



## HORUS G

*HORUS Guyane, ballon sonde léger,*  
réalisé en collaboration avec l'IUT de Kourou,  
lancé au Centre Spatial Guyanais le 13 avril 2007

### RAPPORT DE PROJET

GP-0602-D-108  
Révision 2.1  
du 9 janvier 2008

Rédigé par : AK, AC

Approuvé par : BS

# SOMMAIRE

0.	EVOLUTION DU DOCUMENT .....	1
1.	REMERCIEMENTS.....	2
2.	DOCUMENTS HORUS G .....	3
2.1	STRUCTURE DU PRESENT RAPPORT .....	3
2.2	LISTE DES DOCUMENTS GAREF AEROSPATIAL .....	3
2.3	LISTE DES DOCUMENTS CSG.....	3
2.4	LISTE DES DOCUMENTS IUT de Kourou .....	3
3.	SYNTHESE GENERALE .....	4
3.1	RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROJET .....	4
3.2	DEROULEMENT DU PROJET et PRINCIPALES ETAPES .....	4
3.3	DEROULEMENT DU VOL ET SYNTHESE DES RESULTATS .....	7
3.4	CONCLUSIONS.....	8
3.5	SPECIFICATIONS d'HORUS G.....	9
4.	LA REALISATION D'HORUS G.....	10
4.1	DESCRIPTION GENERALE .....	10
4.1.1	Classification.....	10
4.1.2	Chaîne de vol.....	11
4.2	ORGANISATION ET REPARTITION DES TACHES.....	12
4.3	EXPERIENCE EMBARQUEE .....	12
4.3.1	Synoptique de la nacelle HORUS G .....	12
4.3.2	Prises de vue et appareil photo .....	13
4.3.3	Mesures de température.....	14
4.3.4	Mesures de pression .....	15
4.3.5	Module GPS.....	16

4.3.6	Calculateur de bord.....	16
4.3.7	Logiciel de bord.....	16
4.3.7.1	Chronologie du programme .....	17
4.3.8	Générateur PCM.....	17
4.3.9	Module télémessure/antenne .....	18
4.3.10	Alimentation électrique/Piles.....	19
4.3.11	Détermination de l'alimentation de l'émetteur.....	21
4.3.12	Détermination de l'alimentation du reste de l'électronique .....	22
4.3.13	Câblage du bouchon de vol .....	23
4.3.14	Moyens embarqués pour la localisation de la nacelle au sol.....	24
4.3.14.1	Balises goniométriques.....	24
4.3.14.2	Colorant aquatique Fluorescéine.....	24
4.3.14.3	Plaque de marquage.....	24
4.4	LOGICIELS (liste et fonctions).....	25
4.4.1	Logiciel de Vol.....	25
4.4.2	Logiciel réception principal.....	25
4.4.3	Logiciel réception secondaire .....	25
4.4.4	Logiciel de traitement des photos .....	26
4.4.5	Logiciel de prévision de trajectoire avant le vol .....	26
4.4.6	Logiciel de prévision de trajectoire en vol.....	26
4.5	MECANIQUE DE LA NACELLE.....	27
4.5.1	Boîtier de la nacelle .....	27
4.6	MISE EN ŒUVRE DU BALLON.....	27
4.6.1	Calcul du volume de gonflage.....	27
4.6.2	Technique de lâcher utilisée .....	27
4.7	MOYENS DE RECEPTION DES TELEMESURES .....	28
4.7.1	Station de réception CSG Galliot.....	28
4.7.1.1	Décommutateur GAREF.....	29
4.7.1.2	PC N°1 Réception .....	29

4.7.1.3	PC N2 Affichage .....	30
4.7.1.4	Logiciels de traitement de données DDP (description détaillée) .....	30
4.7.1.4.1	Principe général.....	30
4.7.1.4.2	Acquisition .....	30
4.7.1.4.3	Récupération des photos.....	30
4.7.2	Station de réception embarquée dans l'Hélicoptère .....	31
4.7.2.1	Equipements GAREF de la station mobile de réception des télémesures	31
4.7.2.2	Logiciel station de réception embarquée (description détaillée) .....	32
4.7.2.3	Carte décommutateur fabrication GAREF .....	32
4.8	ETUDE PREALABLE STATISTIQUE DES TRAJECTOIRES POSSIBLES .....	32
4.8.1	Introduction .....	32
4.8.2	Principe général du logiciel, avant le vol, de prévision de trajectoire.....	33
4.8.3	Mise au point du logiciel.....	33
4.8.3.1	Montée du ballon et descente de la nacelle.....	33
4.8.3.2	Relevés météo des années précédentes .....	34
4.8.3.3	Simulation de la trajectoire en fonction de statistiques de vents .....	35
4.8.3.4	Estimation du SCx parachute .....	38
4.8.3.4.1	Estimation de la valeur du SCx du parachute .....	38
4.8.3.4.2	Analyse de l'influence du SCx sur la trajectoire.....	38
4.8.3.5	Conditions météo requises pour le lâcher .....	40
4.9	PREVISION DE TRAJECTOIRE EN VOL .....	40
4.9.1	Enjeu de la récupération .....	40
4.9.2	Logiciel de prévision en temps réel, du point d'atterrissage ("CRYSTAL").	41
5.	DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE LANCEMENT .....	42
5.1	PARTICIPANTS (hors CSG).....	42
5.2	JOURNAL DE CAMPAGNE comme si vous y étiez .....	42
5.2.1	J-10 à J-2.....	42
5.2.2	J-1 (Jeudi 12 avril 2007) .....	46
5.2.3	J0 (vendredi 13 avril 2007) .....	48

5.2.4	J+1 à J+5 .....	51
5.3	L'APRES CAMPAGNE .....	54
6.	DEPOUILLEMENT ET RESULTATS OBTENUS .....	55
6.1	Température.....	55
6.2	Pression .....	57
6.3	GPS.....	59
6.4	Photos .....	60
6.5	Vérification de la validité de la trajectographie prévisionnelle .....	64
7.	CONCLUSIONS.....	67
8.	POINTS A AMELIORER .....	70
9.	TROMBINOSCOPE de l'EQUIPE MIXTE .....	71
10.	ANNEXES.....	72
10.1	ANNEXE 1 : EXEMPLE DE FORMAT DE TRAME.....	72
10.2	ANNEXE 2 : PLANS MECANQUES DE LA NACELLE HORUS G.....	75
10.3	ANNEXE 3 : ABREVIATIONS et TERMINOLOGIE .....	76
10.4	ANNEXE 4 : Lettres HORUS G.....	78
10.5	ANNEXE 4 : RAPPORT DE L'IUT de KOUROU.....	80

## 0. EVOLUTION DU DOCUMENT

Version 0.0 : 21 avril 2007 : création du document  
Version 0.1 : 28 avril 2007 : ajout du journal de campagne  
Version 0.2 : 19 mai 2007 : ajout courbes résultats et ajout partie 6.5 Vérification trajectographie  
Version 0.3 : 26 mai 2007 : passage des courbes en images pour réduire la taille du fichier  
Version 0.4 : 9 juin 2007 ajout chapitre  
Version 0.5 : 16 juin 2007 ajout chapitre  
Version 0.6 : 23 juin 2007 corrections techniques  
Version 0.7 : 8 juillet 2007 reprise  
Version 0.8 : 9 juillet 2007 : Insertion des photos de vol  
Version 0.9 : 12 juillet 2007 : Altitudes des photos de vol et synthèse  
Version 1.0 : 14 juillet 2007 : Réduction de la taille des photos et complétion de la synthèse  
Version 1.1 : 1 septembre 2007 : Relecture AC  
Version 1.2 : 15 septembre 2007 : Relecture AC+BS  
Version 1.3 : 16 septembre 2007 : Modifications chap 2, mise en page, Relecture BS  
Version 1.4 : 21 septembre 2007 : BS  
Version 1.5 : 29 septembre 2007 : Spécifications, corrections capteurs, AC  
Version 1.6 : 30 septembre 2007 : relecture, modif synoptiques  
Version 1.7 : 2 octobre 2007 : relecture finale AC  
Version 1.8 : 3 octobre 2007 : retouche BS  
Version 1.9 : 5 octobre 2007 : Correction orthographe par secrétariat.  
Version 1.10 : 28 octobre 2007 : Ajout de photos, ajout synoptique station Galliot, Corrections.  
Version 1.11 : 31 octobre 2007 : Ajout de photos et cartes+ plan mécanique nacelle  
Version 1.12 : 3 novembre 2007 : Ajout des légendes des photos et copyright.  
Version 1.13 : 7 décembre 2007 : Finalisation synoptique station Galliot.  
Version 2.0 : 22 décembre 2007 : Relecture finale.  
Version 2.0 : 9 janvier 2008 intégration en annexe des 4 lettres HORUG.

# 1. REMERCIEMENTS

L'équipe mixte **GAREF AEROSPATIAL - IUT de Kourou** tient à remercier tout particulièrement tous les responsables et le personnel des différents services du **Centre National d'Etudes Spatiales, Centre Spatial Guyanais**, qui tous ont apporté efficacement et sympathiquement leur aide, conseils et soutien pour la campagne de lancement réussie de ce ballon **HORUS G**.

Grands remerciements aussi au **COMSUP des Forces Armées en Guyane** pour les moyens aériens qu'il a engagés, afin d'assurer la récupération de la nacelle.

Après **Thésée** expérience satellisée par Ariane L04 en décembre 1981, **Eurydice 1** (fusée expérimentale en juillet 1991), **Eurydice 2** (fusée expérimentale en juillet 1992), **Atalante** (fusée expérimentale en février 1998), et maintenant **HORUS G** en avril 2007, c'est la cinquième fois que le **CNES, Centre Spatial Guyanais** accueillait une équipe de jeunes du GAREF pour lancer une de ses réalisations, avec un accueil toujours aussi sympathique qu'efficace et qui reste gravé dans la mémoire de tous.

**HORUS G** à été primé en recevant le 6 octobre 2007 le "**prix de la conduite de projet et du partenariat**" lors des trophées jeunes des 70 ans du **Palais de la découverte**.



CAMPAGNE HORUS Guyane  
13 avril 2007



Devant la maquette Ariane 5. De gauche à droite:  
José GOLITIN(CSG/OP/TM), Jean Pierre GRASSET (CSG/SP),  
Christine MONSAN(CSG/COM), Pépin Antoine GUILLAUME(CSG/OP),  
Franck ROUBAUD(Dir IUT-Kourou), Axel CHIN(IUT-Kourou),  
Karl BILLARD(IUT-Kourou), Alexandre GEBRAEL(GAREF), Mustafa  
ALACAKLI(GAREF) avec la nacelle, Axel CHOVEL(GAREF), Grégor  
GANGLOFF(GAREF), Pierre Henri AVALLE(GAREF) Guillaume Axel  
BERNAUDEAU(GAREF), Martine SEBELOUE(IUT-Kourou),  
Bernard SCACHE(GAREF), Jean-Louis MARCÉ(Dir CSG/DIR),  
Moïse ROMERO(CSG/OP), Delphine HARSÉN(IUT-Kourou),  
Lionel BOISSON (CSG), Charlie BOUVIER(GAREF),  
Bruno GILLES(CSG/OP). (photo G07H441 Photo Optique Vidéo du CSG)

Le 13 avril 2007, retour de  
récupération. Autour de l'équipage:  
(Capitaine Guérin, Lieutenant  
Taboureau, Adjudant Pujol, Sergent-  
chef Morel), Erwan PRIGENT  
caméraman au CSG, Alexandre  
KHUN du GAREF. Charlie  
BOUVIER du GAREF (prend la  
photo) (photo G07H357. Photo GAREF  
PARIS)

## 2. DOCUMENTS HORUS G

### 2.1 STRUCTURE DU PRESENT RAPPORT

On trouvera dans ce rapport au chapitre 3, une synthèse générale du projet HORUS G, qui permet en quelques pages de connaître l'essentiel sur l'expérience HORUS G, les résultats obtenus et les spécifications techniques de l'expérience.

Les chapitres suivants exposent en détail le projet avec, au chapitre 4, tout ce qui concerne la réalisation technique (matériel, logiciel, mécanique, étude de prévision de trajectoire avant vol et moyen de prévision du point de retombée en vol, équipements au sol...).

Le chapitre 5 lui est consacré à la campagne de lancement.

Le chapitre 6 traite de l'exploitation des télémesures et des résultats obtenus.

Les conclusions figurent au chapitre 7 tandis que le chapitre 8 traite des points à améliorer en fonction du retour d'expérience. Le document se termine par un trombinoscope de l'équipe mixte GAREF AEROSPATIAL – IUT de Kourou, puis figurent les diverses annexes.

### 2.2 LISTE DES DOCUMENTS GAREF AEROSPATIAL

Numéro du document	Date d'édition en vigueur	titre
GP1356D100-1.0	15 janvier 2006	Rapport de mission préliminaire à Kourou janvier 2006
GP0602D100-1.1	15 septembre 2007	Liste et articulation de la documentation (référence les documents et donne le version en vigueur)
GP0602D102-1.0	Supprimé	Avant projet Horus G remplacé par GP0602D101
GP0602D101-2.6	31 mars 2007	Projet HORUS G
GP0602D108-2.0	22 décembre 2007	Rapport d'expérience HORUS G
GP0602D132-0.0	remplacé	Eléments pour soumission sauvegarde
GP0602D134-1.3	31 mars 2007	Contraintes, besoins et moyens opérationnels. (décrit les moyens nécessaires, les contraintes et les demandes de moyens au CSG)
GP0602D136-1.8	8 avril 2007	Horus G Récupération
GP0602D501-1.1	31 janvier 2007	HORUS G. Rapport de mission à Kourou jan2007
GP0602D611-1.4	13 avril 2007	Manuel opérationnel de campagne
GP0602D617-1.2	13 avril 2007	Procédure de lancement HORUS G
GP0602D628-1.0	12 avril 2007	Procédure de mise en marche de la nacelle
GP0602L133-1.1	28 mars 2007	Description Logiciel prévision trajectoire
GP0602L135-1.2	28 mars 2007	Description Logiciel CRYSTAL
0703380/HORUS G	13 mars 2007	Réponse au CG/SDP/SV/2007/N043 et 044

### 2.3 LISTE DES DOCUMENTS CSG

Numéro du document	Date d'édition en vigueur	titre
	20 janvier 2007	Règlements sauvegarde du CSG
CG/SDP/SV/2007/N043	22 février 2007	Courrier de synthèse et d'envoi du CG/SDP/SV/2007/N044
CG/SDP/SV/2007/N044 Révision 1/0	22 février 2007 révision 1/0	Dossier de soumission sauvegarde lanceur Phase 0/1 "contraintes sauvegarde pour le vol ballon HORUS G"

### 2.4 LISTE DES DOCUMENTS IUT de Kourou

Numéro du document	Date d'édition en vigueur	titre
sans	21 juin 2007	HORUS G étude et réalisation des capteurs de température et de pression.

### 3. SYNTHÈSE GÉNÉRALE

#### 3.1 RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROJET

Le projet HORUS Guyane, "HORUS G" est un projet de collaboration entre jeunes parisiens et jeunes guyanais pour la réalisation et le lancement d'un ballon-sonde catégorie "léger" dont les principaux éléments sont les suivants :

Une nacelle de 2,5 kg maximum, (culminant à 30 000 m) qui doit réaliser plusieurs expériences :

- prises de photographies numériques avec transmission au sol en temps réel
- mesures de la température
- mesures de la pression atmosphérique
- suivi GPS de la nacelle
- récupération de la nacelle dans un environnement tropical qui peut être difficile.

Toutes les données sont transmises au sol en temps réel à une station de réception informatisée, qui traite le signal de télémesure afin d'afficher directement les résultats des expériences : courbes et photos, position GPS notamment.

Ces données sont aussi utilisées pour permettre à une deuxième station de réception mobile, embarquée à bord d'un hélicoptère, de se placer à proximité du point d'atterrissage, prévu et recalé en vol par des logiciels, afin de recevoir la transmission jusqu'à l'atterrissage et donc la position GPS d'atterrissage pour permettre la récupération de la nacelle.

Le ballon est lancé en Guyane, au CSG, Centre Spatial Guyanais, lors de vacances scolaires.

Une partie de la nacelle est faite par des jeunes parisiens du GAREF, l'autre partie étant réalisée par des lycéens et étudiants de Guyane.

Un des objectifs de cette collaboration est que les jeunes du GAREF puissent faire passer un "savoir-faire" sur ce type de réalisation pour que des activités scientifiques de jeunes puissent se poursuivre en Guyane.

Les multiples domaines abordés (électronique, informatique, construction pratique, mais aussi prise de vues, lancement, exploitation des résultats, reportage et montage vidéo, communication...) doit permettre d'intéresser des jeunes de tous niveaux et de tous horizons (13-22 ans).

#### 3.2 DEROULEMENT DU PROJET et PRINCIPALES ETAPES

**En janvier 2006**, le projet a été présenté au Rectorat de Guyane, au CNES-CSG, à la Région, à la Mairie de Cayenne et celle de Kourou. Il a fait l'objet d'une déclaration de projet à l'association Planète Sciences.

En pratique, c'est **l'IUT de Kourou** avec une équipe d'étudiants qui, seul pour la Guyane, s'est finalement impliquée dans le projet.



**GAREF AEROSPATIAL et**

Club scientifique de jeunes de Paris



Le CNES-CSG a validé le projet et nommé à Kourou un RCO (Responsable de Coordination d'Opérations), **GUILLAUME Pépin-Antoine** (CSG/OP) qui suivra le projet pendant 1 an.

Une visioconférence de démarrage du projet a eu lieu entre Kourou et Paris, grâce au CNES (avec Jean Yves Trébaol), le 2 juin 2006 à 18h (13h en Guyane) avec un premier groupe d'étudiants. Lors de cette première visioconférence, le travail a été réparti en fonction des aspirations et possibilités de chacun.



*Visioconférence du 2 juin 2006 entre une partie de l'équipe du GAREF AEROSPATIAL à Paris et l'IUT de Kourou. (Photos G06K007 et G06K021. Photo GAREF PARIS)*

A partir de la rentrée 2006, l'IUT a réalisé les capteurs de température et de pression dans ses locaux, en fonction du cahier des charges du projet.

Le GAREF a ensuite effectué une mission à Kourou du 27 décembre 2006 au 12 janvier 2007, pour rencontrer les étudiants de l'IUT, faire des essais de télémesure à la station Galliot avec le CSG et régler l'indice de modulation de l'émetteur de télémesure.



*Mission au CSG janvier 2007 et essais télémesure avec un modèle électrique d'HORUSG.  
(Franck Roubaud Directeur de l'IUT de Kourou,  
Martine Sébéloué, Axel Chin, Bernard Scache,  
Karl Billard, Delphine Harsen)*

*(Photos G06W032 et G06W008. Photos GAREF PARIS)*

Une fois les capteurs réalisés, l'équipe de l'IUT de Kourou est venue dans les locaux du GAREF à Paris, du 19 au 22 février 2007, pour effectuer des tests et l'étalonnage en température et pression.



*Déplacement des étudiants de l'IUT de Kourou pour les tests et étalonnages de leurs capteurs et accessoirement mise au point de la technologie des crêpes !. (Photos G07D006 et G07D004. Photos GAREF PARIS)*

Enfin, la campagne de lancement a eu lieu du 7 au 17 avril 2007 au CSG avec les équipes du GAREF et de l'IUT de Kourou réunies.

Le lancement d'HORUS G a eu lieu à partir du site Fusées Sondes du CSG le 13 avril 2007, à 11h45 locale. Le vol fut un succès complet et la nacelle a été récupérée 2h plus tard avec le support des Forces Armées en Guyane.



*Décollage d'HORUS G le 13 avril 2007 11h45 locale. (Photo G07H444*

*Photo J.Franchi C.P.L Kourou)*

### 3.3 DEROULEMENT DU VOL ET SYNTHESE DES RESULTATS

Le lâcher de Horus G a eu lieu à Kourou (Guyane Française) le **vendredi 13 avril 2007 à 11h45m00s** locale devant le bâtiment CDL du site Fusée Sondes (ELFS).

Lancement	Latitude : 0512'26"N Longitude : 5243'58"O Altitude : 0m	13 avril 2007 11h45m00s locale
Culmination	Latitude : 0515'22"N Longitude : 5246'18"O Altitude : 26211m environ	13h03m26s locale
Atterrissage	Latitude : 0515'48"N Longitude : 5248'33"O Altitude : 0m	13h45m21s locale
Récupération	Au point d'atterrissage	13h50 locale

**Le vol a duré 2h 00m 21s.** (du décollage à l'atterrissage)

La culmination a été atteinte à **26 200 mètres**, à 13h03m26s, après **1h18m d'ascension** soit une vitesse moyenne de 5.6m/s. La phase de descente a duré 42 minutes.

Après que les vents l'ai fait tourné au dessus du CSG avec un très léger survol de l'océan, la nacelle a atterri dans le périmètre du Centre Spatial Guyanais à environ 13 km au nord-ouest de son point de départ.

Elle a pu être **récupérée** par un hélicoptère Puma des Forces Armées en Guyane dès son atterrissage, à 13h50m environ, soit un peu plus de **2 heures après son envol**.

**17 photos ont été prises en vol et transmises** en temps réel à la station de réception Galliot qui, grâce à une excellente télémessure, les affichait sur un écran, avec quasiment aucune erreur. La nacelle ayant été récupérée, les même photos ont aussi été retrouvées dans la nacelle.

**Les mesures de température et de pression ont toutes fonctionné**, correspondant aux valeurs théoriques auxquelles on pouvait s'attendre. La température extérieure relevée est descendue jusqu'à -45°C, l'intérieur restant au-dessus de -30°C, et la pression est descendue à moins de 20 mbar.

La nacelle transmettait en permanence sa **position GPS par télémessure**. Les positions ont été reçues par la station Galliot en continu du décollage jusqu'à environ 100m du sol, la station secondaire à bord de l'hélicoptère en vol ayant pris le relais quelques minutes avant le décrochage et jusqu'à l'atterrissage complet.

Les données GPS ont pu être utilisées, en temps réel, par le logiciel de **prévision de retombée** dont la précision a dépassé nos attentes, permettant à **l'hélicoptère Puma des Forces Armées en Guyane**, de se positionner, à l'avance, à l'endroit nécessaire pour recevoir la télémessure en fin de descente et même d'assister en direct à l'atterrissage de la nacelle.

### 3.4 CONCLUSIONS

Malgré (ou grâce à) un report de lancement, d'une journée, dû à des conditions météorologiques difficiles, **l'expérience a été un succès total.**

Cette collaboration a été une première entre l'IUT de Kourou et le GAREF. Elle a été très enrichissante pour les deux parties. Comme toute première, certains points sont à améliorer dans la perspective d'un nouveau projet.

Ce projet se servait des connaissances acquises par le GAREF AEROSPATIAL lors de la réalisation de la lignée des ballons Horus, et des compétences en électronique de l'IUT de Kourou pour réaliser une expérience aboutie et fiable, lancée dans un cadre idéal avec les conseils et support des équipes du Centre Spatial Guyanais.

Le bilan global du projet est très satisfaisant, il s'agit d'un des projets ayant eu les meilleurs résultats sur toutes les expériences embarquées de jeunes.

Le souci omniprésent lors de cette réalisation était la récupération, dans un milieu tel que la Guyane, souci auquel nous avons répondu en finissant la mise au point de la station secondaire entamée lors du projet Horus 5, et en développant les logiciels de prévision de trajectoire adaptés. Embarquée à bord d'un véhicule mobile, hélicoptère ou voiture, cette station garantit de façon presque certaine la récupération rapide de la nacelle après atterrissage, du moment que la station de réception principale a bien fonctionné pendant le vol.

L'aide des Forces Armées en Guyane a été très motivante ce qui nous a encouragé à mettre au point des logiciels pour utiliser au mieux les moyens aériens qui seraient mis à notre disposition.

La réalisation de circuits imprimés plus ou moins complexes à partir des schémas prototypes développés les années précédentes a aussi permis de stabiliser et parachever ces cartes pour en faire de vraies cartes électroniques fiables et réutilisables.

Horus G a permis enfin de finaliser l'architecture de base de la lignée des ballons Horus du GAREF AEROSPATIAL, pour permettre de se concentrer sur les expériences embarquées.

**Il convient aussi de rester humble et modeste** et de ne pas oublier que même la réussite peut résulter d'une part de malchance (chance): Malgré toutes les vérifications, procédures d'opérations, de multiples répétitions à Paris et une répétition générale parfaite à Kourou, un bogue fatal (arrêt anormal du logiciel programme de vol) a été opportunément découvert le 12 avril 2007. Si le lancement n'avait pas été reporté pour des raisons météo, le ballon aurait été perdu.

Ce type d'expérience d'apparence simple est en réalité complexe: tous les équipements, capteurs, émetteur, appareil photo, énergie, boîtier... doivent tenir dans moins de 2500g. Il faut un fonctionnement électronique et logiciel parfait, l'utilisation d'un centre de lancement comme le CSG est une chance et apporte beaucoup mais impose aussi une gestion de projet rigoureuse avec l'élaboration et le respect strict de procédures. En retour c'est une expérience particulièrement enrichissante et formatrice.

### 3.5 SPECIFICATIONS D'HORUS G

Les dimensions de la nacelle étaient de 30cmx30cmx12cm en Carton Plume Canson (250g nacelle vide), pour une masse de 2235g (nacelle équipée). (si on ajoute les 150g de plate-forme GPS antenne +câble, l'on obtient 2385g).

Fixation des panneaux en carton plume par scotch aluminium 3M 425.

La nacelle contenait:

- 1 capteur de pression 85-005A 8C ICSensors 0 à 600mBars
- 1 capteur de pression 142PC15A Honeywell 0 à 1020mBars
- 3 thermocouples de type K (Chromel / Alumel)
- 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
- 2 Balises Marshall Power max transmitter 8g, pile Li 1632, autonomie 6-7 jours, 48 Bip/minute à 216.065 MHz (canal 7) et 216.085 MHz (canal 9).
- 1 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, d'acquisition GPS et de génération PCM d'origine GAREF
- Cartes électroniques de conditionnement des capteurs d'origine IUT de Kourou

L'électronique embarquée était alimentée par deux blocs de piles lithium, Energizer L91 AA 3000mAH, de 13.5V (émetteur) et 15V.(électronique nacelle)

Consommation : émetteur : 0.60A à 12V, électronique nacelle : 0.63A à 12V, 0.52A à 15V

Autonomie:

Emission télémessure : 4 heures, électronique nacelle: 4h, appareil photo >10h, Balises 6-7 jours.

Enveloppe du ballon: Kaysam KCI 1200 latex. Masse 1200g diamètre 2,26m à 1000mbars de pression au sol, 8,60m à 7,3 mbars (éclatement).

Parachute hémisphérique CNES/planète Sciences: Surface du parachute : 1,23 m<sup>2</sup>



G07H225 .Photo Optique Vidéo du CSG



G07H305. Photo Optique Vidéo du CSG



G07H219 Photo Optique Vidéo du CSG

## 4. LA REALISATION D'HORUS G

### 4.1 DESCRIPTION GENERALE

#### 4.1.1 Classification

Le ballon HORUS G est, (au sens de l'article 1 de l'appendice 4 de l'annexe 2 à la convention relative à l'aviation civile internationale "Règles de l'Air" 9<sup>ème</sup> éd, Juil1990 toujours en vigueur en 2005):

un ballon "**libre non habité de la catégorie léger**" c'est à dire transportant une charge utile d'un ou plusieurs éléments dont la masse combinée est inférieure à 4kg (avec aucun lot n'excédant 3kg, et aucun lot de 2kg ou plus qui aurait une masse surfacique  $>13g/cm^2$ ), et avec une liaison ballon-charge utile cassant ou séparant sous une force  $<230N$ ).

Un ballon léger ne nécessite pas l'émission de NOTAM (Notice To Air Men)

(la masse surfacique est définie comme la masse totale de l'élément considéré de charge utile, divisé par sa plus petite surface)

Un ballon léger utilisé exclusivement à des fins météorologiques et exploité de manière prescrite par l'autorité compétente, peut être exploité au dessus du territoire d'un autre état sans autorisation appropriée de cet état (2.2 de l'appendice 4 de l'annexe 2).

HORUS G n'est pas prévu pour être exploité en dehors du territoire français (régions terrestres et eaux territoriales adjacentes).



