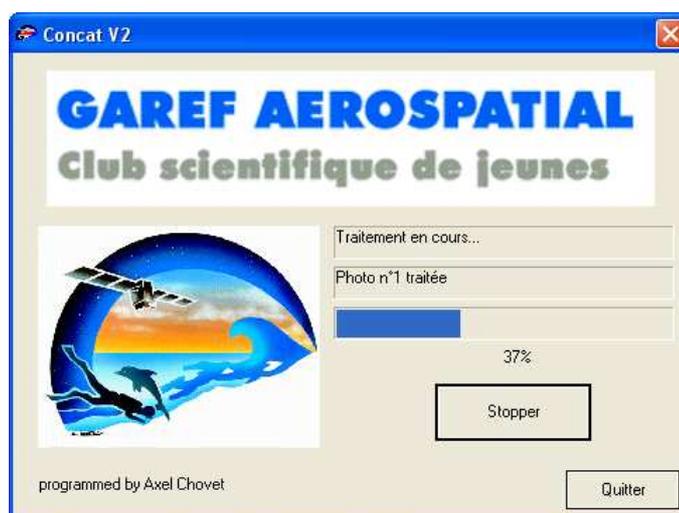
2.6.2.3 Récupération des photos

Les photos étant de taille importante, des erreurs de transmission arrivent presque toujours pendant leur transmission qui dure plusieurs minutes. En plus des erreurs dues au brouillage de l'atmosphère, il arrive que l'on perde la transmission pendant une certaine durée.

La solution choisie pour parvenir à reconstituer les photos intactes malgré ces problèmes a été de retransmettre successivement 5 fois chaque photo dans son intégralité. Les erreurs de bruitage sont par nature aléatoire, donc il est extrêmement peu probable que la même erreur se produise sur deux retransmissions successives d'une trame.

On choisit donc de conserver les données d'une trame (60 octets) si elles sont identiques sur au moins deux retransmissions de cette trame sur les cinq. Un numéro interne de trame photo est ajouté pour faciliter cette opération. Les pertes durables de transmission sont rarement plus longues que la durée d'envoi d'une photo donc le fait d'attendre une transmission complète avant de retransmettre nous protège contre ce problème.

Un autre programme, « ConcatV2 », développé au GAREF AEROSPATIAL implémente cet algorithme et extrait les photos corrigées des données stockées par le premier programme. Lorsque celui-ci donne la confirmation qu'une photo a finie d'être transmise, on exécute ConcatV2 puis on affiche la photo grâce à un visionneur d'images classique.



2.7 Bilan de liaison

Emetteur : 2235 MHz, +30.0 dBm (1.0W)
 Gain d'antenne d'émission : +8 dB
 Perte d'espace libre à 200km -145 dB (-139.4 à 100km)
 Gain antenne réception : +12 dB

Puissance reçue à l'antenne : **-95 dBm (pour 200km) -92 dBm (à 100km)**

Bruit Thermique à Bp= 0.375 MHz -118 dB
 NF entrée chaîne de réception après antenne +2dB => **S/B : 21dB**

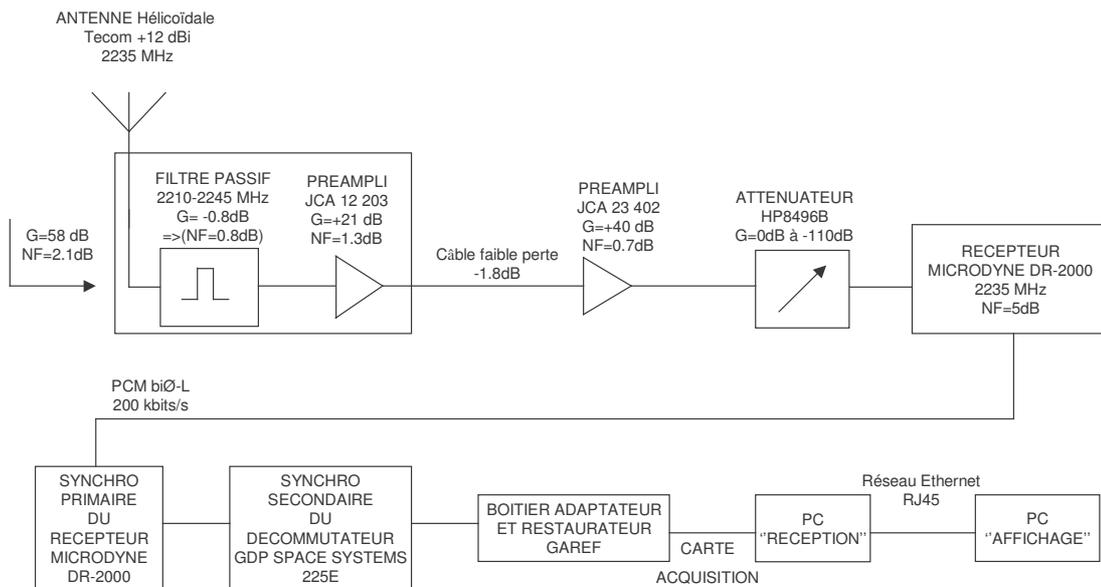
Gain après l'antenne de réception : +58 dB (-0.8 filtre, +21 ampli, +40 ampli, -0.2 pertes des connecteurs, -1.8 pertes des câbles).

Pour mémoire, perte en espace libre à 2235 MHz

Distance (kilomètres)	Perte d'espace libre à 2235 MHz en dB
50	-133.4
70	-136.4
100	-139.4
150	-143.0
200	-145.4
250	-147.4
300	-149.0

2.8 Chaîne de réception

2.8.1 Synoptique



2.8.2 Réception

Nous avons décidé fin 2004 de remplacer la chaîne de réception (récepteur et décommutateur), dont les faux contacts nous faisaient de plus en plus souvent craindre le pire.

Pour la campagne HORUS 4 la station de réception était composée de:

Antenne TECOM 401022R polarisation circulaire droite 35° G=12 dBi.
Son positionneur (réalisé à partir d'un pied de télescope)

Filtre 2210-2245MHz (à -3dB.) ; 2220-2235MHz (à -0.8dB.)

Préampli : JCA 12-203 G=21dB NF=1.3dB

Préampli : JCA 23-402 G=40dB NF=0.7dB

Câble 50 Ohms hyperfréquence très faible perte à 2GHz

Récepteur numérique Microdyne DR-2000 bande S. NF=5dB (qui inclut un synchro primaire appelé aussi synchro de bits)

Décommutateur de trame (synchro secondaire ou synchro de trame) GDP Space Systems 225 E (qui inclut lui aussi un synchro primaire appelé aussi synchro de bits)

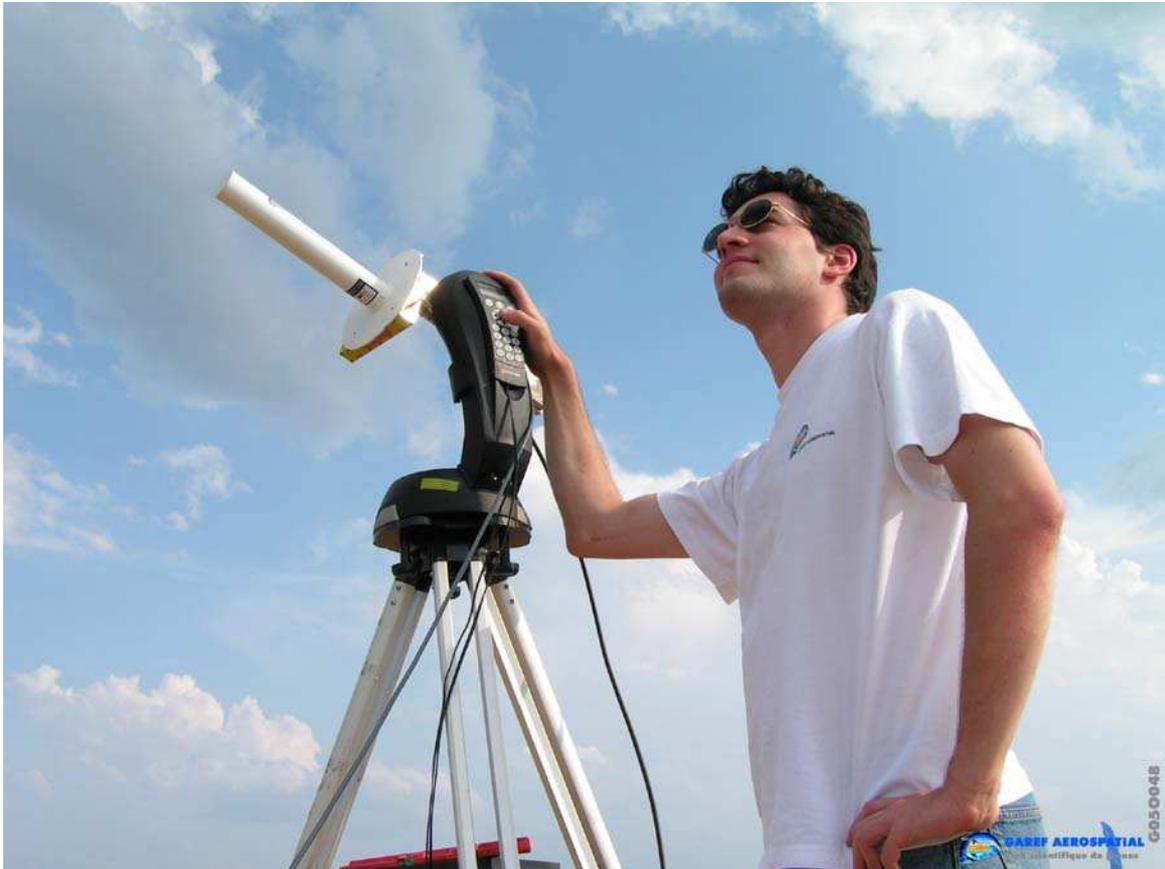
Un boîtier d'interface Synchro secondaire-PC

Un synchro primaire et secondaire de secours Enertec SP5101 et 5510 de trente ans d'âge !

