



R&D AstroSiPM
FGS (Flash Gamma-ray Spectrometer)

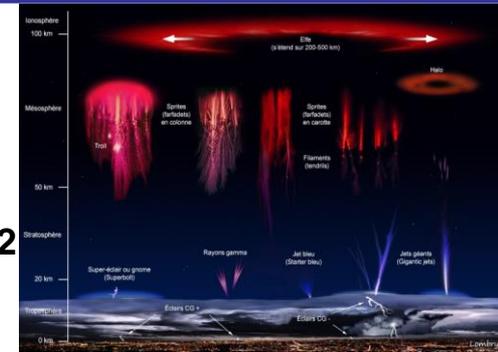
Journée R&T IN2P3
du 18/10/2022

Damien Pailot pour l'Equipe APC
Laboratoire AstroParticule et Cosmologie
[*dpailot@apc.in2p3.fr*](mailto:dpailot@apc.in2p3.fr)



Contexte

- Suite de la phase d'étude TARANIS-2 (CNES)
 - **2009-2020** : Développement XGRE (spectromètre gamma) à l'APC
 - **Nov 2020 et Juin 2021** - Echec lancement **TARANIS-1** et arrêt **Taranis-2**
 - **Juillet 2021**: Point clé de phase 0/A → Spectromètre gamma

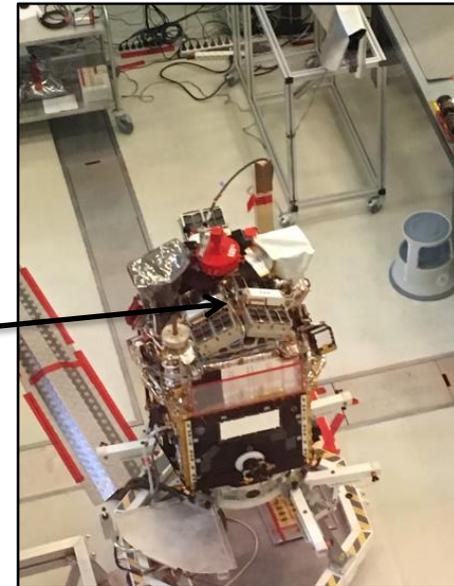


- Intérêt fort du CNES et APC
 - Détection des TGFs, sursauts gamma, source gamma transitoires, suivi de pulsars, Détection des raies gamma solaires
 - Météo spatiale, Planétologie : Fluorescence X ou analyse neutronique

- Développement d'une unité de base

- Multi-missions
- Modulable

XGRE – spectromètre gamma
→ Terrestrial Gamma-ray Flashes (TGF)





Principaux enjeux techniques

- Développer un **spectro-imageur gamma multi-missions**
 - 50 ph/ms/cm²
 - 20 keV – 20 MeV
 - Temps mort : 300 ns
 - @ 662 keV → Résolution 10%
- } **Objectif XGRE-NG**
- Porter le module de base et technologie à **maturité 5-6 spatial**
 - Explorer et évaluer des **nouvelles technologies**
 - **GaGG** → **Scintillateur nouveau sur le marché**
 - Méthodes d'enrobage
 - Comparaison types de GaGG et états de surface
 - **SiPM** → MPPC Hamamatsu, OnSemi (ex-SensL), FBK
 - Performance et couplage scintillateur
 - Analyse de construction, tests en radiation
 - **APOCAT** → ASIC de lecture conçu par IDEAS
 - Evaluation
 - Développement électronique de lecture
 - **FPGA NanoExplore** → Nouvelle génération



Organisation



- Responsabilité instrument
- Analyse de construction (vide, découpage) et irradiation SiPM

INSU



- Etude ASIC APOCAT (IDEAS)
- Développement de la chaîne de lecture
- FPGA NanoExplore
- Développement des EGSE

IN2P3



- Performances instrument / Etalonnages via sources radioactives
- Développement module détecteur Instrumentation et Essais
- Architecture mécanique instrument



