

ASSURANCE RADIATIONS SUR BALLONS CNES

COMET ENV: BALLONS ET ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE

18/05/2022

CLS, Toulouse

Françoise BEZERRA, Expert Radiations

Historique des projets ballons ayant fait appel à DTN/QE/EC pour support RHA

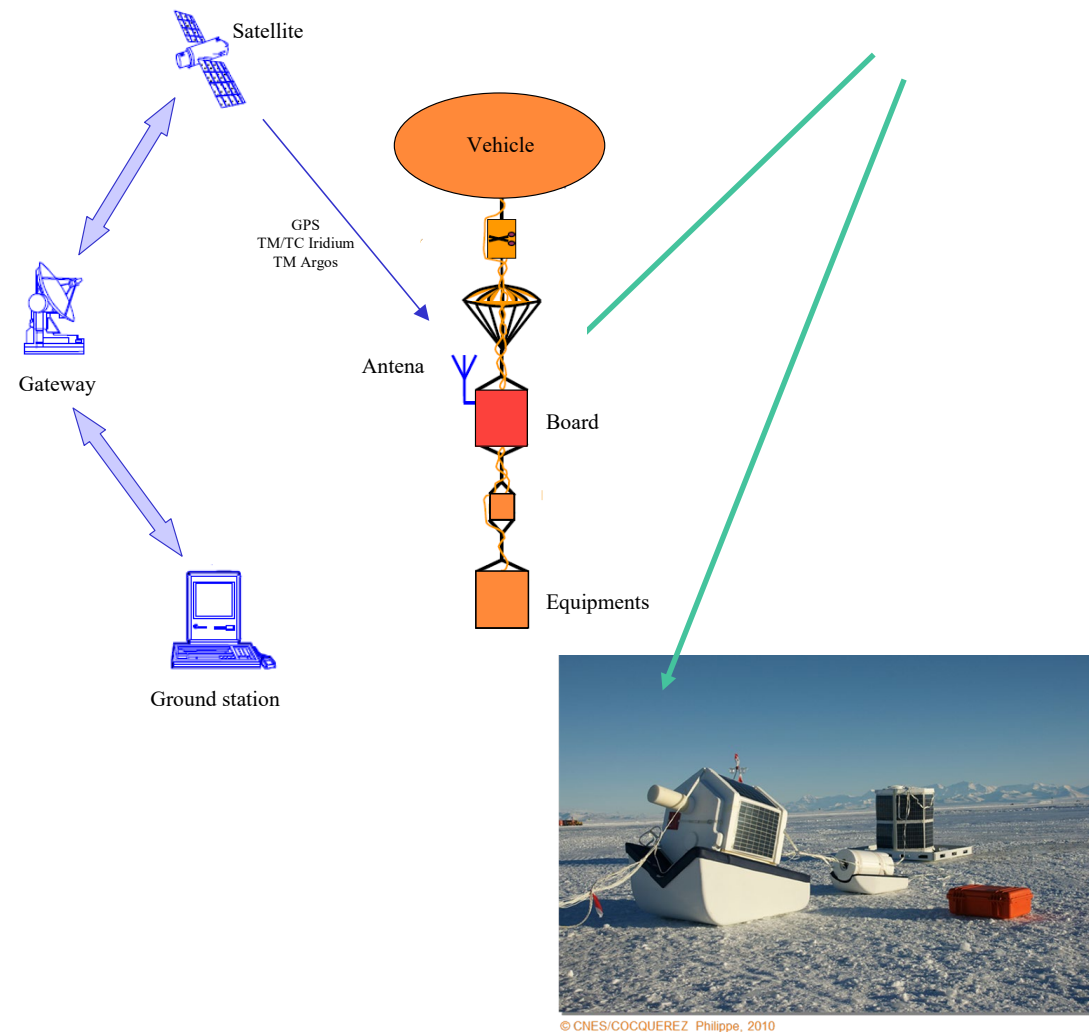


© CNES/COCQUEREZ Philippe, 2010

- ISBA (2007)
- NOSYCA – BSO Revol (2011)
 - **CONCORDIASI (2011)**
- BPS – STRATEOLE2 (2015-2019)
- TMTC_SLNK Coopération UNAM (2015-2016)
- Nouvelles nacelles (2020- en cours)

ISBA (Iridium gondola for Stratospheric Balloons)