Oscilloscope Tektronix 2465B-A1

Groupe électrogène

Ordinateurs PC d'enregistrement et de traitements avec écrans plats.



G050048

L'antenne de réception sur son positionneur

2.8.3 PC Traitement de données temps réel et stockage

Un PC traite les données en temps réel pour indiquer la position exacte de la nacelle durant son vol, la pression atmosphérique, et la température.

Il récupère également les images transmises par le ballon (celles-ci seront affichées sur le PC d'affichage d'images).

Ce PC est également dédié au stockage des données transmises par le ballon.

2.8.4 PC d'affichage d'images

Un PC relié par réseau au PC de traitement, accède aux images transmises en temps réel pour les afficher.

2.9 Problèmes rencontrés

Pour éviter le brouillage EMI/EMC provenant de l'émetteur de télémesure sur les capteurs, nous avons dû les placer ainsi que leur électronique d'amplification dans des boîtiers blindés, en feuille de laiton de faible épaisseur pour ne pas ajouter trop de poids.

Le nouveau synchro-secondaire ayant été reçu deux jours avant le départ en mission, il a fallu le configurer et adapter la chaîne de réception très rapidement, en faisant très peu de tests.



G050041 Le récepteur et les synchos primaire et secondaire

3. CAMPAGNE DE LANCEMENT ET MISE EN OEUVRE

3.1 La campagne de lancement

La campagne de lancement s'est déroulée au camp militaire de La Courtine, dans la Creuse, entre le samedi 23 juillet et le lundi 1^{er} août 2005.

L'équipe du GAREF s'était basée à Saint Nectaire.

La visite de qualification pour le lancement a eu lieu le mercredi 27 juillet en début de soirée.

Nous avons alors deux créneaux pour le lâcher : le jeudi 28 dans l'après-midi ou le samedi 30 août dans la matinée. Au regard de la météo, qui s'annonçait orageuse en fin d'après-midi, nous avons quand même préféré lâcher jeudi en début d'après-midi, puisque l'absence de gros nuages noirs semblait démentir les prévisions de la météo. **Le décollage a eu lieu à 16h 29m 31s le 28-7-2005** (environ 2 heures 30 après le lancement, les gros nuages noirs sont apparus et nous avons dû replier le matériel en quatrième vitesse sous une grosse pluie). Heureusement le ballon s'était posé quelques minutes avant.

Un sur-gonflage du ballon a été demandé pour avoir un vol assez court.



G050036 Début de gonflage du ballon sous bâche



G05002 Mise sous tension de la nacelle



G050038 Nacelle prête à être accrochée



G050028 Ficelage de la nacelle



G05O034 France 2 tourne un reportage



G05P004 Décollage 26-7-05 16h 29m

3.2 Essais de la chaîne de télémétrie

Notre station de réception était intégrée dans une voiture utilitaire de type Kangoo.

Nous avons pu lâcher le ballon d'un point assez élevé, où nous avons aussi placé la station de réception.

Ensuite, quelques dizaines de minutes avant le lâcher, nous avons effectué des relevés GPS et des essais de télémétrie (vérification de bonne réception, enregistrement etc)



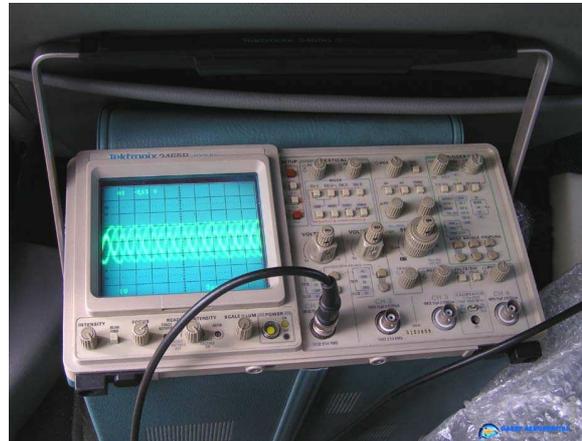
G05O044 Coté synchros



G05O045 Coté PC



G05O054 Vue d'ensemble de la réception



G05O051 Oscilloscope de visualisation du PCM

3.3 Réglage de la télémessure

3.3.1 Réglage du récepteur DR 2000

Récepteur DR2000 Serial Number : 321847

Fréquence : 2235MHz

IF Band Width = 1.5MHz

Video BW = 0.3MHz ou 0.375MHz

Demodulation mode : FM

Demodulation Loop BW = 300Hz

AGC Tuner = 1ms

Démodulateur : Mode FM

LO référence interne

Max. deviation : 1.1 MHz

Max. rate : 20 MHz

Auto frequency control : ON

Sweep enable : ON

Video coupling : DC

Polarity : Normal

Gain : -10

Bit synchro setting

Symbol Rate : 0.2 Msps

Percent : 0.05%

Data format bitphase level inverted

Clock polarity normal

Derandomizer OFF

Swap I&Q OFF

Remote: non utilisé

Options: non utilisées

3.3.2 Branchements et programmation synchros:

Deux configurations ont été utilisées :

la A (on utilise le synchro primaire et secondaire du GDP 225 E) et

la B (on utilise le synchro primaire du récepteur DR2000 et uniquement le synchro secondaire du GDP 225 E).

Les branchements de câbles peuvent rester en place simultanément.

Les connections et sélection de la configuration se font de la manière suivante :

Configuration A (on utilise le synchro primaire et secondaire du GDP 225 E)

Sélectionner sur le GDP225E le menu 2)FSCONFIG puis le sous menu 1)INPUT et mettre le paramètre input select sur BS.

Récepteur DR-2000 L3 COM	Synchro primaire GDP 225 E	Synchro secondaire GDP 225 E
Entrée HF sur RF in (J-02)		
Sortie vidéo 1 (J-04)	BIT SYNC IN DATA 1 (J-01)	

Configuration B (on utilise le synchro primaire du récepteur DR2000 et uniquement le synchro secondaire du GDP 225 E)

Sélectionner sur le GDP225E le menu 2)FSCONFIG puis le sous menu 1)INPUT et mettre le paramètre input select sur Ext1.

Récepteur DR-2000 L3 COM	Synchro primaire GDP 225 E	Synchro secondaire GDP 225 E
Entrée HF sur RF in (J-02)		
I DATA (J-14)		FRAME SYNC INPUT DATA 1 (J-05)
CLK (J-16)		FRAME SYNC INPUT CLOCK 1 (J-06)

3.3.3 Réglage du synchro secondaire

La touche MENU+ sert à avancer d'un cran dans les menus à l'écran.

La touche MENU- sert à revenir en arrière d'un cran dans les menus et à remonter d'un niveau si on est au premier cran.

Param+ et Param- servent à changer les valeurs du paramètre sélectionné.

Les chiffres permettent d'entrer dans le menu sélectionné.

Les réglages sont les suivants:

1) BS-CONFIG
1)INPUT
Bit rate : 2.000E+05
Input code : biO-L
Input : 1
Polarité : inverse
Input Z : Hi
LBW : 1
2) DERAND
Derand : OFF
Vit Dec : OFF
3) OUTPUT
Outputs : ON

2)FS CONFIG
1)INPUT
Input select : Ext1 ou BS (voir config choisie au paragraphe 3.3.2 ci-dessus)
Data pol : NRM
CLK pol : NRM
2)FRAME
Sync type : Normal
Bits/frame : 624
Bit slip : +/- 0
Sync pos : first
Sync pattern : FA F3 20 00 00 00 00 00
Mask pattern : FF FF FF 00 00 00 00 00
Srch / Chk Errs : 0
Lck/ Flywhl Errs : 0
Chk Patterns : 0
Lck Patterns : 0
3)SUBFRAME
Sync type : recycle
Frames Per Subframe : 10
srch / chk Errs : 0
Lck / Flywhl Errs : 0
Chk Patterns : 1
Lck Patterns : 0
Sync length : 8
Last sync bit : 16
Pattern : 00 00 FA 00
Mask : 00 00 FF 00
4)DECOM
Wrd : 1
Sz : 8
Msb : PASS
5)DATA SEL
Wd : 9
Fr : all
Notation: Hx
Wd : 10
Fr : all
Notation: Hx
Wd : 11
Fr : all
Notation: Hx
Wd : 12
Fr : all
Notation: Hx
8)DAC
Output DAC 1 : +/- 2.5
Output DAC 2 : +/- 2.5
Output DAC 3 : +/- 2.5
Output DAC 4 : +/- 2.5
4)REMOTE
Remote : Disable
Interface : RS232
Baud : 9600
Flow ctrl : None

Les paramètres de 2)FS-CONFIG / 5)DATA SEL sont configurés pour afficher le numéro de trame en Hexadécimal.