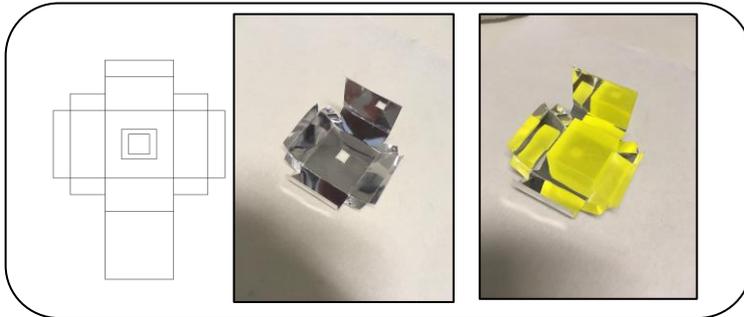
Calendrier

- Juillet 2021 → Démarrage R&D AstroSiPM
- Décembre 2022 → Point clé de phase 0/A
 - Evaluation de la chaîne de détection
- 2023 → Chaîne de détection complète
 - Développement du prototype
 - Essai vide / thermique
 - Vibration → A définir
- 2024 → Vol de démonstration ballon

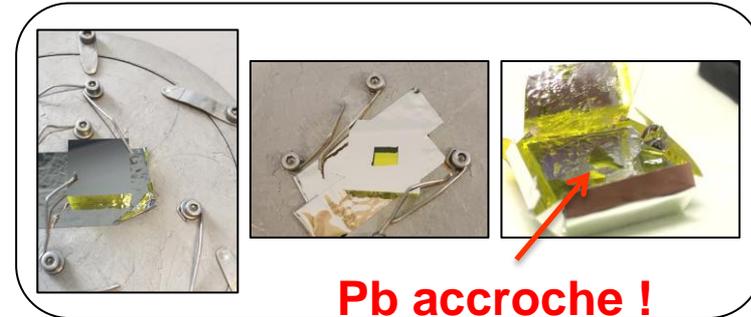


Etudes enrobage cristaux

- Enrobage des cristaux → Défis
 - Collection de lumière élevée / Reproductibilité / Série / Epargne SiPM
 - 1 module = 16 pixels = $S_{geo} = 64 \text{ cm}^2$ → Atteindre 1000 cm^2 → 256 pixels



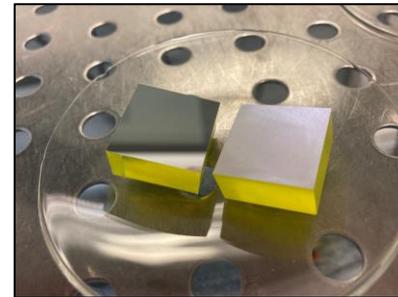
ESR



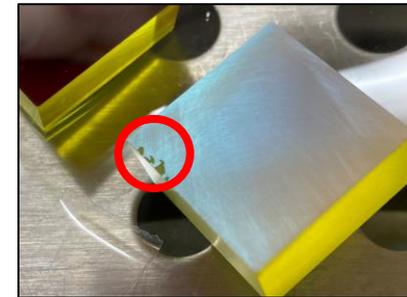
Pb accroche !

Métallisation Aluminium MPQ

- Etudes IN2P3/LMA
 - Transmission, absorption, coef réflexion coating
 - Coefficient de réflexion >98%
 - Essai de coating – Oxyde de tantale et Silice
 - Test d'adhérence → Adhésif calibré
 - Délamination sur cristal dépoli
 - Coût 26ke pour 1 dépôt complet



