

BALLON SONDE HORUS III

RAPPORT D'EXPERIENCE

GP-3002-P-014

Révision 1.0

24 décembre 2004

Rédigé par : Alexandre Khun

Approuvé par : Axel Chovet

SOMMAIRE

0.	EVOLUTION DU DOCUMENT	1
1.	PRESENTATION GENERALE	2
2.	REALISATION DU PROJET.....	3
2.1	Expériences	3
2.1.1	Mesures physiques	3
2.1.1.1	Température	3
2.1.1.2	Pression.....	3
2.1.1.3	Etalonnage des capteurs.....	3
2.1.2	Transmission d'images en temps réel	6
2.1.2.1	Caractéristiques de l'appareil photographique	6
2.1.2.2	Traitement des photos à bord, principe de récurrence	6
2.1.3	Transmission des mesures	7
2.1.4	Repérage et suivi de la nacelle.....	7
2.1.4.1	Repérage GPS	7
2.1.4.2	Repérage par radio-tracking.....	7
2.1.4.3	Antenne de réception au sol asservie	8
2.2	Aspect électronique.....	9
2.2.1	Carte PCM	9
2.2.2	Carte Calculateur de bord PC 104.....	10
2.2.3	Carte Analogique	10
2.2.4	Alimentation	10
2.3	Chaîne d'émission.....	11
2.3.1	Emetteur TTS-1331 (Teletronics)	11
2.3.2	Signal modulant de l'émetteur	11
2.3.3	Antenne.....	11

2.4	Bilan de liaison	11
2.5	Synoptiques	12
2.5.1	Synoptique de la nacelle	12
2.5.2	Synoptique de la chaîne de réception	14
2.6	Mécanique de la nacelle	15
3.	CAMPAGNE DE LANCEMENT	16
3.1	Installation sur place	16
3.2	Essais de la chaîne de télémesure	17
3.2.1	Réglage de la télémesure	17
3.2.1.1	Réglage du récepteur DR 2000 (Microdyne Corporation L3Com)	17
3.2.1.2	Réglage synchro primaire SP 5101 de Schlumberger	17
3.2.1.3	Réglage synchro secondaire 5510 de Schlumberger	17
3.3	Lancement	17
3.3.1	Récupération.....	19
3.3.2	Datation des évènements	20
4.	EXPLOITATION DES RESULTATS.....	21
4.1	Suivi GPS.....	21
4.1.1	Position GPS.....	21
4.1.2	Altitude GPS.....	22
4.2	Mesures physiques	24
4.2.1	Température.....	24
4.2.1.1	Températures en fonction du temps.....	24
4.2.1.2	Température en fonction de l'altitude GPS	24
4.2.2	Pression	26
4.2.2.1	Pression en fonction du temps	26
4.2.2.1.1	Capteur hautes pressions.....	26
4.2.2.1.2	Capteur basses pressions.....	27
4.2.2.2	Pression en fonction de l'altitude GPS	27
4.2.2.2.1	Capteur basses pressions.....	28
4.2.2.2.2	Capteur hautes pressions.....	28

4.2.2.3	Comparaison entre l'altitude GPS et l'altitude pression	29
4.3	Images	29
5.	SYNTHESE.....	34
5.1	Expériences	34
5.2	Spécifications.....	34
5.3	Campagne.....	34
6.	CONCLUSION	35
7.	MEMOIRE.....	36
8.	POINTS A AMELIORER	37
9.	ANNEXE	38
10.	DESCRIPTION TRAMES HORUS III	39
11.	BULLETIN METEO.....	42

0. EVOLUTION DU DOCUMENT

02-08-2004 : version 0.0

24-12-2004 : version 1.0

1. PRESENTATION GENERALE

Fruit d'un an de travail, Horus III est un ballon sonde (masse de nacelle inférieure à 2,5 kg) pouvant atteindre une altitude de 30 km, entièrement réalisé au GAREF AEROSPATIAL par toute l'équipe.

Par rapport aux ballons sondes lancés les années précédentes (Horus I et Horus II), l'objectif était d'améliorer les mesures de pression et de température et de réussir la transmission en temps réel d'images numériques ce qui n'avait pu être obtenu précédemment.

Horus III enregistrerait aussi à bord, des photographies de l'horizon à différentes altitudes.

Le ballon sonde Horus III a été lancé le 31 juillet 2004 lors des rencontres nationales des clubs aérospatiaux à Flixecourt (Somme).

Cette opération était organisée conjointement par le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) et l'association Planète-Sciences.

Toutes les données de la nacelle ont été transmises en temps réel à la station de réception au sol, ainsi que les informations GPS permettant l'orientation de l'antenne de réception.

La récupération de la nacelle par hélicoptère a été facilitée par l'utilisation d'une balise de *radio-tracking*.



G04P101 Horus III en vol

2. REALISATION DU PROJET

2.1 Expériences

2.1.1 Mesures physiques

2.1.1.1 Température

Contrairement à Horus I et II nous avons choisi d'utiliser des thermocouples plutôt que des sondes au platine (Pt 100). Celles-ci s'échauffaient dans les expérimentations précédentes sous l'influence du courant de mesure les traversant (en effet, en atmosphère raréfiée, il y a très peu de dissipation thermique).

Les mesures ont été effectuées à quatre endroits de la nacelle afin d'observer l'influence des différentes sources de chaleur sur la température de la nacelle (rayonnement solaire, chaleur dissipée par la nacelle). Nous avons placé deux sondes à l'extérieur: une en dessous de la nacelle (sonde 1), et une au dessus (sonde 2)

Pour surveiller la température de l'émetteur de télémessure (le module qui chauffe le plus) nous y avons fixé un thermocouple (sonde 4), que l'on comparera à la température au centre de la nacelle (sonde 3).

2.1.1.2 Pression

Dans l'objectif d'obtenir des mesures précises de la pression atmosphérique, nous avons utilisé deux capteurs spécialisés dans deux plages de pressions : un pour les basses pressions (0-300 mbar), et un autre pour les pressions plus élevées (0-1100 mbar).

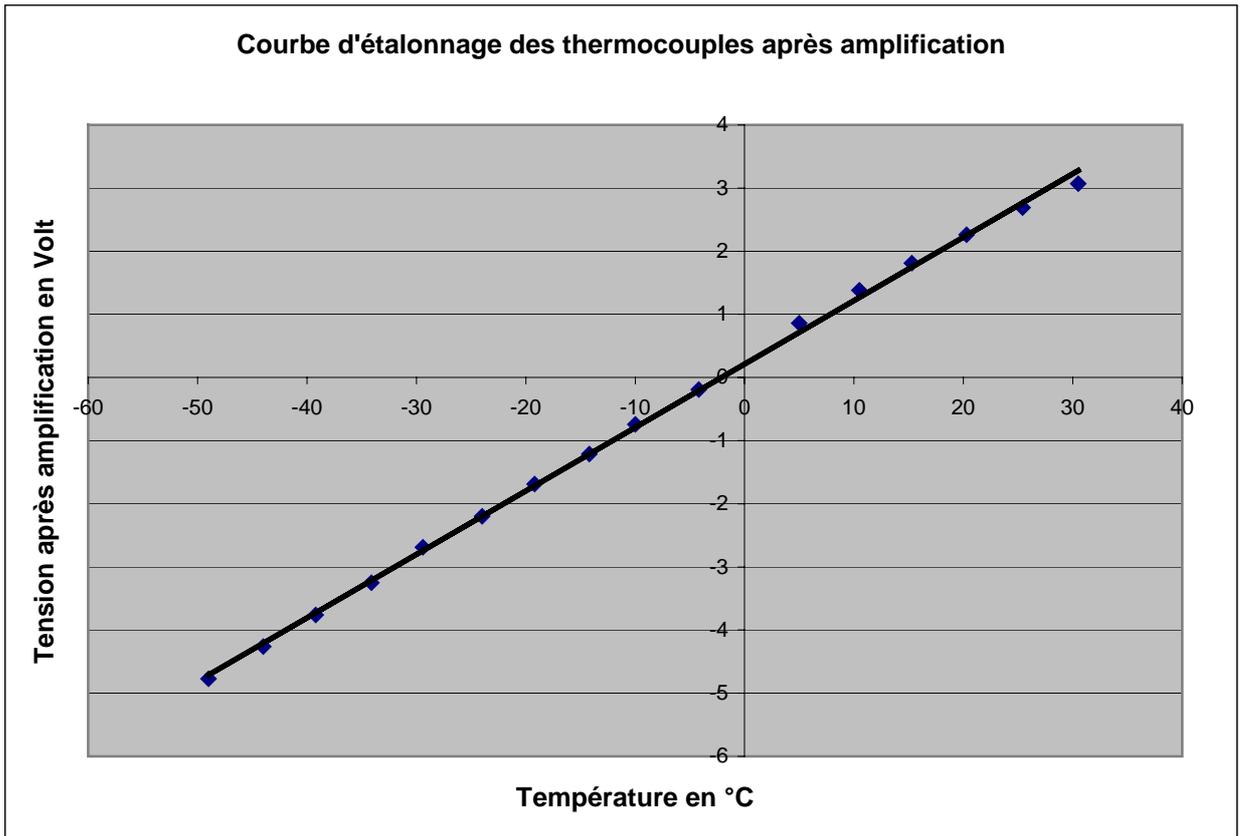
A partir des données de pression, on peut déduire l'altitude de la nacelle au cours du temps, grâce aux tableaux de "l'atmosphère type" ISO 2533 et la mesure au sol des paramètres température, pression. On établit une correspondance entre chaque valeur de pression et l'altitude indiquée par cette norme.

On peut donc ainsi obtenir une courbe d'altitude à partir des capteurs de pression et la comparer à la courbe d'altitude fournie par le GPS.

2.1.1.3 Etalonnage des capteurs

Les capteurs de température ont été étalonnés dans le caisson climatique du club, entre -60°C et 40°C. Les capteurs de pression sont étalonnés avec une pompe à vide, dans un tube à vide dont la pression est asservie par un calibrateur de pression absolue DRUCK DPI 520. On obtient un étalonnage de précision jusqu'à un peu moins de 10mbar.

Le capteur de pression Honeywell est prévu pour mesurer des pressions élevées, jusqu'à la pression atmosphérique, alors que le capteur IC Sensors mesure les pressions inférieures à 300 mbar.

