

COCOTE

(COmpact COmpton TElescope)

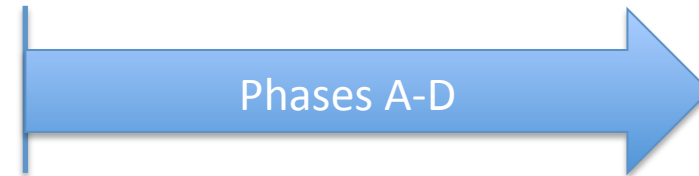
Vincent Tatischeff (IJCLab, Orsay)



COMET ENV « Ballons »

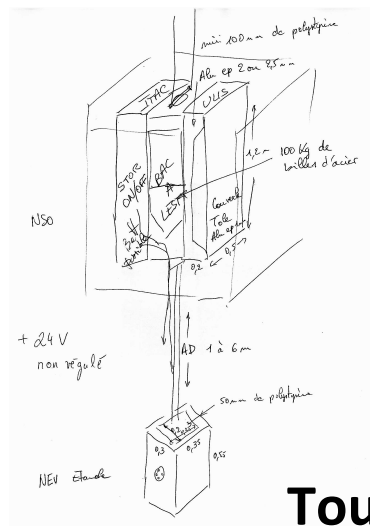
17 mars 2016

2 juillet 2016



“Kick-off Phase 0” (dans un bar avec Jean Evrard, Peter von Ballmoos & Philippe Laurent)

Lancement à Aire-sur-l’Adour

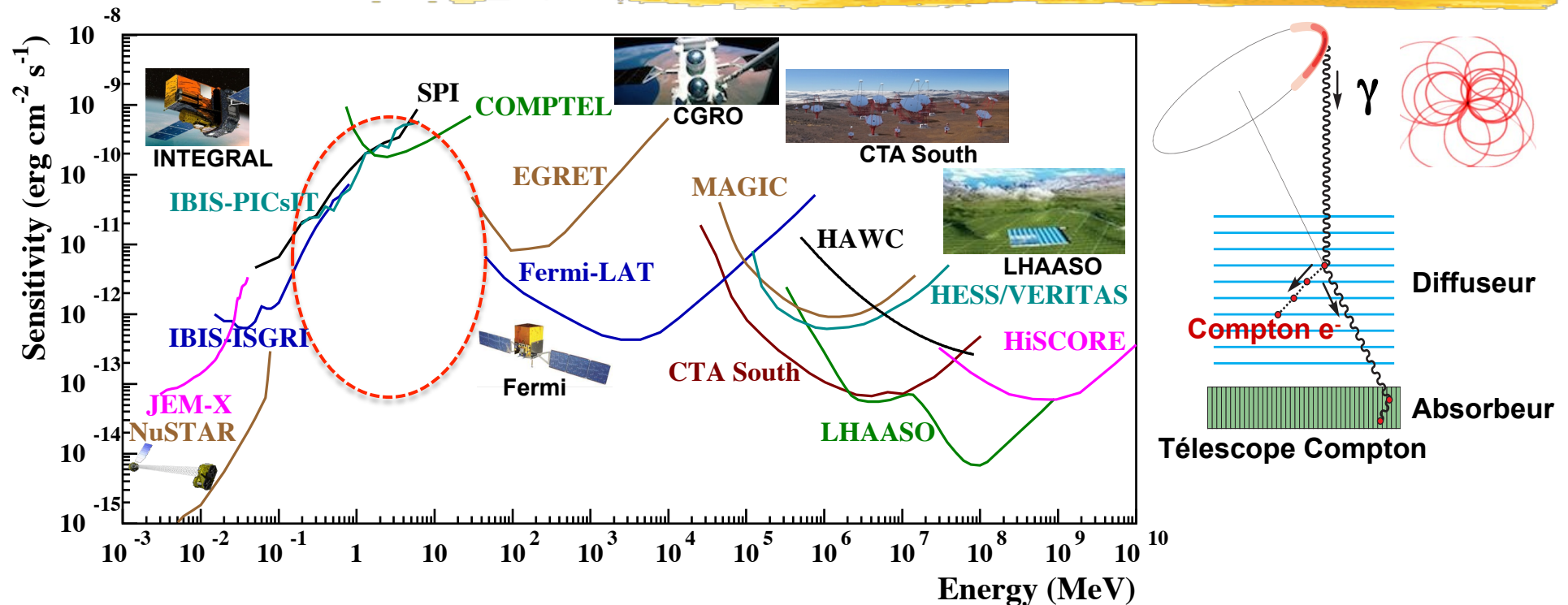


Toulouse

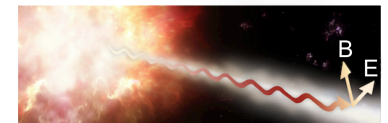
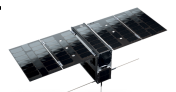


18 mai 2022

Développement de l'astronomie gamma au MeV ²

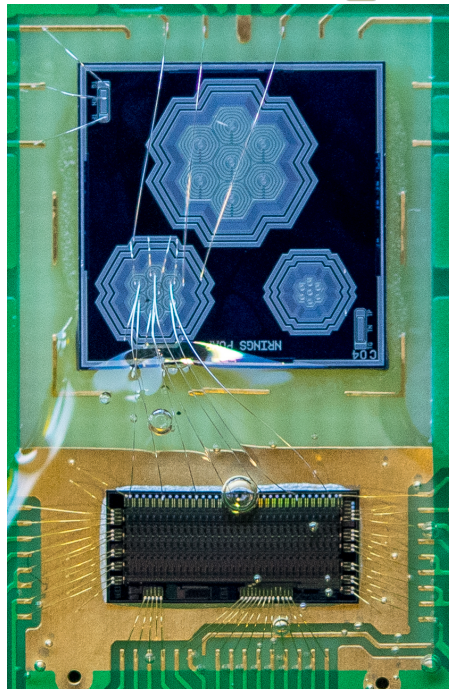


- **Domaine clé pour l'astronomie multi-messagers** et la **spectroscopie nucléaire**
- Mais l'un des moins bien couverts du spectre électromagnétique (seulement quelques dizaines de sources stationnaires connues entre 0.5 et 30 MeV)
- ⇒ Développement d'un **télescope Compton** de nouvelle génération
- ⇒ Projet CubeSat **COMCUBE** : **polarimétrie des sursauts gamma**
- ⇒ Projet ESA M7 **ASTROGAM** (lancement en 2037)



18 mai 2022

Assemblage Intégration & Tests (1)

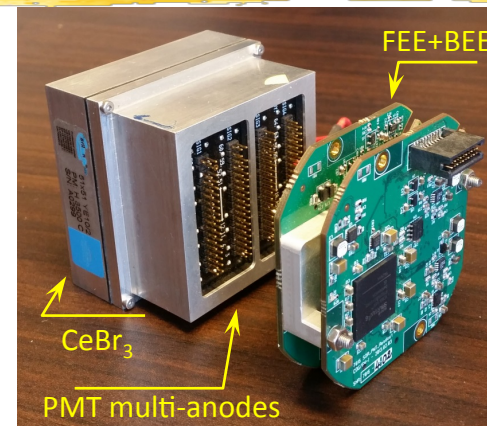


Diffuseur : Détecteurs à silicium pixellisé (CEA, HLL)

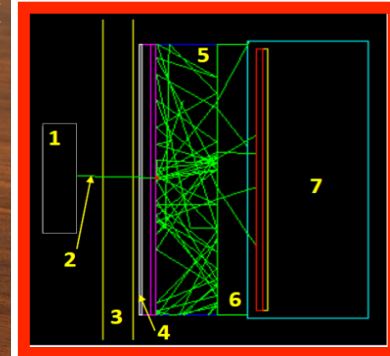


Cocotte en aluminium

V. Tatischeff



Absorbeur : Scintillateur en CeBr_3 (CNRS)