3.4 Récupération de la nacelle

Afin de pouvoir récupérer la nacelle immédiatement après son atterrissage pour éviter toute détérioration due aux intempéries, et pouvoir la suivre avant même qu'elle ne se pose en vue de faciliter sa localisation, nous avons décidé d'utiliser un hélicoptère, en plus du système de radio-tracking Marshall, recette qui, les années précédentes, avait porté ses fruits...

Mais cette année, les choses se sont compliquées (voir 7. Incident d'opération Hélicoptère).

Le temps très orageux et la nuit ont empêché la récupération immédiate de la nacelle, mais elle a été retrouvée par M. Daniel PORTAS dans son champ, le lendemain matin à environ 120km du point de lâcher, il a alors contacté la gendarmerie de Lurcy-Lévis.

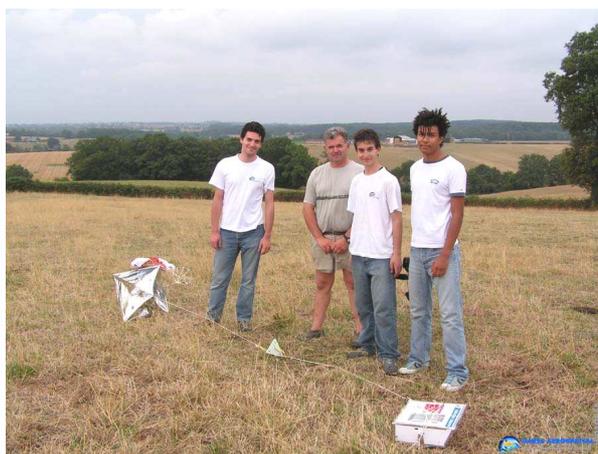
Madame le gendarme LE SOUPLE, de la Gendarmerie de Lurcy-Lévis, nous a alors prévenus pour que nous puissions récupérer la chaîne de vol à la gendarmerie.

Nous nous sommes immédiatement rendus sur place, en "localisant" la gendarmerie avec la balise qui continuait de fonctionner ! et avons récupéré la nacelle un peu trempée d'avoir passé la nuit sous l'orage, mais intacte et en état de marche.

Nous tenons à remercier ces deux personnes sans qui la récupération aurait été nettement plus problématique.



G050063



G050065 La nacelle telle qu'elle a été retrouvée



G050069 Une nacelle dans notre champ, on aura tout vu !



G050066

3.5 Dépouillement des résultats

En fin d'après-midi, lorsque tous les membres ayant participé à la campagne furent présents, nous avons ouvert la nacelle et récupéré les photos de vol dans l'appareil. Puis nous avons utilisé les données de température, de pression et de GPS pour tracer toutes les courbes nécessaires.

3.6 Problèmes rencontrés

La météo mauvaise nous a imposé un lancement précipité, plus tôt que prévu, au dépens des tests et de préparation au lancement.

Nous avons eu un incident avec l'hélicoptère de récupération (voir 7.).

Les orages violents qui se sont déchaînés à la fin du vol nous ont empêché de récupérer la nacelle tout de suite.

4. EXPLOITATION DES RESULTATS

L'exploitation es téléméasures ont données les résultats suivants:

4.1 Images

L'appareil photo a pris 95 photos avant extinction, dont 4 avant le décollage, 23 en vol et 30 au sol avant la nuit.

Voici un diaporama des photos prises.

Les heures sont en heure locale réelle.

Altitude de lâcher 880m

Pour mémoire, le lâcher a eu lieu à 16:29:31, la culmination à 18:17:43 et l'atterrissage vers 19:01.



G05O096
16:01:48
880m(nacelle au sol)



G05O097
16:07:58
880m(nacelle au sol)



G05O098
16:14:18
880m(nacelle au sol)



G05O099
16:23:48
880m(nacelle au sol)



G05O100
16:33:22
2350m



G05O101
16:40:08
4100m



G05O102
16:45:14
5500m



G05O103
16:52:24
7450m



G05O104
16:59:04
9350m



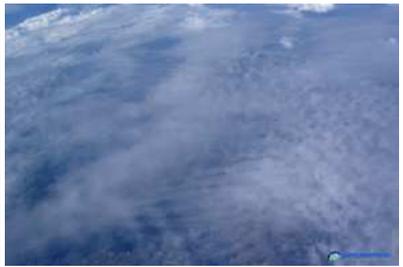
G05O105

17:05:24
11250m



G05O106

17:12:20
13050m



G05O107

17:19:10
14700m



G05O108

17:25:26
16500m



G05O109

17:31:52
18150m



G05O110

17:38:30
19800m



G05O111

17:45:24
21650m



G05O112

17:52:40
23700m



G05O113

18:00:00
25900m



G05O114

18:06:50
28100m



G05O115

18:13:12
30150m



G05O116

18:19:50
26300m



G05O117
18:25:26
18000m



G05O118
18:31:46
12700m



G05O119
18:38:26
8800m



G05O120
18:44:32
5700m



G05O121
18:51:20
3100m



G05O122
18:57:32
800m



G05O123
19:03:34
300m



G05O124
19:09:42
300m



G05O125
19:16:02
300m



G05O126
19:22:20
300m



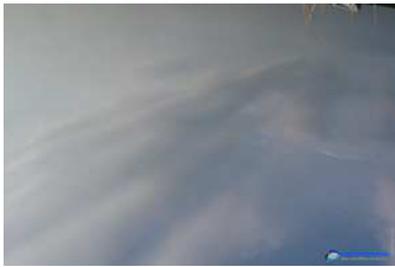
G05O127
19:28:30
300m



G05O128
19:34:18
300m



G05O129
19:40:12
300m



G05O130
19:45:56
300m



G05O131
19:51:40
300m



G05O132
19:57:22
300m



G05O133
20:02:56
300m



G05O134
20:08:26
300m



G05O135
20:14:00
300m



G05O136
20:19:42
300m



G05O137
20:25:26
300m



G05O138
20:31:26
300m



G05O139
20:37:04
300m



G05O140
20:42:48
300m



G05O141
20:48:38
300m

G05O142
20:54:26
300m

G05O143
20:59:56
300m



G05O144
21:05:38
300m

G05O145
21:11:16
300m

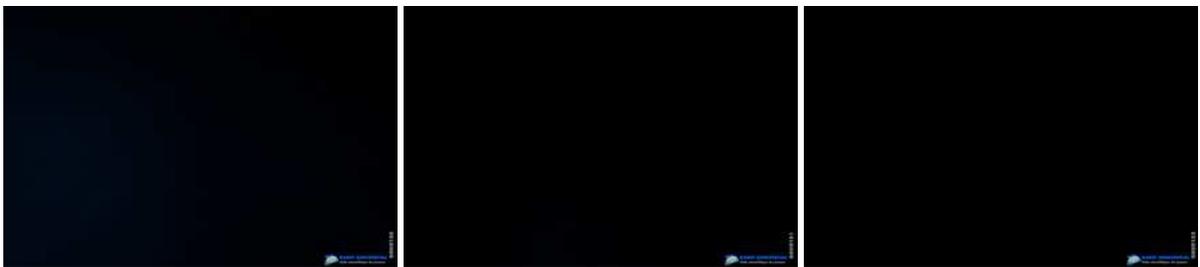
G05O146
21:17:08
300m



G05O147
21:23:02
300m

G05O148
21:29:08
300m

G05O149
21:35:46
300m



G05O150
21:41:36
300m

G05O151
21:46:06
300m

G05O152
21:48:28
300m

Suivent les plus belles photos de ce vol en qualité supérieure.



G05O100 (à 2350m)



G05O115 (à 30150m)