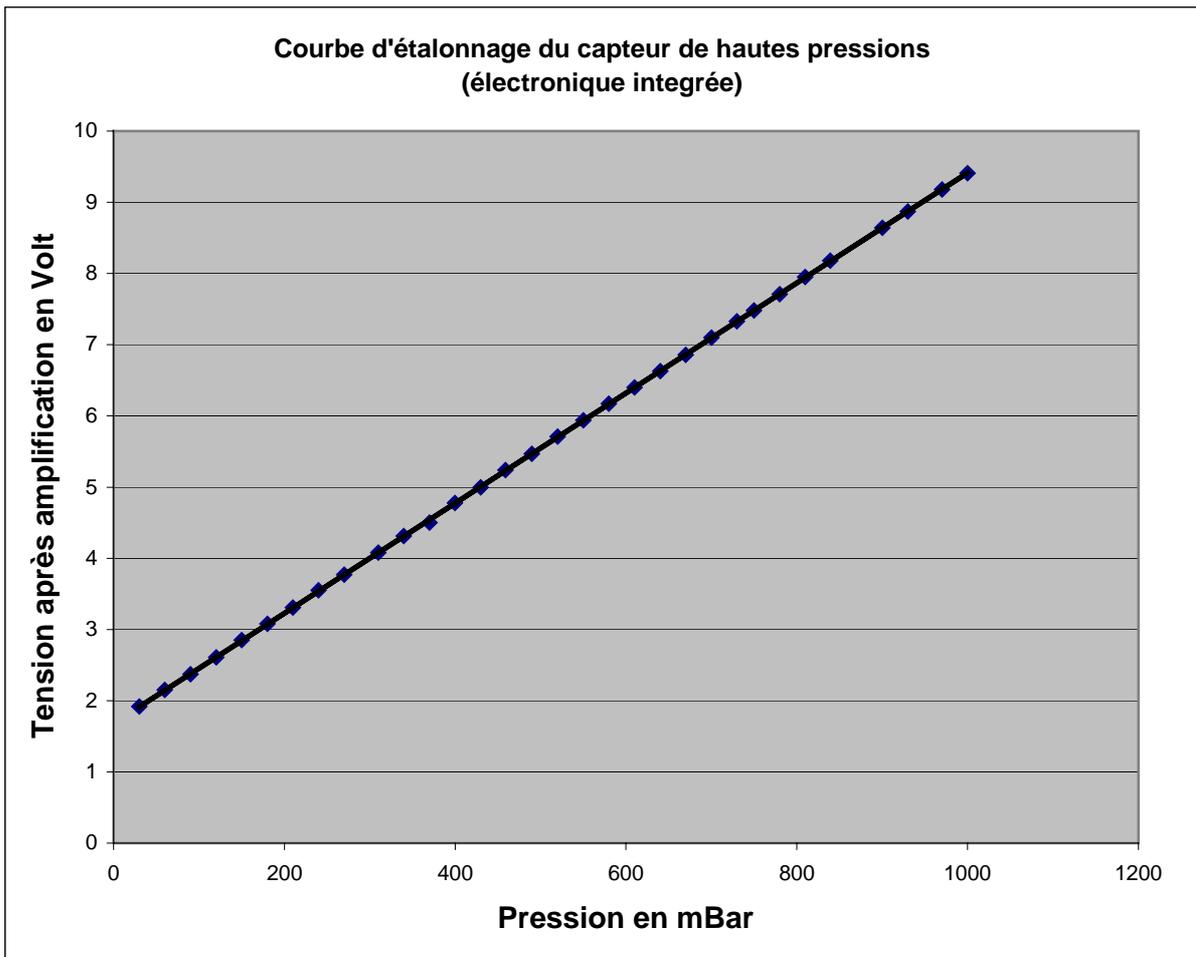


Avec U la tension après amplification aux bornes du thermocouple en Volts, et T la température en °C, on en déduit la relation suivante (avec un coefficient de corrélation $R^2=0,999$) :

$$U = 0,1005 T + 0,2135$$

On obtient la formule d'étalonnage :

$$T = 9,950 U - 2,124$$

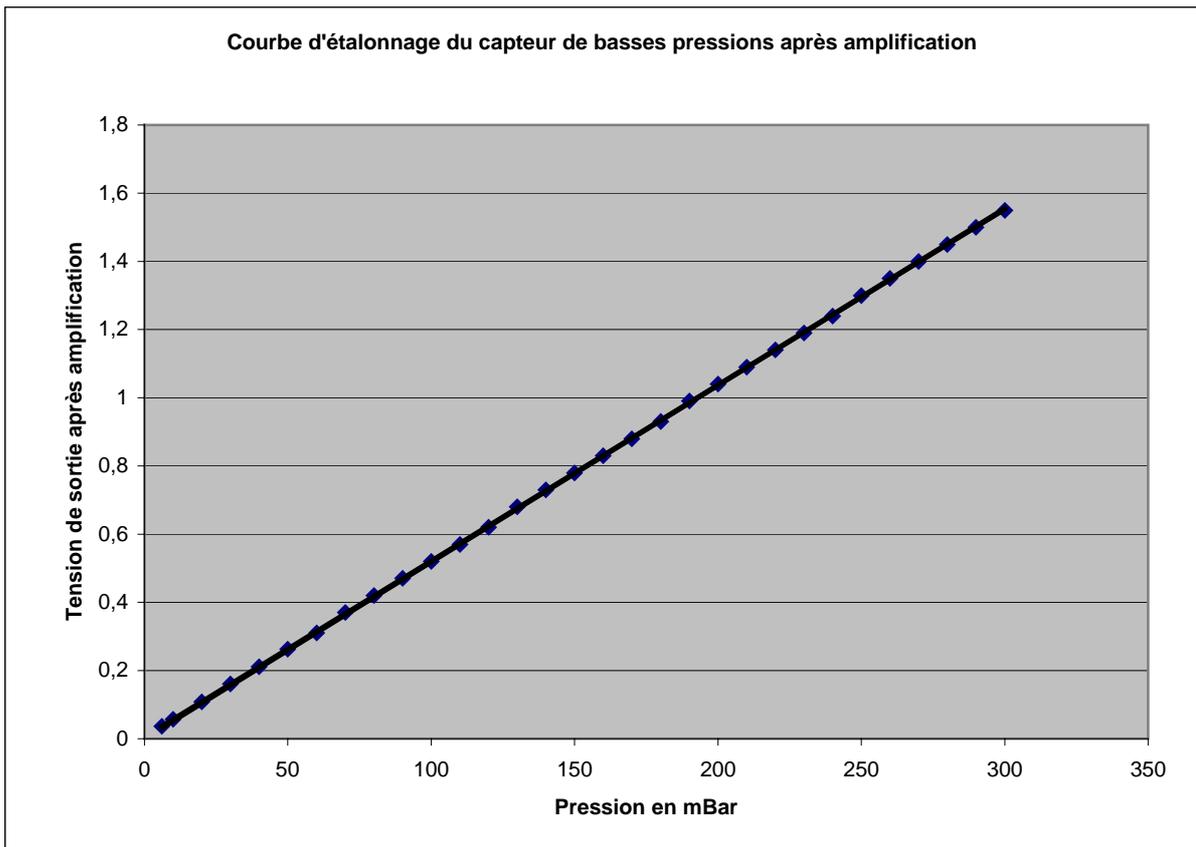


Avec U la tension après amplification (électronique intégrée) aux bornes du capteur de pression en Volts, et P la pression en mBars, on en déduit la relation suivante (avec un coefficient de corrélation $R^2=1$) :

$$U = 0,0077 P + 1,6848$$

On obtient la formule d'étalonnage :

$$P = 129,97 U - 218,8$$



Avec U la tension après amplification aux bornes du capteur de pression en Volts, et P la pression en mBars, on en déduit la relation suivante (avec un coefficient de corrélation $R^2=1$) :

$$U = 0,0052 P + 0,0049$$

On obtient la formule d'étalonnage:

$$P = 9,442 U - 0,942$$

2.1.2 Transmission d'images en temps réel

2.1.2.1 Caractéristiques de l'appareil photographique

Nous avons utilisé un appareil photo numérique Casio QV-4000, qui est pilotable via un port série et sur lequel il est facile de télécharger les photos par un port USB.

Il a été doté d'une carte mémoire 1Go, ce qui a permis de stocker les 24 photos prises au cours du vol dans la résolution choisie : 2256 par 1504 pixels. L'appareil photographique compresse les images au format JPEG. Il est alimenté par quatre piles Lithium qui lui assurent une autonomie en fonctionnement d'une dizaine d'heures, écran éteint.

2.1.2.2 Traitement des photos à bord, principe de récurrence

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 signifier au programme de dépouillement au sol de fermer le fichier en cours et de préparer le suivant). Les photographies sont transmises à l'identique 5 fois de suite pour pallier les erreurs de transmission.

Au sol, le programme de traitement recherchera deux trames identiques parmi ces 5 répétitions (en se servant du numéro de trame interne) pour reconstituer une photographie sans erreurs, considérant que les chances que les erreurs se reproduisent à l'identique sur deux trames espacées dans le temps sont négligeables.

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

Avec cette méthode, une photo est envoyée toutes les 7 minutes environ.

2.1.3 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 10).

2.1.4 Repérage et suivi de la nacelle

2.1.4.1 Repérage GPS

Le petit 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 est représenté par environ 0.3 cm à l'écran, soit 11 pixels.

Afin d'éviter la perturbation du GPS par l'électronique embarquée, l'antenne GPS a été placée sur un plateau, le long de la chaîne de vol, à environ 3 mètres au dessus de la nacelle.



G04O030 A la station de réception, l'équipe de réception évalue le point de chute et suit la position GPS d'Horus III

2.1.4.2 Repérage par radio-tracking

Le point de chute de la nacelle n'est qu'approximativement connu par télémétrie à la fin du vol, à cause de la perte de réception (en général à environ 1500m) due à la courbure de la Terre et au camouflage éventuel par un rideau de végétation. Afin de faciliter la récupération de la nacelle au sol, nous avons à titre d'essai fixé un émetteur de *radio-tracking* (ou balise oiseau) 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.



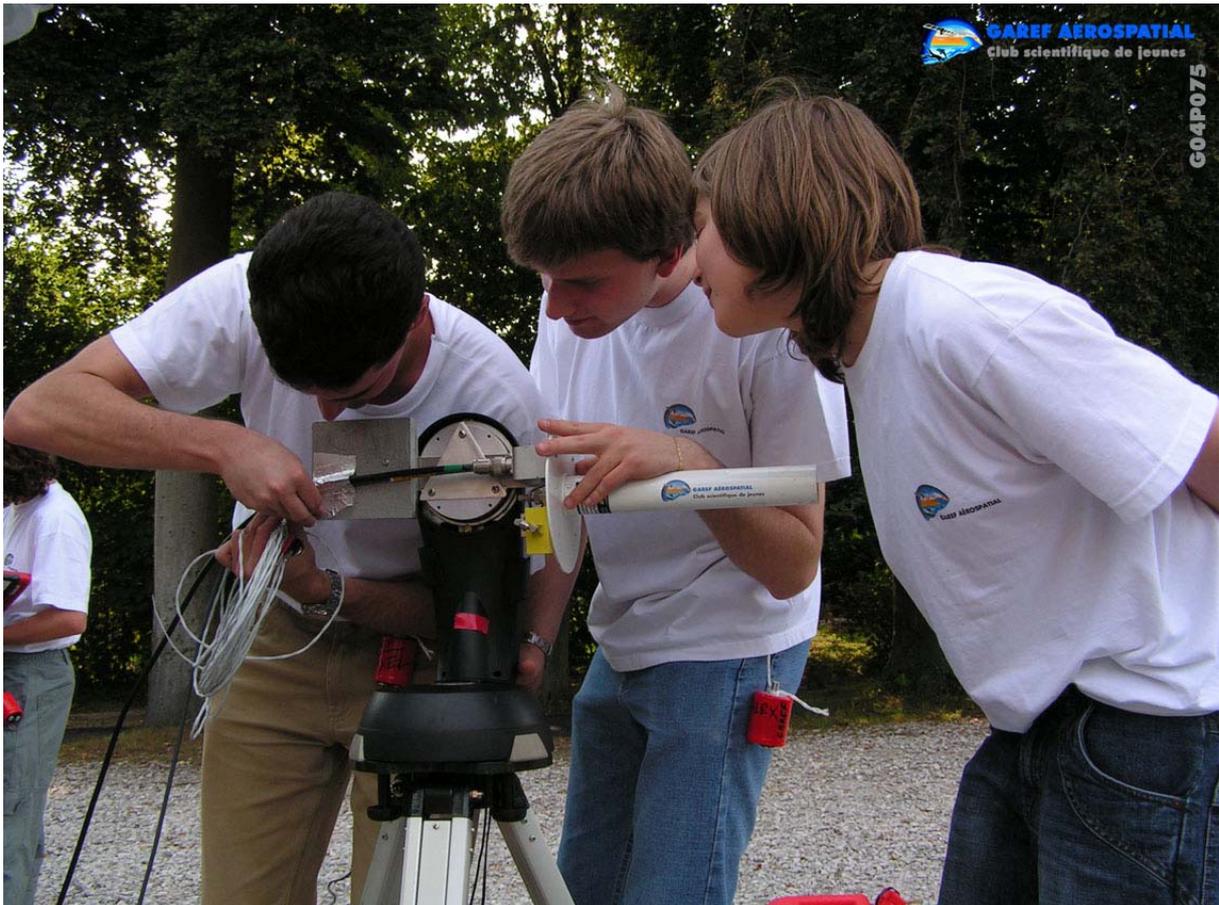
G04P063 Test du système de radiotracking

2.1.4.3 Antenne de réception au sol asservie

Le club a réalisé un positionneur d'antenne asservi à partir d'un pied de télescope pilotable par ordinateur.