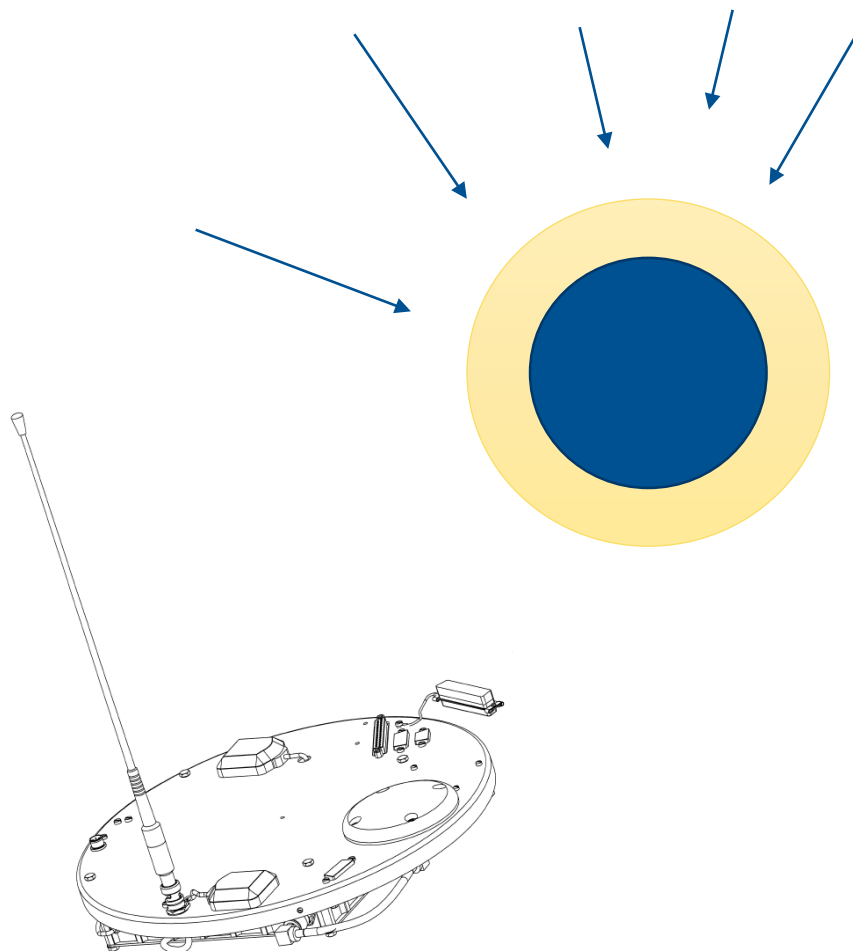
Nacelle de servitude pour les Vol Longue durée:



Embarque 2 μ Contrôleurs COTS (P89C51RC2FA):

- - **μ C minuterie:** Commande séparation (fin de vol) sur tempo programmée (programmation modifiable en vol)
- - **μ C central (même composant) :** Commandes de montée (lest), descente (clapet) et séparation (sur TC)
- **Risque identifié par analyse SdF :**
 - - μ C minuterie non redondé, ni protégé par mécanisme logiciel ou autre: un SEU peut entraîner la perte de la mission (panne avance) avec potentiel risque sauvegarde.
 - - Un SEL n'entraîne pas de perte de mission ni risque sauvegarde (sauf cas de double panne).
- **La demande concerne donc une étude SEU du μ C de la fonction minuterie**
=> TRAD (Analyse environnement et Test)

ISBA (Iridium gondola for Stratospheric Balloons)



- Etude environnement/blindage:

- Modélisation des protons solaires à 1500km (OMERE)
- Modèle atmosphérique du Naval Research Laboratory.
- Calcul Monte Carlo 3D avec FASTRAD et GEANT4.

- Déterminer les flux à 40km

- Cas pire: éruption solaire octobre 89
- Cas moyen (pôle et équateur)

- Conclusion:

- Quelle que soit la sensibilité du composant, les taux d'erreur à l'équateur seront négligeables.
- Les taux d'erreur aux pôles donneront une estimation du risque pire cas pour toutes les autres missions possibles.
- Les calculs effectués au pire moment d'une éruption solaire, donnent des taux d'erreur au moins 20 à 30 fois supérieurs à ceux réalisés en condition moyenne.