© J. Peyré

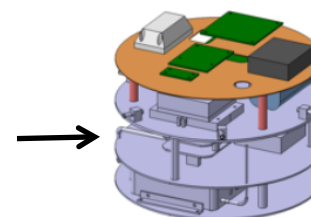
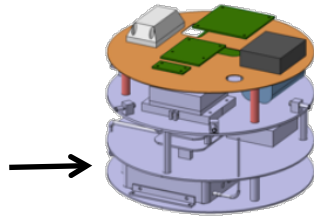
COMET ENV « Ballons »

Toulouse

18 mai 2022

Assemblage Intégration & Tests (2)

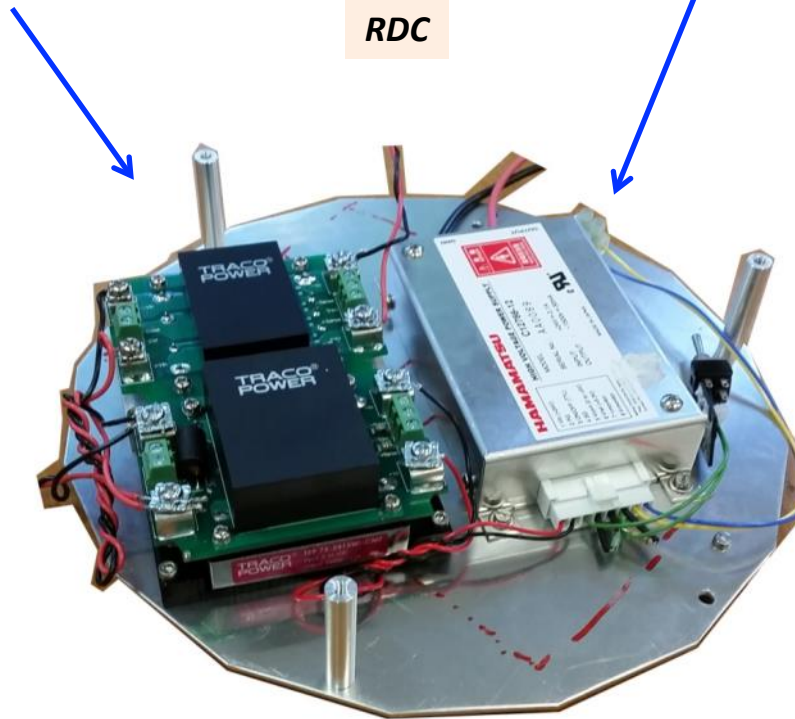
4



*Convertisseurs DC-DC
10-36V vers 15V et 24V*

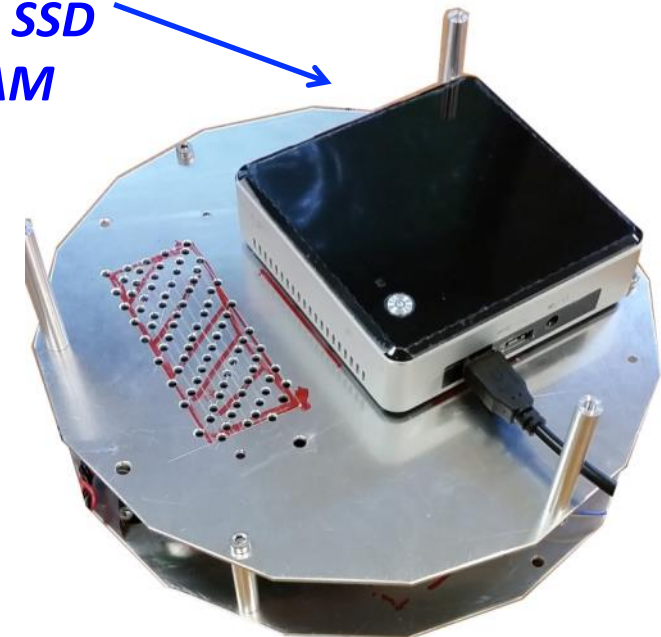
*Alimentation HT
-1000V*

RDC



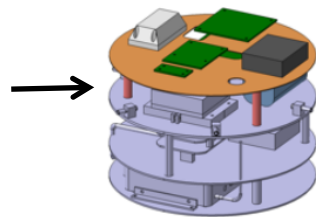
*PC Core i5
256 Go SSD
8 Go RAM
Wifi*

1^{er} étage

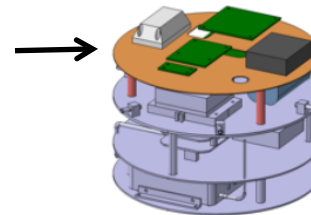


© J. Peyré

Assemblage Intégration & Tests (3)