Pour pointer l'antenne directionnelle de réception vers le ballon durant le vol, on procède de la manière suivante : la télémétrie donnant la position et l'altitude GPS du ballon, on calcule le site et l'azimut de pointage grâce à la position GPS de la station de réception, tout en tenant compte de la courbure de la terre. Ces données peuvent alors servir à piloter un pied de télescope soutenant l'antenne de réception qui pointe vers le ballon.

Cependant lors du lancement un problème d'alimentation nous a obligé à piloter l'antenne à la main, en nous servant néanmoins des indications fournies par les calculs, qui se sont révélées assez précises pour assurer un auto-pilotage.



G04P075 Mise en place de l'antenne de réception

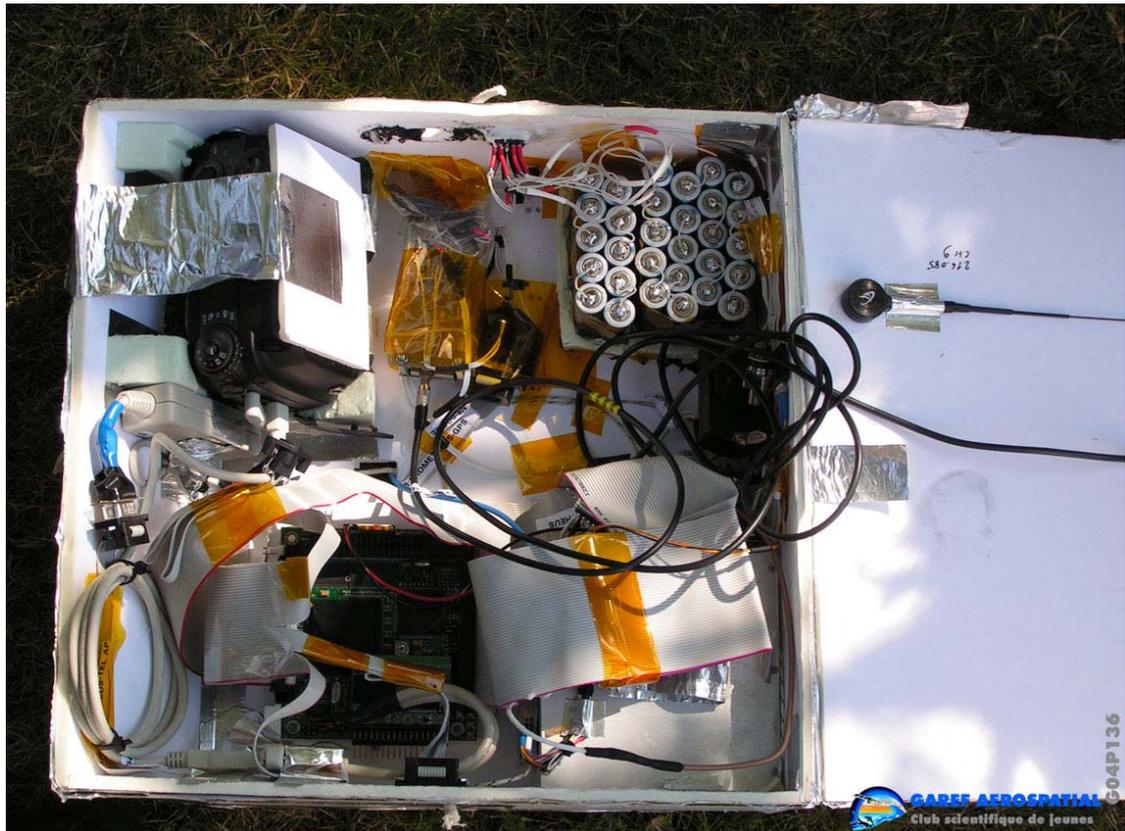
2.2 Aspect électronique

2.2.1 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 la répartition spectrale du signal émis.



G04P136 Vue de la nacelle

2.2.2 Carte Calculateur de bord PC 104

Nous avons utilisé une 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. Il semblerait que cette carte génère des interférences EMI-EMC, perturbant le reste de l'électronique.

2.2.3 Carte Analogique

Cette carte a été réalisée par le GAREF AEROSPATIAL. Elle effectue les mesures de température par des amplificateurs à compensation de point froid, mesure la pression du capteur IC Sensors via un pont de Wheatstone, et conditionne la tension de sortie du capteur Honeywell pour l'adapter aux limites du Convertisseur Analogique Numérique.

2.2.4 Alimentation

Pour l'alimentation de la nacelle, on a utilisé des piles au lithium, format AA(1.5V) :

tension à vide : 1,7V

tension d'arrêt : 1,0V

Un bloc de 10 piles a servi à alimenter l'émetteur, et un second bloc de 20 piles a alimenté le reste de l'électronique embarquée.

Indépendamment, l'appareil photo numérique était alimenté par quatre piles lithium.

L'autonomie de la chaîne de vol a été évaluée à quatre heures au minimum. Elle était très satisfaisante, la durée de vol devant être de l'ordre de 2h.

2.3 Chaîne d'émission

2.3.1 Emetteur TTS-1331 (Teletronics)

Masse : 57g
Puissance d'émission : +30dBm nominal (1.0W)
Impédance de sortie HF : 50 Ohms
Gamme de fréquences d'émission (synthétiseur): 2200,5 à 2299,5 MHz
Fréquence d'émission choisie : 2235 MHz
Impédance d'entrée du signal de modulation: 75 Ohms, 30 pF maximum
Modulation FM. Sensibilité de déviation : 8MHz/V crête à crête
Tension d'alimentation : +12 VDC, +4.5/-1.5 VDC
Consommation : 650mA maximum

2.3.2 Signal modulant de l'émetteur

PCM biphas-L à 200 KHz
Le niveau a été réglé pour avoir une déviation en sortie d'émetteur de 200 KHz crête à crête.

2.3.3 Antenne d'émission

Masse : 110g
Gamme de fréquence : 2100 à 2400 MHz
Gain: +8dBi,
Polarisation circulaire droite,
Impédance: 50 Ohms
HUBER+SUHNER 1322.19.006
95x107.8x32mm

2.4 Bilan de liaison

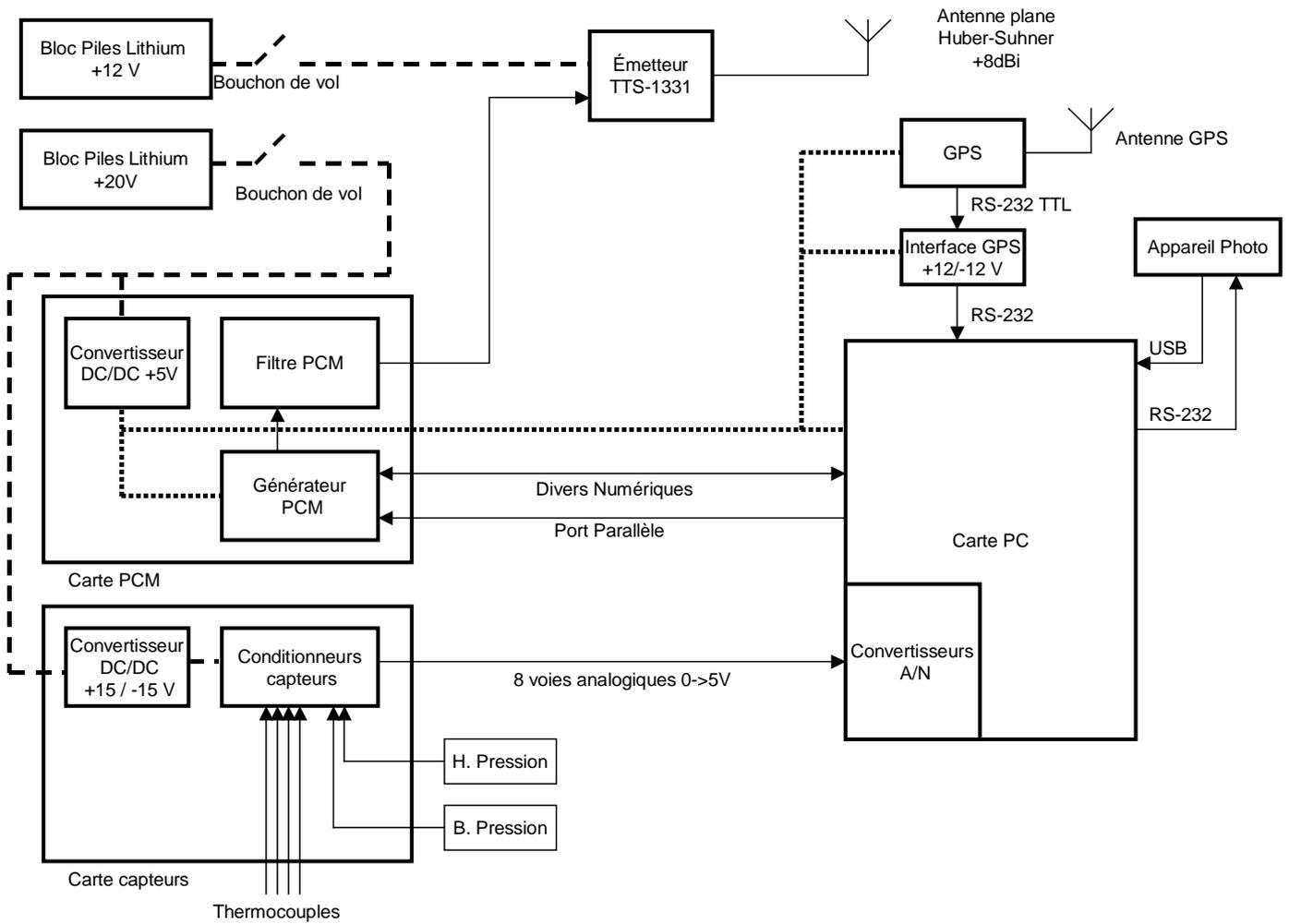
Emetteur : 2235 MHz,	+30.0 dBm (1.0W)
Gain d'antenne d'émission :	+8 dB
Perte d'espace libre à 200km	-145 dB (-139.4 à 100km)
Gain antenne réception :	+12 dB
Puissance reçue à l'antenne :	-95 dBm (pour 200km) -92 dBm (à 100km)
Bruit Thermique à Bp= 0.375 MHz	-118 dB
NF entrée chaîne de réception après 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).