G07H188 (Photo Optique Vidéo du CSG) La nacelle en état de marche à Kourou G07H187 (Photo Optique Vidéo du CSG)

#### 4.1.2 Chaîne de vol

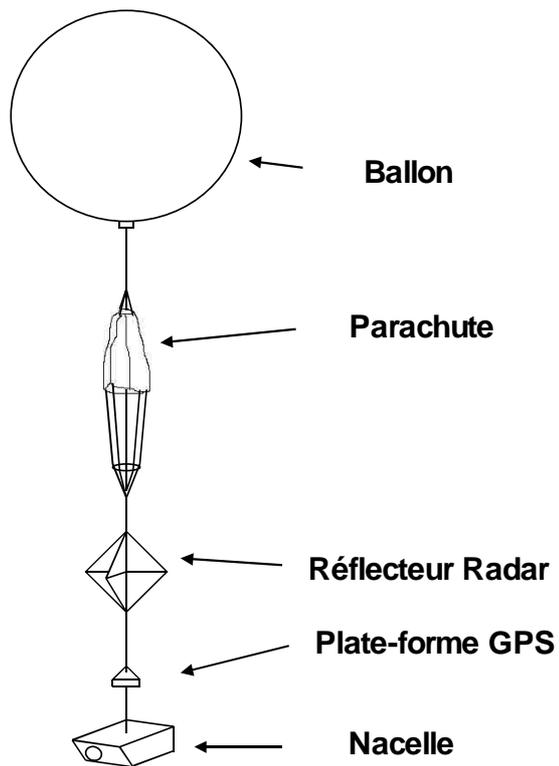


Schéma de la chaîne de vol

La nacelle en vol (G07H312 Photo Optique Vidéo du CSG)

Masse des différents éléments :

- Nacelle : 2235g (300mmx300mmx120mm)
- Plate-forme GPS (avec antenne et câble de 4.80m) : 150g
- Réflecteur radar passif aluminisé arête de 488mm (SER 60m<sup>2</sup>): 100g
- Parachute (250g) anneau et suspentes (100g) : 350g
- Ballon :1200g (Kaysam 1200)
- Suspentes diverses : 70g



La nacelle et sa plate-forme antenne GPS (Photo G07Y042 Photo GAREF PARIS)

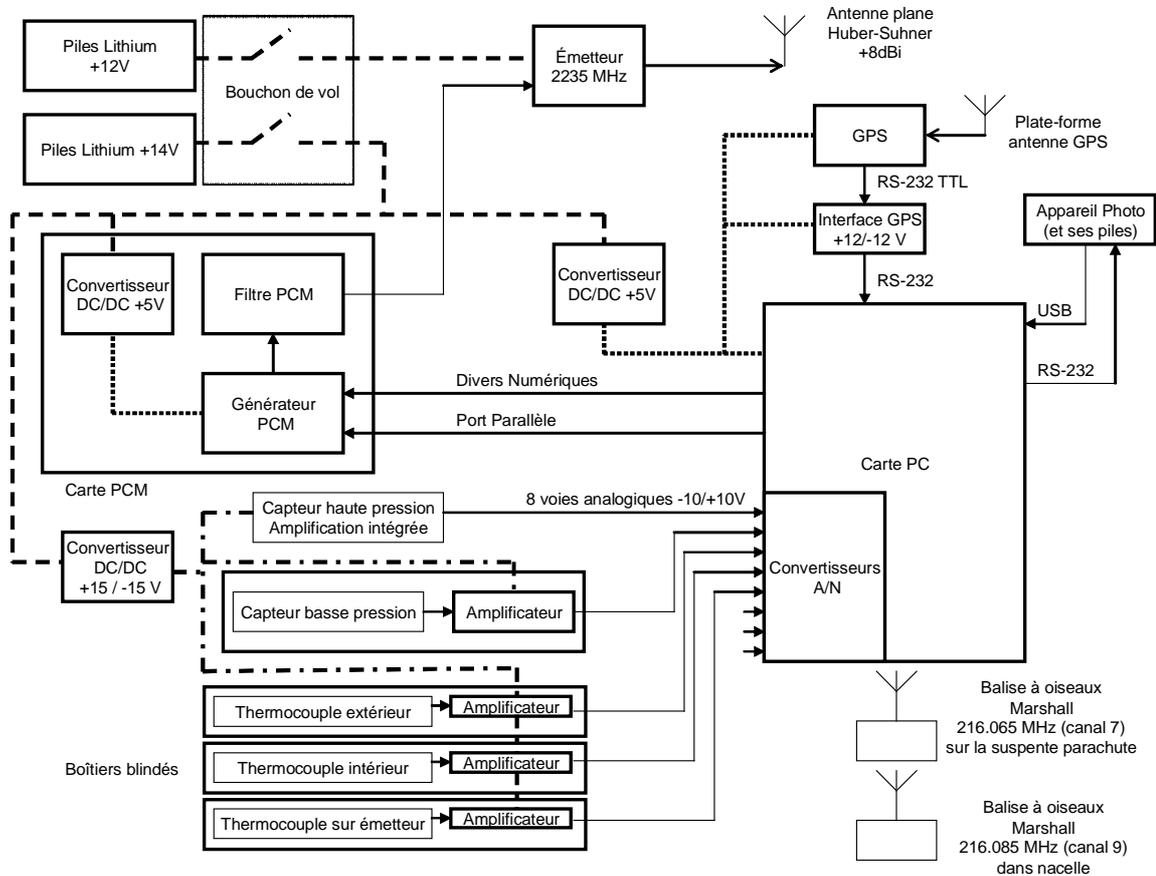
## 4.2 ORGANISATION ET REPARTITION DES TACHES

La répartition des taches a été la suivante:

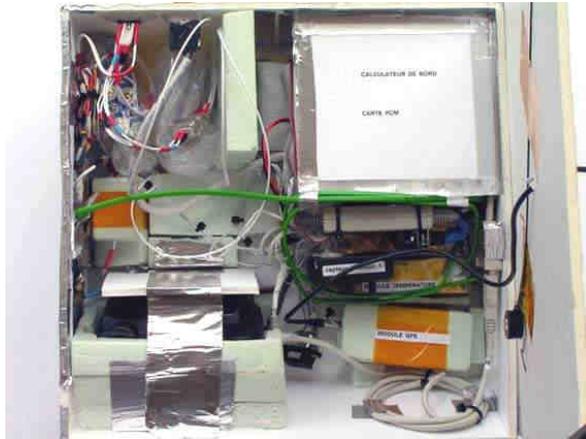
	GAREF	IUT de Kourou
ARCHITECTURE GENERALE	X	
CALCULATEUR DE BORD/GENE PCM	X	
LOGICIEL DE BORD	X	
ALIMENTATION/PILES	X	
MODULE TEMPERATURE et CAPTEUR		X
MODULE PRESSION et CAPTEUR		X
MODULE GPS, TELEMESURES, ANTENNES, BALISE	X	
PRISE DE VUE PHOTO et Appareil Photo	X	
BOITIER MECANIQUE NACELLE	X	
STOCKAGE DES DONNEES RECUES	X	
CAMPAGNE DE LANCEMENT	X	X
MISE EN ŒUVRE LACHER	X	X
TRAITEMENT DES DONNEES AU SOL	X	
EXPLOITATION DES RESULTATS	X	X
RELATIONS PUBLIQUES/COMMUNICATION	X	X

## 4.3 EXPERIENCE EMBARQUEE

### 4.3.1 Synoptique de la nacelle HORUS G



L'ensemble de la charge utile de la nacelle a été divisé en plusieurs modules: carte PC, carte PCM, système GPS, appareil photo, alimentation, capteurs de température, de pression et système d'émission, ainsi que les balises de localisation proche.



Nacelle ouverte (photo G07H177. Photo GAREF PARIS)



Nacelle fermée (photo G07H182 Photo F.Roubaud IUT Kourou)

#### 4.3.2 Prises de vue et appareil photo

Un des objectifs du ballon sonde Horus G est d'effectuer des prises de vue numériques à des intervalles réguliers tout au long du vol et de retransmettre les photographies au sol en temps réel.

On souhaite obtenir la meilleure qualité de photo possible avec une taille inférieure à 1.5Mo pour des raisons de durée de transmission. On opte pour des photos en format JPEG de résolution : 2256 \* 1504pixels (soit 0.9 à 1.5 Mo par image).

L'appareil photo est intégralement configurable par une télécommande par port série, et dispose d'un port USB pour le téléchargement des photos.

Grâce au programme de vol GAREF "run010c": la carte PC commande le déclenchement de l'appareil via une télécommande par port série, 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.

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 fading, 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 5 fois la photo entière à la suite. Les erreurs de bruit sont par nature aléatoire, donc il est extrêmement peu probable que la même erreur se produira sur deux retransmissions successives d'une trame. Un système de vote majoritaire permet à la réception d'obtenir la photo intacte. (Ce système rustique demanderait à être remplacé par un code correcteur d'erreurs).

Appareil photo numérique utilisé :

Casio QV-4000

capteur 4.13M pixels.

Carte CompactFlash 1Go (soit plus de 600photos stockables avec la qualité choisie)

Poids : 636g, Piles et câbles inclus (on utilise les mêmes piles au lithium que pour les blocs de piles, de la nacelle)

Cet appareil a été choisi pour sa simplicité de télécommande 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)

Câble de télécommande par port série pour relier carte PC et appareil photo.

Câble USB mâle-mâle pour relier carte PC et appareil photo pour le transfert des fichiers.

### 4.3.3 Mesures de température

Il s'agit d'effectuer des mesures de température, en différents endroits de la nacelle et à l'extérieur.

Ces capteurs ont été entièrement réalisés par l'équipe de l'IUT de Kourou.

Pour le choix des capteurs, il a été retenu des thermocouples de type K, associés à des circuits intégrés AD595AD. Il a fallu réaliser une amplification du signal de mesure en sortie de ce composant.

Le domaine de mesure souhaité était de  $-60^{\circ}\text{C}$  à  $+70^{\circ}\text{C}$ , pour mesurer aussi bien les températures extérieures en haute altitude que les températures au contact des composants électroniques.

Les mesures ont été placées : une sur l'émetteur de télémétrie bande S, une autre sur le module capteur de pression, et une à l'extérieur de la nacelle.

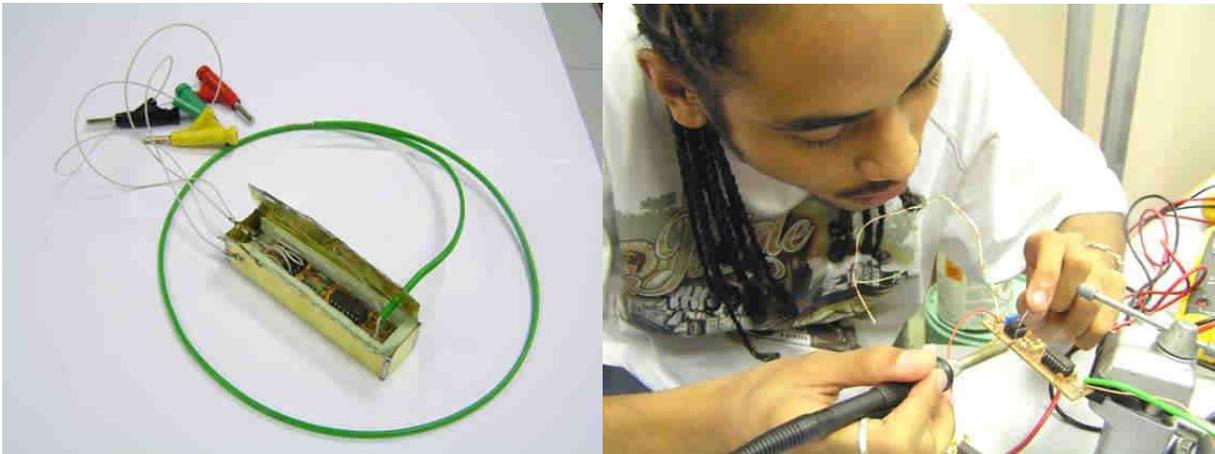
Caractéristiques de cette amplification :

- Tension de sortie du module: entre  $-10\text{V}$  et  $+10\text{V}$
- Précision en sortie :  $\pm 170\text{mV}$  ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$  en entrée) entre  $-40^{\circ}\text{C}$  et  $+40^{\circ}\text{C}$
- Conditions de fonctionnement : Pression entre 1100mbar et 8mbar  
Humidité relative 100% non condensante
- Tension d'alimentation :  $\pm 15\text{V}$

Pour stabiliser l'alimentation provenant des batteries, il a été utilisé un convertisseur DC/DC 6W (Tension d'entrée 9V-36V, Tension de sortie  $\pm 15\text{V}$ , courant de sortie max. 200mA), adapté à des piles Lithium délivrant 20V à vide.

Afin de s'affranchir des perturbations dues aux cartes numériques et à l'émission de la télémétrie, l'électronique qui mesure des faibles tensions ou courants doit être totalement blindée.

Des petits boîtiers ont été réalisés pour chaque capteur dans lesquels on a groupé capteur et système d'amplification. (boîtiers réalisés en feuille de clinquant laiton de  $100\mu\text{m}$  d'épaisseur). Les alimentations rentrent par un filtre de traversée.



Module de température (photos G07D015 et G07D012 . Photos GAREF PARIS)

Les capteurs ont été étalonnés émetteur en fonctionnement. Cet étalonnage a été effectué dans les locaux du GAREF, dans son caisson climatique, à l'occasion d'une visite de l'équipe de l'IUT de Kourou à Paris.

Poids module température (avec environ 15cm de câble thermocouple): 30g

#### 4.3.4 Mesures de pression

Il s'agit d'effectuer des mesures de pression atmosphérique. La pression permet de confirmer l'altitude de la nacelle en fonction du temps de vol lors de l'exploitation des données, (notamment en cas de dysfonctionnement du GPS).

Le module est placé dans la nacelle.

Le domaine de mesure sera de 1100 à 8mbars environ. (32 000m)

Le capteur basses pressions (IC Sensors) nécessitait de réaliser une amplification extérieure, tandis que le capteur hautes pressions (Honeywell) disposait d'une amplification intégrée. Cela permet d'obtenir en sortie :

Tension de sortie : entre -10V et +10V

Précision en sortie : (+/- 5mbars en entrée) entre 1000 et 100mbars.

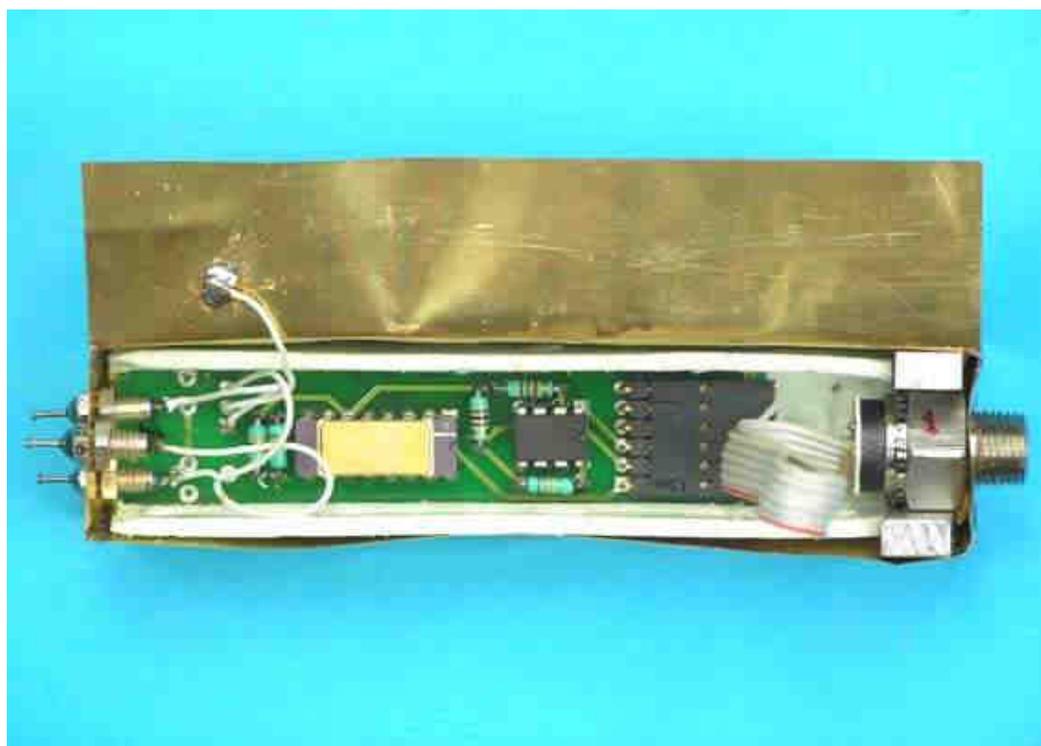
Précision en sortie : (+/- 1mbars en entrée) entre 100 et 8mbars.

Conditions de fonctionnement : température entre -60°C et +30°C

Humidité relative 100% non condensante

Tension d'alimentation : +15/-15 V

Afin de s'affranchir des perturbations dues aux cartes numériques et à l'émission de la télémesure, l'électronique qui mesure des faibles tensions ou courants doit être totalement blindée. Il a donc été réalisé au GAREF des petits boîtiers pour chaque capteur dans lesquels ont été groupés capteur et système d'amplification, (boîtier réalisé en feuille de clinquant laiton de 100µm d'épaisseur). Les entrées sorties sont faites par l'intermédiaire d'un filtre de traversée.



*Electronique et capteur de pression réalisés par l'IUT de Kourou (Photo G07D019 . Photo GAREF PARIS )*

Les capteurs ont été étalonnés, émetteur en fonctionnement. Cet étalonnage a été effectué dans les locaux du GAREF, à l'occasion d'une visite de l'équipe de l'IUT de Kourou à Paris. (L'on a utilisé une pompe à vide ALCATEL 1004A et un asservissement avec capteur étalon DRUCK DPI520).

Les étalonnages ont été repris dans le caisson climatique (étalonnage en température et en pression simultanément), car nous avons constaté que le capteur de basses pressions subissait un décalage lié à sa température.

La formule d'étalonnage de ce capteur utilisait donc la valeur de température relevée sur le capteur de température placé à proximité pour déterminer la valeur de pression.

Masse du module basse pression avec son blindage: 48g

#### 4.3.5 Module GPS

Il s'agissait d'effectuer un suivi GPS de la nacelle, dans le but de connaître à tout moment sa position et d'en déduire sa vitesse et aussi de permettre de prédire le point d'atterrissage.

Antenne de réception GPS :

Antenne plate "active micropatch antenna" de Trimble.

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

masse : 50g (130g avec son câble).

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

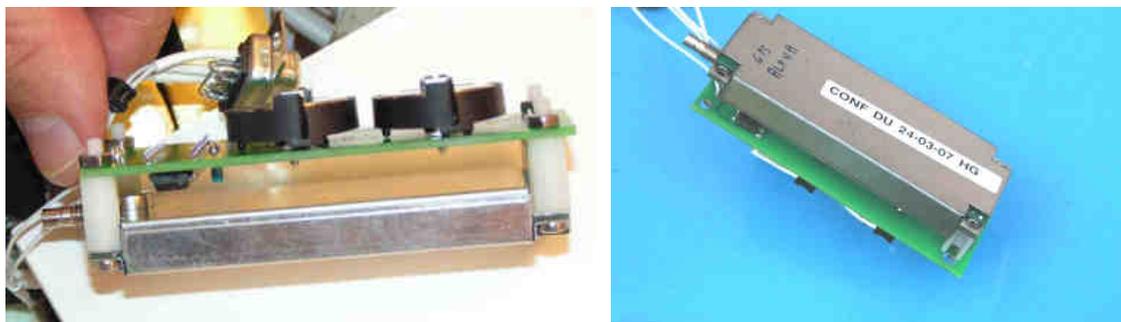
Consommation : 120 mA sous 5V

Fonctionne entre -40°C et 85°C

Fréquence de rafraîchissement de 1Hz

Son logiciel interne permet son utilisation au-delà de 18000m

Le GPS fonctionne avec jusqu'à huit satellites.



Module GPS et son adaptateur RS232 (Photos G07Y045 et G07Y046. Photos GAREF PARIS)

Un adaptateur RS232 a été réalisé sur un petit circuit imprimé sur lequel on a fixé le module récepteur GPS.

#### 4.3.6 Calculateur de bord

La carte PC est le cœur de l'électronique embarquée. Elle joue le rôle d'ordinateur de bord, grâce à un logiciel conçu et mis au point par le GAREF.

Carte utilisée : carte PC104 "Prometheus"

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 et 16 entrées analogiques.

La carte fonctionne sous le système d'exploitation Linux et est programmée en langage C.

#### 4.3.7 Logiciel de bord

Le logiciel de bord, nommé "**run010c**" est conçu entièrement par le GAREF en langage C pour Linux. Il se charge de récupérer les données des différents modules, de les regrouper sous forme de trames à un format précis, et de les transmettre à la carte PCM.

Pour les capteurs de température et de pression, les tensions 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. Celle-ci lit en permanence les données de ce port pour récupérer les données de position et de vitesse du ballon, puis les intègre dans la trame GPS.

L'appareil photo numérique est piloté par la carte PC via une télécommande. Après chaque prise de vue, la carte PC copie les fichiers image de l'appareil dans sa mémoire vive via le port USB. Ces fichiers sont ensuite découpés en tranches pour être intégrés dans la trame photo.

#### 4.3.7.1 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.

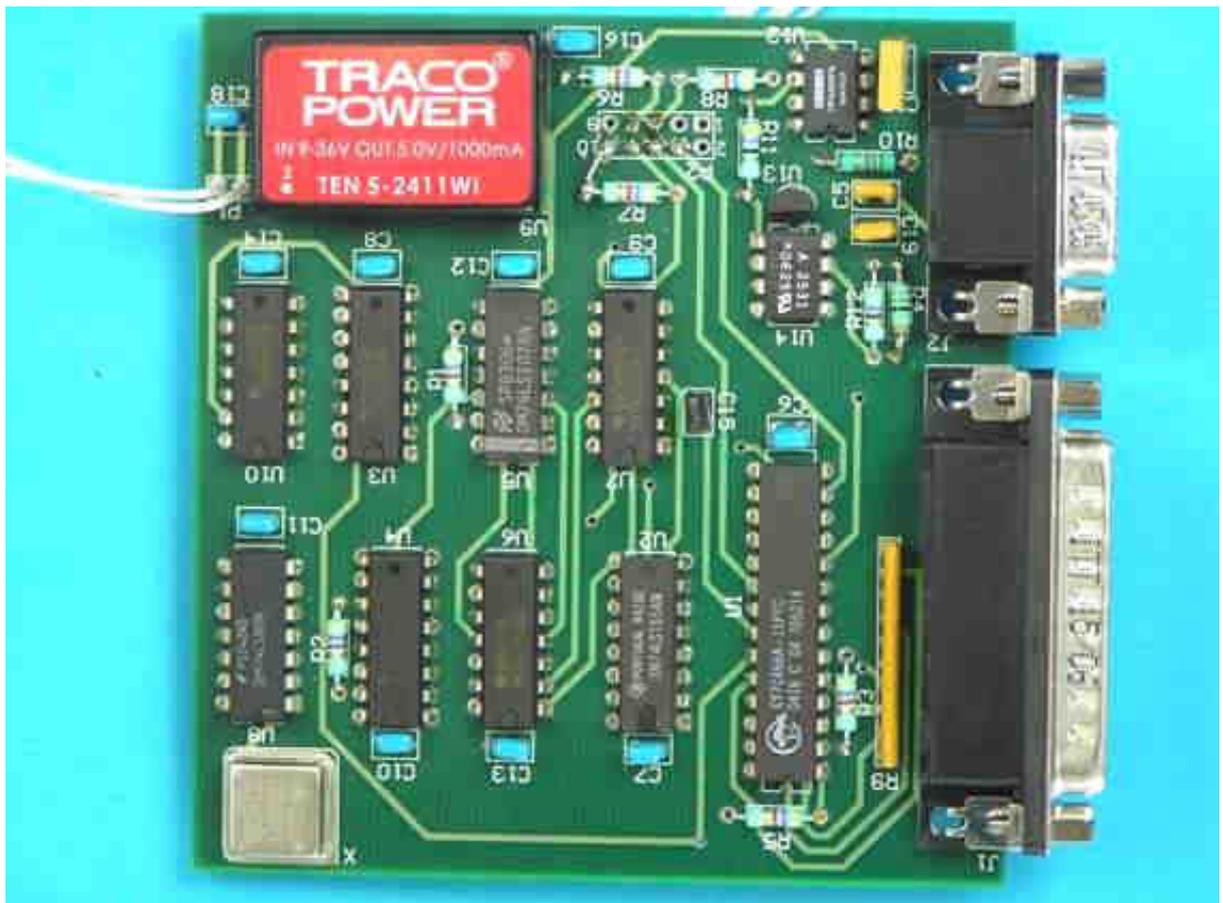
Une fois les données prêtes (pendant ce temps, la carte PCM lit les données dans la mémoire FIFO et les convertit en PCM), le programme se met en attente du message de la carte PCM. Celle-ci envoie un signal une fois que la mémoire FIFO est à moitié vide. Quand la carte PC reçoit ce message, elle transmet les données qu'elle a préparées à la carte générateur PCM.

#### 4.3.8 Générateur PCM

Les données issues de la carte PC sont transmises via son port parallèle à un circuit imprimé conçu par le GAREF AEROSPATIAL qui convertit le signal PC sous la forme d'une trame PCM normalisée bi-phase L à 200 KHz d'horloge (78 octets dont un mot de synchro de 24 bits).(voir 10.1)

Il traverse ensuite un filtre analogique de Bessel (passe bas) pour diminuer son étendue spectrale. En sortie du module PCM, le signal est donc un signal carré légèrement arrondi.

Le signal sortant est ensuite directement transmis à l'émetteur.



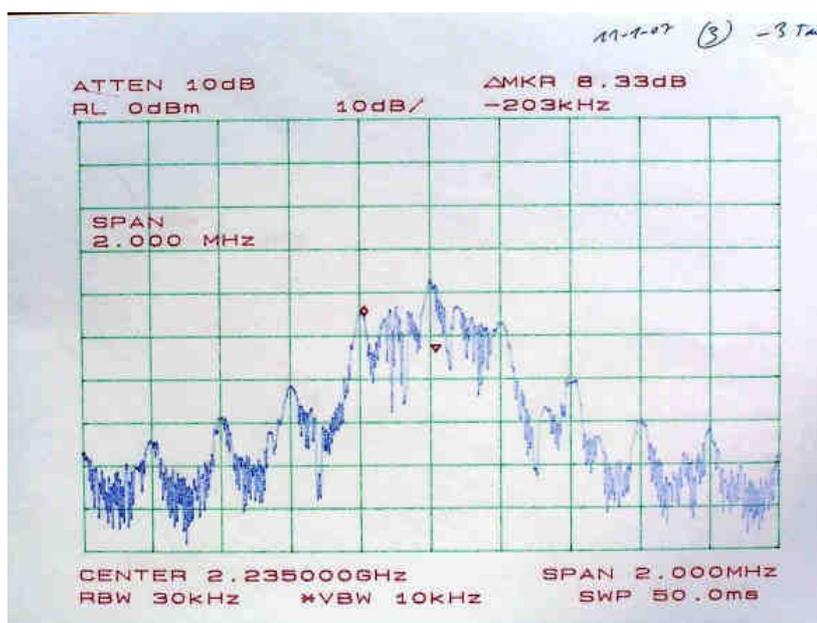
Carte de génération du train PCM (Photo G07D023. Photo GAREF PARIS)

#### 4.3.9 Module télémétre/antenne

Nous avons besoin d'une large bande passante pour le type d'expériences que nous embarquons. De plus le GAREF AEROSPATIAL disposait de matériel éprouvé par de nombreux projets. La fréquence utilisée était ainsi de 2235 MHz.

La porteuse de l'émetteur est modulée en fréquence par le signal sortant de la carte PCM.

Le signal carré PCM Bi-phase L 200kHz est réduit à 50mV càc aux bornes de l'entrée modulation de l'émetteur, ce qui pour l'émetteur de sensibilité (8MHz/volt) donne une excursion de fréquence càc de 400 kHz autour de la porteuse. Il était apparu nécessaire lors des essais télémétre de janvier 2007, au CSG de réduire l'amplitude du signal modulant pour avoir un spectre qui tient dans la bande FI de 600KHz des récepteurs du CSG.



Spectre de réception, après réglage de l'indice de modulation lors de la mission au CSG de janvier 2007  
(Photo G07Y001 Photo GAREF PARIS)

Caractéristique de l'émetteur de télémétre TTS-1331 :

- Masse : 57g
- Dimensions: 86,36mm x 31,75mm x 7,62mm
- Puissance d'émission : +30 dBm nominal (1.0 W)
- Tension d'alimentation : 12V +4.5 / -1.5 VDC
- Consommation : 650 mA
- Fréquence d'émission possible: 2200.5 MHz à 2299.5 MHz par incrément de 0.5 MHz
- Impédance d'entrée : 75 Ohms, 35 pF
- Impédance de sortie : 50 Ohms
- Modulation: FM
- Sensibilité de déviation : 8 MHz / V crête à crête

Il y a toujours un problème de refroidissement de l'émetteur qui chauffe. Si au sol un refroidissement par convection fonctionne, dès que l'on est en haute altitude il n'y a plus d'air et l'émetteur surchauffe jusqu'au delà de sa tolérance maximum.

La solution trouvée par le GAREF consiste à le fixer sur une plaque d'aluminium anodisée noir mat qui rayonne l'énergie "comme un corps noir" même en l'absence d'air. (voir 4.3.14.4)



Emetteur de télémétrie 2 GHz (Photo G07Y051. Photo GAREF PARIS)

On voit ici l'émetteur (masse 57g) fixé sur sa plaque anodisée noire avec une graisse blanche thermo-conductrice 0,6W/m.K La température atteinte par l'émetteur est mesurée grâce à un thermocouple, fixé avec du ruban Kapton, et transmise par télémétrie.

#### Antenne d'émission

Masse : 110g  
Largeur de bande : 2100 à 2300 MHz  
Gain: 8dBi,  
Polarisation circulaire droite,  
Impédance: 50 Ohm.  
HUBER+SUHNER 1322.19.006  
95x107.8x32mm

#### 4.3.10 Alimentation électrique/Piles

Il a fallu déterminer l'alimentation électrique qui était nécessaire au bon fonctionnement de l'électronique embarquée afin de répondre à des contraintes de consommation, de tension, et bien sur d'autonomie (environ 3h de vol).

L'électronique de mesure et l'émetteur sont alimentés avec deux blocs de piles différents. Chaque module électronique ne requiert pas la même tension, mais nous n'avons pu utiliser qu'un bloc de piles pour l'ensemble de l'électronique de mesure grâce à des convertisseurs DC/DC.

Il fallait ne pas dépasser la tension maximale que peuvent supporter les convertisseurs utilisés, mais aussi leur fournir une tension suffisante pour leur fonctionnement. Il fallait donc être très attentif à la tension à vide et en charge en tenant compte de la température.

Nous avons déterminé, lors d'un projet précédent, les courbes de décharge des piles pour vérifier l'autonomie.

Nous avons adopté la configuration suivante : 11 piles pour l'électronique, et 10 piles pour l'émetteur (voir les 2 chapitres suivants 4.3.11 et 4.3.12).