ISBA (Iridium gondola for Stratospheric Balloons)

- Essais protons sur carte à KVI (02/2008)
- Sur P89C51RC2FA (ancienne génération) et P89V51RC2FA (nouvelle génération):
- SEU (saut dans le compte à rebours de la fonction minuterie)
- SET (perturbation sur les signaux de commande Pyro.)
- Test avec protection SEL

RUN	Ref des composants	N° comp	Energie des protons MeV	Fluence #/cm²	Flux #/cm².s	SEL Events	SEL Cross-Section cm²
1	P89C51	1	150	1.00E+10	2.15E+7	0	-
2	P89C51	1	150	5.00E+10	8.33E+7	0	-
3	P89C51	1	190	5.00E+10	8.33E+7	0	-
4	P89C51	2	190	5.00E+10	8.33E+7	1	2 E-11
5*	P89C51	2	190	1.71E+11	8.33E+8	0	-
6**	P89V51	1	190	4.23E+10	6.14E+8	6	1.4 E-10
7	P89V51	2	190	5.00E+10	8.33E+7	3	6 E-11
8**	P89V51	4	190	4.81E+10	8.33E+7	3	6.2 E-11
9***	P89V51	4	190	3.73E+10	8.33E+7	-	-

Résultats:

- Pas de SEU ni de SET mais du SEL!

- Version V plus sensible que version C
- Sur version V délai d'attente de 5s nécessaire pour redémarrage avec la bonne consommation.
- Essai avec SEL maintenu (Isel ~290mA)
 - Pas de destruction du composant
 - Perte de fonctionnalité pendant le SEL

Recommandation :

Pour être tranquille et face aux conséquences sauvegarde, il semble bon de prévoir localement des mécanismes de détection / correction des phénomènes radiatifs dès le départ, afin de robustifier les architectures plutôt que de financer des analyses systématiques de sensibilité aux radiations.

Mise en garde QE/EC:

La conception d'un délatcheur sans résultat de test est hasardeuse car on ne connaît pas le niveau des courants de SEL.

NOSYCA

Nouvelles Nacelle de servitude pour:

- BSO
 - 72h max, Toutes latitudes
- BSO longue Durée
 - Jusqu'à 10j à 40km
- Eventuellement BPS ou MIR
 - Plusieurs semaines à 20km

Support apporté:

- Analyse de DCL
- Présentation aux architectes des différentes techniques de protection contre SEU, SET, SEL.

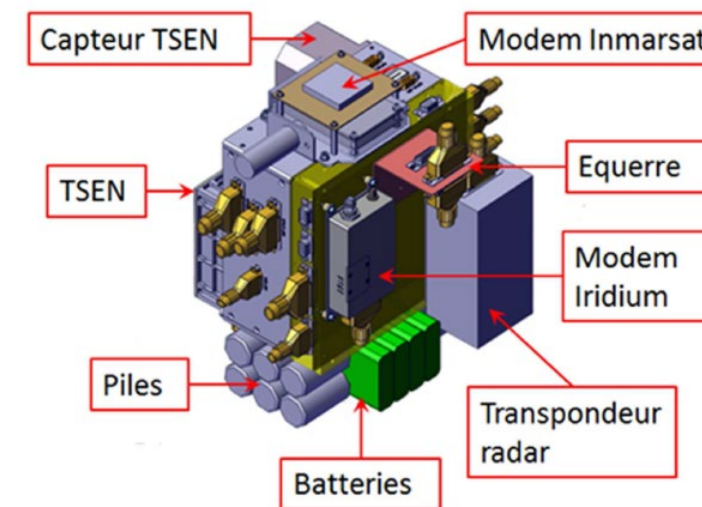
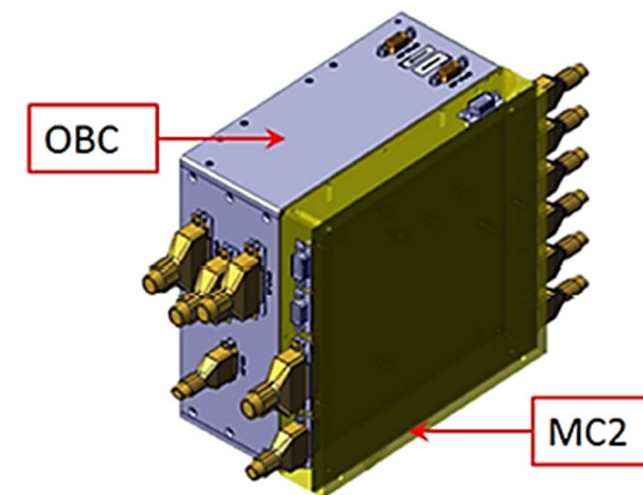
- Identification de 6 références CMOS potentiellement sensibles aux SEL et de 9 autres composants sensibles aux SET/SEU avec impact sur la disponibilité.
- Implantation de délatcheurs
- Evaluation de l'impact sur la disponibilité de la non prise en compte du risque SEU/SET/SEFI sur les architectures bord des nacelles NOSYCA.
- Pour BSO-Revol pas de robustification
- Pour la suite, pour les vols de longues durée sont envisageables:
 - triplication contexte SRAM et LV incluant la vérification.
 - relecture NVRAM en cas d'erreur CRC.
- Ces améliorations seront éventuellement mises en œuvre en fonction du REX des premiers vols.