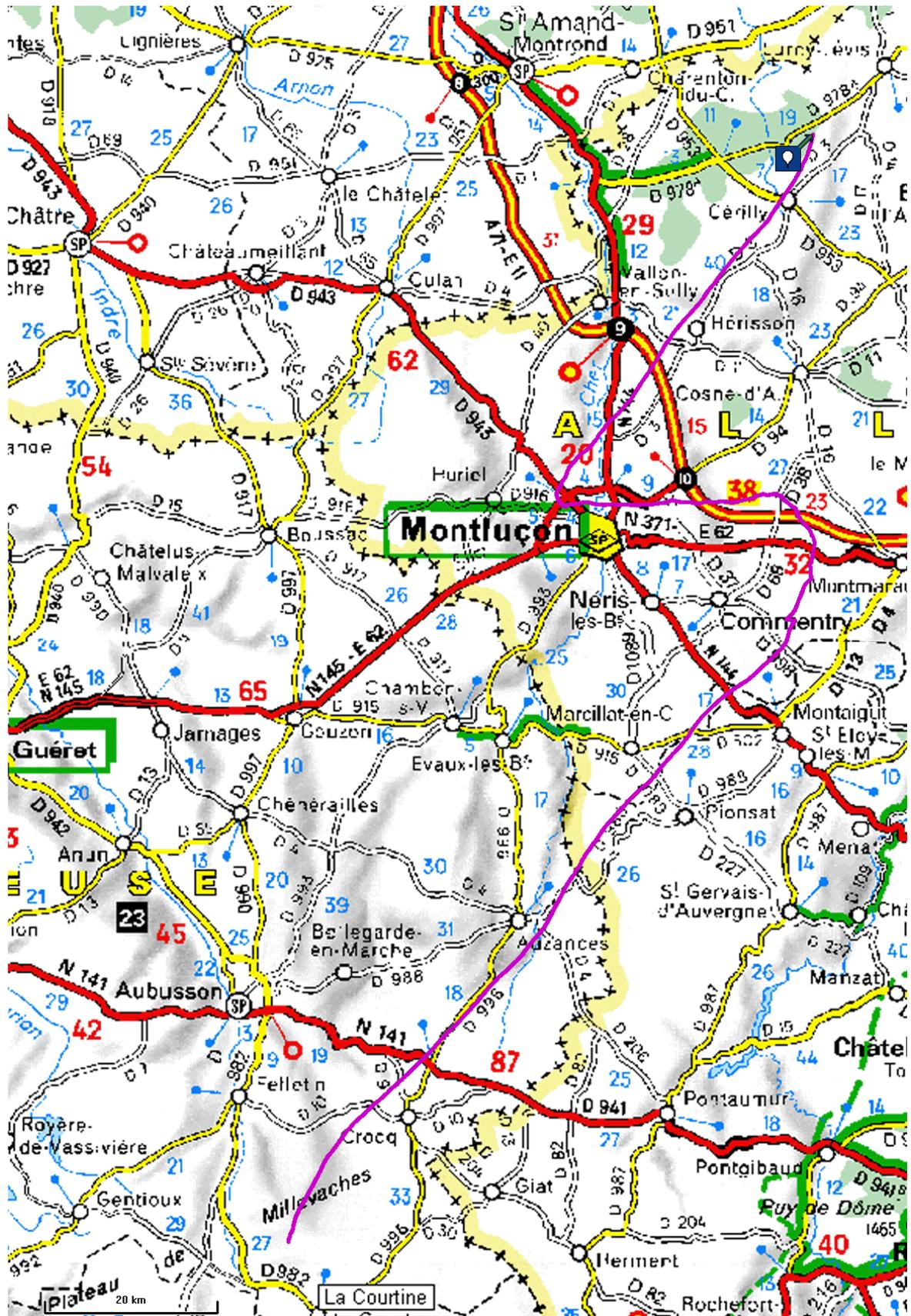
G05O118 (à 12700m)



G05O120 (à 5700m)

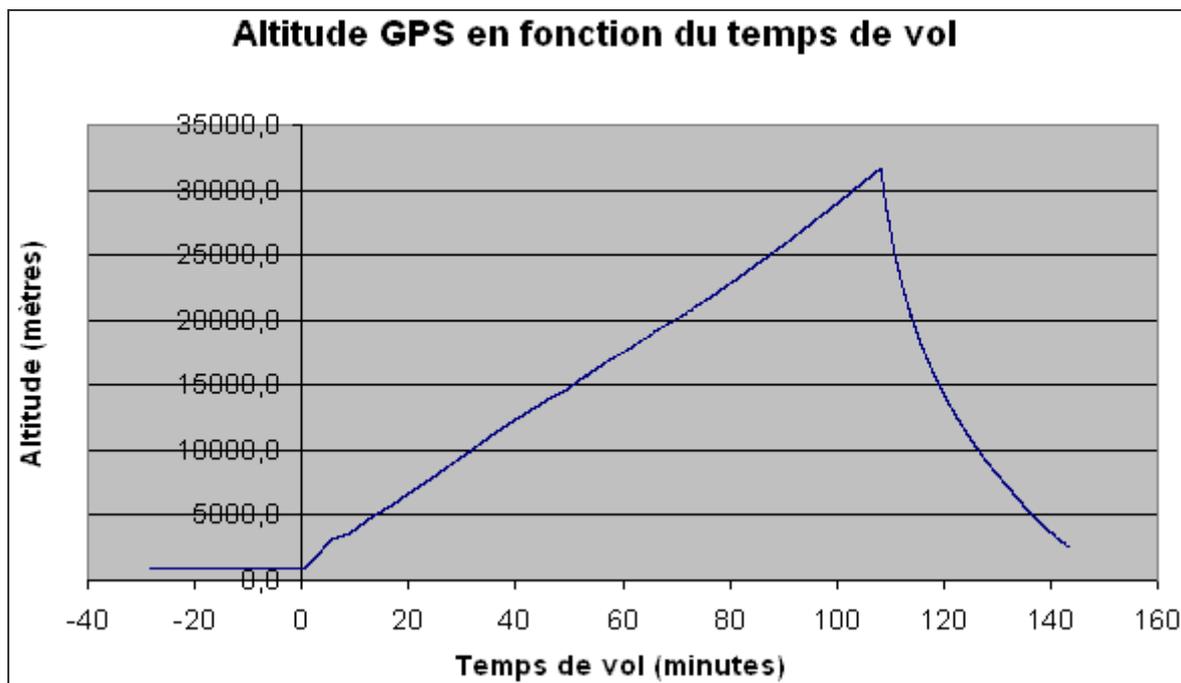
On peut voir sur quelques photos le dégradé de bleu, dû à la variation de la densité de l'atmosphère en haute altitude.

Il est également intéressant d'observer les fameux cumulo-nimbus (nuages d'orage) (voir photos G05O115) annoncés par météo France.



La nacelle a donc parcouru (sur une projection au sol) environ 110 km, (tracé en violet). Ses changements de trajectoire s'expliquent par les variations de direction des vents en fonction de l'altitude. La culmination a eu lieu au moment où la nacelle est passée juste au nord de Montluçon.

4.2.2 Altitude GPS



Le graphe montre l'altitude GPS de la nacelle en fonction du temps.

On peut voir que le lâcher a été effectué 28m 16s après le début de l'émission.

La culmination est atteinte à 18h 17m 43s, soit 1h 48m 12s après le décollage. L'altitude GPS correspondante est de 31620 m.

La vitesse moyenne d'ascension de la nacelle a été de 4.9 m/s (17.5 km/h). La vitesse de descente sur les 5000 premiers mètres est de 50m/s (180km/h), et de 12.1 m/s (43.5 km/h) en moyenne sur la durée totale de la descente.

On observe l'arrêt de la réception GPS à 18h 53m 42s après 2h 24m 11s à 2400m environ, à cause de la courbure de la terre et du relief, qui empêchent une visée directe entre la nacelle et la station de réception.

On estime l'atterrissage à 19h01m environ, soit après 2h 32m de vol.

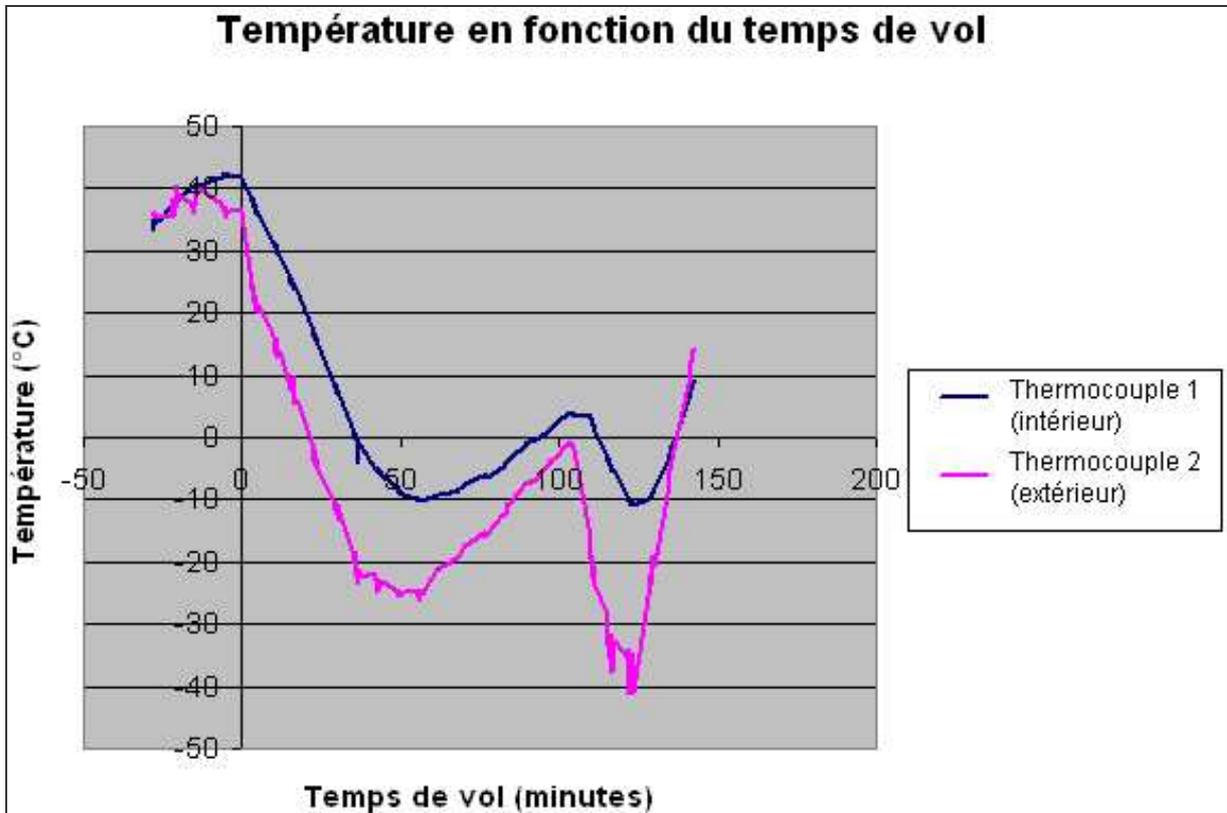
4.3 Mesures effectuées à bord

Grâce à tous les remaniements effectués pour Horus 4, nous avons réussi à avoir des mesures nettement plus précises que lors des projets précédents, avec une réception non bruitée tout au long du vol.