Piles utilisées:  
 Energizer réf L91 Type AA.  
 Ø 14mm, longueur : 50mm,  
 masse : 14,3g chacune  
 Tension : 1,5V en utilisation ; 1.7 à vide.



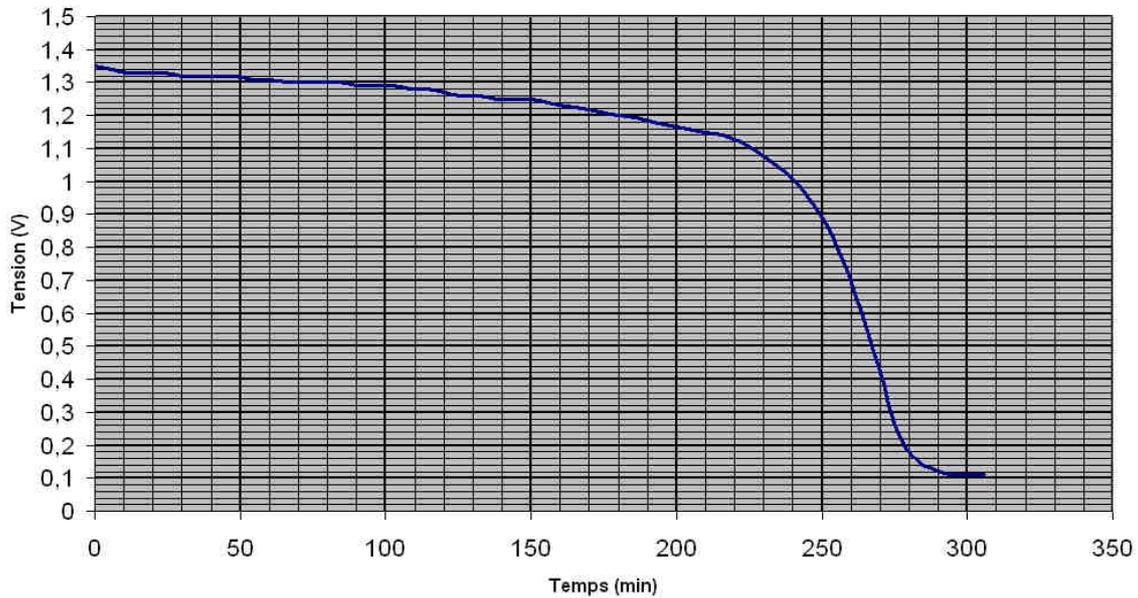
On voit ici les 2 blocs de vol réalisés conformément aux calculs ci-après. (Photo G07Y052 Photo GAREF PARIS)

Courbe de décharge typique d'un élément Energizer AA L91 sous 650mA (mesures juillet 2001)

Temps(min)	Tension(V)	Temps(min)	Tension(V)
0	1,35	156	1,24
6	1,34	162	1,23
12	1,33	168	1,22
18	1,33	174	1,21
24	1,33	180	1,2
30	1,32	186	1,195
36	1,32	192	1,18
42	1,32	198	1,17
48	1,32	204	1,16
54	1,31	210	1,15
60	1,31	216	1,14
66	1,3	222	1,12
72	1,3	228	1,09
78	1,3	234	1,05
84	1,3	240	1,01
90	1,29	246	0,94
96	1,29	252	0,86
102	1,29	258	0,74
108	1,28	264	0,59
114	1,28	270	0,42
120	1,27	276	0,24
126	1,26	282	0,16
132	1,26	288	0,13
138	1,25	294	0,11
144	1,248	300	0,11
150	1,25	306	0,11

### Courbe de décharge d'un élément Energizer AA L91 sous 650mA

juillet 2001



#### 4.3.11 Détermination de l'alimentation de l'émetteur

L'émetteur s'alimente en 12V DC, tolérance maximale +4.5V -1.5V. Courant max 0.65A.  
 La puissance est mesurée sous 50 Ohms par un bolomètre HP435A + sonde HP 8481A avec atténuateur étalon 30dB.  
 Les mesures donnent pour notre modèle Emhiser TTS1331 sn:124281 :

Tension d'alimentation	Consommation A	Puissance de sortie
14.5V	0.57	+30.2 dBm
14V	0.57	+30.2 dBm
13V	0.59	+30.2 dBm
12V	0.60	+30.1 dBm
11V	0.58	+30.1 dBm
10.5V	0.56	+30.0 dBm
10V	0.50	+29.0 dBm

On a, selon les relevés de courbes de décharge des piles lithium L91 type AA Energizer 3000mAh:

Nombre d'éléments AA assemblés	Tension à vide du bloc	Tension de début à I=0.65A	Durée jusqu'à ce que le bloc soit à 10.5V	Masse sans fils	Masse avec fils de câblage
9	16.2	12.15	3.4h (1.17V/élément)	131g	146g
<b>10</b>	<b>18.0</b>	<b>13.5</b>	<b>3.9h</b> <b>(1.05V/élément)</b>	<b>145g</b>	<b>166g</b>

Pour tenir dans les limites de fonctionnement de l'émetteur, (12+4.5-1.5V) soit entre 16.5V et 10.5V il convient si l'on prend un bloc de 10 éléments, de faire une légère décharge pour faire chuter la tension de 18V à 16V en branchant un bouchon de décharge (qui contient une résistance de 20 Ohms) consommant 10W pendant quelques secondes (contrôlé par un voltmètre), puis en le débranchant et en branchant aussitôt le bouchon de vol.

On aura une autonomie de 3.4h à 3.9h selon que l'on choisit un bloc de 9 ou 10 éléments.  
On a retenu **l'option bloc de 10 piles** + résistance de décharge quelques secondes.

#### 4.3.12 Détermination de l'alimentation du reste de l'électronique

On a mesuré le 24-3-07 la consommation de l'électronique de bord en fonction de la tension d'alimentation (le bloc de piles alimente 3 convertisseurs TRACO fonctionnant de 9 à 36V l'un délivrant +5V pour carte PCM, l'autre +15V -15V pour mesures et le dernier +5V carte PC et GPS).

Tension d'alimentation V	Courant consommé en mA	W
7.2	Décrochage	
7.5	1090	8.2
8	960	7.7
8.5 min spé Traco	880	7.5
9	830	7.5
10	750	7.5
11	690	7.6
12	630	7.6
13	590	7.7
14	560	7.8
15	520	7.8
16	500	8.0
17	470	8.0
18	450	8.1
19	430	8.2
20	410	8.2
21	400	8.4
22	380	8.4

Pour éviter une remontée de la consommation au delà de 650mA, on s'arrêtera à 11V.

Nombre d'éléments AA assemblés	Tension à vide du bloc	Tension de début à I=0.65A	Durée jusqu'à ce que le bloc soit à 11V	Masse sans fils	Masse avec fils de câblage	
9	16.2	12.15	3,1h (1.2V/élément)	131g	146g	
10	18	13.5	3,8 h (1.1V/élément)	145g	166g	
<b>11</b>	<b>19.8</b>	<b>14.8</b>	<b>4h</b> <b>(1.0V/élément)</b>	<b>160g</b>	<b>183g</b>	

On a retenu l'option bloc de 11 piles

### 4.3.13 Câblage du bouchon de vol

Pour l'alimentation, il nous fallait une solution pratique pour pouvoir utiliser alternativement les blocs de piles ou des alimentations externes pour les tests.

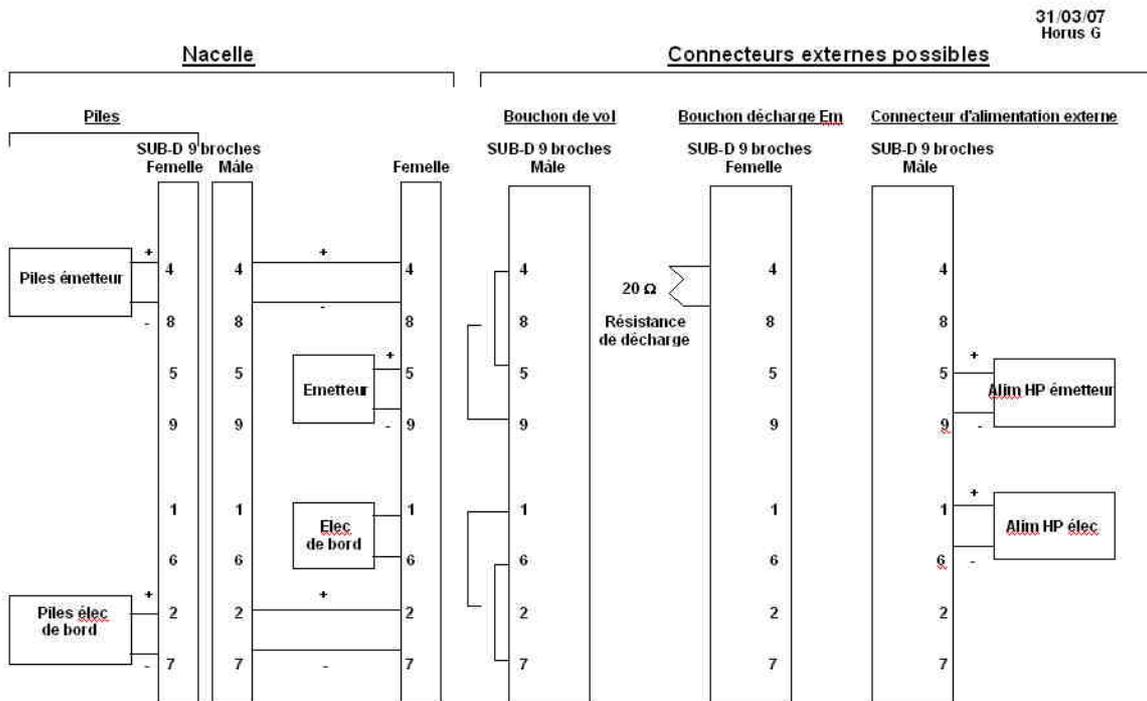
Par ailleurs, il était nécessaire de décharger facilement le bloc de piles de l'émetteur peu de temps avant le lâcher (voir 4.3.11 Alimentation de l'émetteur).

La nacelle comprend donc un connecteur qui donne accès aux alimentations et sur lequel ont vient raccorder des connecteurs spécifiques d'alimentation.

Soit un cordon d'alimentation pour alimenter la nacelle sur des alimentations externes

Soit un connecteur bouchon de pré-décharge de l'émetteur

Soit le connecteur **bouchon de vol** qui reste définitivement sur la nacelle pendant le vol.



#### 4.3.14 Moyens embarqués pour la localisation de la nacelle au sol

##### 4.3.14.1 Balises goniométriques

Afin de faciliter la récupération, notamment en cas de chute en forêt, nous avons installé dans la nacelle un petit émetteur de *radio-tracking* (ou balise oiseau) Marshall fréquence 216.085MHz (canal 9), avec en redondance, une balise de fréquence 216.065 MHz (canal 7) qui était fixé sur une suspente du parachute. (Chaque balise émet des impulsions de 60ms de +13dBm environ, au rythme de 48 impulsions par minute)

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



Une des 2 balises (total 8g avec pile, par balise) (G07Y053 GAREF PARIS)



Récepteur portatif (G07Y055 GAREF PARIS)

##### 4.3.14.2 Colorant aquatique Fluorescéine

Au cas où la nacelle tomberait dans l'eau, nous y avons également fixé des sachets de Fluorescéine sodique, colorant jaune non polluant très utilisé en plongée, qui se dissout et se diffuse largement au contact de l'eau en formant une tache jaune-vert fluo. (Fluoresceine sodique  $C_{20}H_{10}Na_2O_5$  classe Xanthene; colorant acide (anionique) acide(hydroxy-6 oxo-3 xanthenyl-9)-2 benzoïque dérivé disodique. CAS [518-47-8])

##### 4.3.14.3 Plaque de marquage

La nacelle est munie d'une étiquette plastique jaune fluo résistant aux UV et une plaque aluminium anodisée noir avec le texte suivant:



Photos G07H179 (Photo Optique Vidéo du CSG)

Cette plaque sert aussi à évacuer les calories de l'émetteur de télémessure par "rayonnement du corps noir".

## 4.4 LOGICIELS (liste et fonctions)

Tous les logiciels ont été écrits et mis au point par le GAREF certains partiellement les années précédentes lors d'autres vols de ballon de la lignée HORUS.

### 4.4.1 Logiciel de Vol

Baptisé "**run010c**" c'est le logiciel embarqué sur la carte PC Prometheus PC104. Ecrit en langage C pour Linux. Il se charge de récupérer les données des différents modules, de les regrouper sous forme de trames à un format précis, et de les transmettre à la carte qui élabore le train PCM.

Pour les capteurs de température et de pression, les tensions 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. Celle-ci lit en permanence les données de ce port pour récupérer les données de position et de vitesse du ballon, puis les intègre dans la trame GPS.

L'appareil photo numérique est piloté par la carte PC via une télécommande. Après chaque prise de vue, la carte PC copie les fichiers image de l'appareil dans sa mémoire vive via le port USB. Ces fichiers sont ensuite découpés en tranches pour être intégrés dans la trame photo.

### 4.4.2 Logiciel réception principal

Baptisé "**DDP**" (" Dynamic Data Processing "), programmé en Visual C++ 6.0, tournant sous WinXP. Il affiche sur un premier écran une carte, sur laquelle est reportée la trajectoire du ballon en temps réel pour permettre la récupération de la nacelle, ainsi que diverses informations données par le récepteur GPS comme l'heure et l'altitude.

Il affiche sur un deuxième écran les courbes correspondant aux données des capteurs, le numéro de trame, de prise de vue, les erreurs de transmission et la durée depuis le lancement.

La télémessure, sous forme de trames, est fournie à la carte d'acquisition par le synchro secondaire du décommutateur. La carte remplit des buffers tournants auxquels le programme **DDP** 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 convertis 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 à une erreur de transmission.

### 4.4.3 Logiciel réception secondaire

Baptisé "**Probe Tracker**", programmé en Visual C++ 6.0, tournant sous WinXP, il est utilisé à bord de la station embarquée. C'est une version épurée du logiciel de réception de la station principale, auquel on a ajouté un traitement tenant compte de la position GPS de la station embarquée afin de donner la direction dans laquelle il faut pointer l'antenne de réception de la station embarquée.

Il affiche sur un écran une carte sur laquelle est reportée la trajectoire du ballon en temps réel, ainsi que la position actuelle de la station de réception embarquée (hélicoptère).

Pour faciliter le pointage manuel de l'antenne vers la nacelle, Les angles d'azimut et de site pour pointer l'antenne vers le ballon apparaissent aussi, de même que la distance séparant les deux.

#### 4.4.4 Logiciel de traitement des photos

Baptisé "**ConcatV2**", programmé en Visual C++ 6.0, tournant sous WinXP, il se charge de comparer les différentes itérations reçues d'une même photo, pour corriger les erreurs de transmission.

On choisit de conserver les données d'une trame photo (60 octets) si elles sont identiques sur deux retransmissions de cette trame sur les cinq itérations transmises d'une même photo. Un numéro interne de trame photo est ajouté pour faciliter cette opération.

Ce logiciel sélectionne deux trames identiques (les erreurs étant aléatoires, elles ont très peu de chances de se reproduire de la même façon) parmi les itérations reçues des trames ayant le même numéro interne, ou la première s'il n'en trouve pas deux identiques. Il les met ensuite bout à bout pour reconstituer la photo entière. Une interface graphique montre la progression de ce processus qui peut durer quelques dizaines de secondes.

#### 4.4.5 Logiciel de prévision de trajectoire avant le vol

Baptisé "**Osiris**", réalisé sous Matlab, il utilise les données d'un radiosondage pour simuler le vol et afficher la trajectoire prévisionnelle et le point d'atterrissage théorique prévu. Il permet de vérifier **avant le vol** quels sont les territoires survolés et l'éventuelle chute en mer. Il utilise une carte géographique dite "carte OSIRIS" (voir problème rencontré avec cette carte en 6.5).

Ce programme a aussi été utilisé pour, en fonction des statistiques de vent à Kourou les années précédentes en avril, déterminer les trajectoires et points d'atterrissages possibles et envisager ainsi la probabilité de pouvoir lancer.

Le principe est relativement simple : on modélise le comportement vertical du ballon en utilisant des formules classiques de mécanique des fluides, et pour son déplacement horizontal, on suppose que le ballon vole à la même vitesse que les vents dans la couche d'air dans laquelle il se trouve.

Les données nécessaires sont donc la densité de l'air et les composantes Nord et Est des vitesses des vents à différentes altitudes. Le CSG nous fournit un radio-sondage météo, selon un format de document de radiosondage prédéfini, ce qui permet une conversion automatisée pour le rendre exploitable par notre logiciel.

On lance ensuite le calcul. Quelques secondes plus tard s'affichent quatre fenêtres représentant : le profil du vol du ballon, sa trajectoire théorique en projection sur une carte de Guyane, le profil des vents, et l'éloignement de la nacelle par rapport à un point GPS connu.

#### 4.4.6 Logiciel de prévision de trajectoire en vol

Baptisé "**Crystal**", programmé en Visual C++ 6.0, tournant sous WinXP, il utilise les données de position GPS reçues par télémétrie pour fabriquer l'équivalent d'un radiosondage en temps réel, donnant la distance parcourue le temps de la traversée d'une couche d'altitude, cela nous donnant la vitesse des vents dans cette couche.

Il calcule à tout moment du vol le point d'atterrissage de la nacelle en simulant la descente, en considérant que les vents rencontrés à la descente seront les mêmes que ceux rencontrés lors de l'ascension, en connaissant à l'avance la vitesse de descente d'une nacelle sous parachute. (Voir chapitre 4.9.2)

Au cours de la descente, le calcul était constamment ré-effectué à partir de la dernière position GPS connue, pour augmenter la précision au plus la nacelle se rapprochait du sol.

Nous avons fabriqué une carte numérique de Guyane par assemblage de capture d'écran de site web Géoportail de l'Institut Géographique National. Cette carte (reproduite au 4.9.2) est utilisée par nos logiciels "**Crystal**", "**DDP**" (voir 4.4.2), et "**Probe tracker**" (voir 4.4.3).

## 4.5 MECANIQUE DE LA NACELLE

### 4.5.1 Boîtier de la nacelle

La masse totale de la charge utile (hors : enveloppe latex du ballon, parachute, réflecteur radar etc.) doit être inférieure à 2,5kg, pour une masse surfacique inférieure à 13g/cm<sup>2</sup>. Il est préférable que la nacelle soit bien équilibrée. Elle doit pouvoir résister à des mouvements brutaux et à des vitesses assez élevées (vitesse latérale des vents et vitesse verticale (montée : 20km/h environ, en descente : moyenne 50km/h mais 180km/h en très haute altitude)).

Il faut utiliser un matériau "imperméable", peu dense, et le plus résistant possible. Le GAREF utilise en général du Styrodur (sorte de polystyrène expansé, rigide mais cassant) ou du carton plume (mousse plastique souple entre deux feuilles de carton rigide glacé (CANSON 5154006), 700g/m<sup>2</sup> pour une épaisseur de 5mm). C'est cette dernière solution qui a été retenue pour HORUS G.

Les dimensions de la nacelle étaient de 30cmx30cmx12cm en Carton Plume Canson. la nacelle vide pèse 250g. La fixation des divers éléments et des panneaux de carton plume se fait avec du scotch aluminium 3M réf 425. On y a aménagé une face inclinée pour l'appareil photo, selon l'angle de vue désiré. (+68° par rapport à l'horizontale)

## 4.6 MISE EN ŒUVRE DU BALLON

### 4.6.1 Calcul du volume de gonflage

D'après des lois simples de thermodynamique, on a établi que 0.9 m<sup>3</sup> (à 1bar) d'hélium pouvaient soulever une masse de 1 kg.

Selon les critères de Planète-Sciences, il nous fallait de plus ajouter un surpoids fictif de 1,7kg pour obtenir une vitesse ascensionnelle de 5m/s, et surgonfler de 0,5 m<sup>3</sup> (à 1bar) pour que le ballon éclate vers 27 000m et n'aille pas trop loin (mer, pays étranger, forêt).

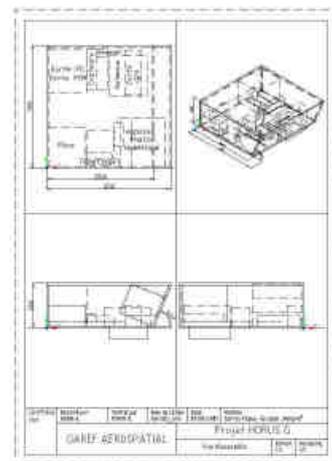
En bilan, il nous fallait donc gonfler avec 5,6m<sup>3</sup> d'hélium à 1 bar.

### 4.6.2 Technique de lâcher utilisée

Nous avons gonflé avec la méthode de la tare (un poids de 5kg + le manchon en aluminium servant au gonflage de 1,2kg), et en vérifiant avec la méthode des différences de pression dans les bouteilles utilisées grâce à un manomètre.



Début de gonflage du ballon (photo G07H211 Photo F.Roubaud IUT de Kourou)



Plan nacelle

## 4.7 MOYENS DE RECEPTION DES TELEMESURES

### 4.7.1 Station de réception CSG Galliot

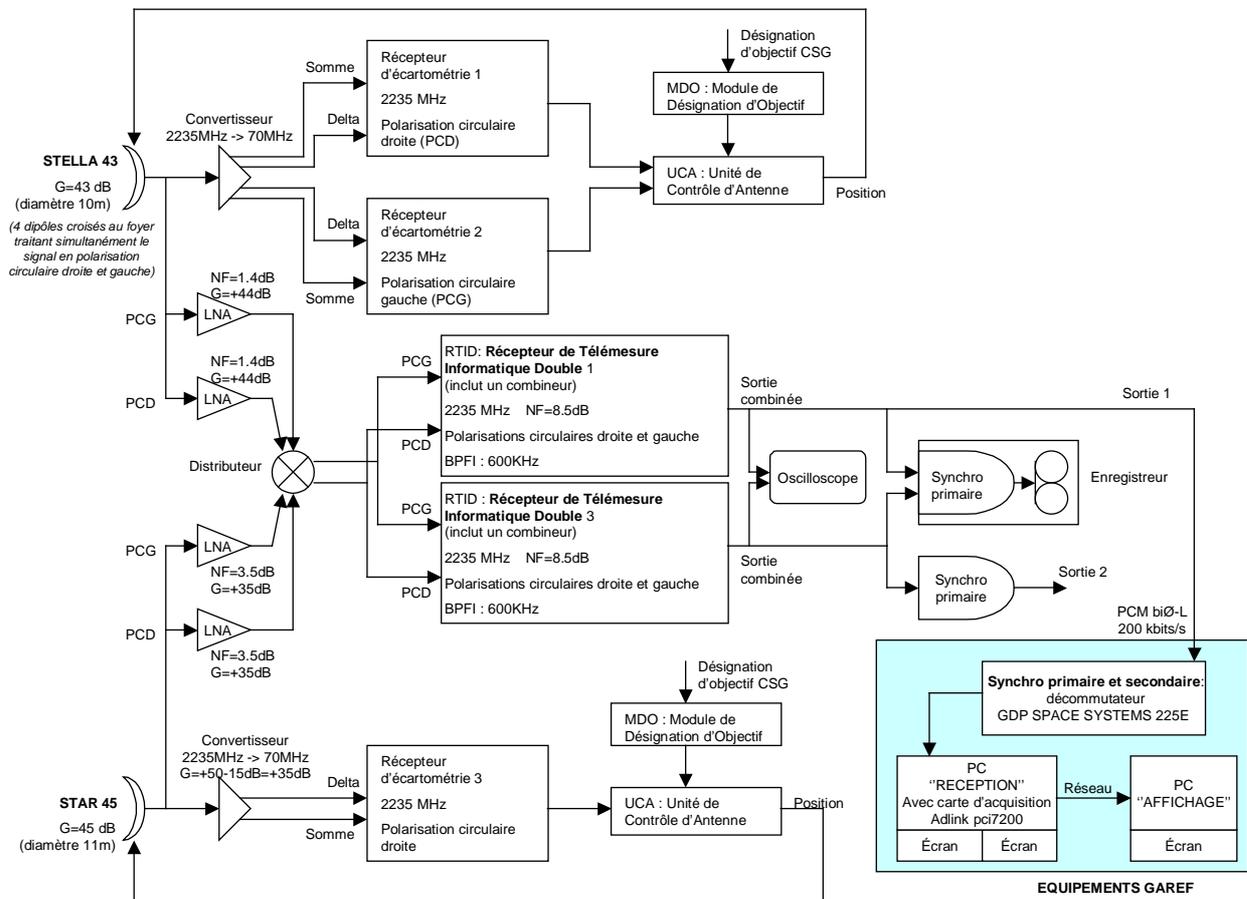
Une équipe GAREF s'est installée à la station de réception de télémesures Galliot, utilisée comme station de réception principale. La station Galliot est située à 133m d'altitude sur la Montagne des Pères, à 16km environ du point de lancement (Site Fusées Sondes ELFS).

En plus des radios VHF, une ligne téléphonique fixe assurait la liaison entre ce site et le site de lancement à ELFS. Une ligne fixe nous reliait aussi au Centre de Communication Militaire (CCM) où les consignes étaient transmises, pour le guidage en vol de l'hélicoptère de récupération.

Le CSG a mis à notre disposition deux antennes, la STELLA 43 (Diamètre 10m, Gain +43dB) et en fin de vol la STAR 45 (Diamètre 11m, gain +45dB), suivies de toute la chaîne de réception et combineurs (polarisation circulaire droite et gauche), pour nous fournir un signal en sortie de récepteur numérique de la meilleure qualité possible.

Les antennes sont asservies soit par un ensemble de récepteur d'écartométrie, soit par une désignation radar ou même manuellement en cas de décrochage.

Le CSG avait configuré spécialement la station Galliot pour recevoir HORUS G. En nominal, l'antenne STAR45 est réservée aux opérations satellites. (voie somme: NT=80K(soit NF=1.06dB), G=+50dB, voie différence: NF+1.7dB, G=+53dB). Pour HORUS G, elle a été mise en mode réception Ariane: Pour éviter la saturation des amplificateurs faible bruit paramétriques (non refroidis), on coupe l'alimentation des amplificateurs paramétriques ce qui ramène le gain à +35dB avec un NF de 3.5dB. Pour équilibrer les gains, un relais commute un atténuateur de 15dB sur la voie écartométrie. ( $G=+50-15$ )=+35dB



Synoptique de la station Galliot configurée pour la réception d'HORUS G

En sortie des récepteurs, le signal était ensuite traité par notre décommutateur GDP Space Systems 225E, avant d'être envoyé à nos ordinateurs (PC "Réception" et PC "affichage"), munis des programmes permettant de voir les courbes des capteurs, le suivi GPS, les photos, et la prévision de trajectoire de retombée, le tout en temps réel au cours du vol. (voir chapitre 4.4 Logiciels)



*A la station Galliot, le GAREFa installé ses équipements (Décommutateur, PC et écrans) à droite des baies de réceptions comprenant les récepteurs RTID (Photo G07H136. Photo GAREF PARIS)*

#### **4.7.1.1 Décommutateur GAREF**

On utilise un décommutateur primaire et secondaire GDP Space Systems 225E (sortant 8 à 16 bits en parallèle) suivi de 2 ordinateurs PC, PC n1 réception et PC N2 affichage.

#### **4.7.1.2 PC N1 Réception**

Installé au site Galliot, ce PC (Pentium4 WinXP) est muni d'une carte d'acquisition recevant le signal (8 bits en parallèle) en sortie du décommutateur GDP Space Systems, et dispose du logiciel GAREF de réception principal "DDP".

Celui-ci est chargé de traiter les trames de télémessure pour en extraire les mesures de température et pression, les trames GPS pour afficher la position GPS du ballon sur une carte, et les trames photo pour les rassembler et les mettre à disposition du programme de traitement des photos "ConcatV2". Il indique aussi la direction théorique dans laquelle pointait l'antenne de réception, pour le cas où l'antenne perdrait le signal et que l'on veuille la rediriger manuellement.

### **4.7.1.3 PC N2 Affichage**

Installé aussi à Galliot, ce PC (Pentium4 WinXP) est relié par réseau au PC Réception. Il est chargé de traiter les photos grâce à un principe correcteur d'erreurs, avec le logiciel GAREF "ConcatV2". D'autre part, le logiciel de prévision de trajectoire "Crystal" est aussi lancé sur ce PC et indique en temps réel la trajectoire de retombée jusqu'au point prévu d'atterrissage du ballon en fonction de la vitesse des vents relevés depuis le début du vol grâce aux positions GPS reçues.

### **4.7.1.4 Logiciels de traitement de données DDP (description détaillée)**

#### **4.7.1.4.1 Principe général**

Le programme de réception au sol, " Dynamic Data Processing ", programmé en Visual C++ 6.0, 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 (dont 8 sont utilisées). 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 (environ 2.3km/cm sur un écran de 15 pouces), 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 et l'altitude.

L'autre écran affiche les courbes correspondant aux données des capteurs, tels 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 lancement.

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.

#### **4.7.1.4.2 Acquisition**

La télémesure, sous forme de trames, est fournie à la carte d'acquisition par le synchro secondaire du décommutateur. 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 convertis 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 à une erreur de transmission.