Crédit LMA
Essai de coating



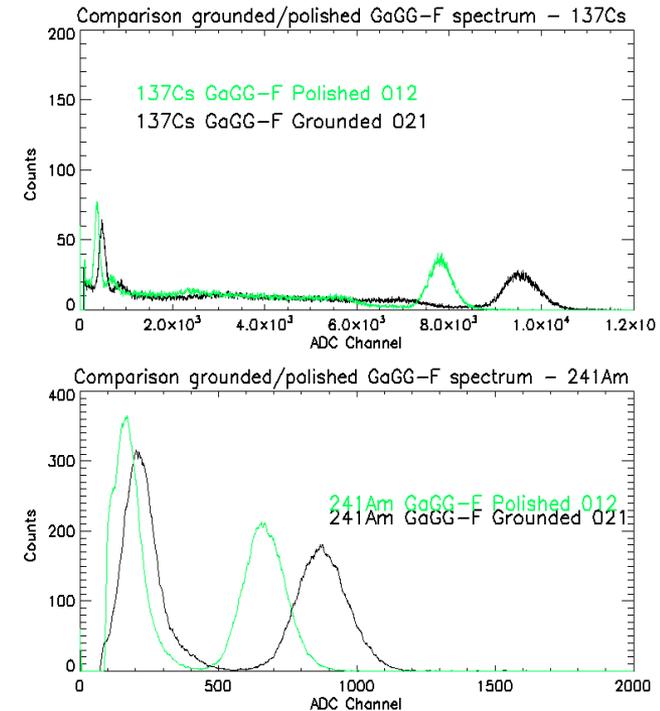
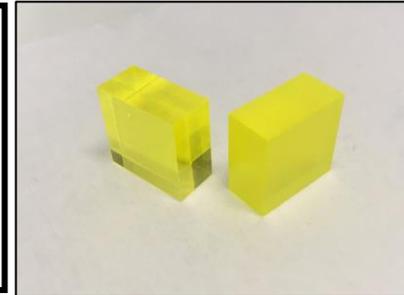
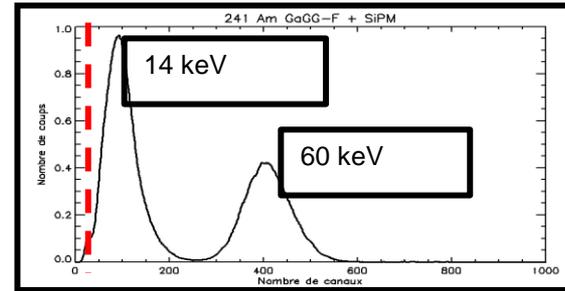
Crédit LMA
Délamination du dépôt
sur le cristal dépoli

- R&T coating CNES → En cours de sélection



Etudes des cristaux : Poli / Dépoli

- Avec enrobage ESR 3M
 - GaGG-F cristal dépoli
 - Seuil bas **~10 keV**
 - **Resolution @662 keV ~ 9%**
- Comparaison GaGG-F Poli / dépoli
 - ↗ 19% de gain avec dépoli
 - Résolution @662 keV
 - Poli 7.5% vs Dépoli 8.9%
 - Pb de reproductibilité
 - Vérification avec d'autres échantillons



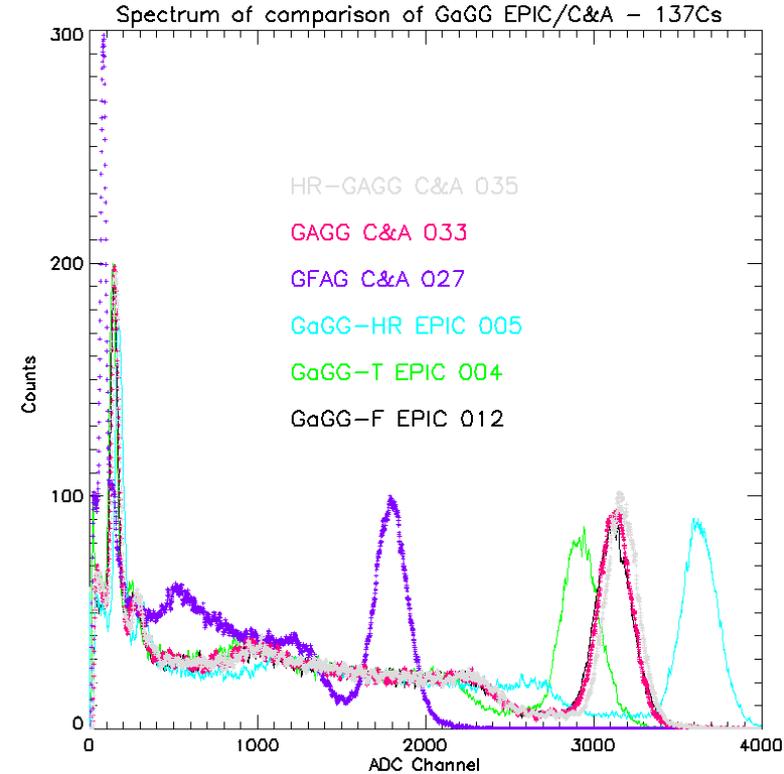


Etudes des cristaux : Comparaison type

- Comparaison des cristaux

Type Scintillateur	Fournisseur	Light Yield (ph/keV)	Decay time (1/e) (ns)	λ_p (nm)	Densité (g/cm ³)	Indice de réfraction	Résistance radiation
GaGG-F	Epic crystal	30	50	520	6,63	1,9	1 ^e 6 (rad)
GaGG-T	Epic crystal	42	88	530	6,63	1,9	1 ^e 6 (rad)
GaGG-HR	Epic crystal	50	150	530	6,63	1,9	1 ^e 6 (rad)
GFAG	C&A Corp	25-35	40	520	6,7	1,9	X
GAGG	C&A Corp	45-55	90	520	6,63	1,9	X
HR-GAGG	C&A Corp	40-50	400	520	6,63	1,9	X