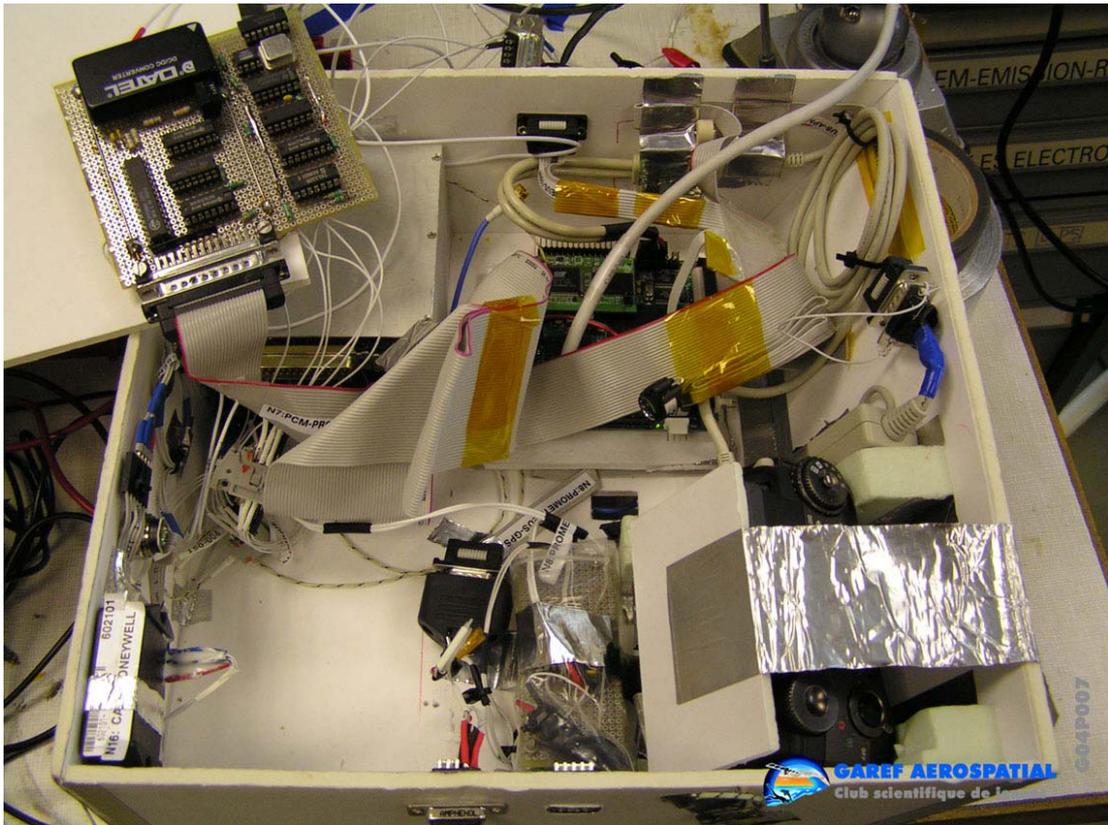
Pour mémoire, perte en espace libre à 2235 MHz

Nb de 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

2.5 Synoptiques

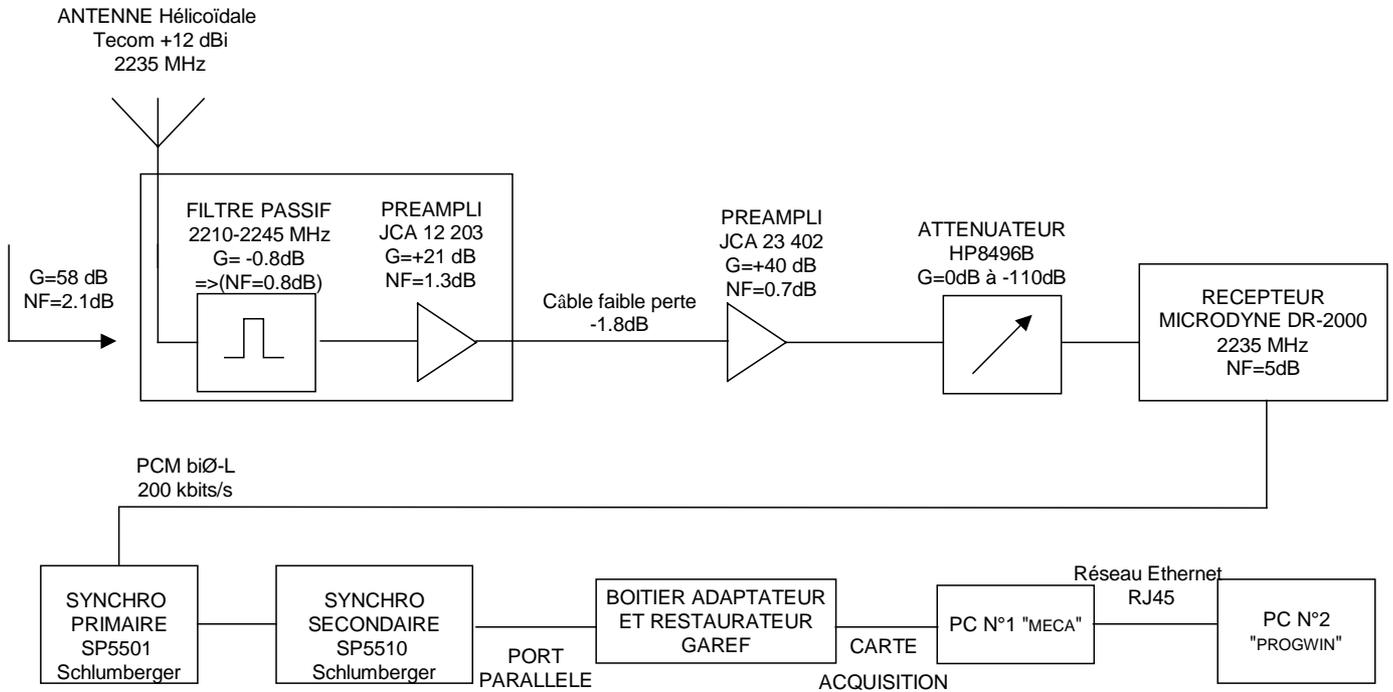
2.5.1 Synoptique de la nacelle





G04P007 Vue de la nacelle, avant intégration finale, carte PCM sortie

2.5.2 Synoptique de la chaîne de réception





G04P127 Une partie de la chaîne de réception, installée dans le véhicule Kangoo du GAREF

2.6 Mécanique de la nacelle

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

Dimensions : 30x31x11cm

Poids de la nacelle à vide : environ 800g

3. CAMPAGNE DE LANCEMENT

La campagne était organisée par le CNES et Planète-Sciences à Flixécourt (Somme), du vendredi 30 juillet au dimanche 1^{er} août. Durant toute cette mission, les membres du club GAREF ont enregistré des vidéos en caméra numérique et bétacam pour conserver une trace visuelle de la campagne de lancement pour les futures équipes.

3.1 Installation sur place

Nous sommes arrivés à Flixécourt le 29 juillet, un jour avant le début de la campagne, afin d'installer la chaîne de réception et de vérifier une dernière fois les points cruciaux du projet (GPS, télémétrie, etc). Nous avons pu procéder à plusieurs tests.

A l'issue de ces tests, et au vu de quelques bogues, le programme de vol a dû être amélioré. Nous en avons aussi profité pour souder les blocs de piles.

Après notre arrivée sur le site, nous avons étudié l'emplacement du site de lancement afin de déterminer le meilleur endroit pour placer notre station de réception. Le site de lâcher étant dans une cuvette, nous avons dû déplacer la station sur une hauteur avoisinante, dans un champ (appartenant à Mr CARROUAILLE Bernard, que nous en profitons pour remercier).



G04P026 L'équipe télémétrie au travail

3.2 Essais de la chaîne de télémesure

Notre station de réception était intégrée dans la Kangoo du GAREF. Notre fréquence de télémesure était de 2235 MHz, disposant d'une bande passante importante pour permettre la transmission d'images numériques, et permettant d'utiliser les équipements déjà rodés du GAREF. Pour permettre le fonctionnement de la redirection logicielle de l'antenne, nous avons aussi besoin des coordonnées GPS du site de réception, que nous avons acquises grâce à un test supplémentaire. Nous avons effectué des réglages de la chaîne de réception afin d'optimiser la télémesure.

3.2.1 Réglage de la télémesure

3.2.1.1 Réglage du récepteur DR 2000 (Microdyne Corporation L3Com)

IFBW = 1.5MHz
Vidéo BW = 0.375MHz
Démodulateur Loop BW = 1Hz
AGC Tuner = 1ms
Gamme de fréquence : 2200 à 2300 MHz
Fréquence de réception choisie : 2235 MHz

3.2.1.2 Réglage synchro primaire SP 5101 de Schlumberger

Fréquence 3.9 x 100K
Entrée BØL
Logique enclenché si envoi de données par émission, non enclenché si envoi de données par liaison filaire
Balance ajustée pour avoir le curseur sur 0 pendant la réception.

3.2.1.3 Réglage synchro secondaire 5510 de Schlumberger

Boutons enclenchés :
C 2 codes
C 1 code
Exploitation
SOC2

(Pour faire défiler l'affichage des numéros de trame, régler les roues codeuses sur 0006000).
Programmation interne manuelle des mots de synchro et des longueurs de cycles.

3.3 Lancement

Un profil prévisionnel des vents en haute altitude, qui nous avait été fourni par Météo France, ainsi qu'une météo clémente, nous ont conduit à lancer le samedi 31 juillet. Nous souhaitions en effet éviter que la nacelle ne se dirige vers la mer ou vers Paris, et obtenir des photos sans trop de nuages.

Vers 10h15, nous installons la station de réception, alimentée par un groupe électrogène. Pendant ce temps, la nacelle est apportée sur l'aire de lâcher. Les aérotechniciens délégués par Planète-Science commencent à remplir le ballon d'hélium, en le surgonflant légèrement afin que le vol soit plus court et que la nacelle ne parcourre pas une distance au sol trop grande.

Le lâcher a été effectué vers 11h30. Arrivé à un plafond de 29000m au bout de 1h30 environ, le ballon éclate et retombe rapidement. Nous avons constaté la perte de télémesure due à la rotondité de la Terre à environ 1000m seulement, ce qui nous a permis de bien évaluer, en temps réel, la position d'atterrissage du ballon, pour guider l'équipe de réception.

Tout le long du vol, la télémesure a été d'une très bonne qualité, donnant un signal très net. Toutefois on a constaté des pertes de données irrégulières dues apparemment à des défauts internes du décommutateur de la chaîne de réception, provenant sans doute de sa vétusté (1975).



G04P096 Gonflage du ballon



G04P099 Fermeture de la nacelle

3.3.1 Récupération

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 utilisé comme d'habitude un hélicoptère, en plus du système de radio-tracking Marshall.

Juste après que l'altitude de la nacelle soit descendue sous les 5000m, l'hélicoptère a décollé en se dirigeant vers elle grâce aux dernières coordonnées GPS. Il a été possible de la suivre visuellement jusqu'à son atterrissage dans un champ en plein moissonnage, devant les yeux ahuris du moissonneur qui croyait à un débarquement d'extraterrestres, et de la récupérer sans avoir besoin d'utiliser le radio-tracking. Elle a parcouru environ 75 km à partir de son point de départ.



G04P021 L'hélicoptère de récupération sur le site de lancement, avec quelques membres de l'équipe pilote Hélicoptère : Nicolas ZOZOR



G04P116 La nacelle, récupérée

3.3.2 Datation des évènements

Samedi 31 juillet 2004.