#### **4.7.1.4.3 Récupération des photos**

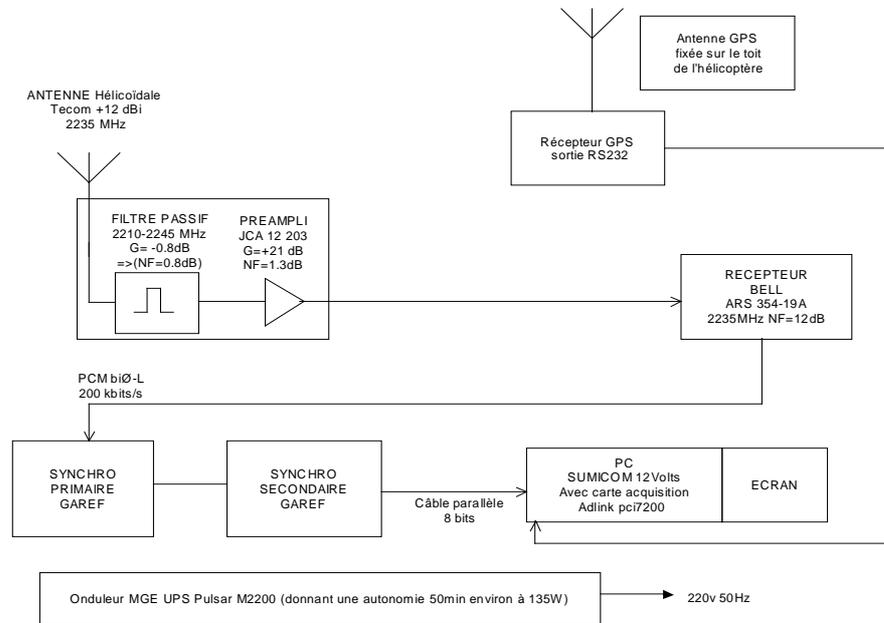
On choisit donc de conserver les données d'une trame (60 octets) si elles sont identiques sur deux retransmissions de cette trame sur les cinq itérations transmises d'une même photo. Un numéro interne de trame photo est ajouté pour faciliter cette opération. Les pertes durables de transmission sont rarement 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 logiciel, nommé " ConcatV2 ", implémente cet algorithme et extrait les photos corrigées des données stockées par le premier programme. Lorsque celui-ci donne la confirmation de fin de transmission d'une photo, on exécute ConcatV2 puis on affiche la photo grâce à un logiciel visionneur d'images classiques.

Ce logiciel sélectionne deux trames identiques (les erreurs étant aléatoires, elles ont très peu de chances de se reproduire de la même façon) parmi les itérations reçues des trames ayant le même numéro interne, ou la première s'il n'en trouve pas deux identiques. Il les met ensuite bout à bout pour reconstituer la photo entière. Une interface graphique montre la progression de ce processus qui peut durer quelques dizaines de secondes.

#### 4.7.2 Station de réception embarquée dans l'Hélicoptère

Les Forces Armées en Guyane avaient accepté d'assurer la récupération de la nacelle grâce à un hélicoptère Puma dans lequel était implantée notre station de réception secondaire. Grâce aux informations fournies par la station de réception principale, transmises par ligne téléphonique au Centre de Communication Militaire, puis par radio à l'équipage, l'hélicoptère a pu se placer à côté du point de retombée prévu du ballon, et recevoir les données pendant l'atterrissage de la nacelle ce qui a ainsi donné la position GPS exacte d'atterrissage.



Synoptique de la station de réception GAREF embarquée dans l'hélicoptère

##### 4.7.2.1 Equipements GAREF de la station mobile de réception des télémesures

Antenne TECOM 401022R Hélice polarisation circulaire droite, angle 35°, G=12 dBi.  
 Filtre 2210-2245MHz (-3dB.) ; 2220-2235MHz (-0.8dB.)  
 Préampli : JCA 12-203 G=21dB NF=1.3dB  
 Récepteur Bell ARS 354-19A 2235MHz NF=12dB  
 Décommutateur primaire et secondaire fabrication GAREF pour HORUS G.

PC Embarqué 12V. SUMICOM S625H (12V, PCI, Pentium M 1.7GHz, 512MO RAM, DD40Go, WinXP, carte acquisition Adlink PCI 7200) écran Skintek 15" 12V.

Récepteur GPS LASSEN SKII Trimble, antenne active micropatch Trimble



Station embarquée dans l'hélicoptère  
 (Photos G07H194 et G07H350. Photos Optique Vidéo du CSG)

Antenne de réception GAREF  
 (hélice polarisation circulaire droite +12dBi)  
 (G04P079 Photo GAREF PARIS)

#### 4.7.2.2 Logiciel station de réception embarquée (description détaillée)

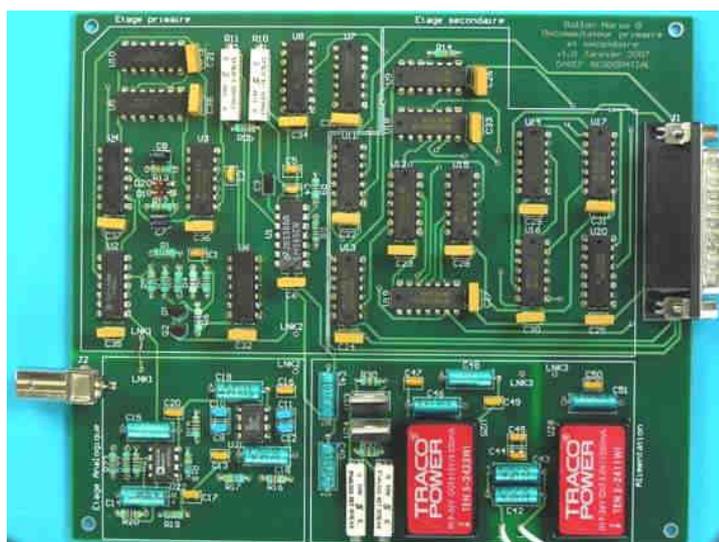
Baptisé, "**Probe Tracker**", c'est une version épurée du logiciel **DDP** de réception de la station principale, auquel on a ajouté un traitement tenant compte de la position GPS de la station embarquée afin de donner la direction dans laquelle il faut pointer l'antenne de réception de la station embarquée. Il affiche sur un écran une carte sur laquelle est reportée la trajectoire du ballon en temps réel, ainsi que la position actuelle de la station de réception embarquée (hélicoptère). Les angles d'azimut et de site pour pointer l'antenne vers le ballon apparaissent aussi, de même que la distance séparant les deux.

#### 4.7.2.3 Carte décommutateur fabrication GAREF

Cette carte a été entièrement développée au GAREF pour le projet HORUS G. Elle fonctionne de façon entièrement hardware (pas de composant programmable) et elle est dédiée à notre utilisation, avec un mot de synchronisation fixe et un format de signal PCM bi-phase-L.

Elle est composée d'un étage analogique filtrant le signal provenant du récepteur et le transformant en signal numérique, d'une partie primaire effectuant la synchronisation de bits, et d'une partie secondaire effectuant la synchronisation d'octets, grâce au repérage d'un mot de synchronisation de 24 bits.

Validée sous forme prototype par le projet HORUS 5, cette carte a subi pour le projet HORUS G une longue et complexe phase de routage. Effectué au GAREF grâce à un logiciel de conception électronique, ceci nous a permis de produire un véritable décommutateur fiable et réutilisable, sous forme de circuit imprimé à faible coût, léger, peu encombrant, sous 12V et qui consomme peu.



Carte décommutateur (synchro de bit et de format) réalisée par le GAREF (Photo G07D025 Photo GAREF PARIS)

### 4.8 ETUDE PREALABLE STATISTIQUE DES TRAJECTOIRES POSSIBLES

#### 4.8.1 Introduction

Pour augmenter nos chances de succès, nous avons aussi décidé de concevoir au sein du GAREF un logiciel baptisé "**OSIRIS**" qui serait capable de déterminer à l'avance le point de chute vraisemblable de la nacelle, d'après un radio-sondage météo des vents en altitude qui serait effectué le matin du lancement.

En fonction du point de retombée ainsi calculé, nous pouvions décider d'annuler le lancement si les chances de récupération étaient trop faibles (en mer, au-delà de la frontière, ou trop loin dans les terres). Ce logiciel servait aussi aux fins de la sauvegarde.

Ce programme a aussi été utilisé pour, en fonction des statistiques de vent à Kourou les années précédentes en avril, déterminer les trajectoires et point d'atterrissage possibles et envisager ainsi la probabilité de pouvoir lancer et les stratégies de récupération avec hélicoptère.

#### 4.8.2 Principe général du logiciel, avant le vol, de prévision de trajectoire.

Pour le logiciel de calcul avant le vol, il avait été décidé dès le départ qu'il s'agirait d'une feuille de calcul Matlab plutôt que d'un programme plus lourd en langage C ou autre. La procédure de calcul serait plus simple et réalisable par n'importe qui.

Le principe est relativement simple : on modélise le comportement vertical du ballon en utilisant des formules classiques de mécanique des fluides, et pour son déplacement horizontal, on suppose que le ballon vole à la même vitesse que les vents dans la couche d'air dans laquelle il se trouve.

Les données nécessaires étaient donc la densité de l'air et les composantes Nord et Est des vitesses des vents à différentes altitudes.

Nous avons alors demandé au CSG de nous fournir un radio-sondage météo. Il effectue tous les 100m, de 0 à 36 000m en général, des mesures de température, pression, vitesse des vents, densité de l'air et hygrométrie entre autres. Il nous a fallu définir pour le CSG un format de document de radiosondage à respecter, afin que nous puissions créer une conversion automatisée pour les rendre exploitables par notre logiciel.

La procédure est alors simple : on copie le relevé météo dans le dossier de travail du logiciel, on le charge grâce à une commande spécifique, et on lance le calcul. Quelques secondes plus tard s'affichent quatre fenêtres représentant : le profil du vol du ballon, sa trajectoire théorique en projection sur une carte de Guyane, le profil des vents, et l'éloignement de la nacelle par rapport à un point GPS connu.

#### 4.8.3 Mise au point du logiciel

Durant le second semestre 2006, le CSG nous a transmis différents relevés de radio-sondage des années précédentes afin d'estimer une trajectoire statistique probable et afin de mettre au point le logiciel et sa mise en œuvre.

##### 4.8.3.1 Montée du ballon et descente de la nacelle

Valeurs typiques prises pour le calcul :

Masse de la nacelle :	2,500 kg
Masse parachute+réflecteur :	0,465 kg
Surface du parachute :	1,23 m <sup>2</sup>
Cx du parachute :	1,4 à 1.9

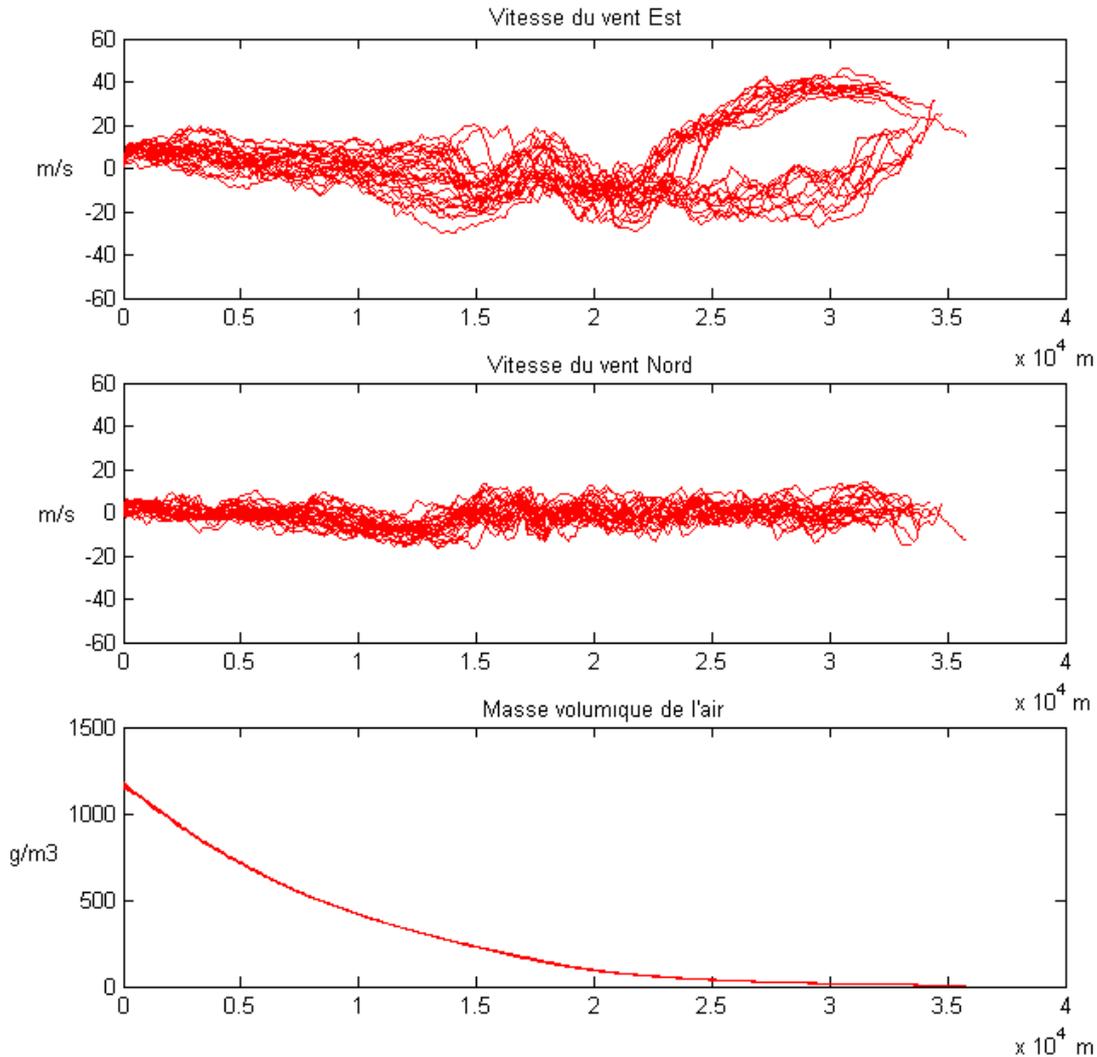
Vitesse ascensionnelle : 5.6 m/s (supposée constante)

Vitesse de descente :  $M$ =masse  $\rho$ =densité air  $C_x$ =Coef traînée parachute  
 $S$ =surface maître couple parachute  $g$ =accélération pesanteur  
A l'équilibre  $F=Mg=1/2 \rho S V^2 C_x$  d'où  
$$V = ( (2 M g) / (\rho S C_x) )^{0.5}$$
  
Soit 44,3 m/s à 30 000 m d'altitude et 5,4 m/s au sol

#### 4.8.3.2 Relevés météo des années précédentes

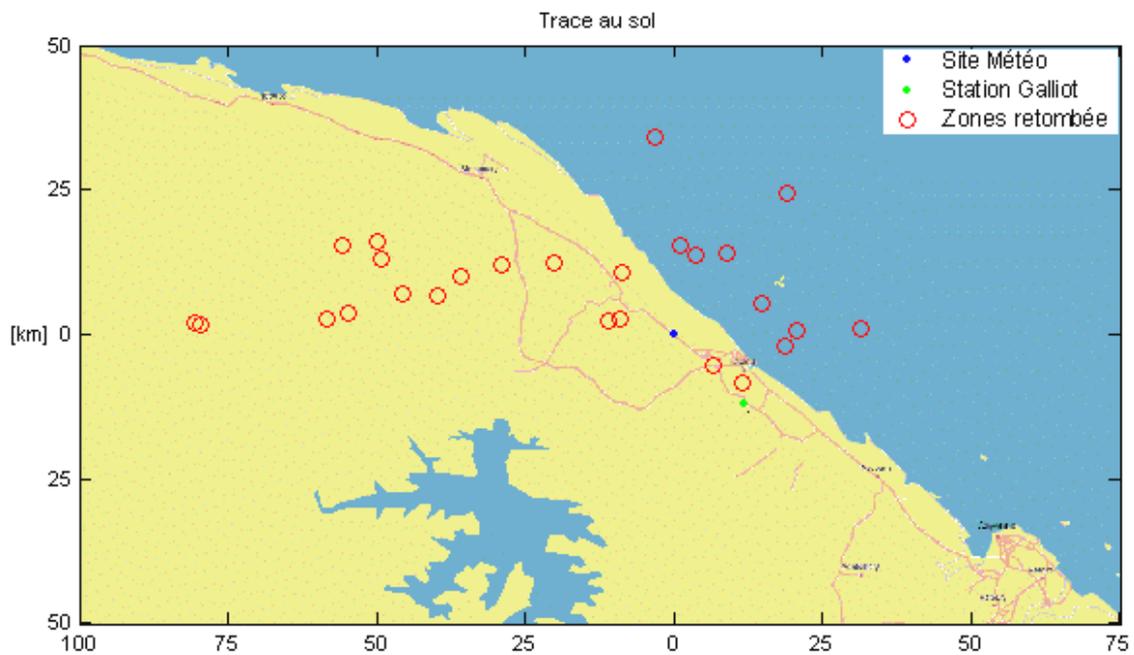
Pendant la période de mise au point du logiciel, nous avons obtenu du Centre Spatial Guyanais une série de relevés météorologiques effectués au mois d'avril les années précédentes.

Nous avons sélectionné ceux allant jusqu'à une altitude comprise entre 29 000 et 35 000m environ et qui contiennent un relevé complet de la vitesse des vents (composante Est et Nord) et la densité de l'air en fonction de l'altitude, soit 26 relevés.

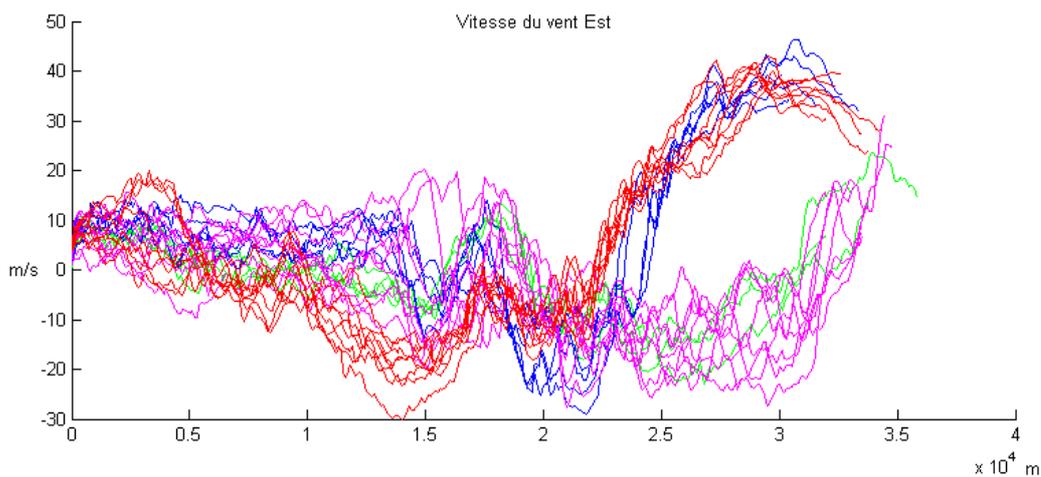


### 4.8.3.3 Simulation de la trajectoire en fonction de statistiques de vents

Sur les 26 simulations, 17 aboutissaient à un atterrissage sur le sol guyanais et 9 retombaient en mer.



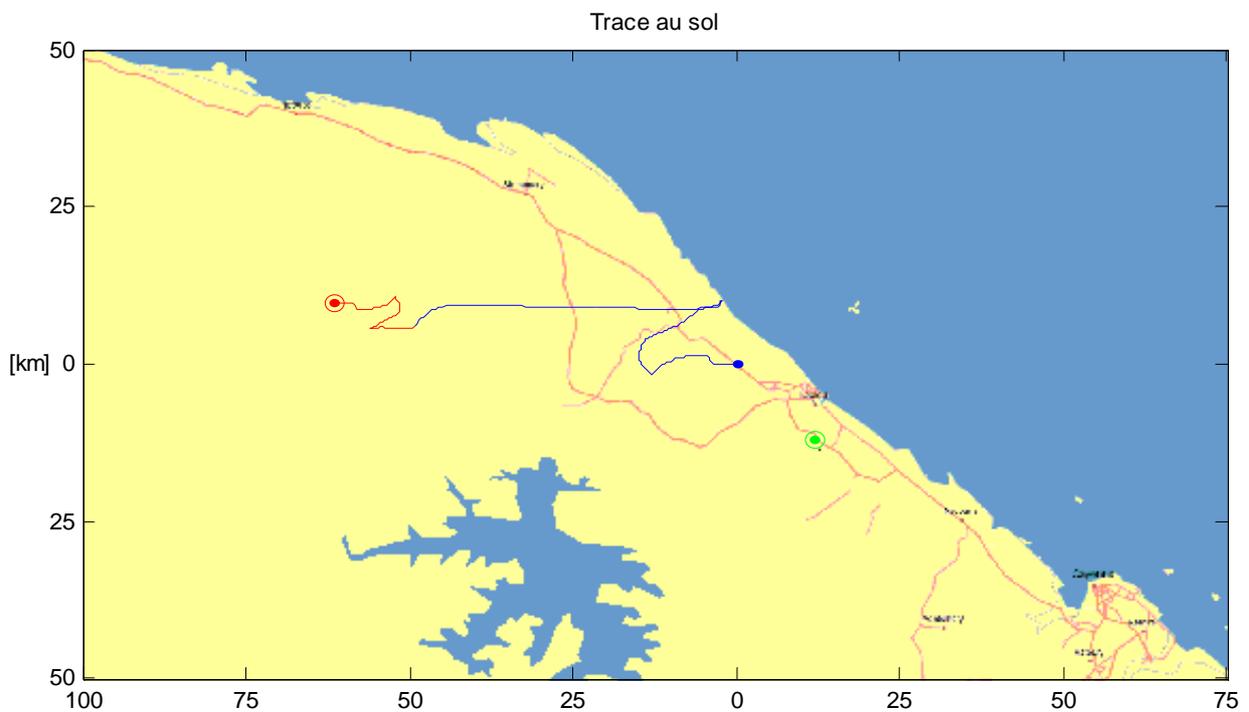
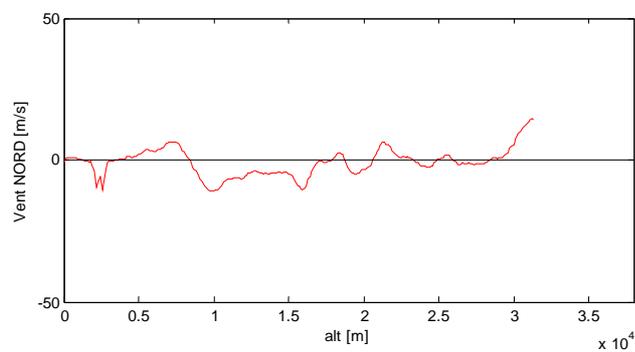
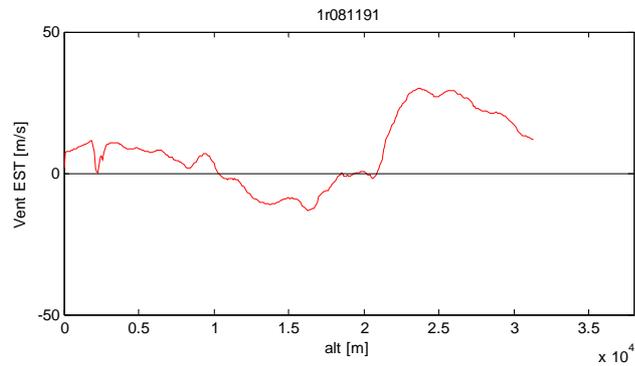
Pour pouvoir déterminer avant le lâcher le point de chute probable, il faut connaître la tendance du jet d'Est que l'on rencontre en altitude. Comme le montre le graphique suivant, l'altitude et la vitesse de ce vent sont très stables sur un mois donné.



Composante Est des vents relevés en

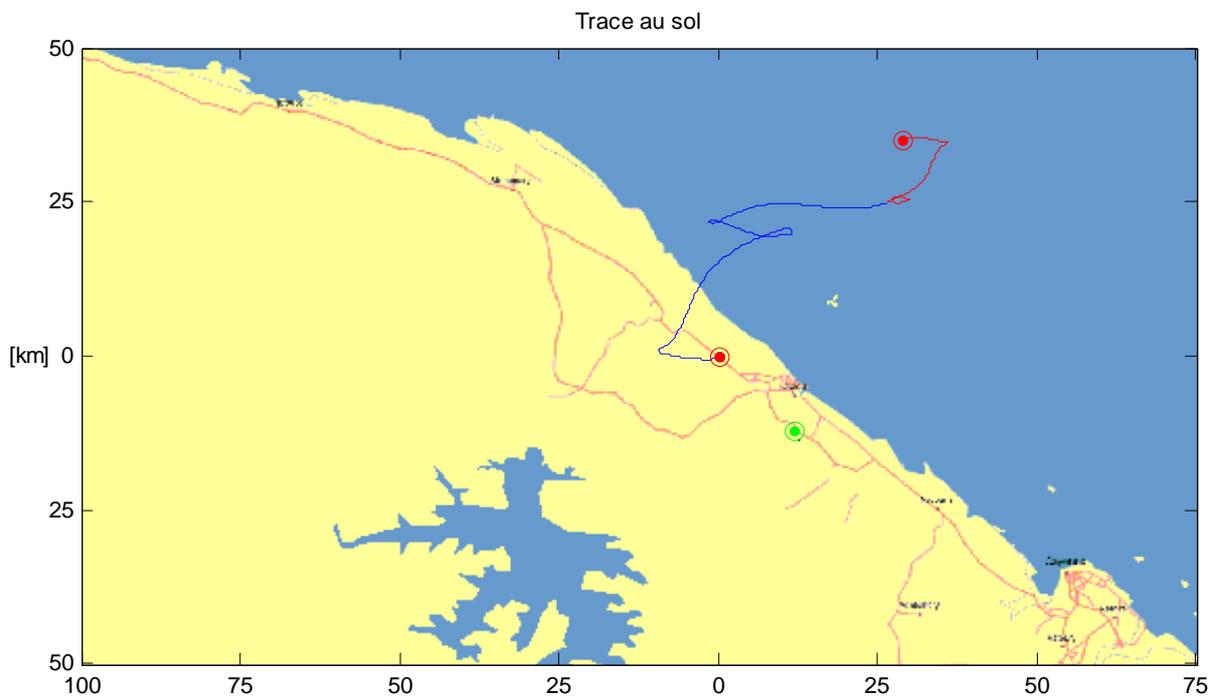
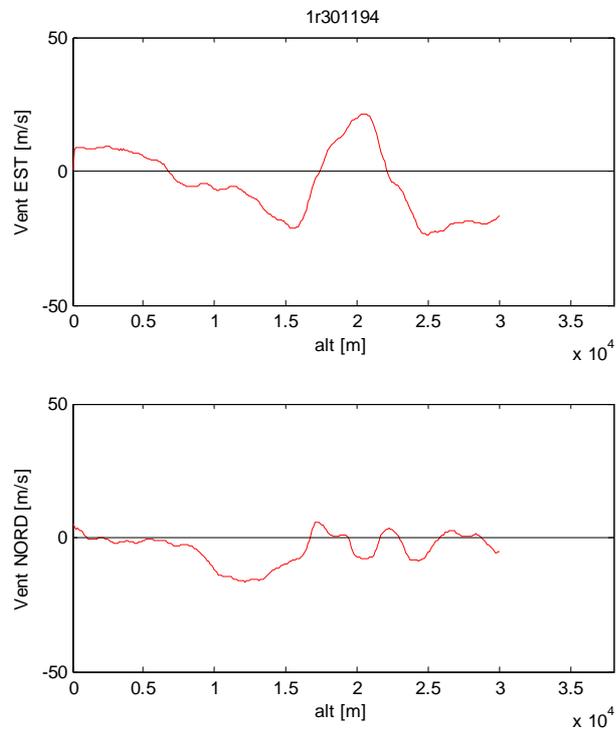
- 1999 (vert)
- 2000 (bleu)
- 2002 (magenta)
- 2003 (rouge)

**Exemple 1** : avec un relevé effectué le 08 novembre 1991, le ballon culmine à 50 km à l'Est de son point de départ et retombe à 75 km, en pleine forêt, au sud d'Iracoubo. Un tel profil de vent nous assure que le ballon ne peut que retomber sur la terre.



En bleu, la trajectoire de montée (1h45min), en rouge, la trajectoire de descente (45 min).

**Exemple 2** : relevé effectué le 30 novembre 1994 : nous pouvons être sur que le ballon retomberait en mer.



En bleu, la trajectoire de montée (1h45min), en rouge, la trajectoire de descente (45 min).

#### 4.8.3.4 Estimation du SCx parachute

##### 4.8.3.4.1 Estimation de la valeur du SCx du parachute

La question s'est posée de savoir si le SCx donné pour le parachute était exact et si il avait un influence importante sur le point de retombée.

Les forces verticales de frottement étant négligées pendant la montée, le SCx de la chaîne de vol n'intervient que pendant la descente sous parachute.

**On constate d'après plusieurs simulations pour SCx = 1.2, 1.4, 1.6 et 1.8 que la valeur SCx n'a pas une grande influence sur la position de retombée du ballon, mais seulement sur la durée de vol.**

Pour vérifier le SCx donné du parachute: (1.4 nominal), on a utilisé le logiciel de calcul de trajectoire, en comparant la durée de descente calculées avec celle observée dans la réalité lors de précédents vols de ballon HORUS du GAREF.

On a modifié alors la valeur de SCx jusqu'à obtenir avec le calcul de trajectoire, une durée de vol correspondant à celle réellement observée en métropole.