On trouvera ci-après les dépouillements des mesures de température et de pression.

4.3.1 Température

4.3.1.1 Températures en fonction du temps



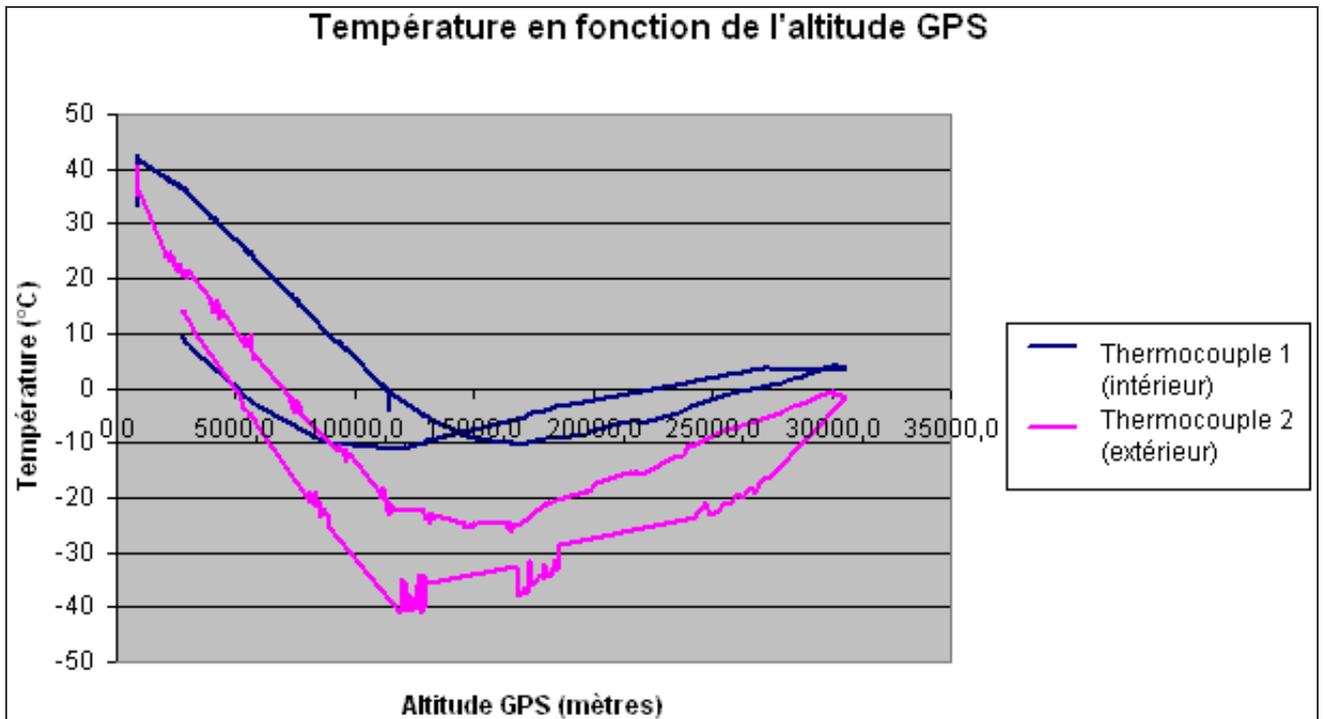
Les courbes ainsi que les mesures sont cohérentes, et sont beaucoup plus propres qu'en 2004. Le blindage effectué a donc été efficace.

Les mesures des trente premières minutes environ correspondent à la mise en fonctionnement de l'électronique embarquée. On n'observe donc ici que le réchauffement, au sol, de la nacelle par l'émetteur et par le soleil. Le lâcher (To=lâcher) n'a été effectué qu'après 28 minutes et 16 secondes après la mise sous tension de la nacelle.

L'isolation thermique n'est donc pas parfaite, la température interne de la nacelle variant avec la température extérieure, mais la chaleur dégagée par l'émetteur a tout de même permis de ne pas exposer l'électronique embarquée à des températures trop basses.

4.3.1.2 Température en fonction de l'altitude GPS

A partir des courbes précédentes, et en établissant la correspondance temps-altitude GPS, on peut obtenir les courbes de température en fonction de l'altitude.



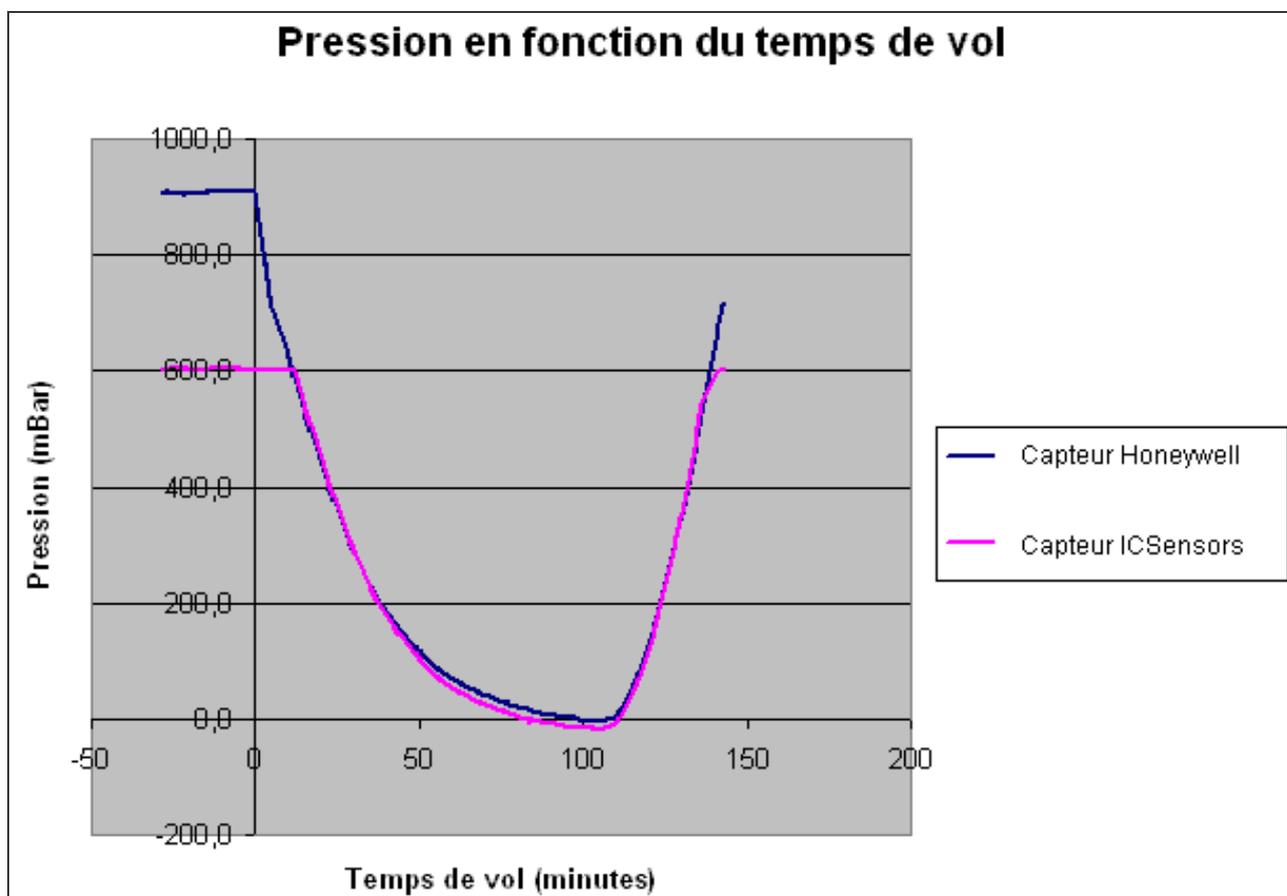
On observe une nette différence de température entre chaque passage par deux points de même altitude, à l'aller puis au retour. Les températures de "retour" étant à chaque fois plus faibles.

Les mesures ne sont pas pour autant incohérentes : en effet pour chaque altitude, elles sont effectuées en ascension puis en descente, donc à des endroits différents avec des vents différents. De plus, l'heure de mesure n'est pas la même : il est plus tard dans la soirée lors du second passage, donc il est naturel que les températures soient plus fraîches.

On peut observer le passage de la nacelle dans deux couches de l'atmosphère : dans la troposphère, de 0 à 12 000m environ, là où la température est décroissante avec l'altitude, et dans la stratosphère, à partir de 12 000m, où la température est censée être sensiblement constante. L'augmentation de la température y est due à la chaleur dégagée par l'électronique embarquée.