Heure locale réelle	Time code caméra Sony numérique	Montre opérateur (« d'Oscar »)	Trame	Evènement
10h15m	-	10h15m	-	Début de la procédure de lancement
11h06m20s			1	Début de l'émission
11h29m30s	11h26m03,60s	11h29m	445513	Lâcher
13h03m50s	-	-	2259600	Culmination
13h42m28s	-	-	3002686	Perte de Télémessure
13h46m22s	13h42m55s	-		Atterrissage de la nacelle
13h53	13h50	-		Récupération
	Durée 2h16m52s			

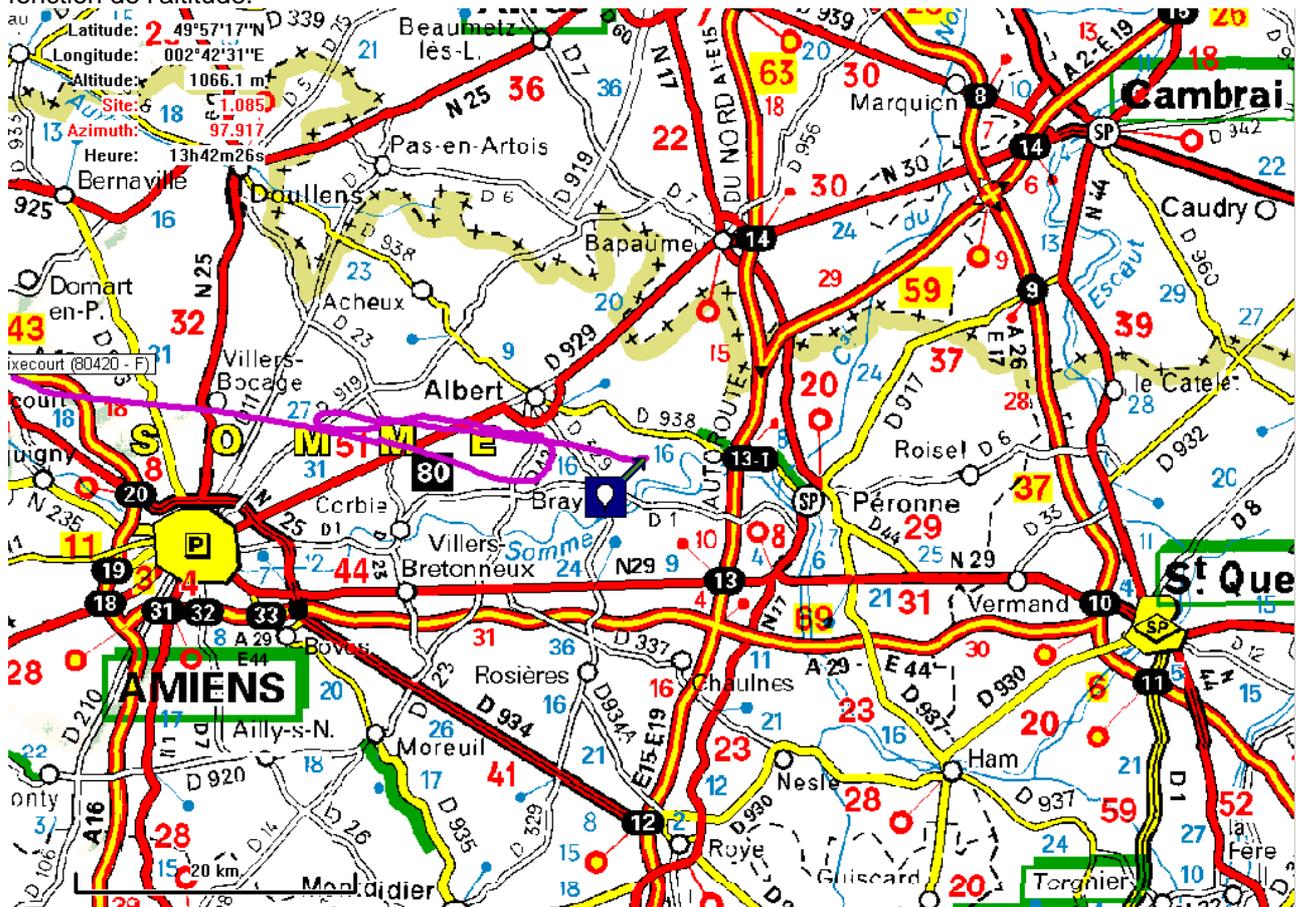
4. EXPLOITATION DES RESULTATS

4.1 Suivi GPS

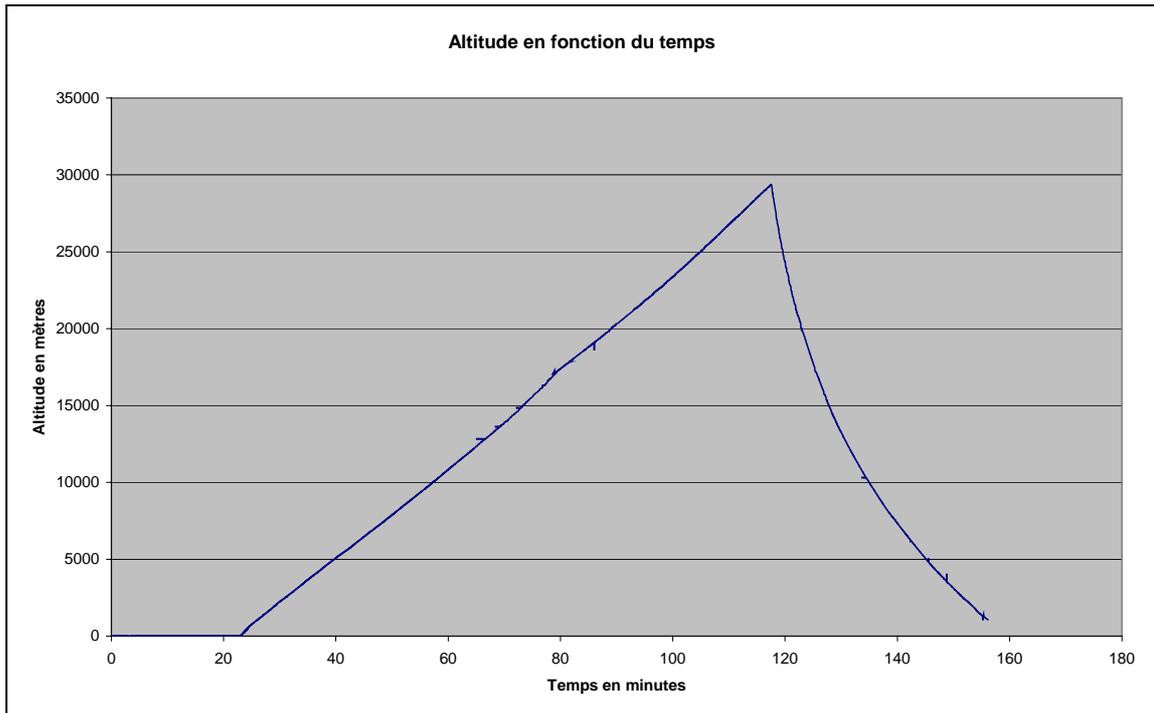
4.1.1 Position GPS

Point GPS de lancement : Latitude : 50°00'54"N
Longitude : 2°04'29"E
Altitude : 6.3m
Dernier point GPS reçu : Latitude : 49°57'17"N
Longitude : 2°42'31"E
Altitude : 1066.1m

Sur cette carte est reporté en violet le trajet (projeté au sol) suivi par l'expérience. Le point de lancement se trouve à Flixecourt (sur la gauche de l'image), et la dernière position GPS de la nacelle reçue est localisée par l'extrémité de la petite flèche verte et du carré bleu. La nacelle a donc parcouru environ 70km, ses changements de trajectoire s'expliquent par les variations de direction des vents en fonction de l'altitude.



4.1.2 Altitude GPS



Après réception des télémesures et dépouillement, on obtient ce graphe qui montre l'altitude GPS en fonction du temps.

Le lâcher a été effectué environ 20 minutes après le début de l'émission.

La culmination est atteinte à 13h03m, soit 1h34m après le décollage. L'altitude GPS correspondante est de 29400 m.

La vitesse moyenne d'ascension de la nacelle a été de 5.2m/s (18.7km/h). La vitesse de descente sur les 5000 premiers mètres est de 41m/s (161km/h), et de 12.2m/s (44km/s) en moyenne sur la durée totale de la descente. On observe que la vitesse de descente n'a pas été constante : elle a diminué avec l'augmentation de la densité de l'air et de l'efficacité du parachute.

On observe l'arrêt de la réception GPS après 2h36m à 1000m 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.

La méthode expérimentale pour empêcher l'électronique de bord de brouiller la transmission GPS a été efficace : on n'observe pas de perturbations importantes, comme cela avait pu être le cas lors de tests précédents.

Les légères irrégularités (petites pointes sur la courbe) sont dues à une perte de synchronisation du synchro secondaire du décommutateur (faux contacts dus à la vétusté, son achat datant de 1975).

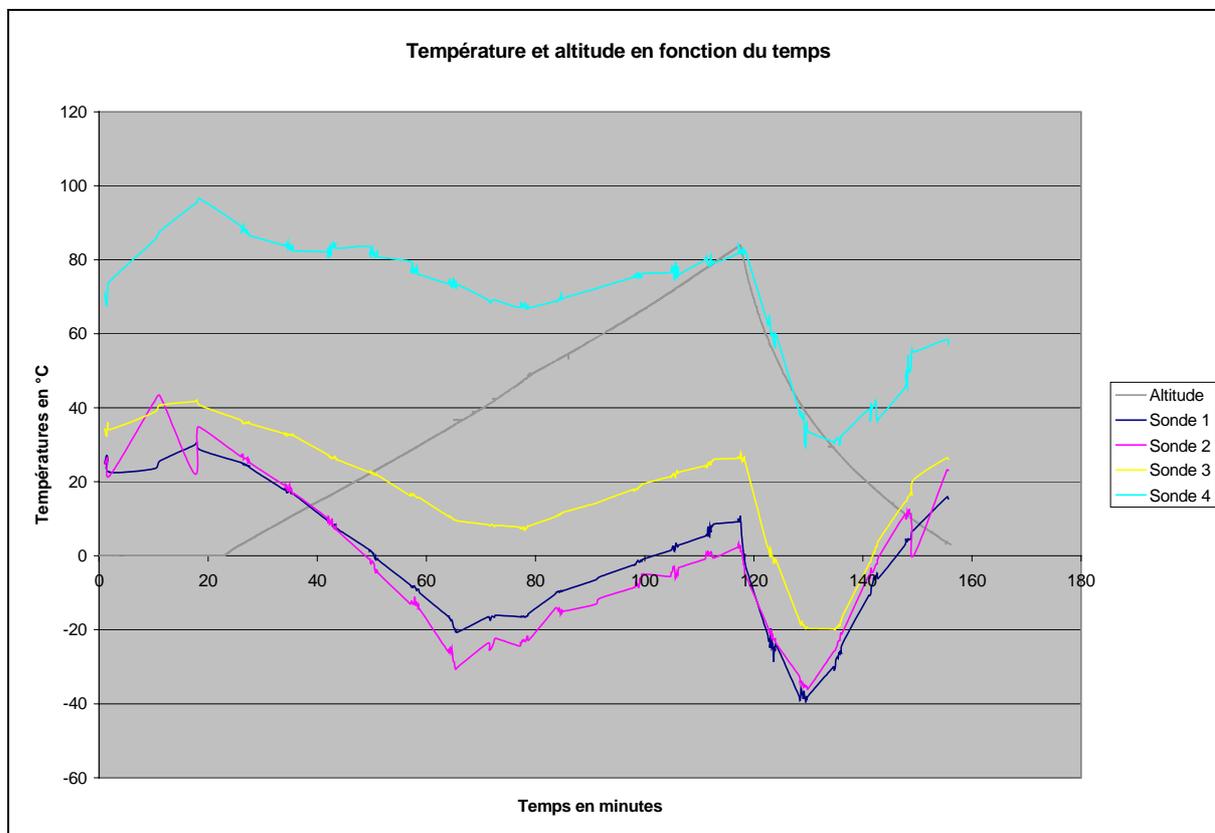


G04P134 Dépouillement des premiers résultats

4.2 Mesures physiques

4.2.1 Température

4.2.1.1 Températures en fonction du temps



Les allures des courbes ainsi que les mesures sont cohérentes, mais on observe un problème de bruit, périodique et commun à toutes les sondes (dont les capteurs de température), sans doute causé par l'électronique embarquée (problème EMI-EMC de la carte PC).