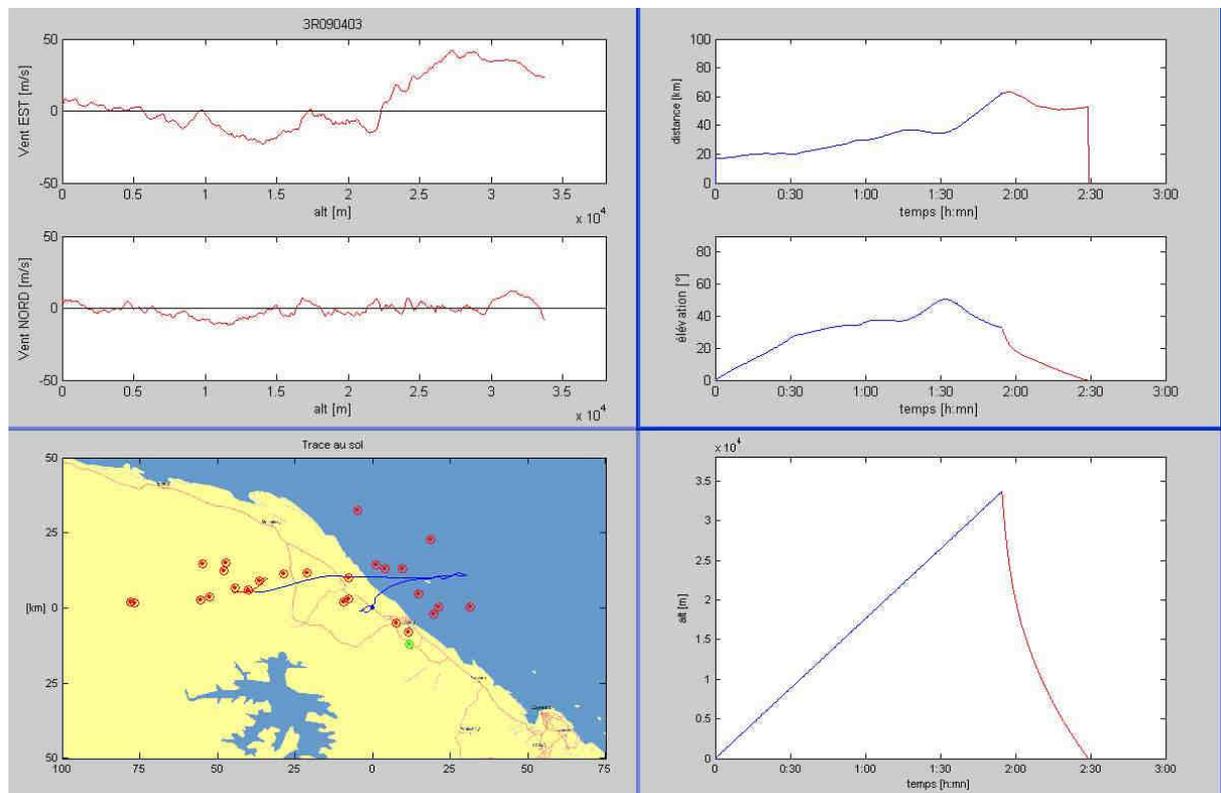
Horus 5 (2006): 40 minutes de descente : d'où SCx reconstitué=1.75

Horus 4 (2005): 45 minutes de descente : d'où SCx reconstitué=2.2

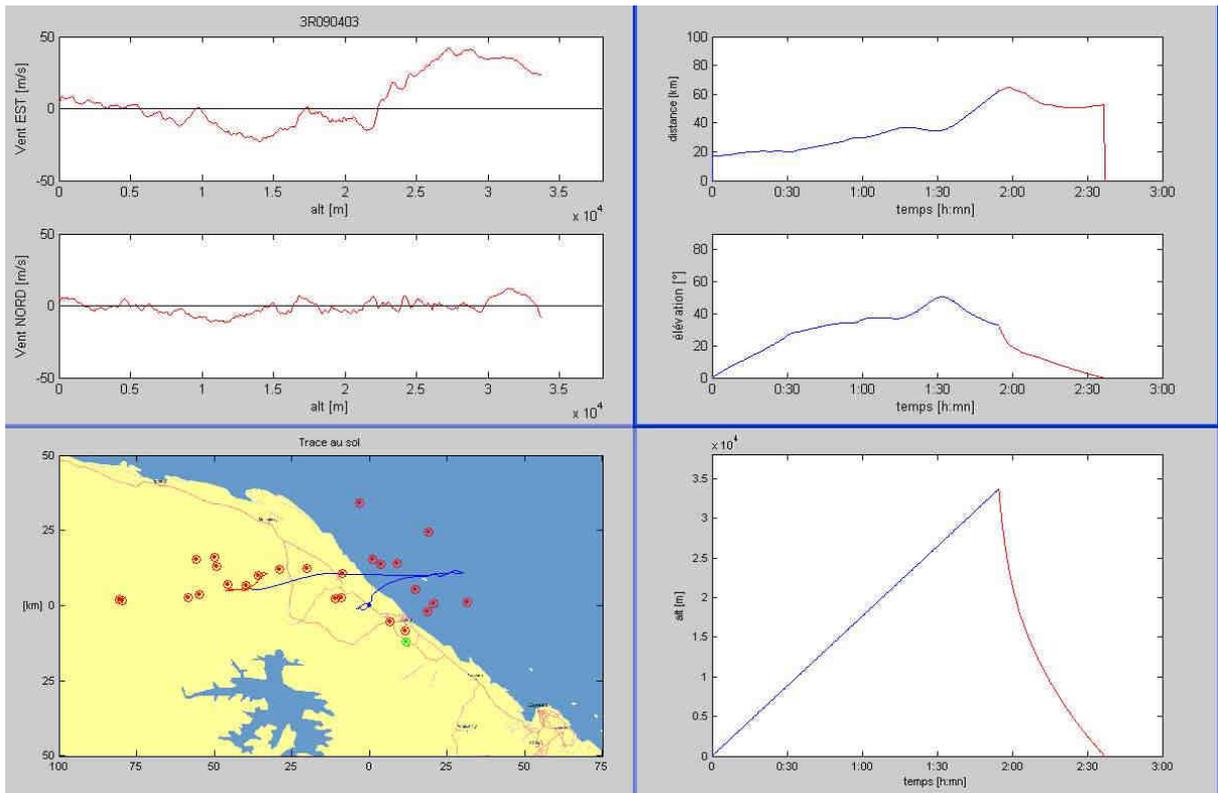
Horus 3 (2004): 37 minutes de descente : d'où SCx reconstitué=1.5

##### 4.8.3.4.2 Analyse de l'influence du SCx sur la trajectoire

Ci-dessous : exemples avec SCx=1.2 et 1.8.



Pour SCx = 1.2 (33minutes de descente)



Pour SCx=1.8 (41 minutes de descente)

**Conclusion: On n'a apparemment pas vraiment besoin de connaître exactement la valeur du SCx. En effet, pour un ordre de grandeur de 1.7, les positions de chute sont sensiblement les mêmes.**

#### 4.8.3.5 Conditions météo requises pour le lâcher

Afin de prévoir la trajectoire, le point de chute, et de vérifier la faisabilité de la récupération, il était souhaitable d'avoir des relevés météorologiques et prévisions (radio sondage vents 0 à 33000m, dont une estimation prévisionnelle du régime des vents deux semaines avant le jour J puis un radio sondage à J-2 (Rochambeau + estimation) et un autre à J-1 (Kourou) et enfin un dernier (Kourou) le matin du lancement à H -3 heures (lancement prévu en fin de matinée 12h30 (afin de localiser et/ou récupérer la nacelle avant la nuit).

A partir des relevés sous la forme de fichier texte ou bien d'un tableur MS-Excel, le GAREF pouvait fournir un diagnostic.

Pour autoriser le lâcher, nous avons besoin que le ciel soit clair. La vitesse du vent au sol devait être inférieure à 10 m/s.

Le lâcher était prévu nominalelement au jeudi 12 avril 2007. Il a finalement été reporté au 13 avril 2007. S'il n'avait pas eu lieu au-delà de cette date, la campagne aurait été décalée à de prochaines vacances scolaires.

### 4.9 PREVISION DE TRAJECTOIRE EN VOL

#### 4.9.1 Enjeu de la récupération

L'un des grands problèmes avec les ballons sondes "légers" est que l'on ne sait jamais précisément où ils retombent, ce qui empêche de les récupérer ou de les récupérer rapidement.

Le lancement ayant lieu au CSG, nous savions que la réception des télémesures serait effectuée par les antennes et récepteurs du CSG donc une réception excellente.

Mais l'on sait que lorsque les antennes pointent presque à l'horizontale, compte tenu du relief du terrain, on a une perte de télémesure à quelques centaines de mètres du sol.

Or, nous voulions impérativement une réception jusqu'au sol, afin d'assurer la récupération de la nacelle, même dans un environnement difficile tel que la forêt guyanaise.

Nous avons donc eu l'idée de faire une station de réception secondaire mobile qui pourrait être amenée à proximité du point de chute prévu, afin de capter la télémesure dans les derniers moments du vol et jusqu'au sol et avoir ainsi la position GPS exacte du point de chute.

Pour constituer cette seconde station de réception, nous avons besoin d'un nouveau décommutateur primaire et secondaire.

Ce matériel étant volumineux, lourd et surtout extrêmement coûteux (30000 à 60000 Euros), il a été décidé d'en fabriquer un au GAREF, simplifié mais complet (voir 4.7.2.3). Nous en avons fait un circuit imprimé intégré dans un boîtier, léger et de faible encombrement.

En pratique, la station mobile ainsi réalisée a été embarquée à bord d'un hélicoptère Puma des FAG (Forces Armées en Guyane).

De plus, nous avons eu l'idée d'utiliser le ballon lui-même comme sondage pour recalculer où il allait tomber en fonction des vents (vitesse, direction) qu'il allait rencontrer lors de la montée. Ceci suppose naturellement que l'on reçoive correctement les positions GPS successives transmises en temps réel. Un autre logiciel a été développé au GAREF dans ce seul but. Cela permettait de positionner la station mobile à l'avance, pour s'assurer qu'elle serait à proximité de la nacelle lors de son atterrissage.

#### 4.9.2 Logiciel de prévision en temps réel, du point d'atterrissage ("CRYSTAL").

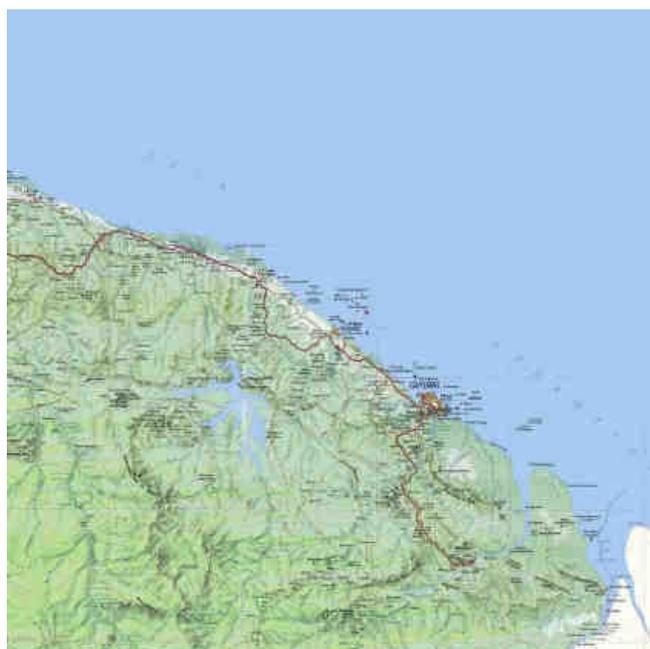
Pendant le vol, nous avons à notre disposition, envoyées par l'émetteur situé dans notre nacelle, des positions GPS toutes les secondes, donnant l'altitude, la latitude et la longitude. Nous avons utilisé ces données pour fabriquer l'équivalent d'un radiosondage en temps réel, donnant la distance parcourue le temps de la traversée d'une couche d'altitude, cela nous donnant la vitesse des vents dans cette couche.

Il suffisait ensuite de simuler la descente en considérant que ces vitesses restaient constantes le temps du vol, en connaissant à l'avance la vitesse de descente d'une nacelle sous parachute.

Au cours de la descente, le calcul était constamment ré-effectué à partir de la dernière position GPS connue, pour augmenter la précision au plus la nacelle se rapprochait du sol.



Copie d'écran de la prévision de trajectoire en temps réel pendant le vol, en bleu l'ascension du ballon, en rouge la prévision de retombée réactualisée en permanence.



Carte numérique de Guyane réalisée par assemblage de capture d'écran de site web Géoportail. (photo G07Y054)

## 5. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE LANCEMENT

### 5.1 PARTICIPANTS (hors CSG)

#### Equipe IUT de Kourou :

- Franck ROUBAUD
- Martine SEBELOUE
- Axel CHIN
- Karl BILLARD
- Delphine HARSEN

#### Equipe GAREF AEROSPATIAL:

- Mustafa ALACAKLI
- Pierre Henri AVALLE
- Guillaume Axel BERNAUDEAU
- Charlie BOUVIER
- Axel CHOVET
- Grégor GANGLOFF
- Alexandre GEBRAEL
- Alexandre KHUN
- Bernard SCACHE

#### Equipage de l'hélicoptère :

- Capitaine Guérin
- Lieutenant Taboureau
- Adjudant Pujol
- Sergent-chef Morel
- + 2 membres du GAREF: Alexandre Khun (récepteur goniométrique) et Charlie BOUVIER (station de réception GAREF)
- + Erwan PRIGENT caméraman au CSG.

### 5.2 JOURNAL DE CAMPAGNE comme si vous y étiez...

#### 5.2.1 J-10 à J-2

**Mardi 3 avril 2007 16h Départ des 3 caisses (225+159+7=391Kg) de Paris pour Kourou**

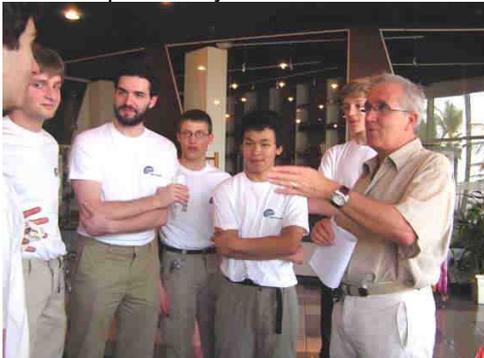
**Jeudi 5 avril 2007, arrivée des caisses au CSG, et stockage au CDL des ELFS**

#### **Samedi 7 avril 2007 (J-6) : Départ de Paris et arrivée en Guyane**

Arrivée à l'aéroport de Cayenne 15H00 (20h, heure de Paris) par le vol AF608

Organisation "méthode GAREF" pour récupérer valises et véhicules de location, en parallélisant les tâches, résultat : 16h20 arrivée à l'Hôtel des Roches.

A 17 heures, pot d'accueil du CSG à l'Hôtel des Roches avec Jean-Louis Marcé, Directeur du Centre Spatial Guyanais et Christine Monsan (chargée de communication)



Jean-louis Marcé accueille l'équipe (photo G07H002 GAREF PARIS)

Piscine, ça peu pas faire de mal...

Repas local au "Flamengo" Le décalage horaire de 5 heures se fait sérieusement sentir.

A l'hotel. Revue générale des modifications faites dans l'avion sur les procédures opérationnelles

### Dimanche 8 avril 2007 (J-5)

Réveil 6h30

Travail sur les procédures (->11H00) puis piscine

13h30 Départ vers le sentier des Anamites après repas au "MacDonald" Kourou. Hé oui.!

A 3 km du sentier, le pont sur la crique Coco s'est partiellement affaissé. La route est barrée. Déplacement des poutres de plusieurs tonnes pour passer quand même (pendant 2 heures). Ça passe avec 2cm de chaque côté des véhicules avec les encouragements de la population locale. Il est trop tard pour faire le sentier. Baignade dans la crique Coco. Retour par Cayenne c'est plus sûr.



(Photos G07H009



G07H015



G07H018

(Photo GAREF PARIS))

Retour à l'hôtel vers 18H30

Apéritif avec Jean Claude Mabeix et son gendre, le Capitaine Guillot

Repas au "Mille-Pattes"

### Lundi 9 avril 2007 (J-4) Lundi de Pâques

Travail sur les procédures (-> 12H00)

Pique-nique sur le balcon de la chambre de BS

Départ vers le sentier des Annamites. L'on pensait que le passage restait dégagé. Mais mauvaise surprise la DDE est en plein travail (un lundi de Pâques !) Passage impossible.

Retour vers Kourou pour visite du parc animalier de Montsinery (15h-17h)



Photo G07H043 (Photo GAREF PARIS)



Photo G07H047 (Photo GAREF PARIS)

Repas très rapide à Kourou le soir au "Mistral"

Travail sur les procédures (le soir)

### Mardi 10 avril 2007 (J-3)

Arrivée au CSG à 7H30 où l'on rejoint les membres de l'IUT de Kourou.

Récupération des badges (pendant 1H15 !)

Départ pour Ensemble de Lancement Fusées Sondes (ELFS) Installation dans le CDL.

9h : Déballage matériel et vérifications de fonctionnement des équipements.



Photo G07H052 (Photo Optique Vidéo du CSG)



Photo G07H055. (Photo Optique Vidéo du CSG)

10h : Réunion générale en salle PC de Crise (ACN(IUT) PHA, AG, BS) avec notamment tous les services du CSG et le Lieutenant Colonel Hoareau des Forces Armées en Guyane.



Photo G07H069 (Photo Optique Vidéo du CSG)



Photo G07H072 (Photo Optique Vidéo du CSG)

Fabrication d'un jeu de piles

Test de mise en place de la station mobile dans l'hélicoptère au CCM (12H00)



Photo G07H082 (Photo Optique Vidéo du CSG)



photo G07H076 (photo GAREF PARIS)

Repas à la cafétéria du CSG (13H30) merci le CNES.

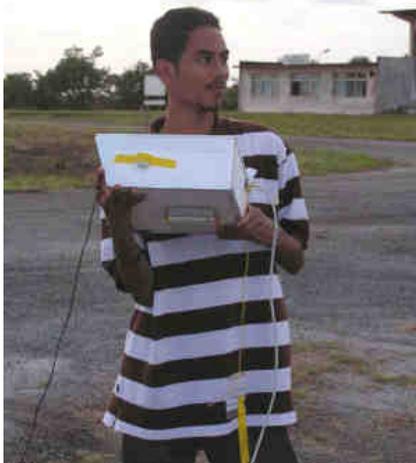
Test de prévision de trajectoire avec le logiciel d'AK avec les données du radiosondage du 7 avril 2007. Prévision de chute en limite Nord Est du lac de petit saut. Pas terrible !.

Réunion formation sauvegarde (14H00)

16h30 interview, video CSG

17h15 Installation du matériel de réception à la station Galliot sur la Montagne des Pères.

Test de télémessure ELFS-Galliot (18H30 à 19h40)



Photos G07H099 (Photo GAREF PARIS)



Essais de télémesures entre Fusées Sondes et Galliot  
(Photo G07H138. Photo Optique Vidéo du CSG)

Problème de GPS très très très long à accrocher (1h), on croyait à une panne !  
Débriefing et travail sur les procédures (le soir)

**Mercredi 11 avril 2007 (J-2) : Jour de la répétition générale**

Test de télémesure depuis un avion à partir de l'Aéroclub, avec suivi des radars du CSG et test télémesure (écartométrie) (9h->10h30). Kourou Iracoubo Aller/Retour. A la station Galliot, la télémesure envoyée par la nacelle HORUS G (dans l'avion) est parfaitement reçue et sa trajectoire affichée sur une carte visualisée sur l'écran GAREF (tracé violet). TVB RAS.



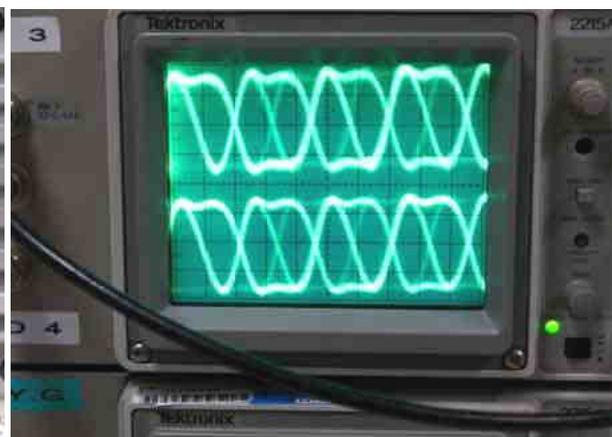
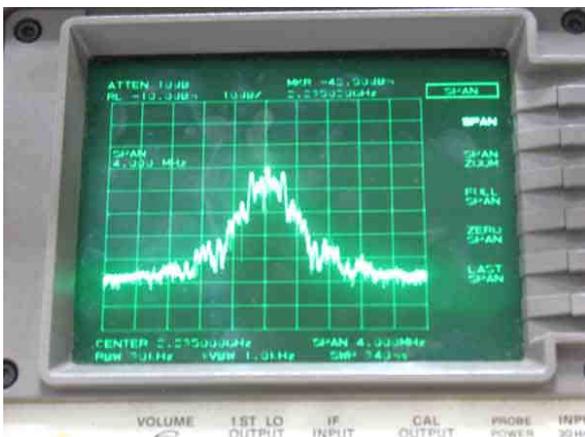
G07H115 (Photo Optique Vidéo du CSG)



G07H120 (Photo Optique Vidéo du CSG)



G07H129 (Photo GAREF PARIS)



Spectre de la télémesure 2235 MHz (Photo G07H12) et signal en sortie de récepteur (G07H128) Photos GAREF PARIS)

Fabrication de jeux de piles  
Repas sur place aux ELFS

Répétition générale (sauf hélico). 14H20 début du gonflage, avec lâcher de ballon à vide.



*Pépin Antoine GUILLAUME dit "Tony"  
(RCO en charge d'HORUS G) et  
Christine MONSAN chargée de communication  
au CSG (Photo G07H160 (Photo GAREF PARIS))*



*Ballon de répétition gonflé  
(Photo G07H162 Photo Optique Vidéo du CSG)*



*A la station Galliot vérification de la bonne réception des télémétries  
G07H133 (Photo GAREF PARIS) et G07H135 (Photo Optique Vidéo du CSG) (G07H159 Photo GAREF PARIS)*

Le CSG a mis a disposition une camionnette.

Installation de rallonges électriques de 2x50m au CCM (16h15)

Arrivée AK au CSG (16h30)

Préparation de la chaîne de vol

Test station mobile et attente accrochage GPS de la station mobile

-> problèmes mineurs repérés sur l'affichage.

Bilan de la répétition générale en salle Obéron (17h30) avec AK, BS, AG, AC

Travail sur les procédures (soir), travail sur code source station mobile le soir à l'hôtel par AC 23h

### 5.2.2 J-1 (Jeudi 12 avril 2007)

Jeudi 12 avril 2007 (J-1) : Ancien J0 (1er jour de lancement prévu initialement.)

Corrections sur le programme de réception de la station mobile (affichage)

Lancement prévu pour H0 = 12h30 :

- Mise en place ELFS avec IUT 7h30
- qualification de la nacelle (8h00)
- point météo (8h30)
- Prévision de la trajectoire avec les données de radiosondage (10h00)
- problèmes d'hélico (panne mécanique qui décale le planning, attente des pilotes partis déjeuner en prévision de la mission, information des pilotes sur la mission, fortes pluies pendant le chargement de la station mobile dans l'hélicoptère).



Le 12 avril 2007, l'équipe mixte GAREF AEROSPATIAL/IUT de KOUROU devant le CDL du site Fusée Sonde. De gauche à droite: Alain DARTIGALONGUE (CNES/SDP RSV HorusG), Delphine HARSEN (IUT), Martine SEBELOUE (IUT), Karl BILLARD (IUT), Alexandre KHUN, Guillaume Axel BERNAUDEAU, Axel CHOVET, Axel CHIN (IUT), Mustafa ALACAKLI, Charlie BOUVIER, Pierre Henri AVALLE, Alexandre GEBRAEL, Grégor GANGLOFF, Pépin Antoine GUILLAUME (Tony) (CNES/OP), Bernard SCACHE, Denis MARCHAL (SECURIGUYANE), Christine MONSAN (CNES/COM) (Photo G07H195. Photo Optique Vidéo du CSG)

- 12h interview TV et presse et début du gonflage du ballon



Interview d'Alexandre Gebrael (GAREF)(photo G07H19) et d'Axel Chin(IUT Kourou) (Photo G07H197). Photos Optique Vidéo du CSG

- problèmes de communication entre les sites
- météo mauvaise. 13h fortes averses



Très mauvaise météo photo G07H248 (Photo Optique Vidéo du CSG)



G07H250 (Photo Optique Vidéo du CSG)

- non-réception de la télémesure depuis l'Hélico au sol au CCM (masquage par le terrain)
- problème mécanique sur l'appareil photo (remplacement par l'appareil de rechange)
- Bogue logiciel (arrêt du PCM peu après la fermeture de la nacelle ! Voir chapitre 7)
- arrivée en fin de marge d'autonomie des 2 blocs de piles lithium
- ballon gonflé depuis trop longtemps (depuis 12h00) et déformé par la pluie,
- Temps exécrable. Apparition de déformation sur le ballon.
- Décision de report de lancement

Travail sur les procédures avec l'IUT (l'après-midi)

Analyse du problème de coupure PCM (après-midi et soir). Mise au point d'une parade.

Réunion de débriefing en salle Obéron (17h30-18h30)



Photo G07H258 (Photo GAREF PARIS)



G07H259 (Photo GAREF PARIS)



G07H260 (Photo GAREF PARIS)

Retour aux ELFS

Test de la station mobile et détection d'un problème non bloquant de boucle de masse (soir) 20h. On passe outre.

Elaboration du planning du lendemain. Décision de gonfler 20 min avant le lancement.

Départ des ELFS à 22h30... épuisés !.

### 5.2.3 J0 (vendredi 13 avril 2007)

Vendredi 13 avril 2007 (J0) : 2ème jour de lancement

Réveil à 6h, réponse aux messages Internet, petit déjeuner rapide.

Arrivée aux ELFS à 7h30



Réveil à l'Hôtel G07H266 (Photo GAREF PARIS)



G07H268 (Photo GAREF PARIS)



Essais télémesure avec la station mobile du GAREF installée dans l'hélicoptère en vol stationnaire au-dessus du CSG. G07H271 (Photo GAREF PARIS)

Lancement prévu pour H0 à 11H30 : avec T0 flottant.

- Le point météo du matin (à 8h00) prévoit un temps très mauvais, Perturbation ZIC au large de Kourou qui arrive sur nous.
- Mais à 8h45 Nouveau point météo, la situation va s'améliorant, les nuages se désagrègent au large de la Guyane. Ouf ! Le Responsable Sauvegarde Vol (A.Dartigalongue) autorise le vol.
- L'hélico prévu est en panne à Cayenne. Les FAG mettent en place un 2<sup>ème</sup> Puma mais celui-ci n'aura que 2h-2h30 max de vol (durée avant révision). En tant que de besoin les FAG programme un autre appareil qui assurera la récupération à la suite si nécessaire. Merci.
- Répétition procédure, avec à 10h test l'hélico décollé en visée directe en stationnaire. Essai de réception télémesures avec station embarquée parfaitement concluant. Soulagement !
- retard chrono de 4 fois 5mn à cause du gonflage commencé en limite (11h15)
- **lancement OK à 11H45**



G07H282 (Photo Optique Vidéo du CSG)



G07H285 (Photo Optique Vidéo du CSG)



C07H290 (Photo Optique Vidéo du CSG)



Jean-Louis Marcé(DIR), J.F. Zebus(COM), T.Guillaume(OP) Déphine Harsen  
G07H293 (Photo Optique Vidéo du CSG)



G07H301 (Photo F.Roubaud IUT Kourou)



Mustafa ALACAKLI Axel Chin  
G07H304 (Photo F.Roubaud IUT Kourou)



11h45 Décollage d'HORUS G  
G07H309 (Photo Optique Vidéo du CSG)



Jean-Louis Marcé(DIR), Tony Guillaume (SDO), Alain Dartigalongue(SDP SV)  
G07H298 (Photo Optique Vidéo du CSG)



G07H312 (Photo Optique Vidéo du CSG)

- Vérification en temps réel des photos par SP, qui bloque une photo la N9
- Plante sur le programme GAREF de réception à Galliot.! Du jamais vu. On relance (seulement 30 secondes de perdues) Il faut juste concaténer deux fichiers. Mais tout le reste est OK.
- Le ballon s'obstine à tourner au-dessus du CSG. Pour un ballon censé ne pas photographier le CSG c'est gagné !
- Réception parfaite des photos, des mesures, suivi télémètre parfait, suivi radar parfait, mise en œuvre (en plus de l'antenne STELLA 43), de l'antenne STAR45 en fin de vol
- 



*Les antennes STELLA 43 et STAR 45 qui sera utilisée en fin de vol*

G07H121 (Photo GAREF PARIS)

G07H124 (Photo Optique Vidéo du CSG)

G07H140 (Photo GAREF PARIS)



*La réception des télémètres et des photos suscite la curiosité*

G07H342 (Photo Optique Vidéo du CSG)

G07H333 (Photo Optique Vidéo du CSG)

G07H134 (Photo GAREF PARIS)

- Réception de la nacelle par la station installée à bord de l'hélicoptère, jusqu'à l'atterrissage de la nacelle, avec vue directe par le pilote de l'atterrissage.
- Calcul de retombée en cours de vol concluant.

Récupération de la nacelle par l'hélicoptère Puma à 13h45



*Réception de la nacelle par la station installée à bord de l'hélicoptère*

*Charlie Bouvier s'occupe de la réception télémètres et Alexandre Khun de la réception des balises*

G07H344 (Photo Optique Vidéo du CSG)

G07H080 (Photo GAREF PARIS)

G07H349 (Photo Optique Vidéo du CSG)



écran de la station embarquée G07H356 (Photo GAREF PARIS)

*Retour de récupération. Avec l'équipage: (Capitaine Guérin, Lieutenant Taboureau, Adjudant Pujol, Sergent-chef Morel), Charlie Bouvier et Alexandre Khun du GAREF (photo G07H360 (E.Prigent). Photo GAREF PARIS)*

Fin mission hélico 14h15

Départ AK vers Rochambeau (14h50). Merci à Christine Monsan qui transporte sa valise !