2^{ème} étage



3^{ème} étage

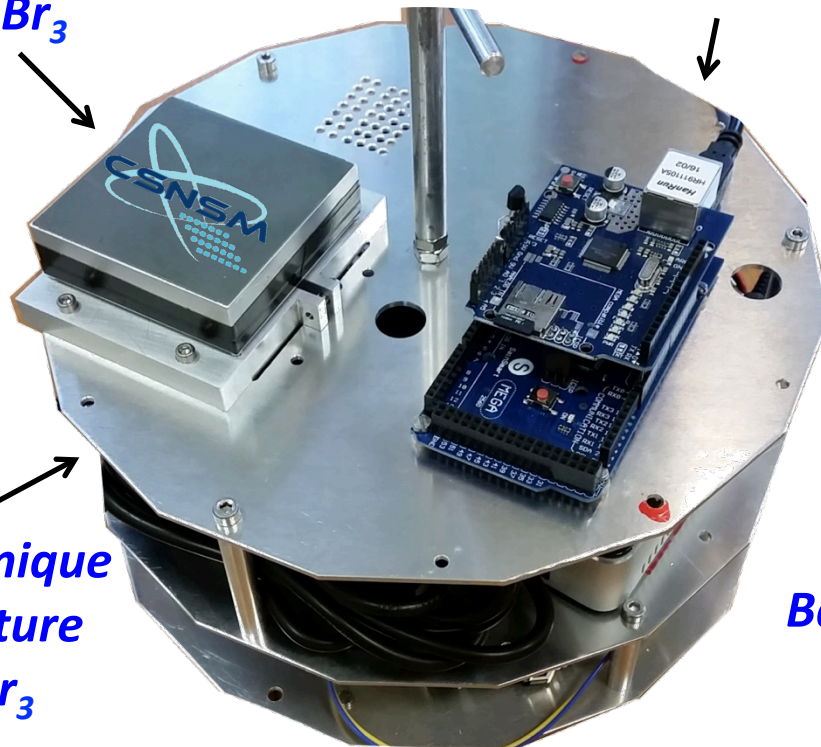
Electronique
de lecture Si

Détecteur
 CeBr_3

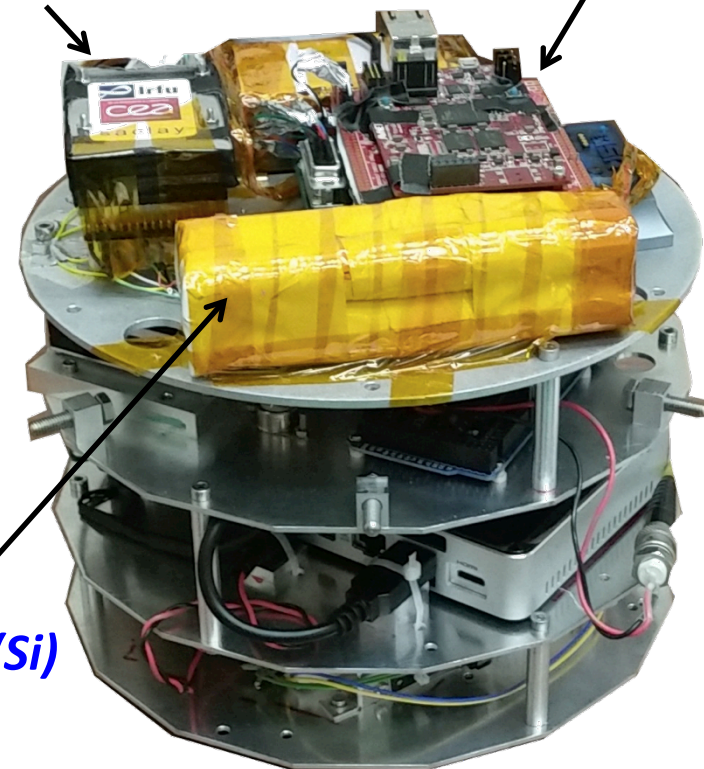
Arduino avec
mesure $T^\circ\text{C}$

Détecteur Si

Electronique
de lecture
 CeBr_3



Batterie (Si)



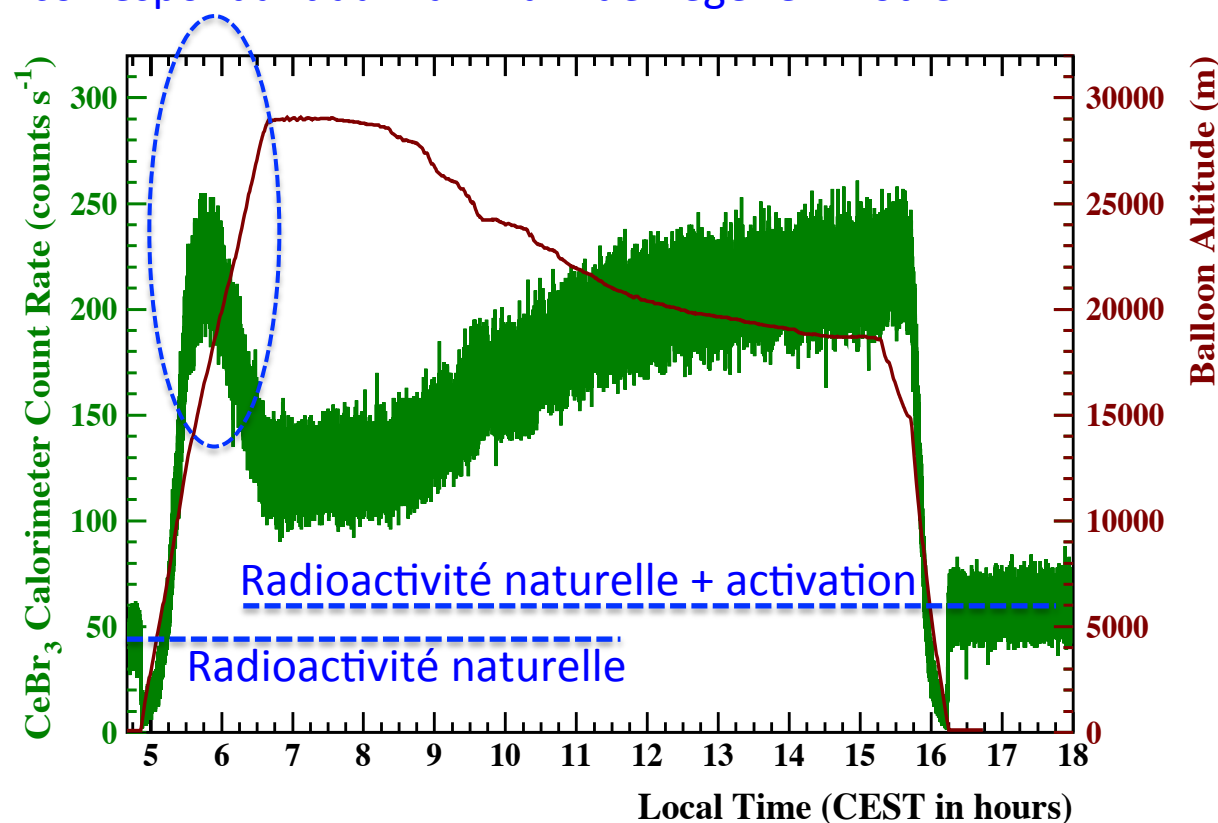
© J. Peyré

18 mai 2022

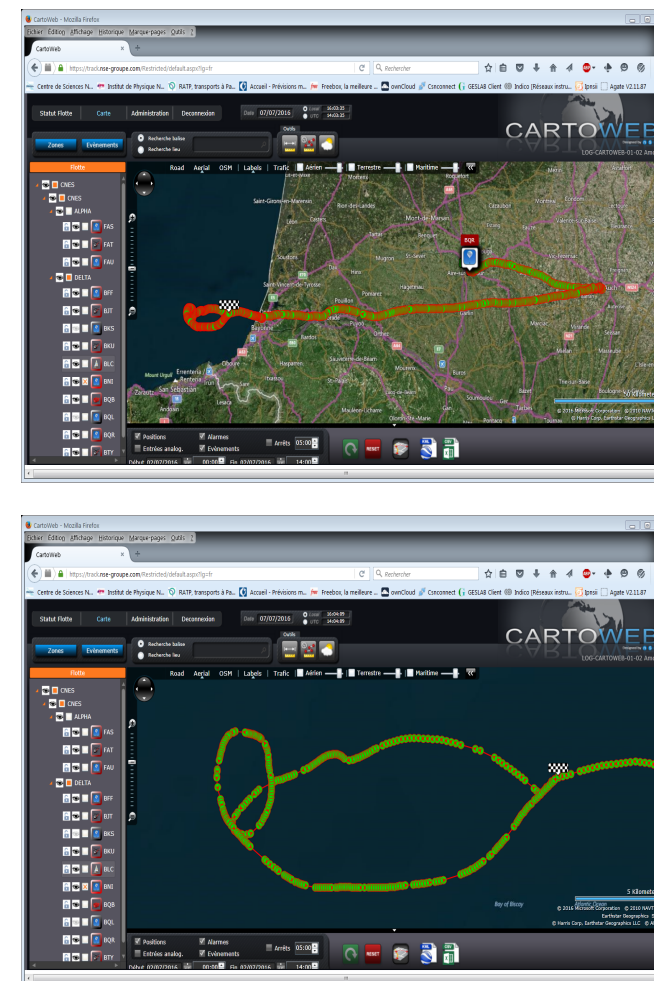
Profil du vol et taux de comptage CeBr_3

6

Taux de comptage maximum à l'altitude 15-20 km
(profondeur atmosphérique 50-100 g cm^{-2})
correspondant au maximum de Regener-Pfotzer