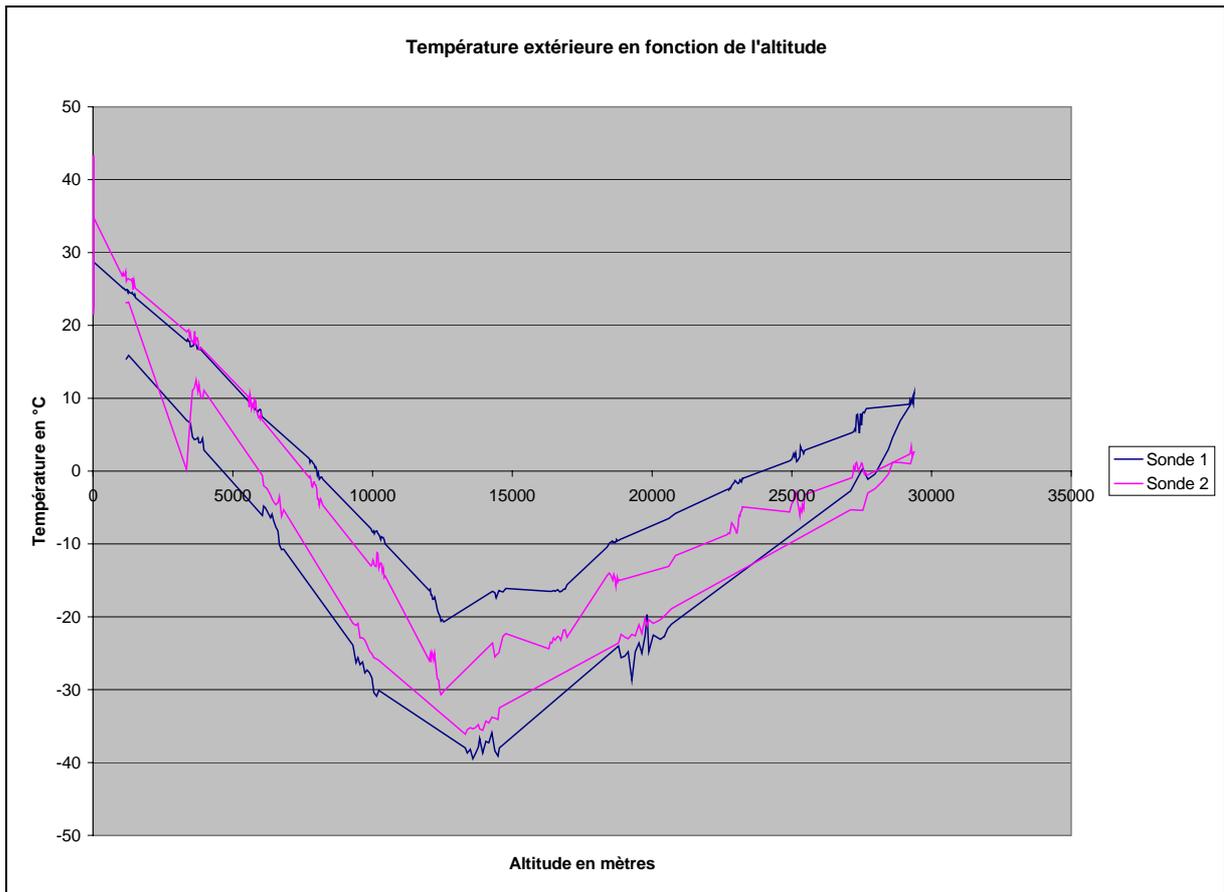
Les mesures des vingt premières minutes correspondent à la mise en fonctionnement de l'électronique de bord. On n'observe donc ici que le réchauffement de la nacelle par l'émetteur, voire par le soleil pour la sonde 2. Le lâcher n'a été effectué qu'après 23 minutes.

Les températures extérieures (sonde 1 et 2) sont constamment inférieures d'environ 20°C à la température interne de la nacelle (sonde 3). Ainsi l'isolation thermique n'est donc pas parfaite, puisque la température interne de la nacelle varie avec la température extérieure.

Toutefois la chaleur dégagée par l'émetteur (sonde 4, placée sur le boîtier de l'émetteur), de 50°C plus élevée que celle de l'extérieur, a tout de même permis de ne pas exposer l'électronique embarquée à des températures trop basses. On ne constate pas de chauffage excessif de l'émetteur, qui a donc fonctionné normalement.

4.2.1.2 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 des températures extérieures de la nacelle (sondes 1 et 2) en fonction de l'altitude (pour l' "aller" et le "retour")



On observe une nette différence de température entre chaque passage par deux points de même altitude, à l'aller puis au retour. Ainsi, les mesures effectuées lors de la descente de la nacelle sont environ 20°C inférieures pour la sonde 1 (en dessous de la nacelle) et d'à peu près 5°C pour la sonde 2 (au dessus de la nacelle).

La température à l'aller était sans doute plus élevée à cause de l'attente de la nacelle au soleil pendant plus d'une heure, ou à cause du vent plus faible qu'en descente.

Jusqu'à environ 13 000 mètres, la température semble être une fonction linéaire décroissante de l'altitude. Au-delà, et jusqu'à 30 000 mètres, la température devient croissante avec l'altitude.

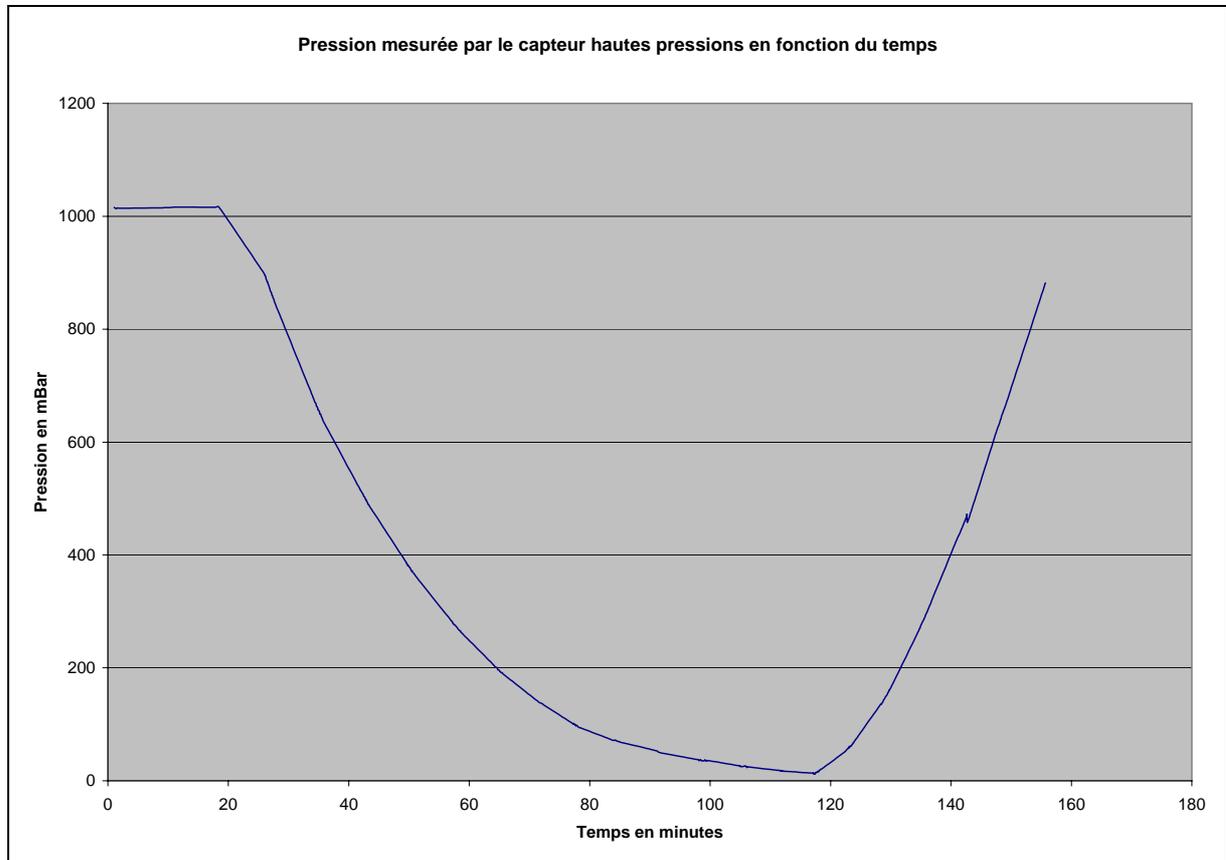
Ce changement de comportement correspond au passage de la troposphère à la stratosphère. L'altitude de la frontière entre ces deux couches atmosphériques, la tropopause, variable selon les régions, est donc d'environ 13 000 mètres au-dessus de Flixécourt. Dans la stratosphère, la température est censée être constante, mais on peut expliquer sa variation par le réchauffement provoqué par l'électronique embarquée (il semblerait toutefois qu'il y ait des erreurs de télémessure).

Un peu dubitatifs devant les résultats des mesures, qui semblent présenter certaines erreurs, nous avons procédé à des essais de retour à Paris, et découvert un thermocouple parasite constitué par le connecteur entre les thermocouples et la carte de mesures.