4.3.2 Pression

4.3.2.1 Pression en fonction du temps



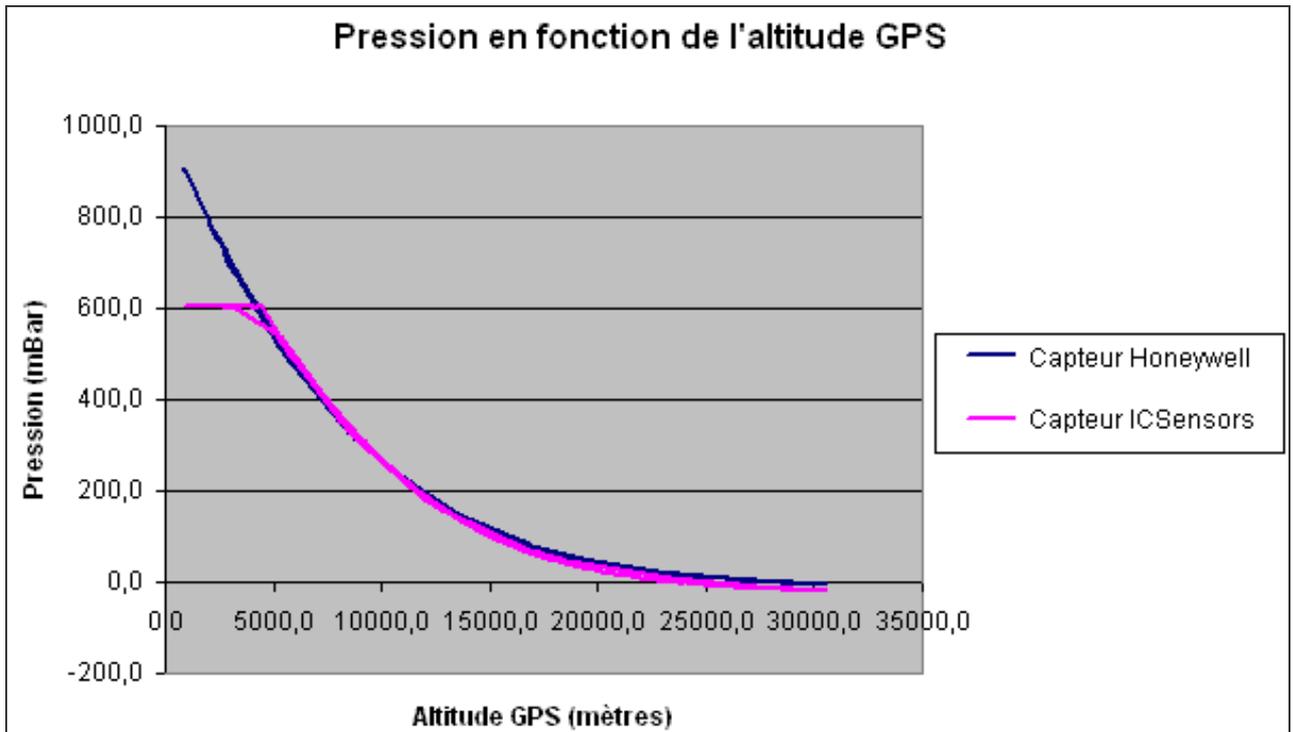
On n'observe aucun parasite, ce qui prouve là encore que le blindage a été efficace par rapport à HORUS III et l'allure de la courbe est vraisemblable : elle correspond visiblement à une fonction exponentielle de l'altitude, comme le précise le modèle de la norme de l'atmosphère standard

Le plafond observé sur le capteur ICSensors est dû au fait qu'il est saturé à 600mBar, c'est tout à fait normal et prévu.

La pression évolue de 900 mBar environ jusque presque 0 mBar à culmination. Une erreur d'étalonnage ou une dérive de l'électronique d'amplification entraîne l'apparition de pressions négatives sur le capteur ICSensors, pourtant censé être plus fiable aux basses pressions.

On peut retrouver sur ce graphe le profil du vol : les trente minutes d'émission au niveau du sol, puis la phase ascendante jusqu'à 110 minutes environ, et enfin la descente sous parachute de la nacelle.

4.3.2.2 Pression en fonction de l'altitude GPS

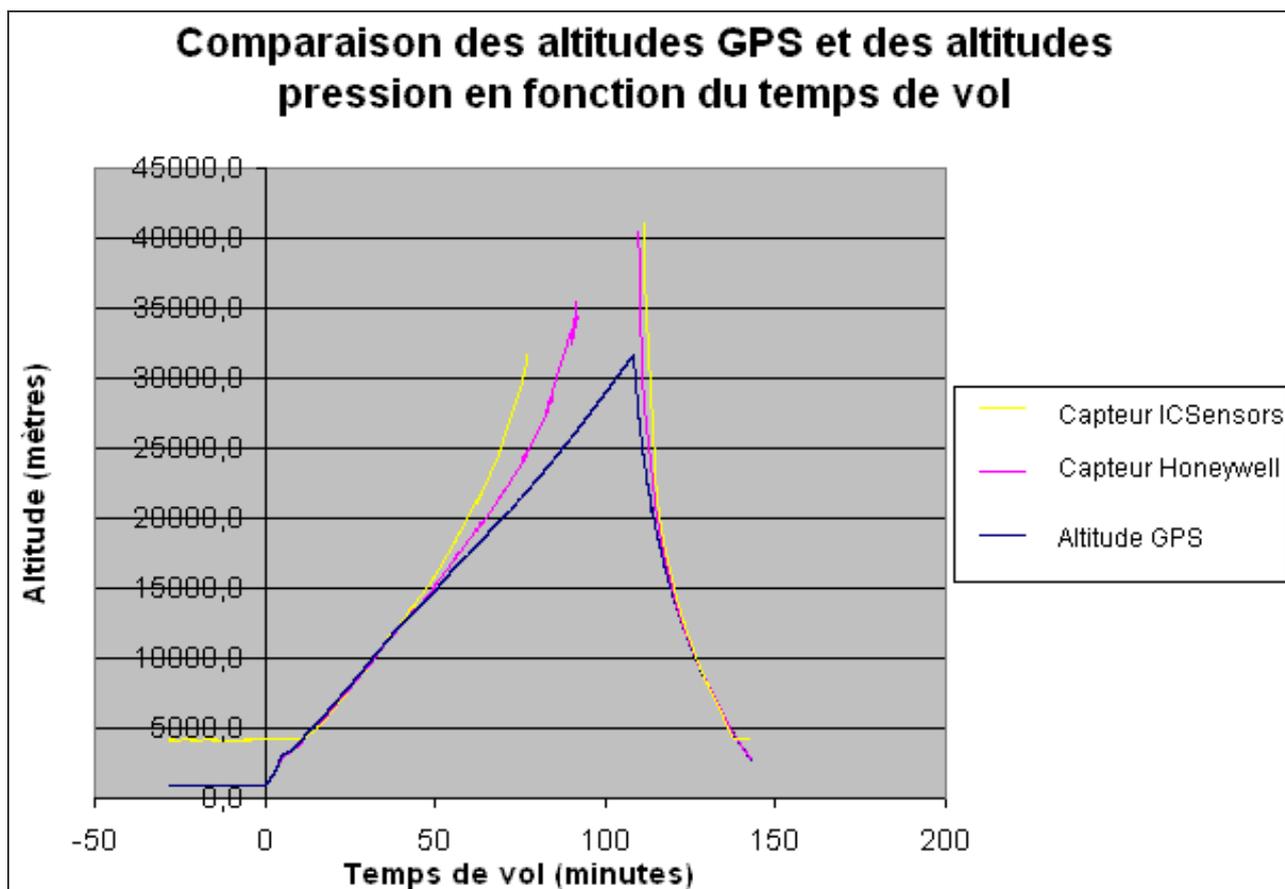


Ces courbes correspondent au modèle de l'atmosphère standard : on observe bien une courbe exponentielle.

Les mesures pendant l'ascension et la descente se superposent de manière très satisfaisante, montrant que les capteurs dérivent très peu.

On observe que la pression est relativement basse (900 mBar au lieu de 1013 mBar au niveau de la mer) au décollage, ce qui est causé par le fait que le plateau de Millevaches, site de lancement, se situe à 900 mètres (ce qui correspond à 909 mBar selon la norme de l'atmosphère standard).

4.3.2.3 Comparaison entre l'altitude GPS et l'altitude-pression



On voit que jusqu'à 15000 mètres l'altitude donnée par le GPS et les altitudes calculées à partir de la pression coïncident très bien.

Cependant, une erreur d'étalonnage, sans doute un offset d'environ 10 mBar, entraînent une dérive des courbes calculées à partir des capteurs lorsque la pression devient faible. Les capteurs ont même donné des valeurs de pression négatives, ce qui est impossible et explique le trou de valeurs dans la courbe.

Le capteur IC Sensors étant saturé à 600 mBar, il est normal qu'il indique une altitude de 4500 mètres au début et à la fin du vol.

4.4 Datation des évènements

Jeuudi 28 juillet 2005.

Heure locale réelle	Temps de vol T0	No de Trame	Evènement
16h01m15s	T0= -28m16s	1	Début de l'émission
16h29m31s	0s	543450	Lâcher
18h17m43s	1h 48m12s	2624160	Culmination
18h53m10s	2h 23m39s	3305820	Perte de Télémessure
19h01m	2h 32m		Atterrissage de la nacelle

4.5 Problèmes rencontrés

Les vents violents lors du vol ont causé quelques pertes de télémessure perturbant la réception des photos en temps réel.