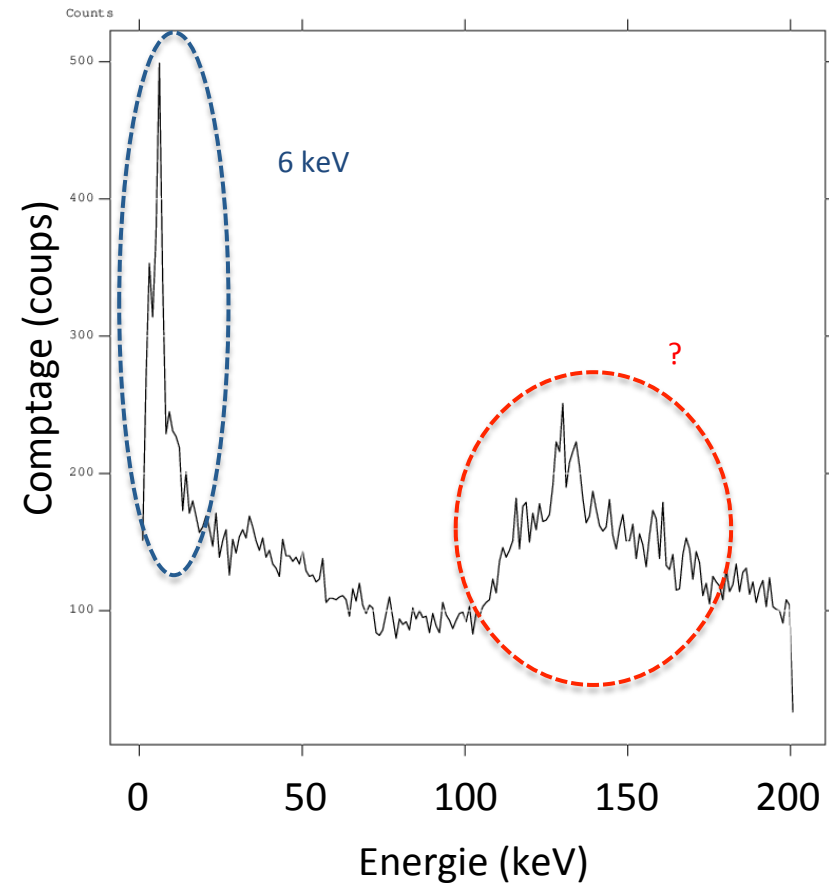
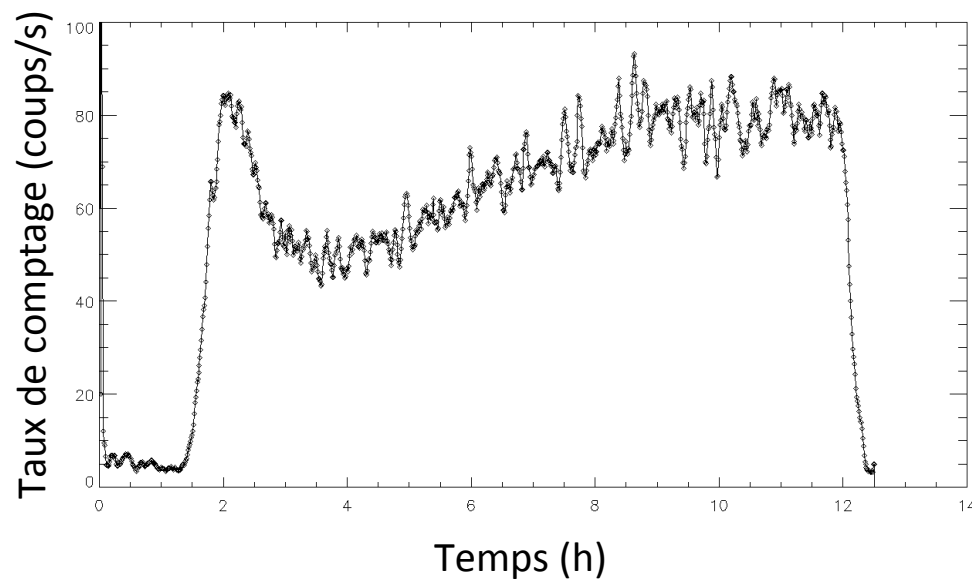
Parcours à 14h00



- Prise de données pendant environ **11 heures** à différentes altitudes

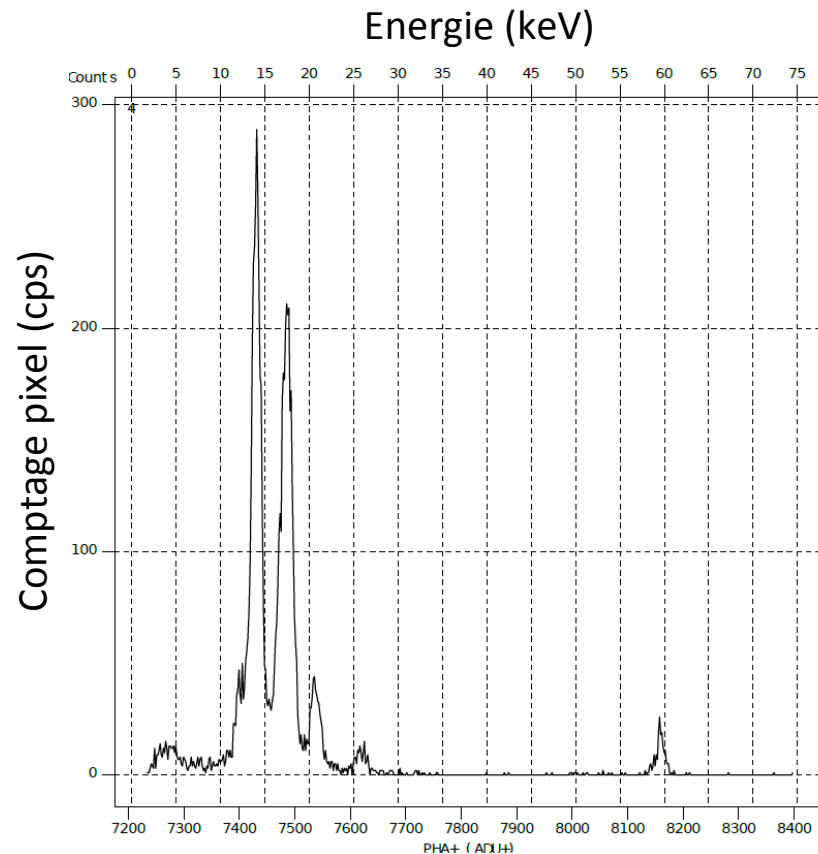
Taux de comptage et spectre silicium

Evolution du taux de comptage similaire au CeBr_3
 6 keV : Fluorescence ?
 ~ 130 keV : Rétrodiffusion ?

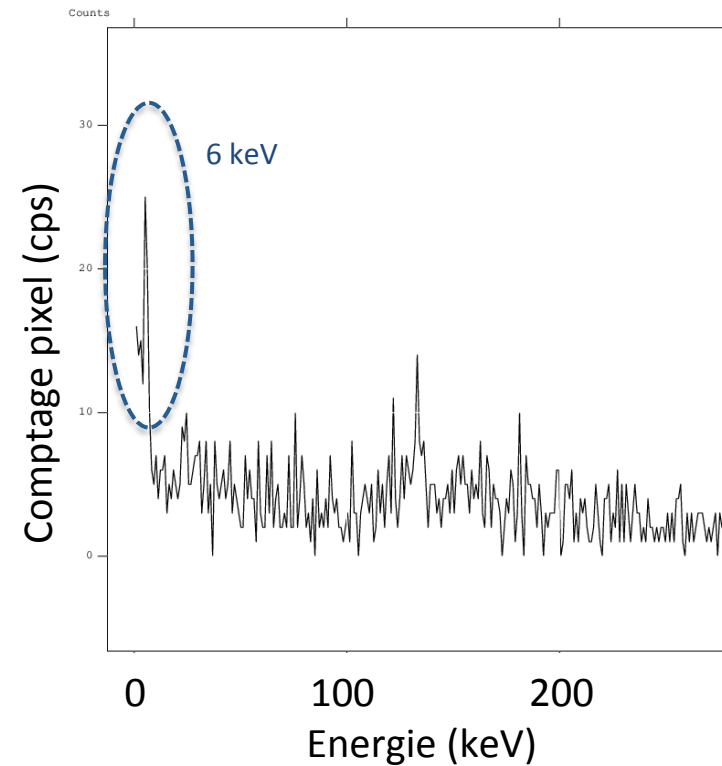


Spectre des 28 pixels
 sur la durée du vol

Spectre silicium (1 pixel)