4.2.2 Pression

4.2.2.1 Pression en fonction du temps

4.2.2.1.1 Capteur hautes pressions

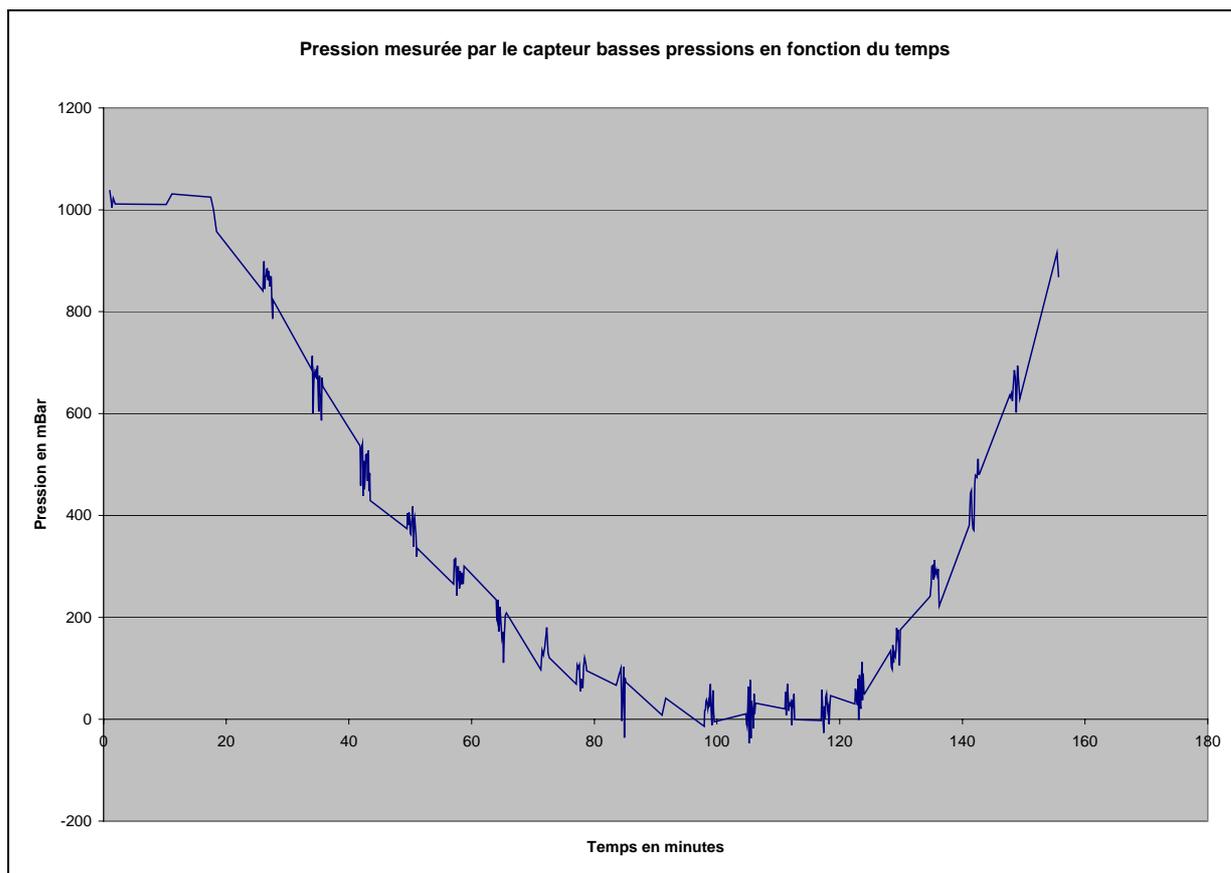


Alors que le capteur Honeywell n'était censé être stable qu'en hautes pressions, il s'est révélé l'être sur toute la gamme des pressions mesurées. On n'observe que très peu de parasites, et l'allure de la courbe est vraisemblable : elle correspond visiblement à une fonction exponentielle de l'altitude, comme le précise le modèle de la norme de l'atmosphère standard

La pression évolue de 1000mBar environ jusque presque 0mBar à culmination.

On peut retrouver sur ce graphe le profil du vol : les vingt minutes d'émission au niveau du sol, puis la phase ascendante jusqu'à 120minutes environ, et enfin la descente sous parachute de la nacelle.

4.2.2.1.2 Capteur basses pressions

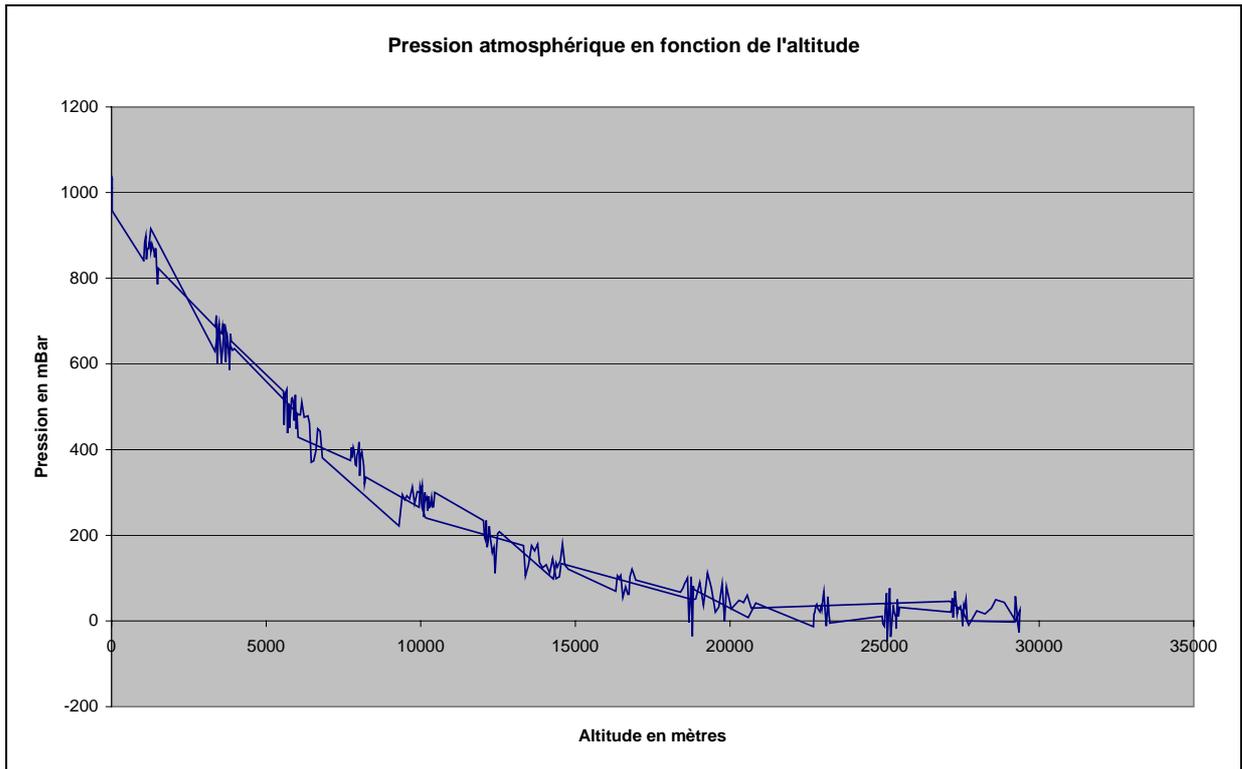


Cette seconde courbe de la pression en fonction de l'altitude est plus problématique. D'une part, on obtient des pressions négatives, ce qui est impossible, et d'autre part, on obtient des nuages de points très éparpillés pour chaque échantillonnage de pression. La courbe est donc difficilement exploitable, sinon pour confirmer l'allure générale de la variation de pression en fonction du temps pour ce vol. Ces problèmes sont sans doute dus à des perturbations électroniques (sans doute dus à la carte PC 104 de Diamond System Corporation).

4.2.2.2 Pression en fonction de l'altitude GPS

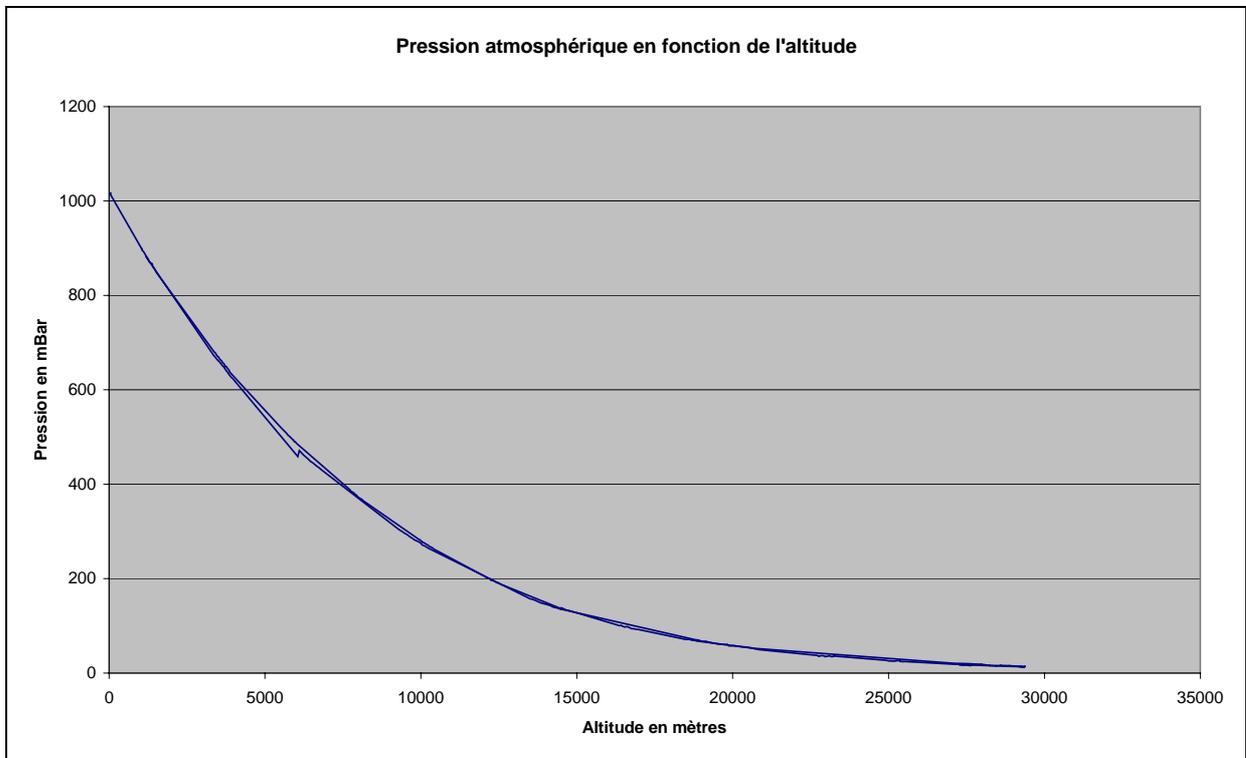
A partir des courbes précédentes, et en établissant la correspondance temps-altitude GPS, on peut obtenir les courbes de la pression en fonction de l'altitude (pour l' "aller" et le "retour")

4.2.2.1 Capteur basses pressions



La courbe confirme le modèle de la pression en fonction de l'altitude, mais de manière très imprécise.