Début dépouillement puis piscine à l'hôtel

Repas au "Flamengo" 21h

#### 5.2.4 J+1 à J+5

##### Samedi 14 avril 2007 (J+1)

Départ au lac de Petit Saut, baignade et bataille de boue ! (15h00 -> 17h00)



G07H393 (Photo GAREF PARIS)



G07H400 (Photo GAREF PARIS)



G07H389 (Photo GAREF PARIS)

Visite du site Soyouz, de Sinnamary, et shopping dans les boutiques (18h00)

Récupération des photos de l'appareil de vol après filtrage par la sécurité du CSG.

La photo 9 est finalement autorisée à la diffusion.

Repas à Kourou au "Mistral"

### **Dimanche 15 avril 2007 (J+2)**

Départ pour le sentier des Annamites, puis baignade à la "crique anguille" (crique Inini) et retour précipité vers Kourou (le pont crique Coco est toujours fermé. Il faut donc passer par Cayenne) sous un fort orage tropical ce qui nous retarde (13h00 -> 18h20)



G07H409 (Photo GAREF PARIS)



G07H414 (Photo GAREF PARIS)

Passage à l'IUT de Kourou très en retard, où nous attendent Franck Roubaud et Martine Sébéloué pour récupérer leurs photos pour préparer la présentation au CSG du lendemain.

Repas chinois au "Locwa."

### **Lundi 16 avril 2007 (J+3) : Restitution des résultats en salle Jupiter, remerciements**

Fin du dépouillement à la station Galliot (le matin) AC  
Visite du CSG (matin) pour AG, PA, MA, GB, GG  
Montage vidéo (matin) pour BS et CB  
Repas à la cafétéria du CSG, toujours merci au CNES.  
Photos devant la maquette d'Ariane, dernières interviews



Dernières interviews et prise de vue pour compléter le film de campagne. Photo G07H504 (Photo GAREF PARIS)

**Présentation en salle Jupiter, en présence du Directeur, suivie d'un pot (14h30 -> 16h30)**



G07H418 (Photo Optique Vidéo du CSG)

G07H426 (Photo Optique Vidéo du CSG)



G07H435 (Photo GAREF PARIS)

G07H436 (Photo GAREF PARIS)

GH07437 (Photo GAREF PARIS)



Grégor GANGLOFF(GAREF), Mustafa ALACAKLI(GAREF), Guillaume Axel BERNAUDEAU(GAREF), Bernard SCACHE(GAREF), Pierre Henri AVALLE(GAREF), (maquette ariane), Charlie BOUVIER(GAREF), Alexandre GEBRAEL(GAREF), Axel CHOVEL(GAREF), Jean-Louis MARCÉ (Directeur du CSG), Axel CHIN(IUT-Kourou), Franck ROUBAUD(DirIUT-Kourou), Karl BILLARD(IUT-Kourou), Martine SEBELOUE(IUT-Kourou), Delphine HARSSEN(IUT-Kourou), Photo G07H433 (Photo Optique Vidéo du CSG)

Retour aux ELFS. Chargement des caisses, réunion de débriefing IUT Kourou-GAREF. Nettoyage.

Pot au Café des Sports à Kourou (20h30)  
**Mardi 17 avril 2007 (J+4)**

Petit déjeuner 8h30



*Petit déjeuner à l'Hôtel des Roches le dernier jour. Photo G07H506 (Photo GAREF PARIS)*

Valises

Plage de l'Hôtel des Roches avec bain de boue. C'est une manie !!!  
Décrassage au jet ! puis piscine

14h45 Dernier passage au CCM et aux ELFS pour prise de photos extérieures et fermeture finale des caisses avec Tony aux ELFS.

14h30 BS est arrêté à 119km/h sur la route CSG ! Rien ne sert de courir...

Départ vers l'aéroport Cayenne Rochambeau un peu précipité mais dans le respect des limitations.

Vol AF607. Arrivée à Paris le lendemain matin mercredi 18 avril 2007 vers 7h.

### **5.3 L'APRES CAMPAGNE**

**De fin avril 2007 à octobre 2007**, Les dépouillements et interprétation des résultats se sont poursuivis à Paris dans les locaux du GAREF AEROSPATIAL et par l'équipe de l'IUT de Kourou pour les parties les concernant.

Il a été aussi procédé au trie de toutes les photos, puis à leur numérotation, archivage et sauvegarde ainsi qu'à l'inventaire et copie de sauvegarde de toutes les vidéos.

**Le 6 octobre 2007, HORUS G à été primé en recevant le "prix de la conduite de projet et du partenariat" lors des trophées jeunes des 70 ans du Palais de la découverte. Un diplôme a été envoyé à l'IUT de Kourou.**

**Les résultats des dépouillements sont exposés au chapitre 6 suivant.**

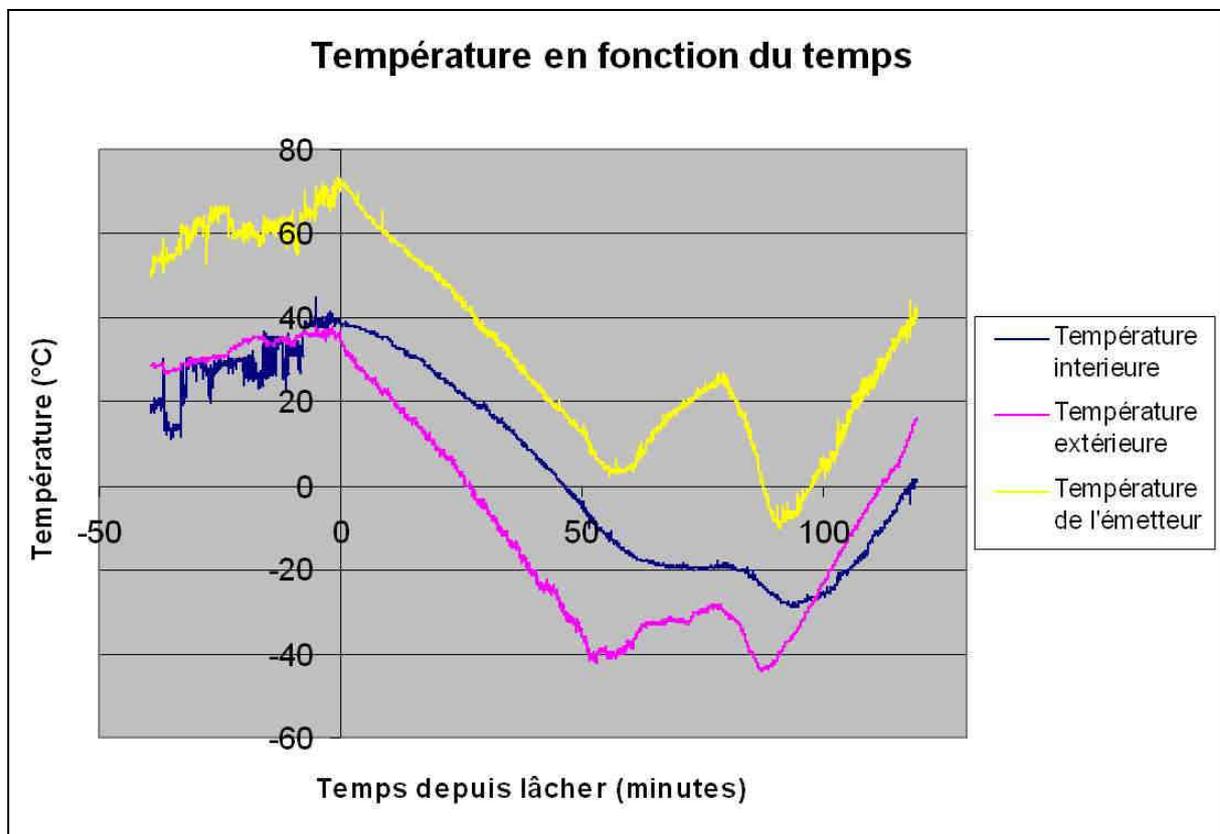
## 6. DEPOUILLEMENT ET RESULTATS OBTENUS

En utilisant l'heure GPS pour dater les trames et les points de mesure reçus, on a pu tracer les courbes en fonction du temps de vol. Puis en utilisant l'altitude GPS, on les a tracées en fonction de l'altitude.

On prend comme origine  $t=0$  à H0, heure du lâcher.

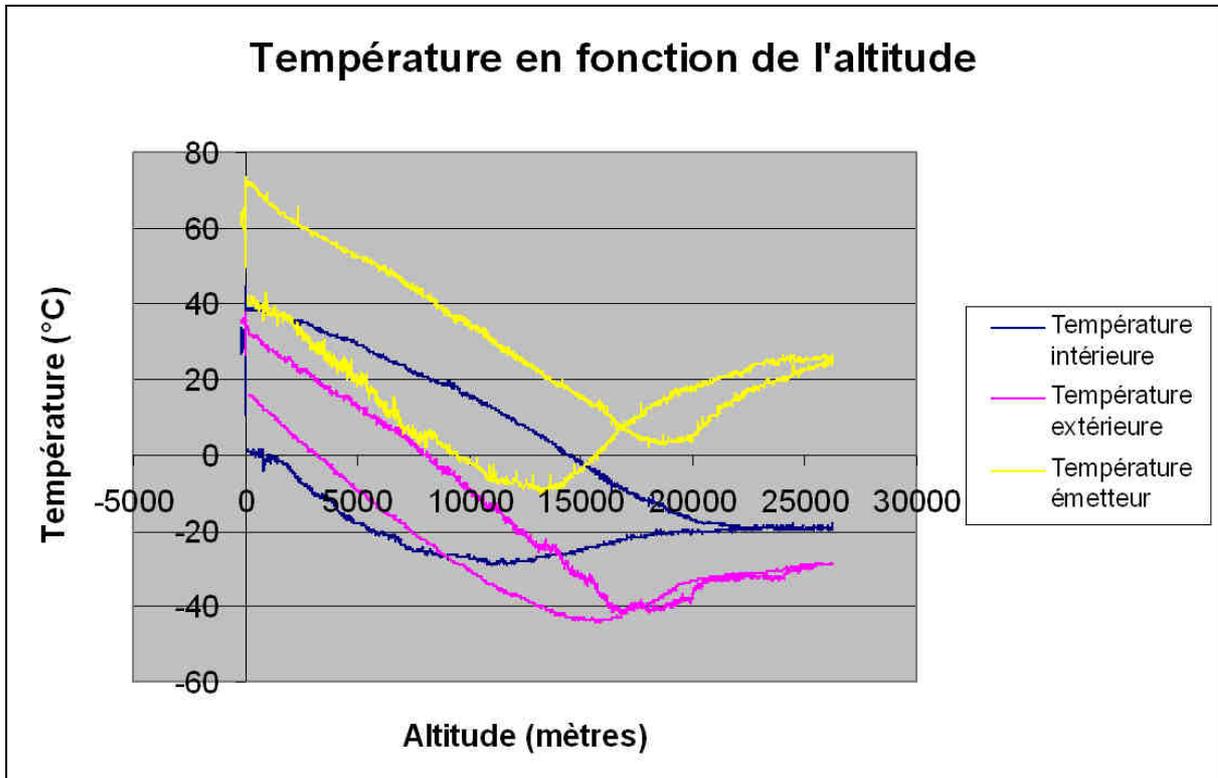
Heure locale	Heure TU	Heure Paris	Temps de vol	Evènement
11h06m15s	14:06:15	16:06:15	-39m16s	Début de l'émission télémétrie
11h45m31s	14:45:31	16:45:31	0s	Lâcher (H0)
13h03m26s	16:03:26	18:03:26	1h18m26s	Culmination
13h45m21s	16:45:21	18:45:21	2h00m21s	Atterrissage de la nacelle

### 6.1 Température



Les 40 premières minutes correspondent à l'émission avant le lâcher. Elles sont très brouillées car la réception était mauvaise au sol, sans doute à cause du rideau de végétation qui entourait l'aire de lâcher et des gens qui circulaient autour! Mais dès le lâcher, la télémessure est immédiatement parfaite et l'on n'observe plus de perturbations. L'évolution des températures semble d'ailleurs correcte.

Des pics réguliers ont cependant été observés sur le capteur de l'émetteur (filtrés sur le graphique) dont la cause, une perturbation de la balise située à proximité du capteur, a été déterminée par des tests effectués suite au retour à Paris. Cette perturbation n'était pas apparue pendant les tests préliminaires, la balise n'étant pas activée.



On voit sur ces courbes, pour chacun des trois capteurs, les valeurs relevées lors de la montée puis de la descente de la nacelle. La température à la descente du **thermocouple extérieur (courbe violette)** est plus faible qu'à la montée, notamment en dessous de 17000m probablement à cause de la vitesse de chute plus élevée qui a pu provoquer un courant d'air. Il se peut aussi que les deux zones géographiques de montée et descente soit tout simplement thermiquement différentes.

Ces courbes montrent parfaitement ce à quoi nous nous attendions d'après nos connaissances théoriques et les courbes d'atmosphère standard (ISO 2533) : une baisse de température constante jusqu'à environ 16 000 m, puis une stabilisation jusqu'à 20 000m, et au-delà un réchauffement.

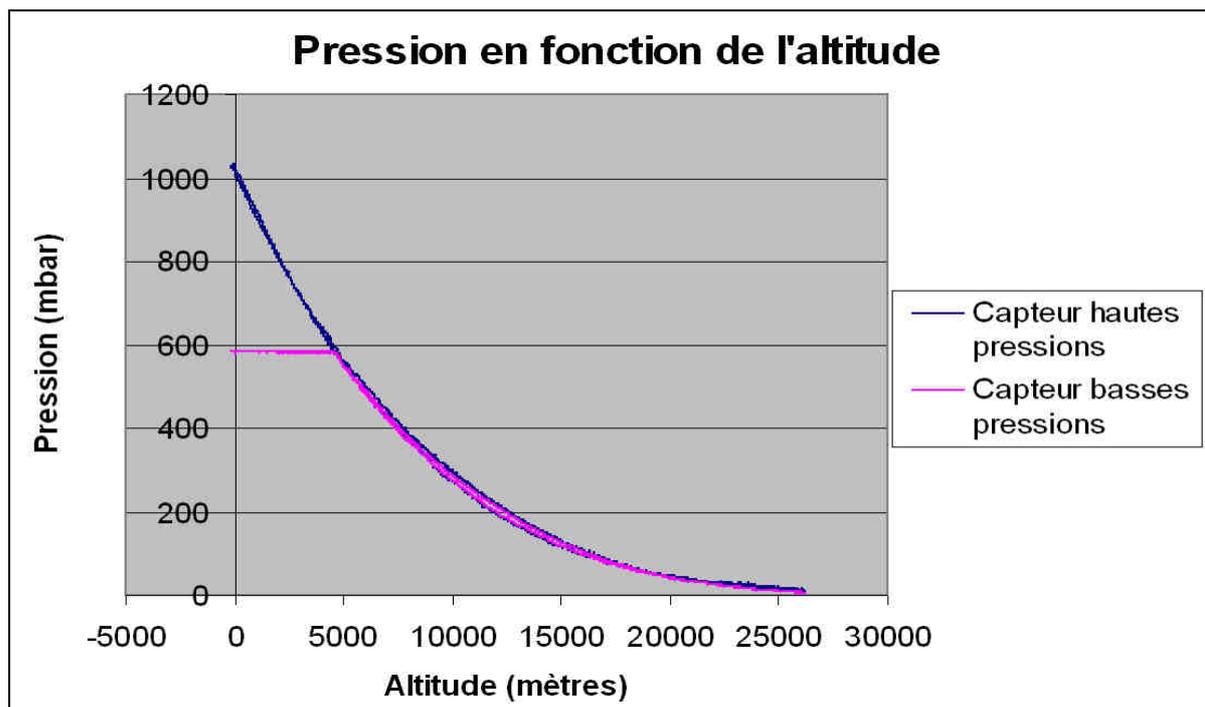
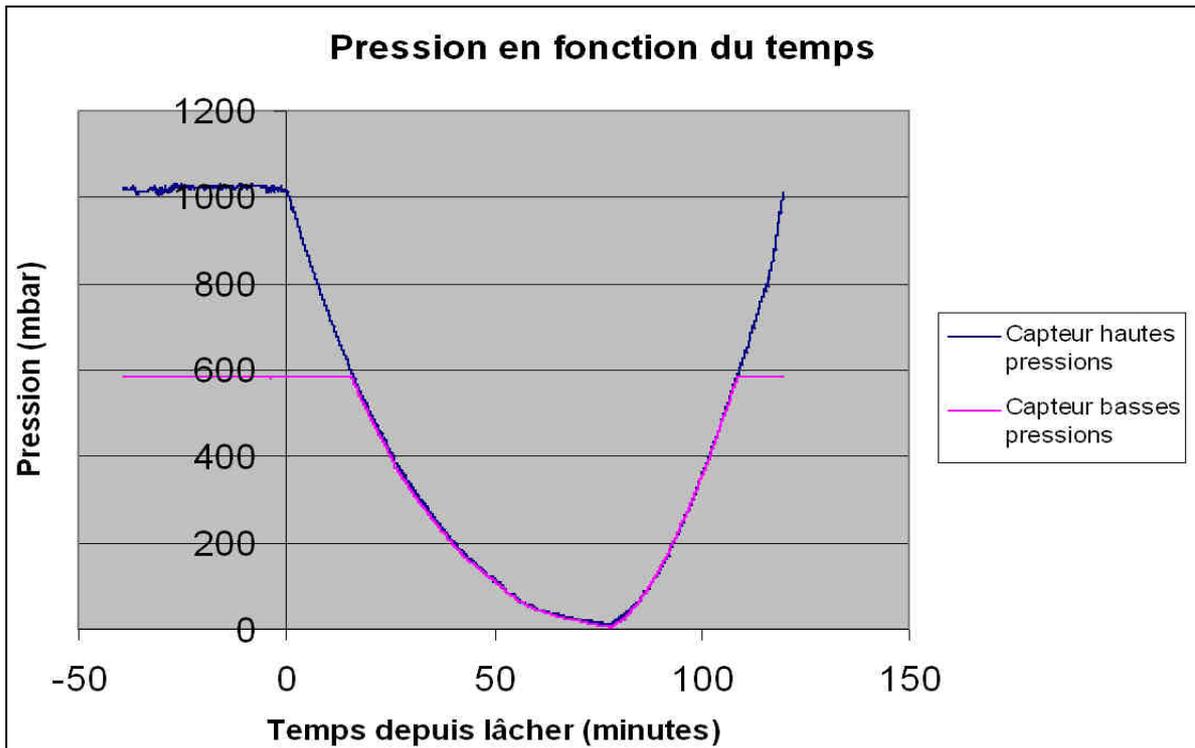
On constate (**courbe jaune, température émetteur**) que le refroidissement de l'émetteur par une plaque d'aluminium anodisé a été efficace, puisque la courbe de température de l'émetteur suit précisément celle de la température extérieure, mais décalée d'environ 40°C. D'autre part, plus l'air se raréfie et plus l'écart se creuse montrant la prédominance d'une évacuation des calories par rayonnement type "corps noir" plutôt que par circulation d'air. Il faut noter que des pics de quelques volts apparaissent périodiquement sur cette courbe et ont été filtrés comme des points aberrants, ils étaient dus à une perturbation électromagnétique par la balise de localisation par radiogoniométrie située à proximité de ce capteur.

L'isolation thermique de la nacelle a un effet atténuateur sur les variations de **température intérieure (courbe bleue)**, d'où la forme arrondie de sa courbe et son retard par rapport aux autres courbes.

Les mesures des températures intérieure et de l'émetteur servaient à vérifier que l'on ne sortait pas du domaine de bon fonctionnement de l'électronique. L'émetteur montant jusqu'à +70°C, et grâce à l'isolation thermique de la nacelle, la température n'est pas descendue sous les -30°C dans la nacelle .

Ces résultats nous permettent de conclure au bon fonctionnement de la technologie utilisée, celle des thermocouples, ainsi qu'au bien-fondé de nos étalonnages avec électronique alimentée et émetteur de télémesure en fonctionnement.

## 6.2 Pression



Ces courbes représentent les pressions mesurées par les deux capteurs, lors de la montée et de la descente de la nacelle. Le capteur basses pressions était saturé à 600 mbar (ce qui est normal).

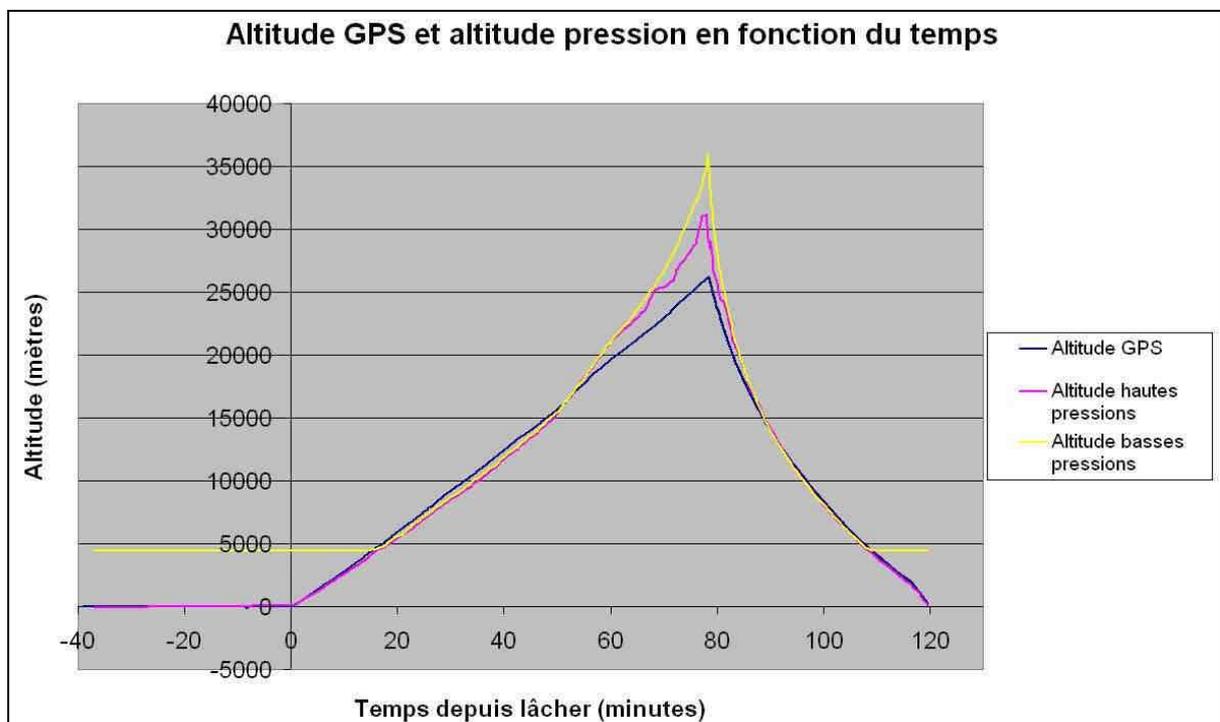
On constate en premier lieu, pour chaque capteur, une superposition presque parfaite des valeurs relevées à la montée et à la descente, ce qui prouve une bonne stabilité et réactivité des capteurs.

De plus, la courbe de chaque capteur se superpose aussi à celle de l'autre, montrant que même si le capteur basses pressions a été choisi pour sa plus grande précision aux pressions de moins de 100 mbar, le capteur hautes pressions donne tout de même des valeurs correctes.

Cela montre aussi le bon fonctionnement et le blindage aux perturbations électromagnétiques de l'électronique d'amplification analogique, qui a été réalisé par l'IUT de Kourou pour le capteur basses pressions alors que celle du capteur hautes pressions est intégrée.

En second lieu, on observe une très grande ressemblance à la courbe théorique, exponentielle, même aux très faibles pressions présentes à haute altitude.

Cependant, les valeurs numériques relevées à l'apogée sont de 5 mbar, au lieu de 20 mbar théoriquement selon les relevés CSG à 26200m. On observe un écart d'environ 10 mbar sur les valeurs relevées par rapport aux valeurs théoriques tout au long du vol, sur les deux capteurs.

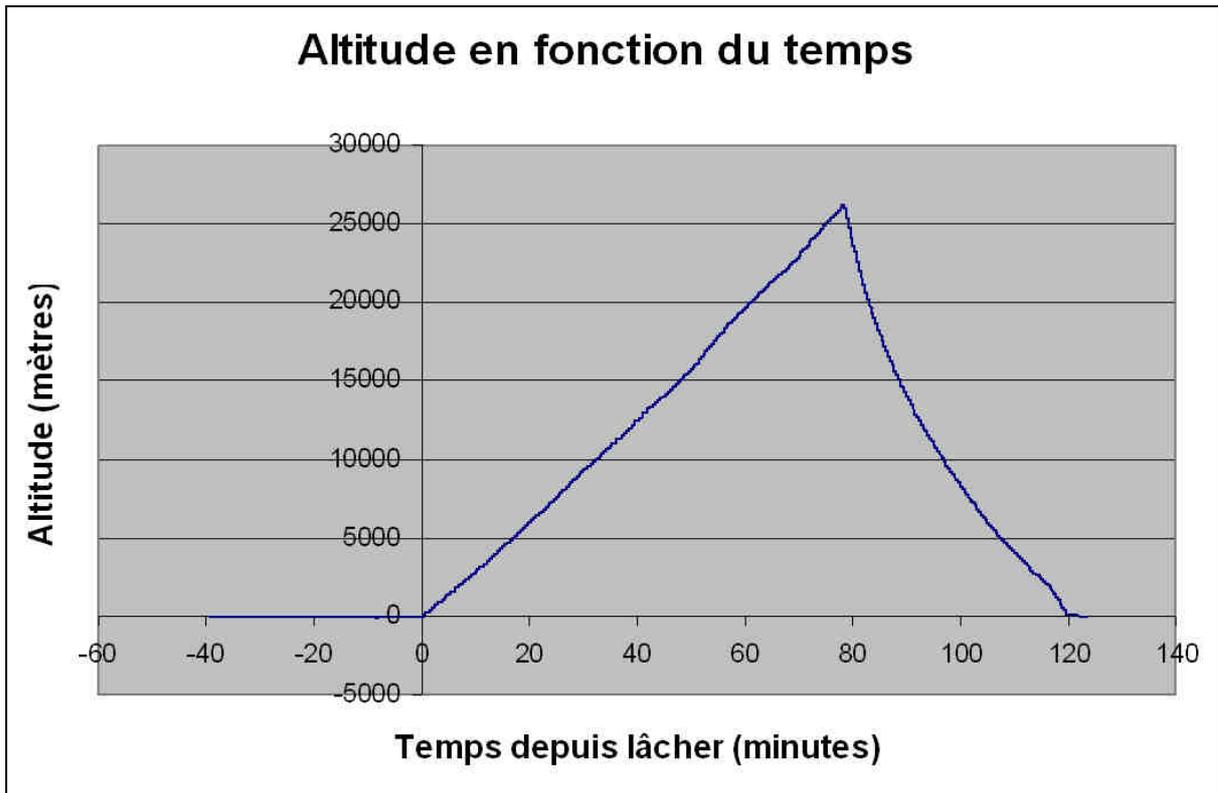


Nous avons construit une courbe d'altitude pression en relevant l'altitude théorique d'après la pression selon la table d'atmosphère standard ISO 2533. On voit que la courbe issue des données du capteur hautes pressions (courbe violette) est nettement plus fluctuante que la courbe issue des données du capteur basses pressions (courbe jaune) au dessus de 20000m, preuve que le capteur hautes pressions est moins précis aux très faibles pressions.

Lorsque l'on compare cette altitude pression et la courbe de l'altitude réelle relevée par le GPS, l'écart observé se traduit par une divergence de l'altitude théorique selon la pression au dessus de 15000m, jusqu'à un écart de 10000m à l'apogée (36000m au lieu de 26000m). En dessous de 15000m, les valeurs restent néanmoins très proches.

Notre méthode d'étalonnage avec électronique alimentée et émetteur de télémessure en fonctionnement nous assure donc bien une protection contre les erreurs des perturbations électromagnétiques, mais une erreur sous forme d'un décalage se voit nettement aux très faibles pressions, sur les deux capteurs, erreur dont nous ignorons la cause précise à ce jour.

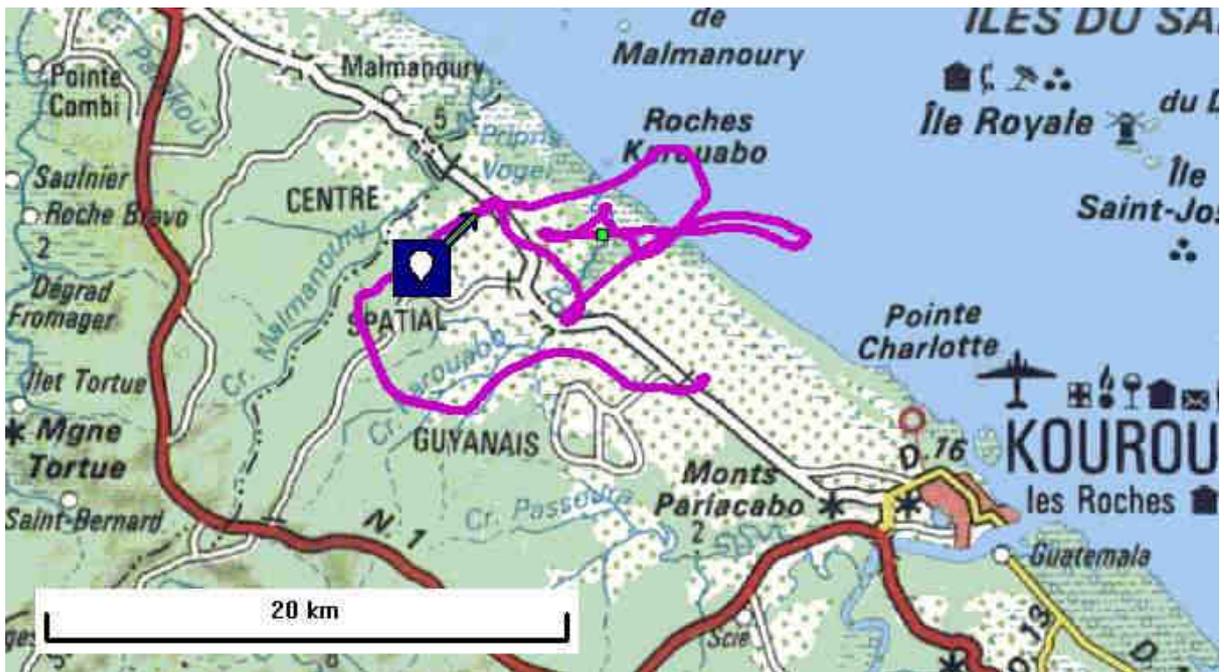
## 6.3 GPS



Ce graphe représente l'évolution de l'altitude de la nacelle en fonction du temps, relevée grâce au GPS embarqué. Cette évolution correspond parfaitement aux profils de vol prévu.