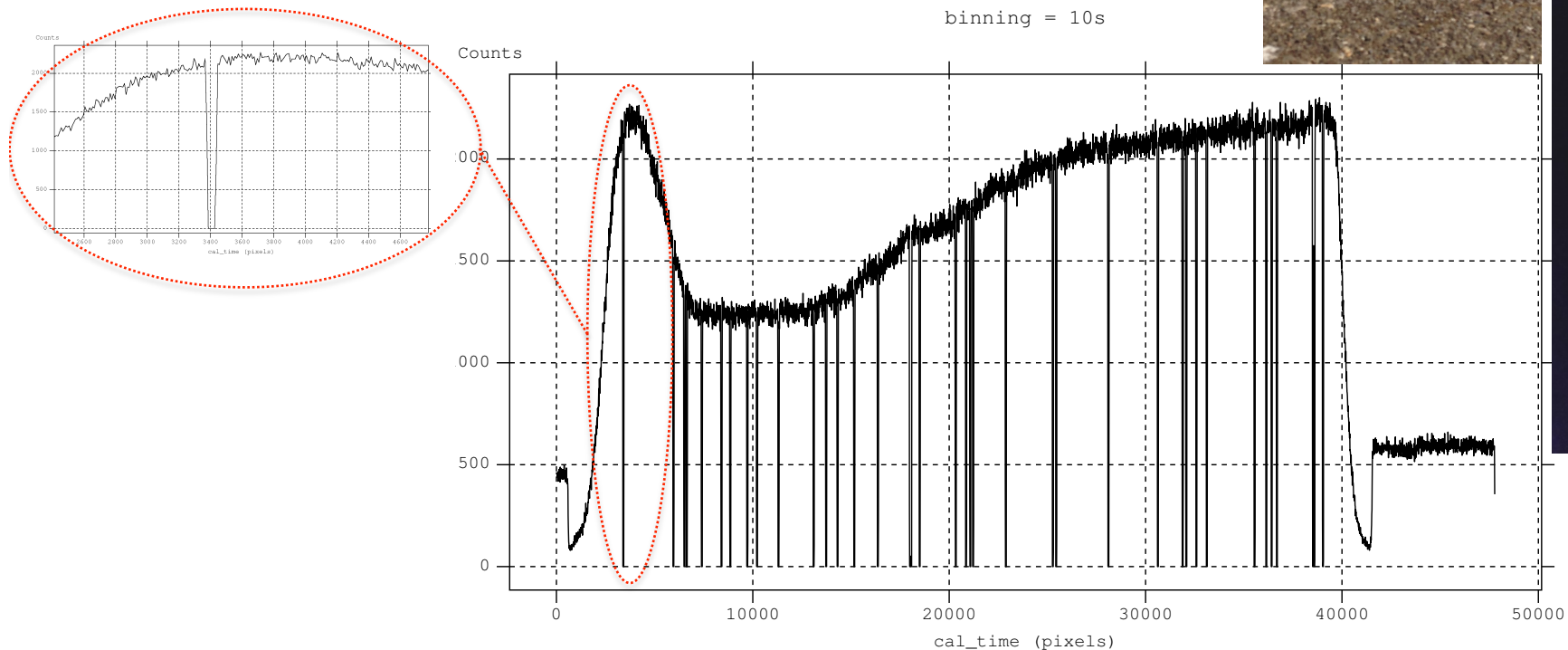
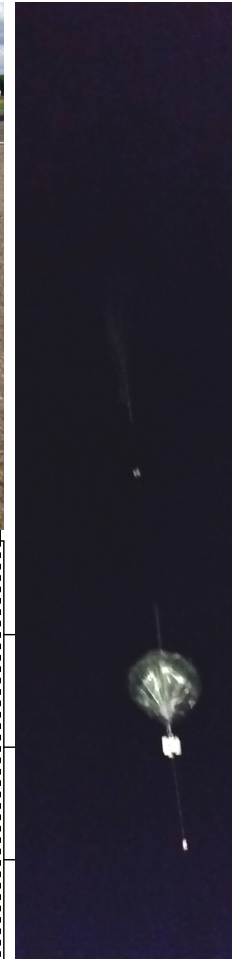
Spectre de calibration
(^{241}Am) : pixel 195



Spectre du pixel 195
sur la durée du vol

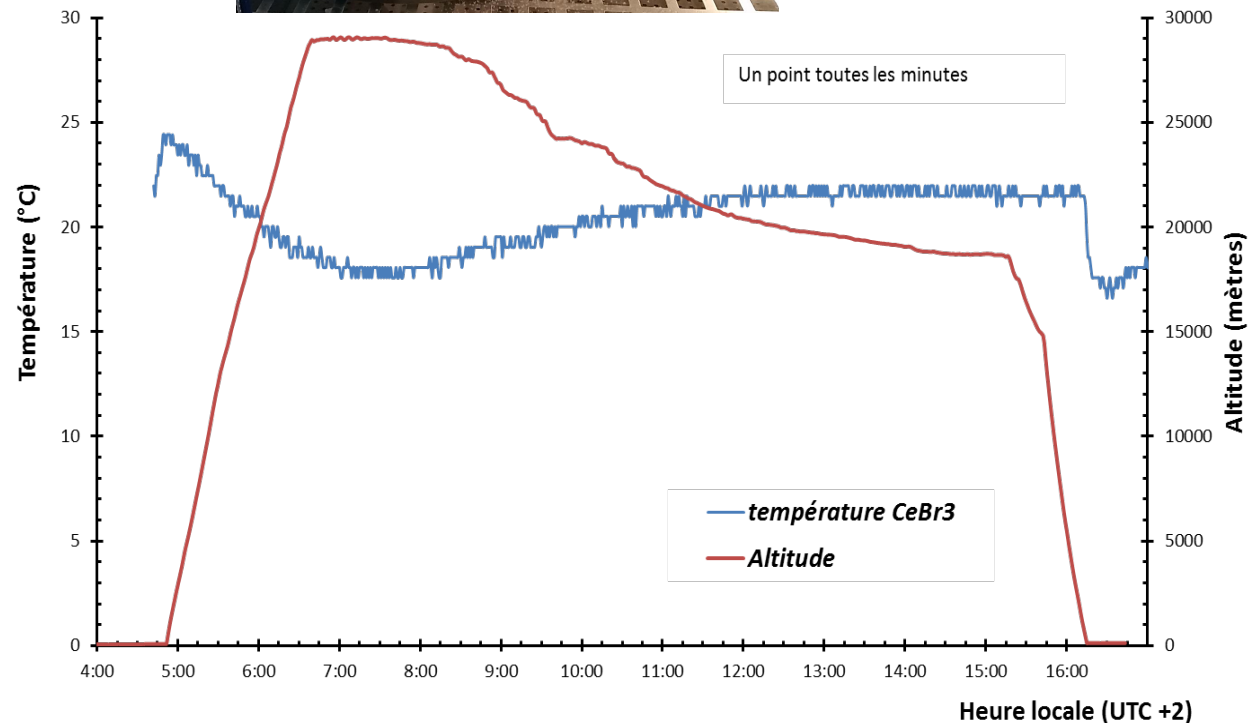
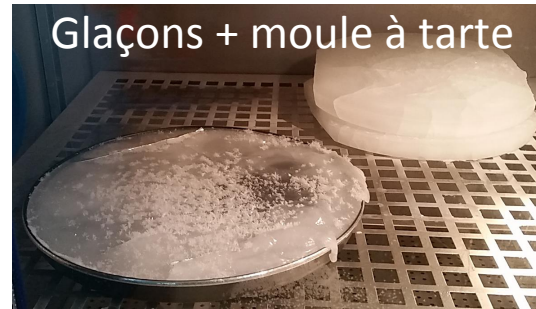
Perturbation par les particules ionisantes⁹