STRATEOLE-2 / BPS

Programme d'observation de la tropopause équatoriale

Première mission BPS/VLD:

- Vols de Longue Durée (VLD) 3-4 mois
- Ballons Pressurisés Sphériques (BPS)
- Altitude 20km => plus de neutrons et moins de protons que pour BSO
- Nacelle de servitude EUROS
 - OBC
 - MC2
 - Equipements COTS
- Nacelle Charge Utile ZEPHYR



STRATEOLE-2/BPS: Première approche « faible coût »

Revue de design OBC et MC2 (Module de régulation et distribution d'énergie renouvelable).

- Protections SET/SEU implémentées (watch-dog, CRC et triplication).
- SEL: Test retenu au niveau composant seulement sur les « gros composants »
 - Seul le μ P est sensible au SEL
 - Protection SEL prévue + WDG externe.
 - Précautions logicielles.
- Tests effectués sur composants avec appro. stratégique.
- Test au niveau carte envisagé pour validation finale mais son coût et le sacrifice d'un modèle ont finalement conduit à renoncer à l'essai au CERN.

Type	Réf	Fabricant
μ p ARM7	LPC2388FBD144	NXP/PHILIPS
Mémoire Flash série	M25P128-VMF6P(ou G)B	NUMONYX/MICRON TE
FRAM	FM24V05-G	CYPRESS
Interface I2C/SPI	SC16IS750IPW	NXP

Cas des équipements COTS: inmarsat



- Les plus critiques: Communication Satellitaire
- Design figé, pas de traçabilité design ni lot
- Approvisionnement stratégique impossible (coût)
- Essai impossible (déport antenne)

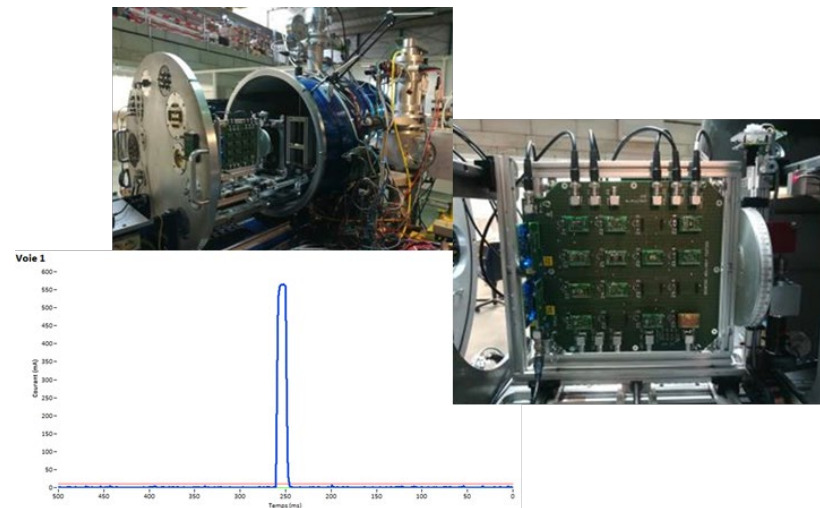
STRATEOLE-2/ BPS : Approche exhaustive en SEE destructifs

Suite à Revue de Conception Détaillée BPS

- Equipements des fonctions critiques de sauvegarde
 - OBC 1 et 2
 - IO1 et IO2
 - MC2 nouvelle version
- 45 composants candidats au test SEL ou SEB
 - En interne CNES quand c'est possible (35)
 - Confiés à TRAD sinon (10 références)
- Tests ions lourds quand ouverture possible pour capitalisation des résultats vers multiprojets.
- Test protons sinon – couvrent risques ballons
- Même approche appliquée dans un second temps sur 8 composants issus de la carte batterie.