Il y a d'abord eu une période de 40 minutes au sol avant le lâcher à 11:45:00. Puis le vol a duré 2h00m21s (atterrissage à 13:45:21). La culmination a eu lieu à H0 + 1h18m26s, à 13:03:26, à 26 211 mètres d'altitude.

Point GPS de lancement :	Latitude : 0512'26"N Longitude : 5243'58"O Altitude : 0m
Point GPS d'apogée :	Latitude : 0515'22"N Longitude : 5246'18"O Altitude : 26211m
Point GPS d'atterrissage :	Latitude : 0515'48"N Longitude : 5248'33"O Altitude : 0m



Sur la carte de Guyane que nous avons réalisé sous forme numérique (voir 4.9.2) La courbe violette indique la trajectoire parcourue par le ballon. Le carré vert indique le point de culmination. Le point de départ est à l'origine de la courbe en bas à droite, le point de retombée au bout de la flèche bleue près du "Pripri Vogel" à environ 13km de son point de départ.

## 6.4 Photos

L'appareil photo a pris 38 photos avant extinction, dont 6 avant le décollage, 17 en vol et 15 au sol.

On trouvera ci-après un diaporama des photos prises avec l'heure et l'altitude correspondante. Selon les oscillations de la nacelle, dues au vent, celle-ci vise tantôt le sol, tantôt l'espace.

Les heures sont en heure locale réelle.

Altitude de lâcher 0m.

Pour mémoire, le lâcher a eu lieu à 11:45:00, la culmination à 13:03:30 et l'atterrissage à 13:45:21.



G071001 (Photo GAREF PARIS)  
11:04  
0m



G071002 (Photo GAREF PARIS)  
11:11  
0m



G071003 (Photo GAREF PARIS)  
11:19  
0m



G071004 (Photo GAREF PARIS)  
11:26  
0m



G071005 (Photo GAREF PARIS)  
11:34  
0m



G071006 (Photo GAREF PARIS)  
11:42  
0m



G071007 (Photo GAREF PARIS)  
11:52  
2000m



G071008 (Photo GAREF PARIS)  
11:58  
3700m



G071009 (Photo GAREF PARIS)  
12:05  
5900m



G071010 (Photo GAREF PARIS)  
12:12  
8200m



G071011 (Photo GAREF PARIS)  
12:19  
10400m



G071012 (Photo GAREF PARIS)  
12:26  
12800m



G071013 (Photo GAREF PARIS)  
12:32  
14700m



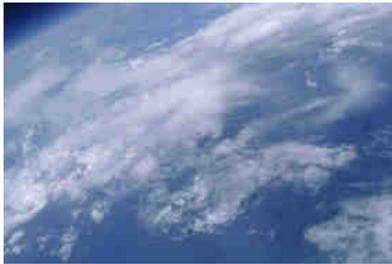
G071014 (Photo GAREF PARIS)  
12:39  
17300m



G071015 (Photo GAREF PARIS)  
12:46  
20000m



G071016 (Photo GAREF PARIS)  
12:53  
22200m



G071017 (Photo GAREF PARIS)  
12:59  
24700m



G071018 (Photo GAREF PARIS)  
13:06  
22400m



G071019 (Photo GAREF PARIS)  
13:13  
15500m



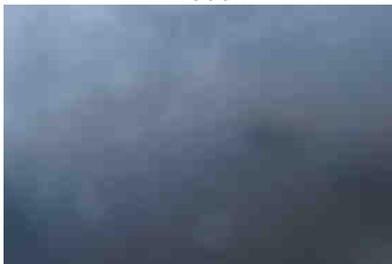
G071020 (Photo GAREF PARIS)  
13:20  
11000m



G071021 (Photo GAREF PARIS)  
13:26  
7800m



G071022 (Photo GAREF PARIS)  
13:33  
4800m



G071023 (Photo GAREF PARIS)  
13:39  
2700m



G071024 (Photo GAREF PARIS)  
13:45  
0m



G071025 (Photo GAREF PARIS)  
13:52  
Altitude de l'hélicoptère (inconnue)

Les photos au-delà de la No 25 sont complètement floues, car prises pendant le transport de la nacelle dans l'hélicoptère. Elles n'ont pas été reproduites.



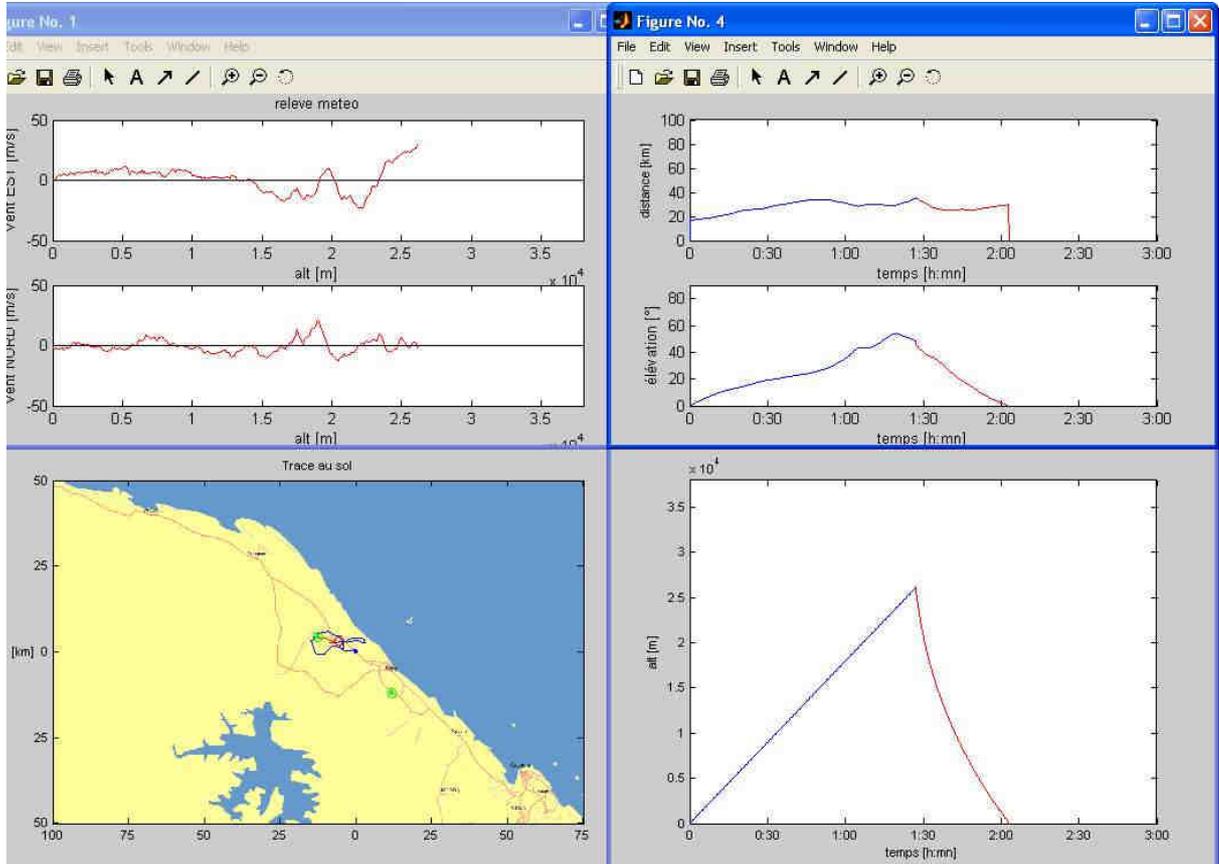
13h06 locale, 22400 m d'altitude. On voit l'embouchure du Sinnamary et la rotondité de la terre  
(Photo G071018 (Photo GAREF PARIS))



12h32 locale, 14700m Parmi toutes les photos transmises parfaitement par télémétrie, voici la seule photo qui présente une erreur non corrigée (au centre) (Photo G071113 (photo GAREF PARIS))

## 6.5 Vérification de la validité de la trajectographie prévisionnelle

Le jour du lancement, nous avons donc utilisé notre logiciel de prévision "OSIRIS" avant le lâcher, qui nous a donné la trajectoire prévisionnelle que l'on voit ci après sur la carte jaune (carte OSIRIS). Mais nous avons été étonnés au dépouillement de constater que la trajectoire réelle s'était éloignée vraiment trop des prévisions.(5 à 10km d'erreur). Ceci nécessitait une "enquête".



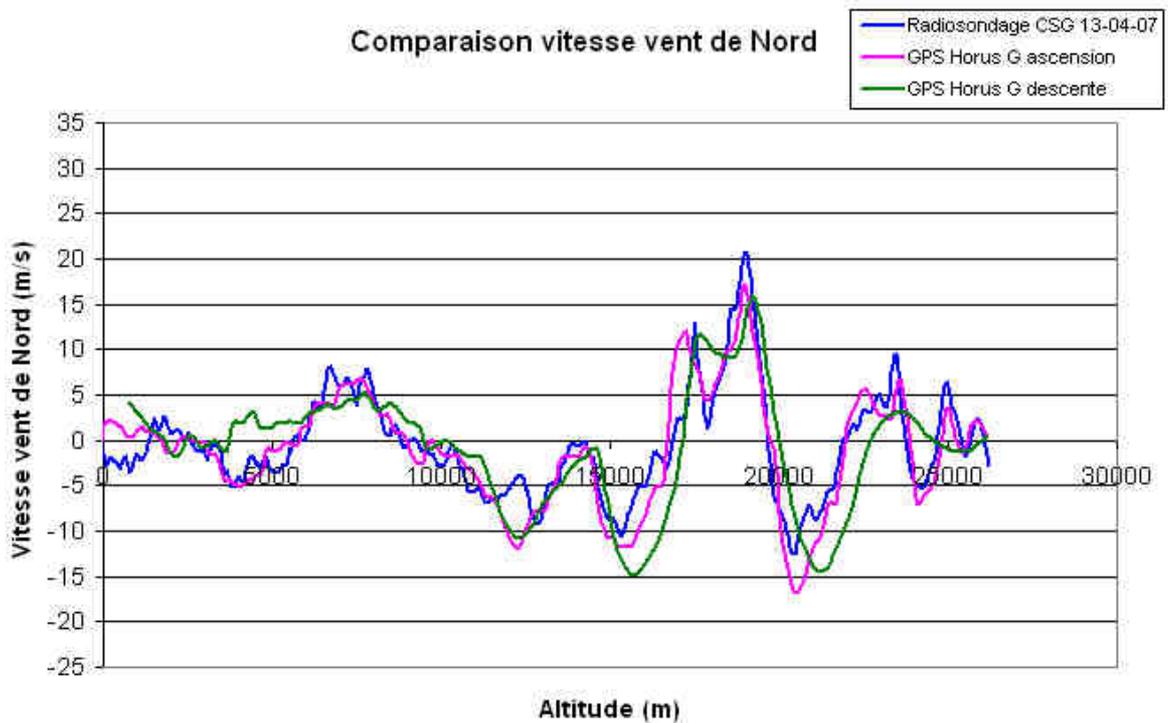
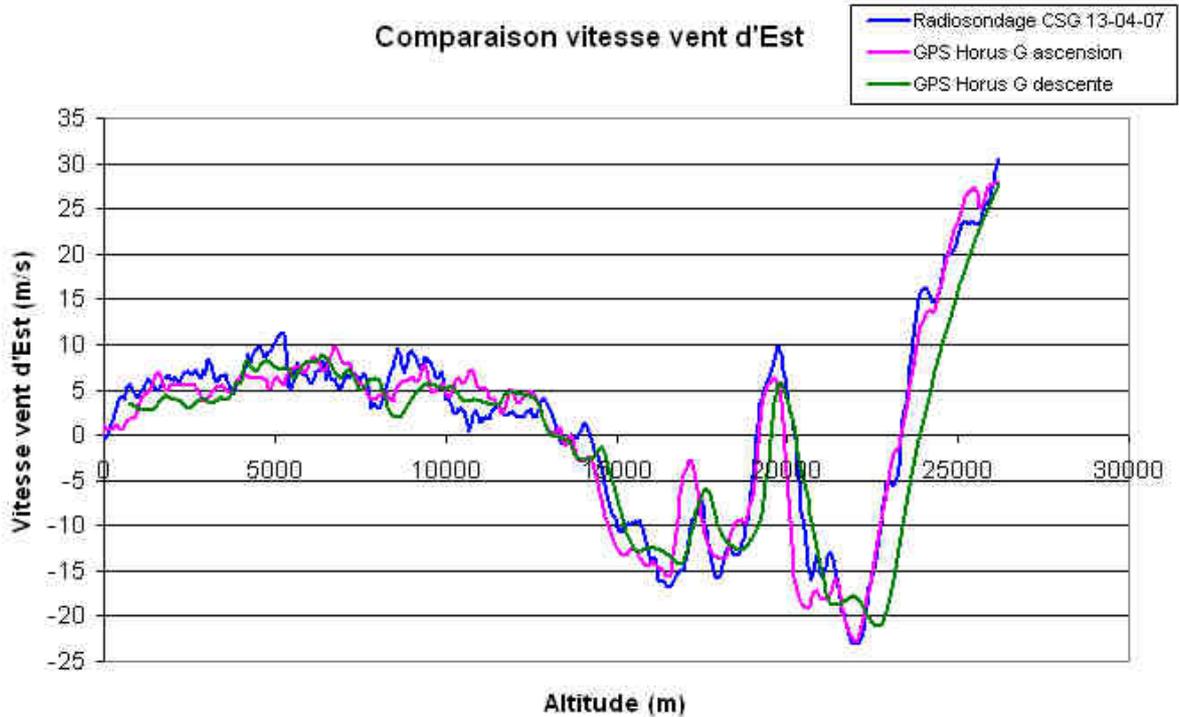
Copie d'écran du résultat de la prévision de trajectoire avant lâcher. Carte OSIRIS et courbes.



Comparaison par superposition des trajectoires (prévision en bleu et rouge provenant de la carte OSIRIS, trajectoire réelle en magenta). On constate un écart globalement homothétique entre le tracé prévisionnel et le tracé réel

Rentrés à Paris, nous avons cherché l'origine de cet écart, tout d'abord en comparant les données de vent fournies par le radiosondage et celles recueillies par le ballon HORUS G lui-même, car les vents peuvent varier au cours de la journée.

Les courbes étaient sensiblement proches, et ne semblaient pas justifier une telle différence dans les trajectoires.



Nous avons alors soupçonné une erreur dans le logiciel de prévision. Pour la cerner, nous lui avons fourni comme base de calcul les données de vent recueillies pendant le vol.

La trajectoire calculée à partir de ces données a fait apparaître non pas un problème d'algorithme, mais une mauvaise échelle de la carte géographique (carte OSIRIS) utilisée pour l'affichage du résultat.

**La prévision était juste aux peu de variations des vents près, mais projetée sur une carte à la mauvaise échelle.**

Après avoir corrigé cette échelle et vérifié que la trajectoire calculée se superposait cette fois-ci avec la trajectoire réelle, ce qui valide le principe, nous avons décidé de mettre en place pour l'avenir un système de protection pour éviter ce type d'erreur (par affichage de repères géographiques entre lesquels la distance est connue).

D'un autre côté, le logiciel de prévision de trajectoire en cours de vol a très bien fonctionné, et a permis de dire à l'hélicoptère contenant la station de réception mobile où se positionner pour être à proximité du point de chute.

La nacelle a suivi assez précisément la trajectoire prévue, sauf pour un léger écart dû à un changement de direction des vents à moins de 5000 m du sol, et la prévision s'affinant au fur et à mesure de la descente, nous avons demandé à l'hélicoptère de se recalibrer, grâce à la liaison radio.

## 7. CONCLUSIONS

Ce projet se servait des connaissances acquises par le GAREF AEROSPATIAL lors de la réalisation de la lignée des ballons Horus, et des compétences en électronique de l'IUT de Kourou pour réaliser une expérience aboutie et fiable, lancée dans un cadre idéal avec les conseils et support des équipes du Centre Spatial Guyanais.

Cette collaboration a été une première entre l'IUT de Kourou et le GAREF. Elle a été très enrichissante pour les deux parties. Comme toute première, certains points sont à améliorer dans la perspective d'un nouveau projet.

Le bilan global du projet est très satisfaisant, il s'agit d'un des projets ayant eu les meilleurs résultats sur toutes les expériences embarquées de jeunes.

Le souci omniprésent lors de cette réalisation était la récupération, dans un milieu tel que la Guyane, souci auquel nous avons répondu en finissant la mise au point de la station secondaire entamée lors du projet Horus 5, et en développant les logiciels de prévision de trajectoire adaptés. Embarquée à bord d'un véhicule mobile, hélicoptère ou voiture, cette station garantit de façon presque certaine la récupération rapide de la nacelle après atterrissage, du moment que la station de réception principale a bien fonctionné pendant le vol.

L'aide des Forces Armées en Guyane a été très motivante ce qui nous a encouragé à mettre au point des logiciels pour utiliser au mieux les moyens aériens qui seraient mis à notre disposition.

La réalisation de circuits imprimés plus ou moins complexes à partir des schémas prototypes développés les années précédentes a aussi permis de stabiliser et parachever ces cartes pour en faire de vraies cartes électroniques fiables et réutilisables.

Horus G a permis de finaliser l'architecture de base de la lignée des ballons Horus du GAREF AEROSPATIAL, pour permettre de se concentrer sur les expériences embarquées. On pourra ainsi continuer des projets "ballons", en se préoccupant moins de l'aspect technique du projet et plus de l'aspect scientifique.

Malgré (ou grâce à) un report de lancement, d'une journée, dû à des conditions météorologiques difficiles, **l'expérience a été un succès total.**

**Il convient aussi de rester humble et modeste** et de ne pas oublier que même la réussite peut résulter d'une part de malchance (chance). Pour preuve: malgré toutes les vérifications, procédures d'opérations, de multiples répétitions à Paris et une répétition générale parfaite à Kourou:

- un bogue rare mais fatal (arrêt anormal du logiciel programme de vol du à une mauvaise séquence de lancement à travers le réseau Ethernet qui peut entraîner un arrêt du programme après la déconnexion du câble réseau) a été trouvé le 12 avril lors de la première tentative de lancement. Si la météo avait été bonne ce jour là, le ballon aurait probablement été perdu après 10 à 20 minutes. Une procédure de contrôle permettant de s'assurer de manière certaine que la séquence de lancement a été correctement exécutée, avant de retirer le câble Ethernet et donc avant d'autoriser le lâcher, a été mise au point dans la nuit du 12 au 13 avril et appliqué rigoureusement le 13 avril 2007.
- Pour la première fois, une "plante" du logiciel (sous WinXP) de traitement des données de la station fixe est apparue pendant le vol le 13 avril (Le logiciel a pu être relancer avec une perte de données de seulement quelques secondes, car ce cas avait été prévu et répété auparavant).
- Il a été découvert, au dépouillement (voir paragraphe 6.5), que la carte de Guyane, incluse dans le logiciel de prévision de retombée, avait une mauvaise échelle donnant une prévision de distance parcourue supérieure à la distance réelle.

Ce type d'expérience d'apparence simple est en réalité complexe: tous les équipements, capteurs, émetteur, appareil photo, énergie, boîtier... doivent tenir dans moins de 2500g. Il faut un fonctionnement électronique et logiciel parfait, l'utilisation d'un centre de lancement comme le CSG est une chance et apporte beaucoup mais impose aussi une gestion de projet rigoureuse avec l'élaboration et le respect strict de procédures. En retour c'est une expérience particulièrement enrichissante et formatrice.

Grâce au succès de l'expérience HORUS G, qui s'ajoute à ceux des ballons HORUS précédents, nous disposons d'une plate-forme éprouvée dans cette catégorie de ballons, ce qui devrait nous permettre à l'avenir de consacrer plus de temps à l'intérêt scientifique des expériences embarquées.

Horus 6, lancé cet été 2007, à la campagne nationale de lancement de La Courtine (Creuse), a permis aussi de fiabiliser la station de réception secondaire mobile, embarquée à bord d'une voiture (moins rapide qu'un hélicoptère !) pour se positionner à proximité du point d'atterrissage afin de recevoir la télémessure jusqu'à l'atterrissage et donc le point GPS exact d'atterrissage.

***HORUS G a été primé en recevant le 6 octobre 2007 le "prix de la conduite de projet et du partenariat" lors des trophées jeunes des 70 ans du Palais de la découverte.***



*A 10400m à 12h19 locale, une des très belles photos prise en vol. On voit l'embouchure du Kourou et on distingue la ville de Kourou (Photo G071011. (Photo GAREF PARIS))*



*Le 16 avril 2007, devant la maquette Ariane 5. De gauche à Droite: José GOLITIN (CSG/OP/TM), Jean Pierre GRASSET (CSG/SP), Christine MONSAN(CSG/COM), PÉPIN Antoine GUILLAUME(CSG/OP), Franck ROUBAUD(Directeur de IUT-Kourou), Axel CHIN(IUT-Kourou), Karl BILLARD(IUT-Kourou), Alexandre GEBRAEL(GAREF), Mustafa ALACAKLI(GAREF) avec la nacelle, Axel CHOVEL(GAREF), Grégor GANGLOFF(GAREF), Pierre Henri AVALLE(GAREF), Guillaume Axel BERNAUDEAU(GAREF) tenant le parachute, Martine SEBELOUE(IUT-Kourou), Bernard SCACHE(GAREF), Jean-Louis MARCÉ (Directeur du CSG), Moïse ROMERO(CSG/OP), Delphine HARSEN(IUT-Kourou), Lionel BOISSON (CSG), Charlie BOUVIER(GAREF), Bruno GILLES(CSG/OP).  
(Photo G07H441 (Photo Optique Vidéo du CSG))*

## 8. POINTS A AMELIORER

### PROBLEMES RENCONTRES :

Bogue lors du lancement des programmes de vol (corrigé entre J-1 et J 0 ! Risqué !)

"Plante" du programme de réception station fixe (pas de conséquence mais à corriger)

Quelques pics parasites dus aux balises de localisation Marshall (problème à corriger en les éloignant ou en blindant)

Erreur sur la prévision d'atterrissage due à une carte avec une mauvaise échelle. (mise en place à l'avenir de garde fou pour éviter un tel problème).

Nombre limite de blocs de piles de vol (il n'en restait plus aucun de secours après le lancement)

Campagne de lancement trop courte (ne pas négliger l'épuisement du au décalage horaire si les journées sont trop longues). Le non-respect strict de toutes les procédures à J-1 vers 22h (soit 3h du matin à paris), à fait courir un risque de dysfonctionnement de la manip.

Pas assez de moments libres.

Effort de coordination, d'information à faire avec l'IUT pour une mise en œuvre moins stressante.

Internet non fonctionnel aux ELFS (sans conséquence mais à savoir)

Augmenter le nombre de rampes électriques

Risques de lancement en saison des pluies (météo, mise en oeuvre de la nacelle sous la pluie à proscrire)

Pas assez de temps de test avant le départ.

Problème sur caméra vidéo de reportage GAREF d'enregistrement de vidéo HD, 16/9, 4/3, non HD incompatibilité au montage. (faire procédure)

Problème du manque de précision de la mesure de basse pression. (à rechercher et corriger)

Récepteur de balises Marshall non audible dans l'hélicoptère, même avec le casque.(à traiter)

### EVOLUTIONS :

Prévoir un appareil photo de nouvelle génération.

Simplification de la procédure de lancement qui comporte des risque d'erreur compte tenu de sa complexité

Faire une procédure pour inventorier et suivre l'état des multiples piles embarquées (piles du GPS, piles carte UC PC104, pile balises, pile émetteur, piles bloc électronique, piles appareil photos embarqué) et au sol (piles caméras, pile appareils photos reportage, chargeur téléphones etc..)

Résolution des problèmes de connexion au Prométheus. Changement carte UC ?

## 9. TROMBINOSCOPE de l'EQUIPE MIXTE

*Extraits de photos de campagne*



*Mustafa ALACAKLI(GAREF) Pierre Henri AVALLE(GAREF), Guillaume Axel BERNAUDEAU(GAREF),*



*Karl BILLARD(IUT-Kourou), Charlie BOUVIER(GAREF), Axel CHIN(IUT-Kourou),*



*Axel CHOIVET(GAREF), Grégor GANGLOFF(GAREF), Alexandre GEBRAEL(GAREF),*



*Delphine HARSEN(IUT-Kourou), Alexandre KHUN (GAREF), Bernard SCACHE(GAREF).*

## 10. ANNEXES

### 10.1 ANNEXE 1 : EXEMPLE DE FORMAT DE TRAME

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	N°trame (MSB )
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	N°trame (LS B)
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	checkcolonne (MSB)
74	CHECKC	CHECKC	CHECKC	CHECKC	checkcolonne (LSB)
75	CHECKL	CHECKL	CHECKL	CHECKL	checkligne (MSB)
76	CHECKL	CHECKL	CHECKL	CHECKL	checkligne
77	CHECKL	CHECKL	CHECKL	CHECKL	checkligne
78	CHECKL	CHECKL	CHECKL	CHECKL	checkligne (LSB)

Chaque trame suit le format de télémessure 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 précédente et garantit un taux de pertes de données très faible.

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.

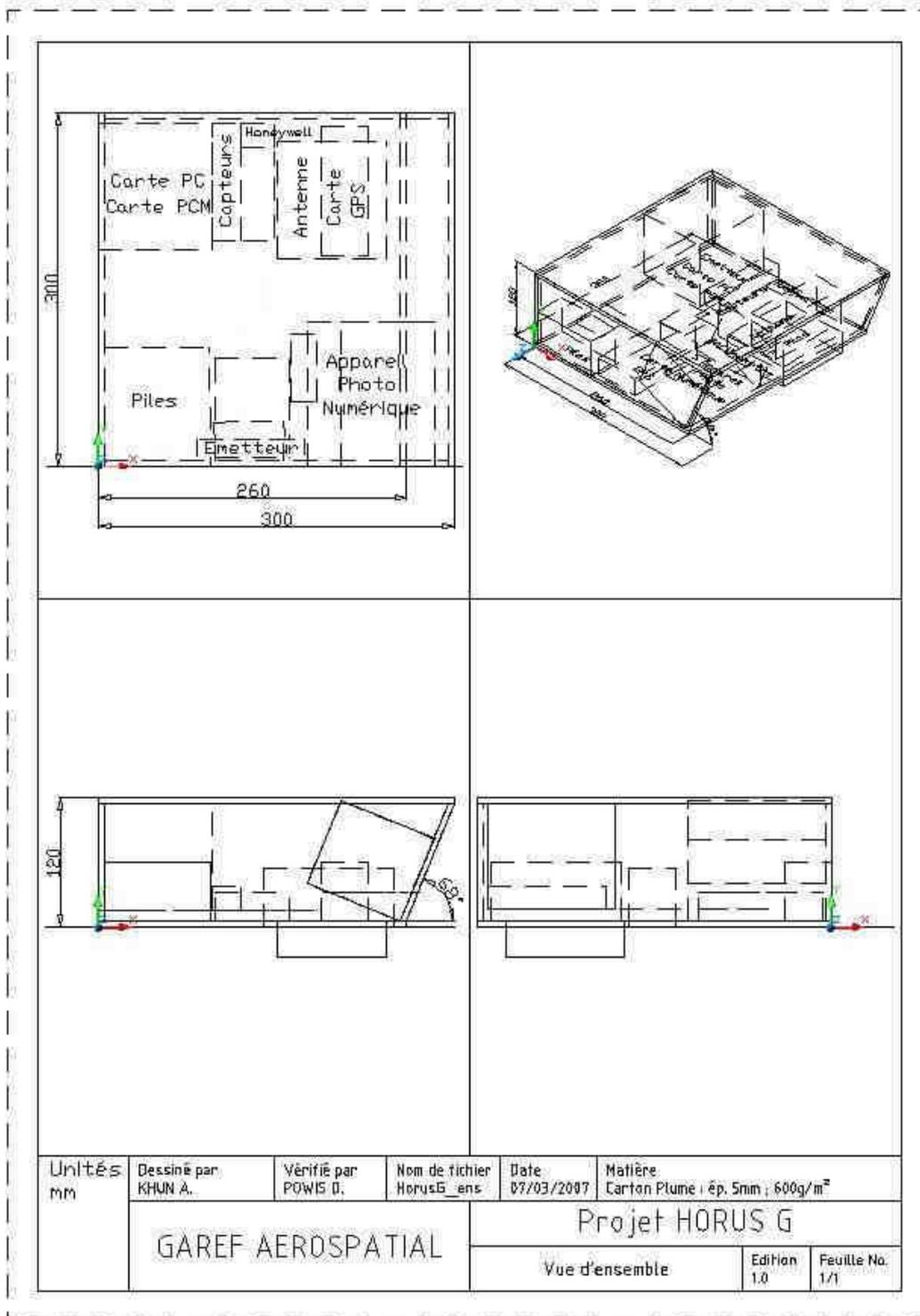
Les données de l'image sont découpées en paquets de 60 octets qui sont intégrées dans la trame. Chaque trame photo est identifiée par un numéro d'itération.