- Démarrage de l'acquisition de données au branchement du câble d'alimentation, sans envoi de commandes au PC embarqué (contrainte apprise 5 jours avant le lancement...)
- ⇒ Redémarrage automatique de la prise de données après chaque reboot du PC embarqué dû à des « **single event effects** », toutes les ~15 min au-dessus de 15 km d'altitude



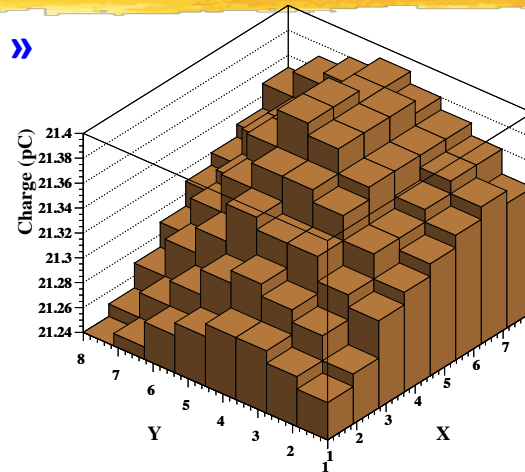
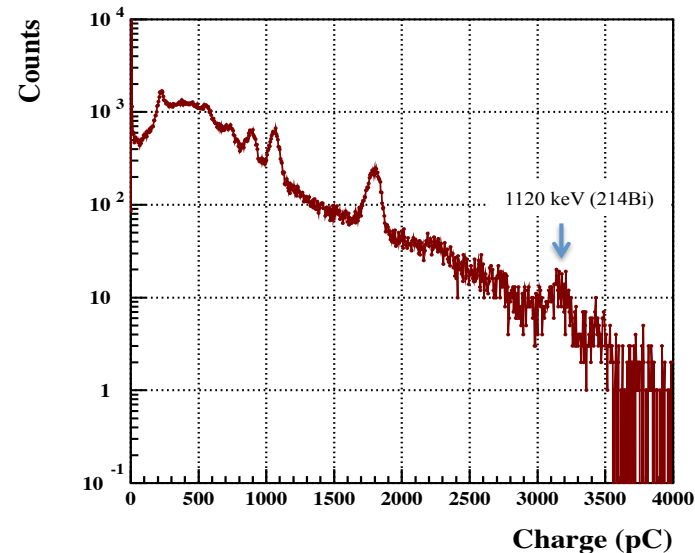
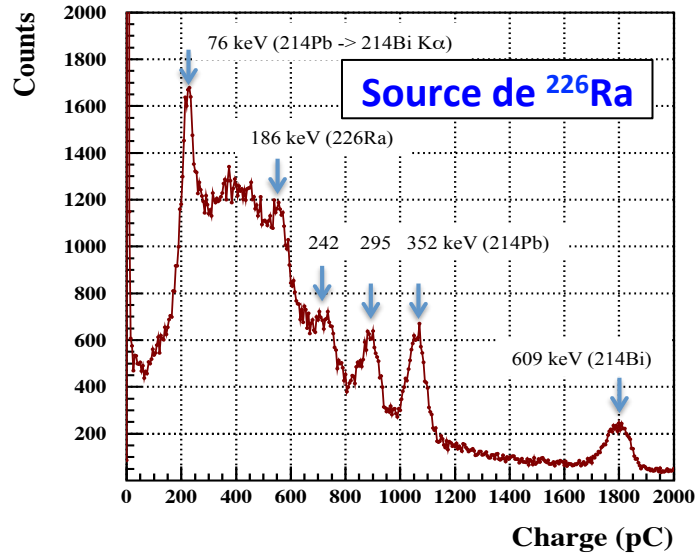
Régulation thermique

- Tests de qualification en T° (enceinte climatique) + simulation...
 - **Glaçons à -50°C** disposés au fond du conteneur NEV
- ⇒ **T° régulée entre 18°C et 24°C pendant toute la durée du vol !**



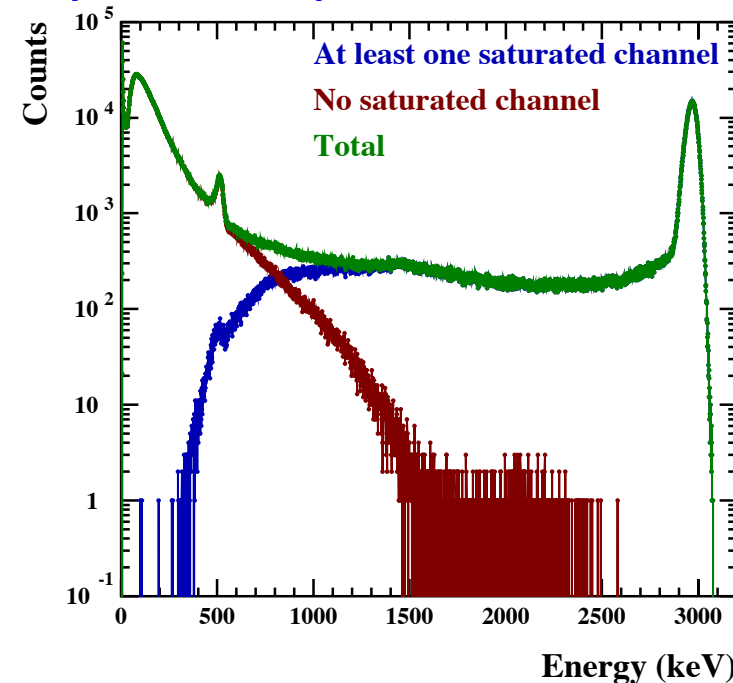
Spectres gamma (absorbeur)

Calibration au sol avec « le réveil de Peter »



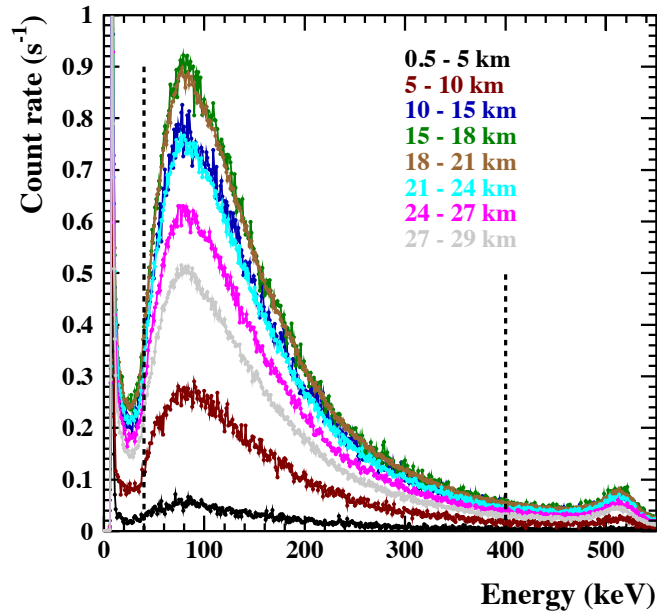
Distribution des 64 charges du PMT multi-anodes pendant le vol