L'étalonnage des capteurs de pression était incorrect ou il y a eu une dérive de l'électronique de mesure.

5. SYNTHÈSE

5.1 Expériences

Le ballon sonde Horus 4 (conçu et réalisé par des jeunes de 14 à 19ans), a effectué le suivi de la pression et de la température en fonction de l'altitude, ainsi que de sa position GPS, et a également pris des photographies de l'horizon.

Toutes ces données ont été transmises en temps réel à une station de réception au sol, enregistrées sur PC est restituées en temps réel sur un deuxième PC.

5.2 Spécifications

Les dimensions de la nacelle étaient de 31x30x11cm en Carton Plume (250g vide), pour une masse de 2450g environ (nacelle équipée). Carton maintenu avec scotch aluminium 3M 425. Elle contenait:

1 capteurs de pression 85-005A 8C lcsensor 0 à 600mBars

1 capteur de pression 142PC15A Honewell 0 à 1020mBars

2 thermocouples de type J (fer-constantan)(Fe-Kons)

1 récepteur GPS LASSEN SKII Trimble, antenne active micropatch Trimble

1 appareil photo numérique:

Casio QV4000, résolution 2256x1504, 4.13 Mpixels, USB 4 piles AA Li 3000mA

1 Emetteur TTS-1331 de Emhiser Research, FM, 2235MHz, 30dBm. 12V 650mA

1 Antenne Huber-Schuner 1322.19.006 polarisation circulaire droite

1 Balise Marshall Power max transmitter 7g, pile Li 1632, autonomie 9jours, Bip à 216.085 MHz

Calculateur de bord: Carte PC104 ZF86x 100MHz, 32Mo SDRAM, 32Mo Flash, 2 ports USB, 2 ports serie, 24 E/S numériques, 16 Entrées analogiques. Linux.

Cartes électroniques d'alimentation, de conditionnement, et de génération PCM d'origine GAREF

L'électronique embarquée était alimentée par deux blocs de piles lithium, Energizer L91 AA 3000mA de 12V (émetteur) et 21V.(électronique nacelle)

Consommation : émetteur : 0.61A à 12V, électronique nacelle : 0.52A à 17,6V 0.45A à 20,5V

Autonomie:

émission télémessure 4 à 5 heures, électronique nacelle:5 à 6h, AppPhotos >10h, Balise 8-9 jours

Enveloppe du ballon: Kaysam KCI 1200 latex. Masse 1200g diamètre 2,26m à 1000mBars, 8,60m à 7,3 mBars

5.3 Campagne

Le lâcher de Horus 4 a eu lieu à La Courtine (Creuse) le jeudi 28 juillet 2005 à 16h 29m 31s locale.

Point GPS de lancement : Latitude : 45°45'23"N
Longitude : 02°13'08"E
Altitude : 880m

Dernier point GPS reçu : Latitude : 46°40'09"N
Longitude : 02°50'34"E
Altitude : 2436m

Point GPS d'atterrissage : Latitude : 46°40'13"N
Longitude : 02°51'35"E
Altitude : 300m

Le vol a duré environ 2h 32m. (du décollage à l'atterrissage)

La culmination a été atteinte à 31620 mètres, à 18h 17m 43s, après 1h48 d'ascension à une vitesse moyenne de 4.9m/s.

La nacelle a pu être récupérée rapidement et sans dommages.

6. CONCLUSION

Ce projet fait partie d'une lignée d'expériences en ballon-sonde visant à prendre des photographies depuis des altitudes élevées.

Il s'agit d'expériences "légères" qui peuvent être menées à bien en un an de travail (à 250h/pers) avec une équipe de jeunes de 14-19 ans.

Horus 4 a permis de réaliser des mesures de température et de pression nettement plus précise que lors des projets précédents, et non bruitée.

Il a aussi permis de tester de nouveaux thermocouples, plus performants, et une nouvelle chaîne de réception de télémesure avec un nouveau synchro primaire et secondaire..

La réalisation de boîtiers blindés pour les capteurs a été un défi de miniaturisation et d'électronique de précision.

Enfin, la prise de photos par une météo orageuse a donné des photos très intéressantes et originales par rapport aux projets précédents.

Nous sommes satisfaits des résultats fournis par HORUS 4. Il nous a montré qu'il était possible de résoudre des problèmes qui paraissaient pourtant insurmontables il y a quelques mois. Toutefois, il y a quelques points qui mériteraient encore une amélioration :

- Ajout d'une mesure de la tension des piles pour vérifier l'alimentation électrique
- Logiciel embarqué envoyant des mesures en continu et non par intervalle
- Logiciel embarqué réalisant une sauvegarde périodique des paramètres de vols (tels que la position GPS et les mesures) qui étaient transmis sans être enregistrés à bord
- Augmentation de débit (200 kbps à 400 kbps)
- Relevé de la pression au sol au point précis de lancement
- Ajout d'un code correcteur d'erreur de type Reed Solomon

On peut donc envisager de poursuivre l'optimisation de la lignée HORUS en tâche de fond, tout en se consacrant en priorité à des projets différents qui intéressent beaucoup l'équipe: une fusée expérimentale et un drone.

7. INCIDENT D'OPERATION AVEC L'HELICOPTERE

Afin d'augmenter les chances de récupération de la nacelle Horus 4 et de son contenu (environ 10 000 E) le GAREF AEROSPATIAL avait prévu, comme les années précédentes, l'utilisation d'un hélicoptère de récupération.

La compagnie HELICOLIM, basée sur l'Aéroport de Limoges Bellegarde, a été retenue avec un appareil BELL 206.

Le jour du lancement, jeudi 28 juillet 2005, les autorités militaires nous avaient accordé, sur place, l'autorisation de faire poser un hélicoptère dans le camp, à côté de la route d'accès à la zone des lancements, à environ 500m au sud-est des tentes et de la zone du pas de tir.

Avec Alain Dartigalongue (DO CNES), carte en mains, les détails du couloir aérien d'accès avaient été arrêtés et transmis en direct par téléphone au pilote qui avait la même carte sous les yeux, à savoir:

- Arrivée de l'Hélicoptère par le sud-sud-est le long d'une droite La Courtine vers le point de pose.
- Interdiction de dépasser le point indiqué, ne pas rentrer plus avant dans le camp
- Interdiction d'arriver par un autre axe que La Courtine-Point de pose
- Interdiction de survol de la zone de lancement

Nous nous sommes rendus au point de pose autorisé avec une voiture équipée de GPS VDO et nous avons fait un premier relevé GPS, nous avons été en reconnaissance plus loin, puis au retour 10 minutes plus tard un deuxième relevé de confirmation a été fait. Les deux relevés ont donné la même valeur à savoir: point de pose: latitude 45°45'14" Nord longitude 02°13'20" Est

Le point de pose a été communiqué téléphoniquement au Pilote par le membre du GAREF AEROSPATIAL en charge de l'hélicoptère. (A.Khun) Il a été demandé au pilote de répéter pour s'assurer qu'il avait bien entendu les bonnes indications.

Par précaution B.Scache a pris la peine de rappeler personnellement le pilote alors qu'il était en chauffe, Hélicoptère au sol, à Limoges pour lui indiquer qu'il s'agissait d'un terrain militaire que nous avons un accord sous réserve qu'il respecte le couloir LaCourtine-Point de pose, qu'il verrait en arrivant des tentes et du public et **qu'il ne devait en aucun cas s'approcher à moins de 500m de cette zone, ni la franchir ni la survoler.**

Nous avons donc été les premiers consternés de constater

A) que le pilote est arrivé par une route visiblement sud-ouest et non pas sud-est,
B) qu'il s'est posé au beau milieu des tentes de la zone de lancement fusées expérimentales.
C) qu'il a visiblement ignoré tous les signes qui lui étaient faits par de nombreuses personnes au sol, signes qui lui indiquaient unanimement d'aller dans une autre direction et même s'il ne comprenait pas, ces gestes unanimes, il aurait du, pour le moins, être alerté sur la présence d'une situation anormale lors de son approche finale. Situation anormale qui imposait, par prudence, de repartir en attendant d'appréhender sans ambiguïté la situation.

B.Scache est alors monté immédiatement avec le pilote pour lui faire évacuer la zone et se poser à l'endroit autorisé.

Le pilote a déclaré qu'il s'était, selon lui, posé exactement au point GPS indiqué, ce qui n'apparaît pas raisonnablement crédible.

La suite des opérations de récupération (ou 2 membres du GAREF étaient présents dans l'hélicoptère) a démontré que ce pilote volait surtout en visibilité et n'avait d'évidence pas une bonne maîtrise de l'utilisation de son GPS. L'hélicoptère n'a d'ailleurs pas survolé la zone qui lui était indiqué et ou est tombé le ballon à 19h01 et de ce fait ne l'a pas repéré alors qu'il était bien à l'endroit prévu au beau milieu d'un champ dégagé !

Il semblerait donc, aussi impensable que cela puisse paraître, que l'on ait eu affaire à un pilote ayant un manque de rigueur, un manque d'appréciation des situations et un manque de maîtrise de la navigation GPS.