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 télémessure qui ferait perdre une partie d'une image, car il pourrait la reconstituer à partir des quatre autres itérations.

## 10.2 ANNEXE 2 : PLANS MECANQUES DE LA NACELLE HORUS G



## 10.3 ANNEXE 3 : ABREVIATIONS et TERMINOLOGIE

### Les acteurs

**CNES** Centre National d'Etudes Spatiales. Agence française de l'espace, propose au gouvernement la politique spatiale de la France et la met en œuvre. Il garantit à la France l'accès autonome à l'espace. ([www.cnes.fr](http://www.cnes.fr))

**ESA** Européen Space Agency Agence spatiale européenne. Compte 17 états membres. A pour mission d'élaborer le programme spatial européen et de le mener à bien. ([www.esa.int](http://www.esa.int))

**ARIANESPACE** C'est l'opérateur des lanceurs Ariane. C'est une société privée de droit français, dont les principaux actionnaires sont les industriels européens constructeurs d'Ariane, quelques banques européennes et le CNES ([www.arianespace.com](http://www.arianespace.com))

**Photo Optique Vidéo du CSG** signifie ici Copyright ESA-CNES-ARIANESPACE/ Photo Optique Vidéo du CSG)

**CSG** Centre Spatial Guyanais. Situé à Kourou en Guyane Française. Géré par le CNES et l'ESA.. Aujourd'hui, le terme Centre Spatial Guyanais, Port Spatial de l'Europe désigne l'ensemble du site spatial sur l'emprise géographique duquel sont mis en œuvre les installations et les moyens qui concourent à la réalisation des lancements Ariane, puis de Soyouz et Vega, ainsi que les usines de production. Les missions du CSG s'inscrivent dans les objectifs poursuivis par l'Europe en matière de transport spatial. C'est une des bases de lancement les plus modernes et mieux situées au monde,

**EFLS (site fusées sondes)** Ensemble de Lancement Fusées Sondes du CSG. L'ensemble de lancement Fusées-sondes, implanté à environ 7 km du Centre Technique du CSG, est composé d'un centre de lancement (CDL), de deux halls d'assemblage et de quatre plates-formes de lancement constituant l'essentiel des moyens nécessaires à la préparation des fusées-sondes et au déroulement des chronologies. Il n'est plus actif aujourd'hui et sert ponctuellement à des lancements dont ceux du GAREF AEROSPATIAL.

**RCO** Responsable Coordination Opérations, au service OP du CSG

**RSV** Responsable Sauvegarde Vol, au service SDP du CSG

**OP** sous direction des Opérations du CSG

**SP** département Sécurité Protection du CSG

**SDP** Sous Direction de la Protection et de l'environnement, sauvegarde.

**FAG** Forces Armées en Guyane

**COMSUP** Commandement supérieur des FAG

**CCM** Centre de Communication Militaire

**IUT** Institut Universitaire de Technologie

**GAREF PARIS** Association sans but lucratif. Fondée en octobre 1964. Basée à Paris. Procure à des jeunes des loisirs scientifiques basés sur l'expérimentation pratique notamment dans le domaine aérospatial. Deux établissements GAREF AEROSPATIAL, GAREF OCEANOGRAPHIQUE. Pour plus d'informations voir [www.garef.com](http://www.garef.com).

**GAREF AEROSPATIAL** établissement de GAREF PARIS dédié à l'électronique, l'informatique et les expériences aéronautique et spatiales. Depuis octobre 2007, est un Relais Planète Sciences.

**AC** Axel CHOVET (GAREF)

**ACH** Axel CHIN (IUT de Kourou)

**AG** Alexandre GEBRAEL (GAREF)

**AK** Alexandre Khun (GAREF)

**BS** Bernard Scache (GAREF)

**CB** Charlie BOUVIER (GAREF)

**GAB** Guillaume Axel BERNAUDEAU (GAREF)

**GG** Grégor GANGLOFF (GAREF)

**MA** Mustafa ALACAKLI (GAREF)

**PHA** Pierre Henri AVALLE (GAREF)

**Planète Sciences** Association.

nationale regroupant notamment les clubs aérospatiaux, dont le GAREF. Association sous convention du CNES

### Termes techniques

**GPS** Global Positioning System. Système américain permettant de connaître avec précisions sa position géographique grâce à une constellation d'une trentaine de satellites en orbite à 20200 Km

**JPEG** Joint Photographic Experts Group. Ici par extension, format du fichier utilisé pour contenir les données d'une images numérique compressée au standard JPEG.( ISO/IEC IS 10918-1)

**HD** Haute définition

**TU** Temps Universel ou GMT (GMT ("Greenwich Mean Time"))

**PCM** Pulse Code Modulation, modulation par impulsion et codage.

**IRIG** Inter Range Instrumentation Group. Organisme américain de standardisation dans le domaine notamment des télémesures.

**IRIG 106** est un standard de télémesure permettant l'interopérabilité des télémesures aéronautiques et spatiales

**ISO** International Standardization Organization Organisation Internationale de normalisation

**PC** Personal Computer (ordinateur) ou Poste de Commandement

**NOTAM** (NOtice To Air Men) Information à la navigation aérienne

**Pripri** marécage

**VHF** Very High Fréquence (radio telephone VHF)

**WinXP** Système d'exploitation Windows XP de Microsoft

**LINUX** système d'exploitation

**CDL** Centre De Lancement des ELFS

**dB** décibel unité logarithmique qui mesure un rapport d'une quantité physique (ici un gain en puissance) +40 dB donne un gain en puissance de 10 000

**dB<sub>i</sub>** décibel isotopique. Ici gain d'une antenne par rapport à une antenne fictive qui délivrerait ou recevrait l'énergie de manière uniforme dans toutes les directions.

**dBm** unité logarithmique de puissance hyperfréquence par rapport à une puissance de référence de 1mWatt. 0dbm=1mW, +10 dBm= 10mW, -10dBm= 0,1mW , +30dBm=1W

**G** gain d'un amplificateur

**NF** Noise Factor facteur de bruit d'un amplificateur hyperfréquence

**LNA** Low Noise Amplifier . Amplificateur faible bruit

**kHz** kilo Hertz (1000 Hertz)

**MHz** méga Hertz (1 000 000 Hertz)

**UV** Ultra Violet

**PCD** Polarisation Circulaire Droite

**PCG** Polarisation Circulaire Gauche

**C<sub>x</sub>** Coefficient de trainé

**TV** Télévision

**SER** Surface Equivalente Radar

**SC<sub>x</sub>** Surface x par le C<sub>x</sub>

**FM** Modulation de Fréquence

**ZIC** Zone Intertropicale de Convergence

**KAPTON** film de polyimide de couleur ambrée développé par DuPont stable de -269 °C à +400 °C

**RS232** norme standardisant un port de communication de type série.

**Biphase L** Code Biphase L. Procédé de codage binaire dans lequel un 1 est représenté par une transition de l'état 1 à l'état 0 et un 0 par une transition de l'état 0 vers l'état 1. Facilite la régénération du rythme de transmission (horloge) à la réception.

**DDE** Direction Départementale de l'Equipement (routes)

**càc** crête à crête équivalent de p to p (peak to peak)

## 10.4 ANNEXE 4 : Lettres HORUS G

## Bon démarrage pour HORUS G

Le projet HORUS Guyane, "HORUS G" est un **projet de collaboration entre jeunes parisiens et guyanais** pour la réalisation et le lancement d'un **ballon sonde**.

La nacelle de 2,5kg, (culminant à 30 000m) réalisera des mesures scientifiques et des prises de photographies numériques avec transmission au sol en temps réel, mesures de température, de la pression...

Le ballon sera lancé en Guyane, au **CSG, Centre Spatial Guyanais**, lors des vacances de la Toussaint 2006.

Une partie de la nacelle sera faite par des **jeunes parisiens du GAREF**, l'autre partie étant réalisée par des **lycéens et étudiants de Guyane**.

Un des objectifs de cette collaboration est que les jeunes du GAREF puissent faire passer un "savoir-faire" sur ce type de réalisation pour que des activités scientifiques de jeunes puissent se poursuivre en Guyane.

Un autre objectif est la **diffusion et la promotion des actions scientifiques**, des sciences, et des carrières scientifiques ainsi que de contribuer à la diffusion de la culture scientifique.

Les multiples domaines abordés (électronique, informatique, construction pratique, mais aussi prise de vues, lancement, exploitation des résultats, reportage et montage vidéo, communication...) permettent d'intéresser **des jeunes de tout niveau et de tous horizons** (13-22 ans).

Le projet a été présenté en janvier 2006:

- **au Rectorat** à Firmin Charles Charpentier-Tity, Chargé du développement scientifique et scolaire, Charlie Augustin Constantin, André Marcant, Christian Madère président du Club Guyane STJ relais Planète Sciences,
  - **au CSG**, à Gilbert Blondet-Gonte (CSG-SDP), Yves Gleyzes CSG-SDO), Pierre Ribardiere (CSG-SDO), Jean Philippe Zebus (CSG-COM), Mathilde Savreux (CSG-COM).
  - à la **Région**: Jean Pierre ARON, à la **Mairie de Kourou**: Jean Etienne Antoinette et de **Cayenne**: Nicaise Joseph
- Le **CNES**, Centre National d'Etudes Spatiales avec le **CSG**, apporte aussi son soutien au projet.



Une **téléconférence** de démarrage de projet a eu lieu entre Kourou et Paris, grâce au CNES, le 2 juin 2006 à 18h (13h en Guyane) avec un premier groupe **d'étudiants de l'IUT de Kourou** qui s'impliquent dans ce projet.

Lors de cette première visioconférence, le travail a été réparti en fonction des aspirations et possibilités de chacun.

D'une manière générale le **GAREF AEROSPATIAL** assurera la coordination du projet, la télémesure, le calculateur de bord, l'appareil photo.

**Les jeunes de Guyane** travailleront plutôt sur l'expérience scientifique elle-même (température, pression par exemple), le lancement, le traitement et l'exploitation des résultats, l'aspect reportage et communication.

**Le CSG** permettra le lancement et la réception des télémesures et contribuera aux opérations de communications

Etaient à **Kourou** : Pour le CSG: Pépin-Antoine Guillaume (CSG/OP), Christine Monsan CSG/COM (Chargée de communication Education Jeunesse), pour l'IUT de Kourou: Martine Sébeloué (Chef de département électronique GEII), Antony Elina, (Pdt CEIK), Axel Chin (Vice Pdt CEIK), Alexis Tardy (représente les étudiants de première année), Hervé Bargas

**A Paris** : Jean-Yves Trebaol : CNES DSP/AI/ABM , et pour le GAREF AEROSPATIAL Charlie Bouvier, Jean-Baptiste Botello, Axel Chovet, Ghislain Dewalle, Alexandre Gebrael, Alexandre Khun, Bernard Scache.

**GAREF PARIS Club scientifique de jeunes de la Mairie de Paris**  
Site Internet : [www.garef.com](http://www.garef.com)

## HORUS G : Une collaboration entre jeunes Guyanais et jeunes Parisiens

Après l'échange en visioconférence d'avril 2006, le projet se poursuit et des membres du GAREF AEROSPATIAL se sont rendus en Guyane, pendant les vacances de Noël, afin d'avancer la préparation du ballon sonde HORUS G avec les jeunes de Guyane participant au projet.

Au programme : **Essais de télémesure, et réunions techniques.**

**5 janvier 2007: Deux représentants du projet HORUS G, entourés des ingénieurs du CSG, à la station de télémesure Galliot située sur la montagne des Pères, pour procéder aux essais télémesures.**



G06W008



G06W023

### Des tests en situation

Se plaçant au point prévu de lancement, (le site Fusées sondes), l'équipe a procédé à des tests réels de transmission entre la nacelle et la station de télémesure du Centre Spatial Guyanais.

Tout n'a pas marché du premier coup, et un deuxième essai a été nécessaire, le 12 janvier 2007, pour rendre compatible l'indice de modulation de l'émetteur d'HORUS G avec les récepteurs Ariane 5 de la station Galliot.

**Axel Chin, du Club des Etudiants de l'IUT de Kourou, chef de l'équipe Guyanaise du projet HORUS G, avec le modèle électrique de la nacelle HORUS G.**



G06W024



G06W017

**Le 5 janvier 2007, l'équipe mixte – GAREF AEROSPATIAL et IUT de Kourou – lors des tests de télémesures entre un modèle électrique de la nacelle HORUS G et la station de réception Galliot du Centre Spatial Guyanais.**

Une partie de l'équipe au travail: (Axel Chin, Carl Billard, Delphine Harsem, pour la Guyane et Charlie Bouvier (GAREF Paris) et une réunion en présence du Directeur de l'IUT de Kourou (Franck Roubaud), du chef de département GEII (Denis Ramuz) et de la responsable du projet (Martine Sébéloué).



G06W018



G06W032

De multiples réunions ont eu lieu pour préparer le lancement:

Avec le **Directeur du CSG Jean Louis Marcé**, avec la Sous Direction des **Opérations** (opérations, télémétrie, météo, radars, énergie), la Sous Direction **Protection sauvegarde**, le service **Communication**, **l'état-major interarmées** en Guyane, **l'IUT de Kourou**, des professeurs référents académiques, l'adjointe au Maire de Cayenne.

Le lancement a été fixé (sous réserve de la météo) au **jeudi 12 avril 2007** en fin de matinée.

Des jeunes des principales communes de Guyane seront invités par le CSG.

Tous nos remerciements à Jean Louis MARCE, Directeur du CSG

Gilbert BLONDET-GONTE, Sous Directeur chargé de la Protection de la Sauvegarde et de l'Environnement, Philippe DELAUNAY (/SP) Pierre RIBARDIERE (SDO/EO) correspondant du GAREF depuis plus de 25 ans, Bruno JACQUEMIN (SDO/AM météo), Olivier SEGUIN (SDO/AM Radars), Moïse ROMERO (SDO/IN énergie), Thierry VALLEE (SDO/OP), José GOLITIN (SDO/AM télém); Patrick GEHIN (SDO/AM télém); Fortuné ZELINE (SDO/AM télém), Christophe CANZEC (SDO/AM télém)

Monia ZAMOR (COM) et bien sûr Pépin-Antoine GUILLAUME (SDO/OP), DDO chargé au CSG du projet HORUS G.

Colonel Louis DUHAU, Chef d'état-major interarmées des Forces armées en Guyane et le Lieutenant-colonel Yann TALBOURDEL,

Franck ROUBAUD, Directeur de l'IUT KOUROU; Martine SEBELOUE (GEII); Denis RAMUZ, Chef du département GEII à l'IUT;

Charlie AUGUSTIN CONSTANTIN; Claude HEYREND (IANTE);

Nicaise JOSEPH, Adjointe au Maire de Cayenne.

### Et tout ça avec l'aide de La Poste !

#### Bravo la Poste !

Cette lettre, postée le 29 novembre 2006, par le GAREF à Paris, pour le CSG à Kourou, à mis **41 jours pour arriver !**

Soit le temps que mettait une frégate pour rallier la métropole à la Guyane au 18<sup>ème</sup> siècle... Vive le progrès !



G06W035

**GAREF PARIS Club scientifique de jeunes de Paris**  
Site Internet : [www.garef.com](http://www.garef.com)

Association **GAREF PARIS**, association pour le développement des loisirs scientifiques chez les jeunes - association sans but lucratif (Loi de 1901)  
Siège : 6, rue Émile Levassor - 75013 Paris - tel : +33 1 45 82 11 99

Agrément Ministère de la Jeunesse et des Sports "Jeunesse et éducation populaire" n°75JEP05-337 - NAF : 913E - SIREN : 311 550 644

## HORUS G : les jeunes guyanais à Paris

Après le passage d'une équipe du GAREF AEROSPATIAL à Kourou, en décembre dernier, c'est au tour de la Guyane de venir à Paris. Des jeunes de l'IUT de Kourou sont venus travailler pendant les vacances de février aux cotés des jeunes du GAREF pour faire avancer leur projet commun, grâce à un financement de l'IUT.

Ravis de se retrouver encore une fois réunis, l'équipe mixte a fait la mise au point commune des derniers circuits électroniques, à 2 mois du lancement.



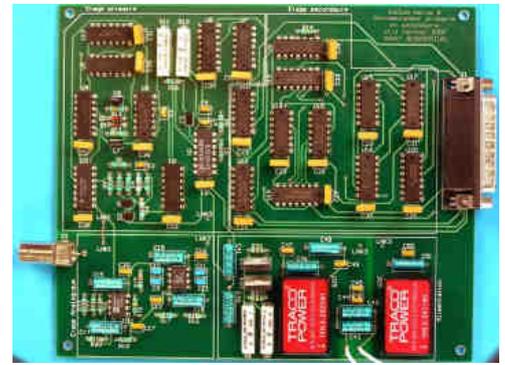
G07D010



G07D006

### Tests et étalonnages

Profitant des matériel et équipements du GAREF AEROSPATIAL, le groupe Guyanais a réalisé le câblage et l'étalonnage complet des modules de mesures de températures et de pression qu'ils ont réalisés.



G07D026

*L'équipe mixte – GAREF AEROSPATIAL et IUT de Kourou – dans les travaux techniques que demande ce projet de ballon sonde comprenant l'électronique et la réalisation d'une nacelle.*

*A droite, on remarque aussi la carte syncho primaire-secondaire PCM développée par le GAREF AEROSPATIAL, pour constituer la station de réception embarquée dans l'hélicoptère de récupération.*

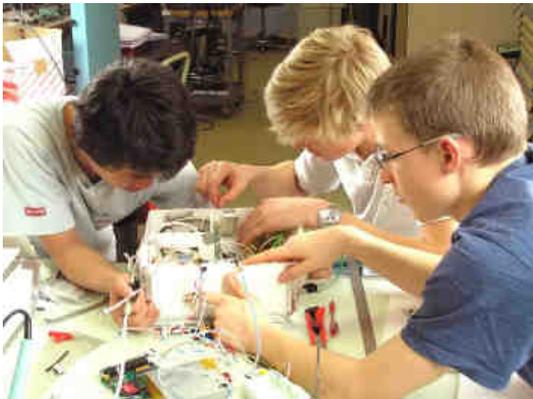


G07D012



G07D014 – G07Y007

*L'on voit ci-dessus les opérations de câblage de cartes température et pression, ainsi que l'intégration de ces cartes dans un module en clinquant de laiton très fin, destiné à assurer un blindage électromagnétique complet des modules. Pendant ce temps, la découpe des plaques qui constitueront la nacelle commence.*



G07Y010



G07Y013 - G07Y018

*On remarque un début d'assemblage de la nacelle, quelques usinages mécaniques et toujours de la mise au point à 1 mois de la campagne de lancement.*

C'est un groupe d'une dizaine de jeunes parisiens qui partira du 7 au 17 avril prochain à Kourou pour rejoindre leurs homologues Guyanais et procéder, si la météo le permet, au lancement d'HORUS G, fixé au **12 avril 2007** avec l'aide de toutes les équipes du Centre Spatial Guyanais et du COMSUP des Forces Armées en Guyane qui ont accepté de fournir matériel et personnels pour permettre la récupération, on ne sait où en Guyane..., de la nacelle HORUS G.

*Il ne faut pas s'y tromper, la maîtrise de la fabrication des crêpes dans la cuisine du GAREF AEROSPATIAL est indispensable pour la réussite d'un tel projet dont le déroulement se poursuit souvent très tard dans la nuit...*

*L'équipe Guyanaise a donc suivi avec succès un stage de formation accélérée sur ce point fondamental !*



G07D007



G07Y011

**GAREF PARIS Club scientifique de jeunes de Paris**  
Site Internet : [www.garef.com](http://www.garef.com)

Association **GAREF PARIS**, association pour le développement des loisirs scientifiques chez les jeunes - association sans but lucratif (Loi de 1901)

Siège : 6, rue Émile Levassor - 75013 Paris - tel : +33 1 45 82 11 99

Agrément Ministère de la Jeunesse et des Sports "Jeunesse et éducation populaire" n°75JEP05-337 - NAF : 913E - SIREN : 311 550 644





G07H219 Photo CNES Photo Optique / Vidéo du CSG

## HORUS G : Réussite totale !

**HORUS G**, ballon sonde réalisé en collaboration entre jeunes parisiens du **GAREF AEROSPATIAL** et jeunes Guyanais de l'**IUT de Kourou** a pris son envol vendredi 13 avril 2007 à 11h45 locale à partir du site Fusées Sondes du Centre Spatial Guyanais. Après un vol parfait de 2 heures et avoir culminé à 26 200m, il a été récupéré par un hélicoptère Puma des Forces Armées en Guyane.

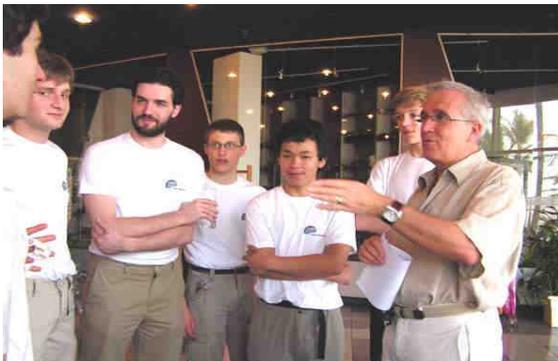


G07H160 – G07H231 – G07H253

La campagne de lancement en Guyane s'est déroulée du **samedi 7 au mardi 17 avril 2007**.

Samedi, dimanche et lundi de Pâques, ont été consacrés à mettre au point les procédures opérationnelles de lancement et à quelques activités touristiques et physiques...

Mardi 10 avril, l'équipe mixte a procédé au déballage des 400kg de matériel puis, installation dans les bâtiments du site Fusées Sondes et réunion avec tous les intervenants et essais de télémessures.



G07H002 Photo GAREF PARIS

*Une route encombrée n'est pas faite pour arrêter l'équipe du GAREF et un peu d'exercice physique ça maintient en forme !*



G07H015 et 018 Photo GAREF



G07H107 Photo CNES Photo Optique / Vidéo du CSG



G07H141 Photo GAREF PARIS

**Ci-dessus : Jean Louis Marcé, Directeur du Centre Spatial Guyanais, accueille l'équipe du GAREF à son arrivée en Guyane le 7 avril 2007 avec un pot fort sympathique.**

**Le GAREF AEROSPATIAL a implanté son décommutateur et ses PC de dépouillement à la station de télémessures Galliot, du CSG où l'on reçoit pendant le vol les données du ballon et les photos prises en vol.**

**La nacelle HORUS G (30x30x12cm) fermée ne pèse que 2235g et sa plate-forme antenne GPS 150g**





G07H171 Photo Franck Roubaud - IUT de Kourou

**Mercredi 11 avril.**

Journée de répétition générale avec emport de la nacelle dans un avion de l'aéroclub de Kourou qui volera pendant 1 heure, pour vérifier la bonne réception de la télémesure en vol et le bon suivi automatique des antennes de télémesures.

Tout a fonctionné au mieux.

Une partie de la nuit a été consacrée à affiner les procédures et à corriger quelques défauts d'affichage sur l'écran de la station destinée à être embarquée dans l'hélicoptère.

**Jeudi 12 avril.** Cette journée, prévue pour le lancement, fut difficile et épuisante de 5h30 du matin à 22h30 !

La météo était exécrable avec de fortes pluies tropicales. Des pannes se sont succédées et finalement le lancement a dû être ajourné.

**Ci-dessous :**

**Gonflage du ballon le 13 avril 2007 par l'équipe mixte GAREF AEROSPATIAL-IUT de Kourou sous l'objectif des caméras et photographes.**

**A la station de télémesures, les premières photos, en provenance du ballon en vol, sont reçues et visées, par un responsable du département sécurité, pour être autorisées à la diffusion.**



G07H157 Photo Franck Roubaud - IUT de Kourou



G07H080 Photo GAREF PARIS

**Vendredi 13 avril 2007.**

Inquiétude dès le matin, le premier point météo prévoyant des risques importants. Mais à 8h45 la météo constate que les perturbations se désagrègent au large de la Guyane.

Le calcul de trajectoire prévisionnelle démontre une non-sortie du territoire français, un point d'atterrissage sur terre acceptable. La sauvegarde vol donne donc son accord. Les opérations de lancement commencent aussitôt.

A 10h l'on procède à un essai de la station de réception GAREF, installée dans l'hélicoptère qui se positionne en vol stationnaire. Tout est ok.

A 11h44 tous les moyens sont au "vert": nacelle, station de télémesures Galliot, station de réception hélicoptère, hélicoptère, radars, sauvegarde.

A 11h45, HORUS G s'envole.

Il culmine à 26 200 m à 13h03m et retombe sous son parachute à 13h45 (N 5°15'48", O52°48' 33").

La station de réception Galliot, située sur la Montagne des Pères a parfaitement reçu la télémesure jusqu'à environ 100m du sol, passant alors la main à la station de réception embarquée dans un hélicoptère Puma volant à proximité du point d'atterrissage calculé..



G07H240 Photo CNES Photo Optique / Vidéo du CSG





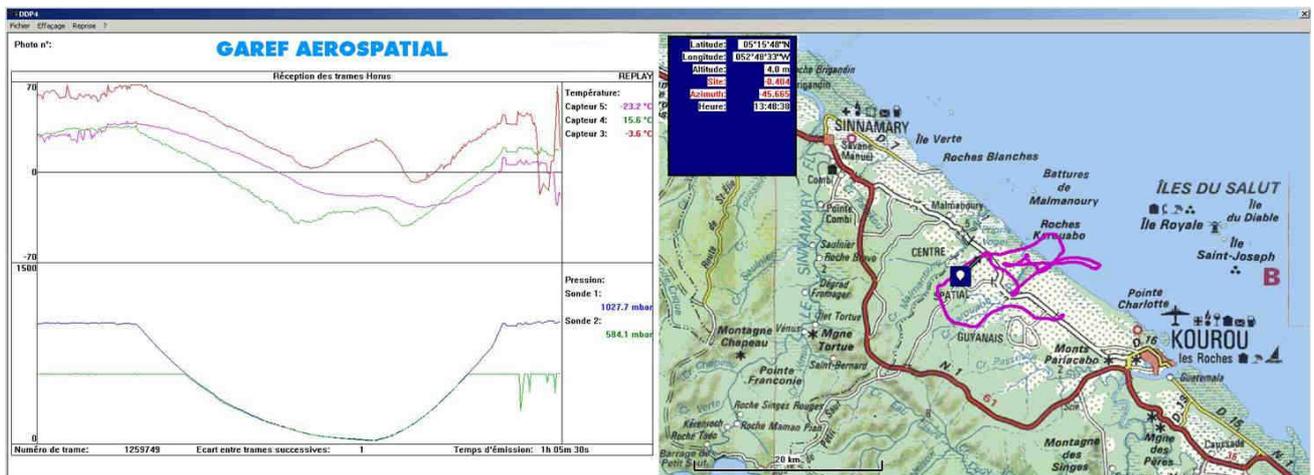
CNES Photo Optique / Vidéo du CSG

G07H104

G07H095

G07I018 Photo GAREF PARIS

17 photos en vol ont été prises, parfaitement transmises par l'émetteur de la nacelle et reçues par la station de télémesures Galliot du CNES-CSG. Deux antennes paraboliques furent utilisées, la Stella 43 et s'ajouta la Star 45 en fin de vol.



G07H Ecran de vol

Ci-dessus : Les logiciels réalisés par les jeunes du GAREF AEROSPATIAL permettent  
1) d'afficher en temps réel, tout au long du vol, les mesures et  
2) visualisent sur une carte la position du ballon, sa trajectoire (en violet) et son point d'atterrissage prévisionnel qui est aussitôt communiqué par radio au pilote de l'hélicoptère qui est en vol.

La station de réception GAREF, embarquée dans l'hélicoptère a accroché la télémesure quand la nacelle était vers 7 000m (à environ 13h28) et ce, jusqu'à l'atterrissage de la nacelle. Toutes les mesures de température et de pression ont été parfaitement reçues.

La chaîne de vol a été récupérée par l'hélicoptère Puma des Forces Armées en Guyane à 13h50.

On voit ici l'équipage, un membre du GAREF et le cameraman du CNES-CSG.



G07H255 Photo GAREF PARIS





G07H Invitation

**Une conférence de présentation** aux écoles et à la presse et de **restitution des premiers résultats**, a été assurée dans la salle Jupiter du Centre Spatial Guyanais le lundi 16 avril 2007.

En présence de Jean Louis Marcé, Directeur du CNES-CSG, et des principaux responsables du CNES, les jeunes du GAREF AEROSPATIAL, de l'IUT de Kourou ont présenté les premiers résultats de ce projet et répondu aux diverses questions. Un pot a clôturé cette opération.

G07H315 Photo GAREF PARIS



G07H170 et H062 Photo Optique / Vidéo au CSG



G07H323 Photo CNES Photo Optique / Vidéo du CSG

De retour à Paris, les dépouillements et la rédaction du rapport d'expérience se poursuivent avec l'IUT de Kourou. **Un grand remerciement au CNES au CNES CSG et à tous les ingénieurs, techniciens, personnels du CSG**, qui pendant ces 10 jours de campagne se sont dévoués sans compter pour nous conseiller, nous aider et permettre la réussite de ce projet en toute sécurité. **Gros remerciements enfin aux Forces Armées en Guyane** dont les moyens ont permis la récupération de la nacelle en un temps record.

**GAREF PARIS Club scientifique de jeunes de Paris**  
Site Internet : [www.garef.com](http://www.garef.com)

Association **GAREF PARIS**, association pour le développement des loisirs scientifiques chez les jeunes - association sans but lucratif (Loi de 1901)  
Siège : 6, rue Émile Levassor - 75013 Paris - tel : +33 1 45 82 11 99  
Agrément Ministère de la Jeunesse et des Sports "Jeunesse et éducation populaire" n°75JEP05-337 - NAF : 913E - SIREN : 311 550 644



## **10.5 ANNEXE 4 : RAPPORT DE L'IUT de KOUROU**

Se reporter au volume 2.