Spectre total pour altitude $h > 500$ m



Emission gamma atmosphérique

Spectres pour 8 intervalles d'altitude



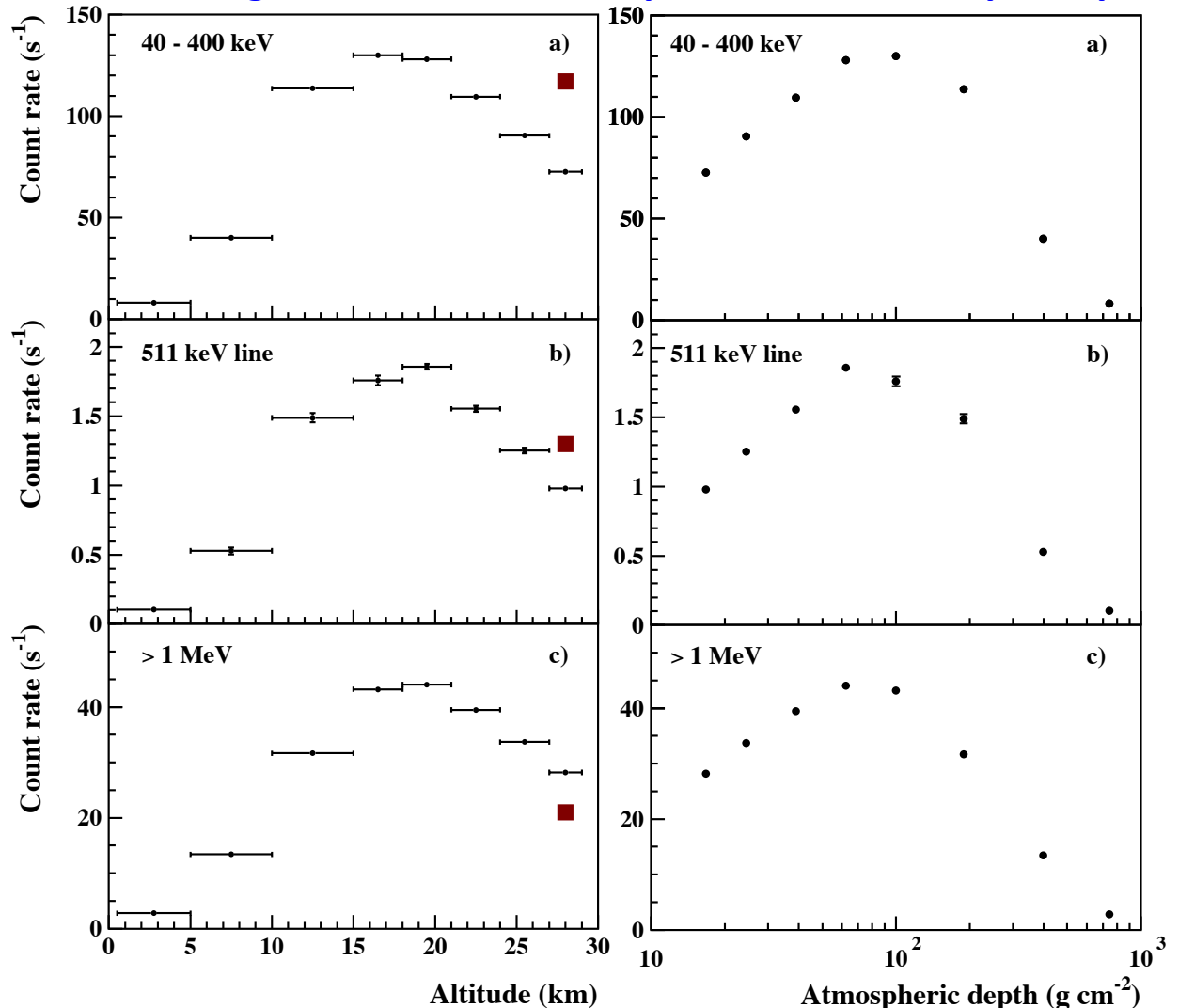
Simulation du fond atmosphérique à 28 km avec le modèle EXPACS
<https://phits.jaea.go.jp/expacs/>

Taux de comptage 40 - 400 keV:
Simu = 117 s⁻¹; Mes = $72.56 \pm 0.10 \text{ s}^{-1}$

Taux de comptage à 511 keV:
Simu = 1.3 s⁻¹; Mes = $0.98 \pm 0.02 \text{ s}^{-1}$

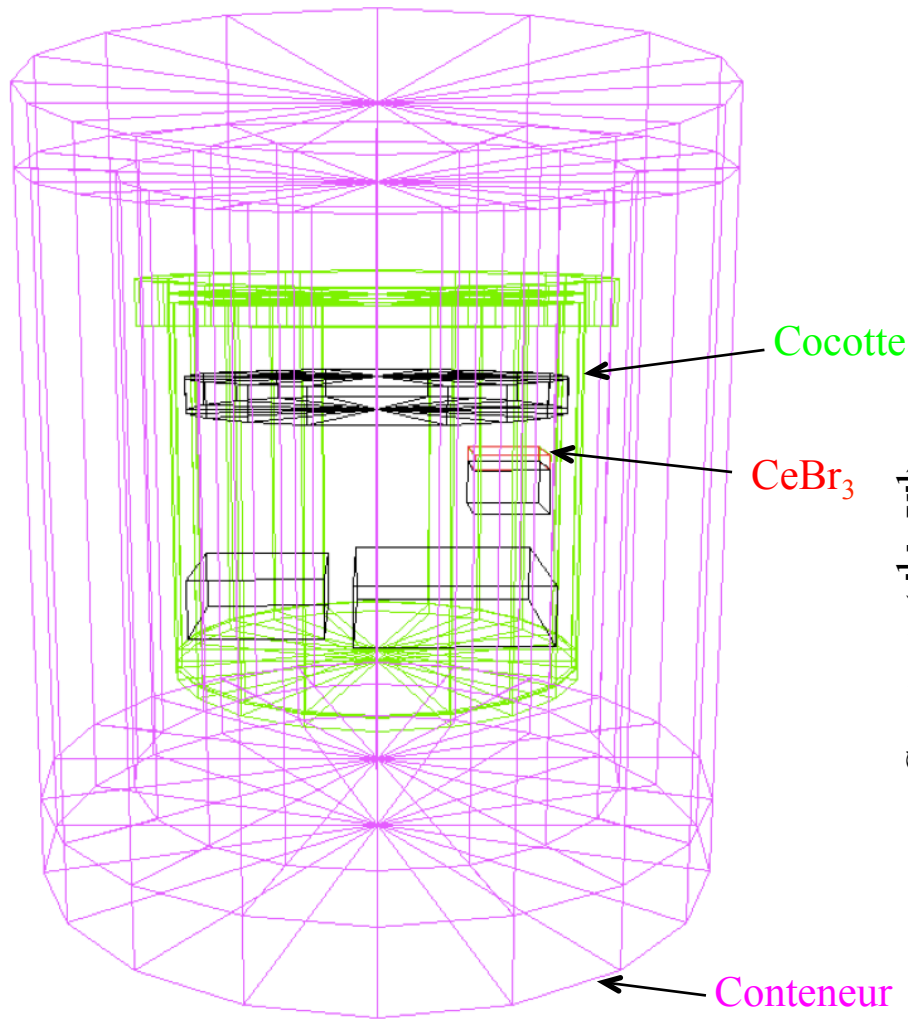
Taux de comptage $E > 1 \text{ MeV}$:
Simu = 21 s⁻¹; Mes = $28.20 \pm 0.06 \text{ s}^{-1}$