Conclusions:

- 1) l'incident à heureusement été sans conséquence
- 2) l'utilisation d'un hélicoptère reste un moyen quasi indispensable pour la récupération d'une nacelle coûteuse.
- 3) L'hélicoptère doit se poser suffisamment loin de la zone de lancement pour perturber au minimum les opérations, mais suffisamment près pour ne pas retarder son utilisation. 500m semble un bon compromis.

Par ailleurs prévoir de le poser plus loin n'empêcherait en rien un pilote incompetent de se poser n'importe où.

Pour éviter que ne se reproduise un tel incident nous suggérons les mesures suivantes: A+B ou A+C éventuellement D

- A) Interrogatoire du pilote avant la conclusion du contrat pour s'assurer de sa réelle expérience en matière de vol au GPS. Rappel des consignes.
- B) Arrivée de l'hélicoptère avec à bord un membre du GAREF connaissant le point de pose et les consignes (sorte de pilote comme pour les entrées de gros navires dans les ports maritimes)
- C) fumigène
- D) radio bande aviation (en admettant que le pilote l'écoute ce qui n'est pas systématique hors approche d'une zone urbaine dans ce type d'appareil)

Utilisation d'un hélicoptère de l'armée (ce qu'avait fait le GAREF à La Courtine en 1970 et 1971)

De mémoire de GAREF, c'est la première fois qu'un incident de ce type arrive, et le GAREF PARIS a présenté ses excuses au CNES et Planète Science pour cet incident.



G05O059



G05P001 *Voyons, voyons... que dit la notice du GPS...*

8. POINTS A AMELIORER

8.1 Matériel oublié

- Adaptateur écran sur PC double écran

8.2 Divers

- Nécessité d'acheter un onduleur pour éviter les problèmes d'alimentation lors des fluctuations de tension du groupe électrogène alimentant la station de réception.
- Faire un étalonnage plus précis des capteurs de pressions.
- Etudier plus en détail le fonctionnement du nouveau décommutateur pour optimiser le rapport S/B.
- Procédure à définir pour la récupération par Hélicoptère



*G05P008 B.Scache (GAREF) et Anne Serfass Denis (chef du service culture spatiale au CNES)
Et alors cet hélico...*

9. ANNEXES

9.1 DESCRIPTION DES TRAMES HORUS 4

Mot (8 bits)	Trame GPS	Trame mesures	Trame photo en cours					Trame fin de photo	Description
			lt.1	lt.2	lt.3	lt.4	lt.5		
1	FAh	FAh	FAh					FAh	Mot de synchro 1
2	F3h	F3h	F3h					F3h	Mot de synchro 2
3	20h	20h	20h					20h	Mot de synchro 3
4	FFh	55h	FAh	70h	03h	34h	3Fh	EDh	Mot d'identification 1
5	FFh	55h	3Fh	FAh	70h	03h	34h	E2h	Mot d'identification 2
6	FFh	55h	34h	3Fh	FAh	70h	03h	0Eh	Mot d'identification 3
7	FFh	55h	03h	34h	3Fh	FAh	70h	DEh	Mot d'identification 4
8	FFh	55h	70h	03h	34h	3Fh	FAh	20h	Mot d'identification 5
9	N° trame	N° trame	N° trame					N° trame	MSB N° trame
10	N° trame	N° trame	N° trame					N° trame	N° trame
11	N° trame	N° trame	N° trame					N° trame	N° trame
12	N° trame	N° trame	N° trame					N° trame	LSB N° trame
13	10h	Pression 1	N° trame interne					N° trame interne	Données
14	84h	Pression 1	N° trame interne					N° trame interne	Données
15	LAT	Pression 2	PHOT					PHOT	Données
16	LAT	Pression 2	PHOT					PHOT	Données
17	LAT	Tension 1	PHOT					PHOT	Données
18	LAT	Tension 1	PHOT					PHOT	Données
19	LAT	Tension 2	PHOT					PHOT	Données
20	LAT	Tension 2	PHOT					PHOT	Données
21	LAT	Température 1	PHOT					PHOT	Données
22	LAT	Température 1	PHOT					PHOT	Données
23	LON	Température 2	PHOT					PHOT	Données
24	LON	Température 2	PHOT					PHOT	Données
25	LON	Température 3	PHOT					PHOT	Données
26	LON	Température 3	PHOT					PHOT	Données
27	LON	Température 4	PHOT					PHOT	Données
28	LON	Température 4	PHOT					PHOT	Données
29	LON	D6h	PHOT					PHOT	Données
30	LON	D6h	PHOT					PHOT	Données
31	ALT	D6h	PHOT					PHOT	Données
32	ALT	D6h	PHOT					PHOT	Données
33	ALT	D6h	PHOT					PHOT	Données
34	ALT	D6h	PHOT					PHOT	Données
35	ALT	D6h	PHOT					PHOT	Données
36	ALT	D6h	PHOT					PHOT	Données
37	ALT	D6h	PHOT					PHOT	Données
38	ALT	D6h	PHOT					PHOT	Données
39	CLK	D6h	PHOT					PHOT	Données
40	CLK	D6h	PHOT					PHOT	Données
41	CLK	D6h	PHOT					PHOT	Données
42	CLK	D6h	PHOT					PHOT	Données
43	CLK	D6h	PHOT					PHOT	Données
44	CLK	D6h	PHOT					PHOT	Données
45	CLK	D6h	PHOT					PHOT	Données

46	CLK	D6h	PHOT	PHOT	Données
47	TOF	D6h	PHOT	PHOT	Données
48	TOF	D6h	PHOT	PHOT	Données
49	TOF	D6h	PHOT	PHOT	Données
50	TOF	D6h	PHOT	PHOT	Données
51	10h	D6h	PHOT	PHOT	Données
52	03h	D6h	PHOT	PHOT	Données
53	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
54	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
55	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
56	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
57	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
58	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
59	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
60	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
61	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
62	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
63	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
64	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
65	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
66	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
67	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
68	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
69	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
70	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
71	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
72	D6h	D6h	PHOT	PHOT	Données
73	CHECKC	CHECKC	CHECKC	CHECKC	MSB checkcolonne
74	CHECKC	CHECKC	CHECKC	CHECKC	LSB checkcolonne
75	CHECKL	CHECKL	CHECKL	CHECKL	MSB checkligne
76	CHECKL	CHECKL	CHECKL	CHECKL	checkligne
77	CHECKL	CHECKL	CHECKL	CHECKL	checkligne
78	CHECKL	CHECKL	CHECKL	CHECKL	LSB checkligne

Chaque trame suit le format IRIG 106. La trame est composée de 78 octets, et d'un mot de synchronisation de 24 bits fixe (FAF320h). Ce format a été éprouvé sur de nombreuses expériences et garantit un taux de pertes de données très faibles. Ce format est fixe car toute modification doit être faite en reprogrammant le décommutateur fil à fil.

Chaque trame est envoyée une seule fois, sauf les trames photo, qui elles sont envoyées en 5 exemplaires (voir explication)

LAT : latitude en radians (positif : nord, négatif : sud), nombre à virgule flottante à 8 octets

LON : longitude en radians (positif : est, négatif : ouest), nombre à virgule flottante à 8 octets

ALT : altitude en mètres, nombre à virgule flottante à 8 octets

CLK : décalage de l'horloge en mètres, nombre à virgule flottante à 8 octets

LAT : latitude en radians (positif : nord, négatif : sud), nombre à virgule flottante à 8 octets

TOF : Time Of Fix (heure de la position) en secondes depuis le début de la semaine (on retrouve l'heure du jour en prenant le reste de la division de ce nombre par 86400), nombre à virgule flottante à 4 octets

PHOT : données image (partie d'une image JPEG)

Code correcteur d'erreur : les octets sont placés dans un tableau de 2 colonnes et 39 lignes.

Octet 1	Octet 2
Octet 3	Octet 4
Octet 5	Octet 6
....

Le CheckLigne (CHECKL) est calculé en faisant l'opération XOR sur les 16 bits de chaque ligne.

Le CheckColonne (CHECKC) est calculé en faisant l'opération XOR sur les octets des colonnes et en les recombinaut. Ce système permet de détecter et corriger jusqu'à 3 octets faux.

Procédé d'envoi des trames : Une trame GPS est envoyée dès la réception d'un paquet GPS, les trames de mesure sont envoyées en continu, et lors de la transmission des images, les trames de mesure sont incluses à un rythme d'au moins dix fois par seconde.

Les images sont transmises par le procédé suivant : l'appareil photo est piloté pour prendre une photo, puis est réglé en mode lecture, et l'image est téléchargée dans la mémoire vive de l'ordinateur de bord par USB. Les données de l'image sont découpées en paquets de 60 octets qui sont intégrées dans la trame. Chaque trame photo est identifiée par un numéro d'itération. A la fin de l'image, une trame de fin de photo est envoyée, et le numéro d'itération est incrémenté, et l'image est transmise ainsi cinq fois à la suite. Une fois récupérés au sol, ces paquets sont stockés dans un fichier, puis décodés par un programme externe qui réalise un vote majoritaire entre les octets de l'image, pour la reconstituer. Ce système permet ainsi de s'assurer contre une perte de télémesure qui ferait perdre une partie d'une image, car il pourrait la reconstituer à partir des quatre autres itérations.

9.2 PLANS MECANIKUES HORUS 4

9.3 BULLETIN METEO DU 28 juillet 2005