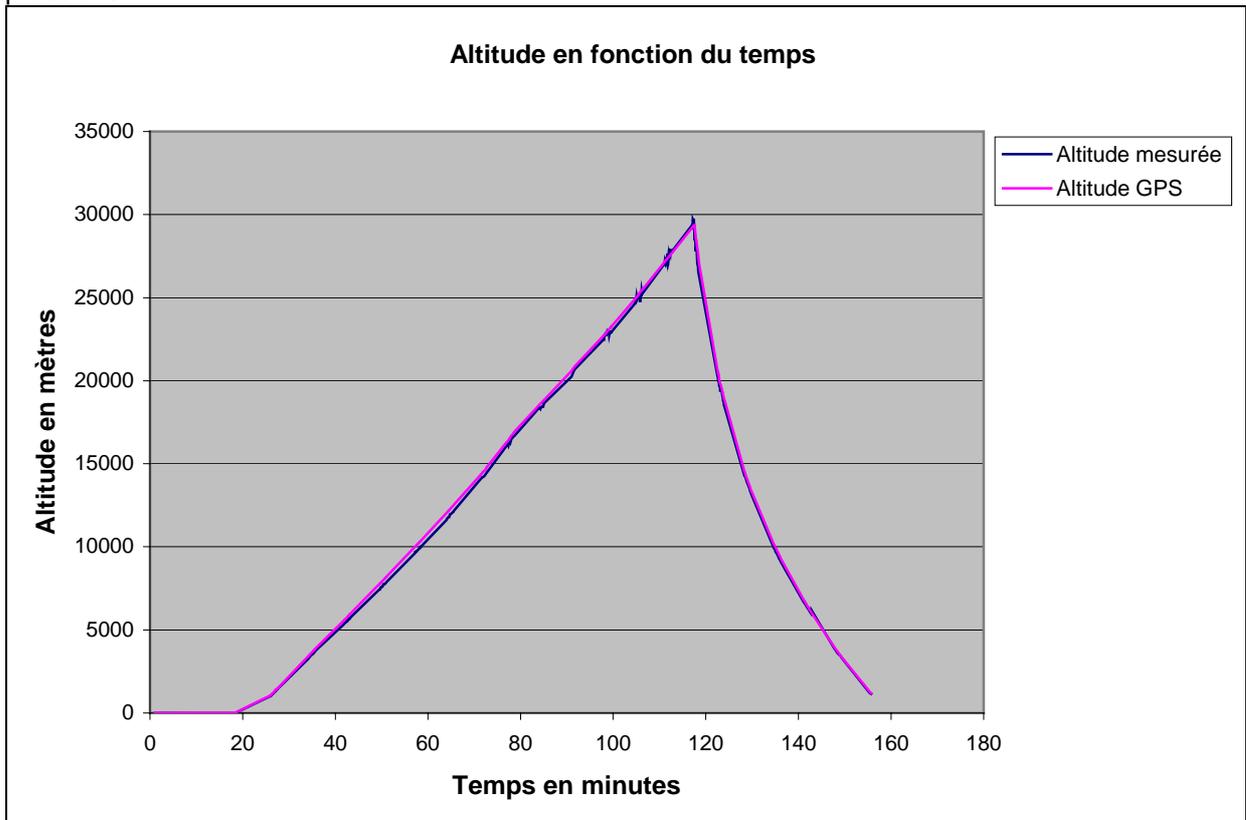
4.2.2.2 Capteur hautes pressions



On a effectivement une magnifique courbe exponentielle. On peut déjà en déduire que le procédé expérimental utilisé pour mesurer la pression est fiable.

4.2.2.3 Comparaison entre l'altitude GPS et l'altitude pression

Pour comparer l'altitude GPS et l'altitude pression, on n'utilisera évidemment pas le capteur basses pressions.



L'altitude GPS et l'altitude pression sont presque parfaitement confondues. Cela confirme le bon fonctionnement et traitement du capteur hautes pressions, ainsi que du GPS.

4.3 Images

Voici un diaporama des photos prises pendant le vol.

Les heures sont en heure locale réelle.

Pour mémoire, le lâcher a eu lieu à 11:29:30.

On observe en haute altitude un dégradé de bleu dû à la variation de la densité de l'atmosphère.



G04P165
11:08:58
0m



G04P166
11:17:43
0m



G04P167
11:24:44
0m



G04P168
11:34:08
1550m

G04P169
11:42:10
3900m

G04P170
11:49:57
6050m



G04P171
11:57:37
8250m

G04P172
12:05:15
10500m

G04P173
12:12:06
12600m



G04P174
12:19:22
14900m

G04P175
12:25:09
16990m

G04P176
12:31:28
18850m



G04P177
12:38:49
21050

G04P178
12:45:56
23250m

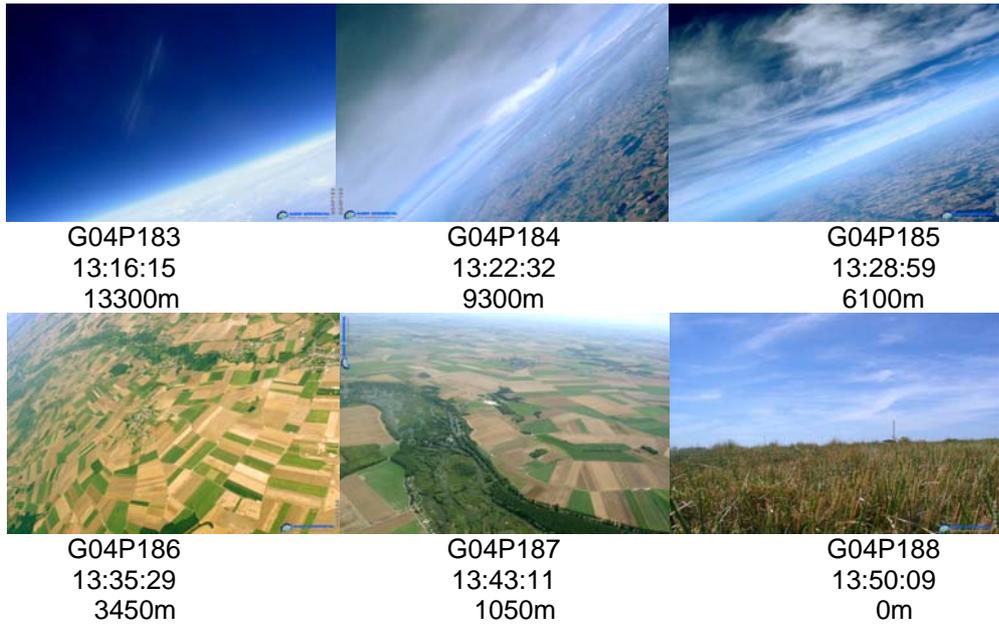
G04P179
12:52:41
25500m



G04P180
12:59:05
27700m

G04P181
13:04:58
26850m

G04P182
13:10:27
18700m



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



G04P168 (1550m)



G04P170 (6050m)



G04P180 (27700m)



G04P185 (6100m)

5. SYNTHÈSE

5.1 Expériences

Horus III a effectué le suivi de la pression et de la température, ainsi que de sa position GPS, et a également pris des photographies de l'horizon. Toutes les données ont été transmises en temps réel à une station de réception au sol.

Il s'est avéré que la réception GPS, comme la méthode expérimentale de suivi de la pression, était très satisfaisante.

5.2 Spécifications

Les dimensions de la nacelle étaient de 31x30x13 cm, pour une masse de 2400g environ (nacelle équipée).

Elle contenait deux capteurs de pression, quatre capteurs de température, un système de GPS et un appareil photo numérique, pour effectuer les expériences embarquées. La télétransmission a été effectuée sous une fréquence de 2235MHz, avec un émetteur différent du Kiwi Millennium : le TTS-1331 de Emhiser Research.

L'électronique embarquée était alimentée par deux blocs de piles lithium, de 17V et 34V.

5.3 Campagne

Le lâcher de Horus III a eu lieu à Flixécourt (Somme) le samedi 31 juillet 2004 à 11h29 locale.

Point GPS de lancement :	Latitude : 50°00'54"N Longitude : 2°04'29"E Altitude : 6m
Dernier point GPS reçu :	Latitude : 49°57'17"N Longitude : 2°42'31"E Altitude : 1066m

Le vol a duré environ 2h17m. La culmination a été atteinte à 29400 mètres, à 13h03m50s, après 1h35 d'ascension à une vitesse moyenne de 4.2m/s.

La nacelle a pu être récupérée rapidement et sans dommages, grâce au relevé GPS.

6. CONCLUSION

Par rapport aux projets précédents, Horus III a permis de réaliser la transmission d'images en temps réel et d'augmenter le débit (100 kbps à 200 kbps). Certains points néanmoins restent à améliorer, dont :

- Mesures de températures plus précises (suppression des effets thermocouple parasites)
- Suppression du bruitage sur l'un des capteurs de pression (problème EMI-EMC)
- Ajout d'une mesure de la tension des piles
- Logiciel embarqué envoyant des mesures en continu et non par intervalles
- 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
- Utilisation d'un synchronisateur secondaire plus performant
- Augmentation de débit (200 kbps à 400 kbps)
- Envisager de mettre un code correcteur d'erreurs



G04P079 Vue de l'antenne

7. MEMOIRE

Une pensée émue pour Alain Parruitte, le pilote d'hélicoptère qui devait effectuer la récupération d'Horus III et qui s'est tué en service avec son appareil Bell 206 la veille du lancement.

GAREF AEROSPATIAL

DRAME

Deux morts après la chute de l'appareil, qui s'est écrasé hier à Verlinghem

CRASH D'HÉLICOPTÈRE



Un spectaculaire accident d'hélicoptère a coûté, hier, la vie à ses deux passagers. L'appareil, un Bel 206, s'est écrasé dans un champ de blé à Verlinghem, près de Lille. Un incident mécanique pourrait être à l'origine du drame : le pilote, qui aurait décollé de Lesquin, accompagné d'un photographe, aurait signalé une panne de rotor. Privé de cette partie mobile du moteur principal, l'appareil aurait encore pu se poser en douceur, s'il n'avait heurté un reverbère en bordure de la chaussée longeant le champ, où l'engin est finalement tombé. Lors des secours, les pompiers ont maîtrisé un début d'incendie qui menaçait de se propager. L'identité des deux victimes demeurait encore incertaine hier soir.

En page 2, l'article de Wilfried HECQUET

L'hélicoptère, qui aurait perdu de l'altitude à la suite d'une panne de rotor, a heurté un reverbère avant de s'écraser dans un champ. Son vol était destiné à prendre des vues aériennes entre Isbergues et Béthune.

Ph. Richard COTTENIER

LA VOIX DU JEUDI 29 JUILLET 2004

LES COURSES
Aujourd'hui à Enghien, Tiercé, Quarté+ Quinté+
Nos pronostics



15

LA BOURSE
CAC 40 : + 0,30 %



16

LOISIRS EN TÊTE
Notre page hebdomadaire



17

TÉLÉVISION
Tous les programmes



8. POINTS A AMELIORER

- Résistances de puissance pour tests de décharge des piles à ne pas oublier.
- Problème de manque de référence de temps (lancement, caméra bétacam, caméra numérique, télémètre, appareil photos) compliquant la datation des évènements.
- Interférences dans les sondes de température et de pression.
- Nécessité de faire des essais préalables de télémètre en champ libre plusieurs semaines avant lancement.
- Développement de plus de fonctionnalités pour le logiciel embarqué.
- Amélioration de la chaîne de réception pour augmenter le débit et réduire les erreurs.

9. ANNEXE

Format de trame
Bulletin météo

10. DESCRIPTION TRAMES HORUS III

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
8	FFh	55h	70h	03h	34h	3Fh	FAh	20h	Mot d'identification 5
7	FFh	55h	03h	34h	3Fh	FAh	70h	DEh	Mot d'identification 4
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

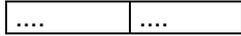
LAT : latitude en radians (positif : nord, négatif : sud), nombre à virgule flottante à 8 octets

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.

11. BULLETIN METEO

VENTS PREVUS POUR LE 31/07/2004 A 12 UTC

Altitude	Vents : Direction (0-36) Force en m/s		Altitude	Vents : Direction (0-36) Force en m/s		Altitude	Vents : Direction (0-36) Force en m/s	
500m	305	6	6000m	235	16	16000m	200	3
1000m	290	4	7000m	250	23			
1500m	270	5	8000m	230	25			
2000m	260	7	9000m	215	27			
2500m	260	8	10000m	210	28			
3000m	250	10	11000m	205	30			
3500m	245	11	12000m	220	21			
4000m	240	12	13000m	225	18			
4500m	240	14	14000m	230	13			
5000m	235	15	15000m	220	5			

Source : Météo France

Merci à Mme Isabelle DESCHAMPS pour nous avoir fourni ces informations gratuitement.