Emission gamma vs. altitude / profondeur atmosphérique

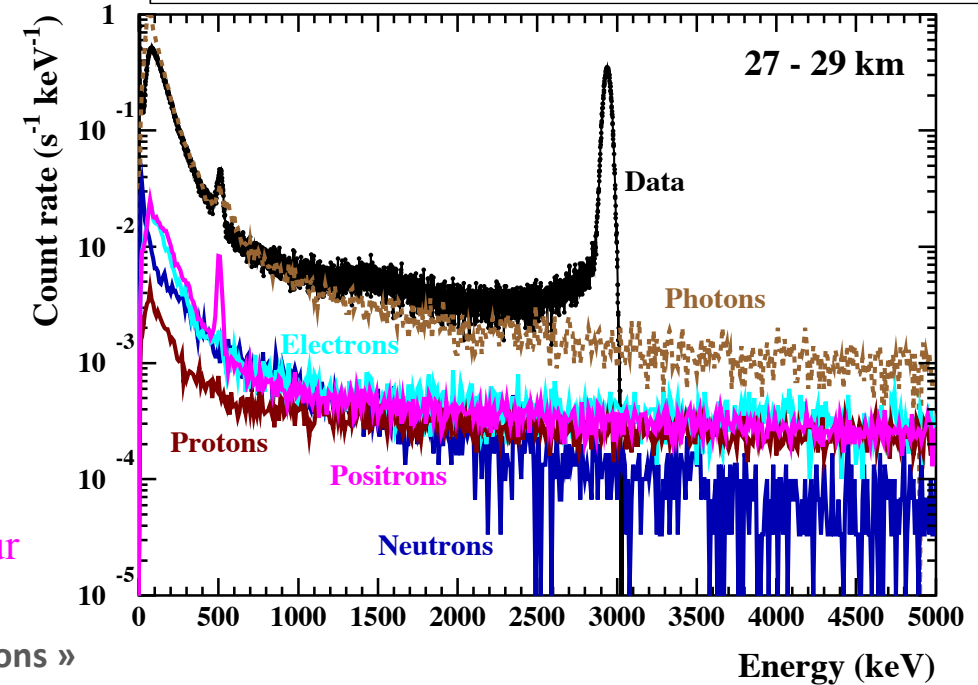
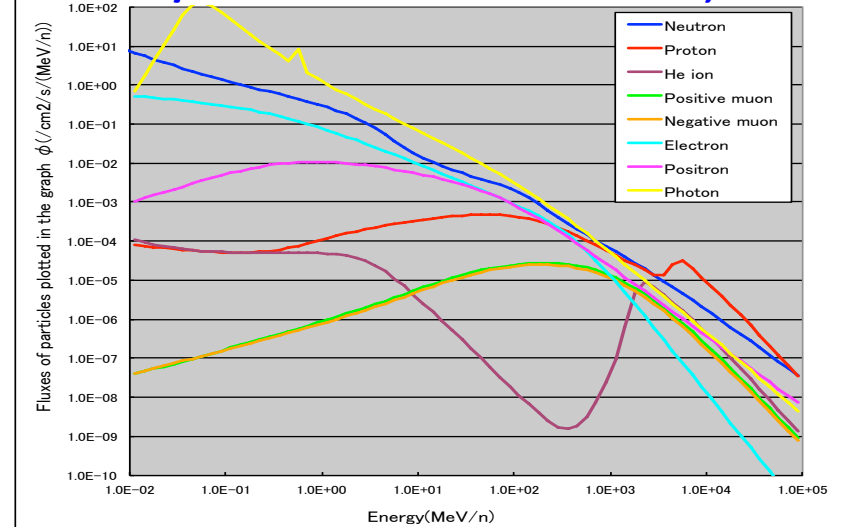


Simulation du fond atmosphérique

Modèle numérique MEGAlib/GEANT4

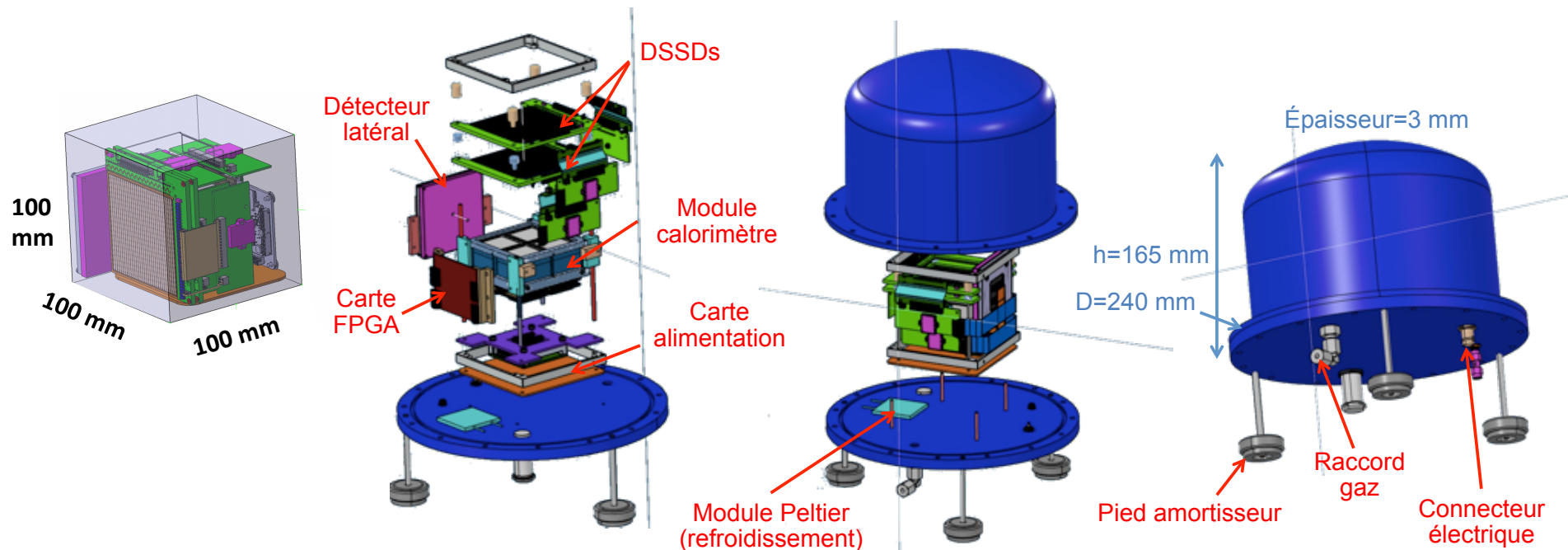


EXPACS/PARMA - Aire-sur-l'Adour, 28 km



COMCUBE

- **Projet européen (H2020) de mission CubeSat** pour (i) la surveillance du ciel gamma (astronomie multi-messagers) et (ii) la **polarimétrie des sursauts gamma**
- Demande de participation à la **campagne de vols en BSO** prévue à l'été 2023 depuis la base de **Timmins** (Canada) => **détection de la nébuleuse du Crabe**
- Remarque : bruit de fond atmosphérique **~2 fois plus élevé à Timmins** ($R_{\text{cut}}=1.07$ GV) qu'à Aire-sur-l'Adour ($R_{\text{cut}}=5.26$ GV) (flux de protons ~5 fois plus élevé) => besoin de **~2 fois plus de temps d'observation** pour détecter la même source astrophysique



Conclusions

- Les expériences embarquées en ballon stratosphérique ont jouées et jouent toujours un rôle important pour le développement de **l'astronomie des hautes énergies**
- ⇒ Tests de nouvelles technologies dans l'environnement du proche espace, avec un **bruit de fond représentatif de celui en orbite terrestre basse** (tenue aux radiations des détecteurs et des électroniques de lecture)
- ⇒ De nouvelles expériences embarquées en ballon peuvent permettre des mesures inédites de **polarisation gamma de sources astrophysiques intenses** (sursauts gamma, pulsars, binaires X...)
- Ces nouvelles expériences bénéficieraient grandement de **vols de longue durée** (plusieurs jours) depuis une **base à basse latitude géomagnétique**

Etude des particules atmosphériques
(Amaldi et al., Sardaigne, 1950s)