Résultats:

- Certains composants sont sensibles au SEL mais aucun ne présente de risque SEE destructif en environnement ballons.
- Le MAX809 est sensible aux SET et pourra présenter quelques SET en vol ballon. Ces SET peuvent entraîner un reset de la fonction GPS et engendrer une indisponibilité mission.
- L'optimisation des bancs de tests a permis de répondre au besoin de tester un grand nombre de références en un temps faisceau raisonnable

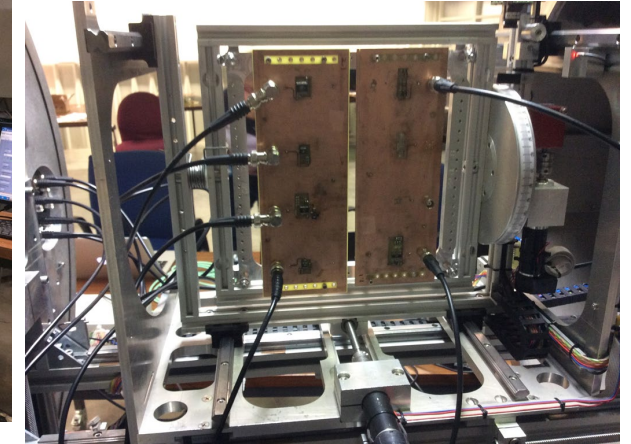
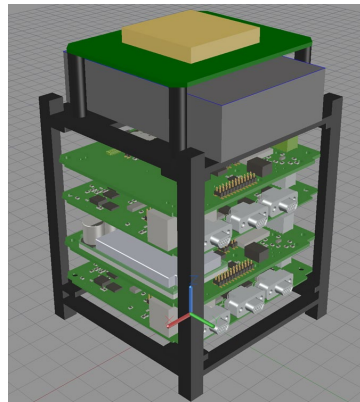


TMTC_SLNK

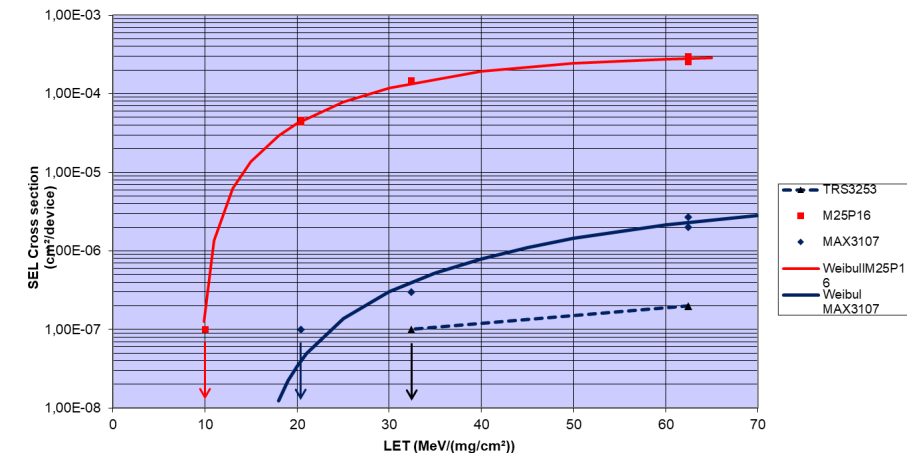
Projet de coopération Franco-Mexicaine

Modem TM-TC format Cubesat

- Design modulaire
- Iridium + inmarsat
- GPS + GLONASS
- 500g, 3k€



- 16 références testées en SEL sous ions lourds à l'UCLouvain
 - 3 Sensibles au SEL => déclatoueur nécessaire
- MCU non testé car ouverture impossible
 - Nécessitera test protons ultérieur



NOUVELLES NACELLES (EN COURS)

Objectif: Validation des composants des OBC et/ou Cœur Numériques Ballons.

- OBC générique toutes filières confondues
 - Possiblement 2 à 3 mois de vols à 20 km
 - Vols polaires
 - ...

- **Analyse DCL**
 - Identification du besoin en test SEL/SEB
 - 2 campagnes envisagées en 2022
 - Suspendu dans l'immédiat

- **Action en cours côté BL pour réduire le nombre de références**

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Et merci aux autres équipes DTN/QE qui ont accompagné ces travaux (SF, CQ, LE)