Energy line (keV)					32	60	662
Type crystal	Supplier	Number	Gain (keV/canal)	Offset (keV)	Resolution (%)		
GAGG-F	EPIC	12	0,211	3,2	32,5	26,7	7,9
GAGG-T	EPIC	4	0,226	2,1	31,8	26,5	8,7
GAGG-HR	EPIC	5	0,182	1,2	29,8	23,6	6,8
GFAG	C&A	27	0,365	5,6	39,1	33,2	11,9
GAGG	C&A	33	0,211	0,5	30,1	24,7	7,2
HR-GAGG	C&A	35	0,209	-0,7	30,2	22,7	7,0

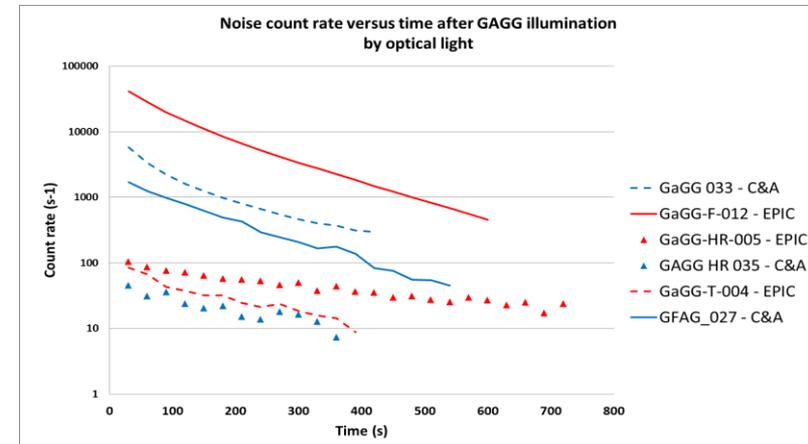


- Choix du scintillateur dépend de la mission.
 - Etudes à consolider : temps de décroissance
 - Contre mesures avec d'autres échantillons



Etudes des cristaux : Phosphorescence

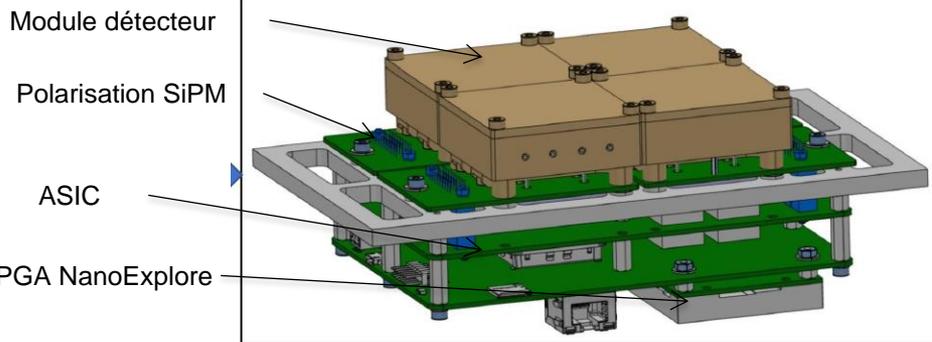
- Phosphorescence / Afterglow
 - GaGG produit de la phosphorescence / afterglow
 - Taux de décroissance secondaire mais très long ~ms
 - Impact les performances spectrales : seuil / résolution
 - A confirmer et évaluer
 - Phosphorescence
 - Cristal réagit à lumière ambiante
 - Réponse différente selon le type de cristal
- Contraintes
 - Etudes, intégrations et missions
 - Prise en compte lors des expérimentations
 - Encapsulation
 - Opportunité réduite en fonction des orbites sélectionnées (radiations)



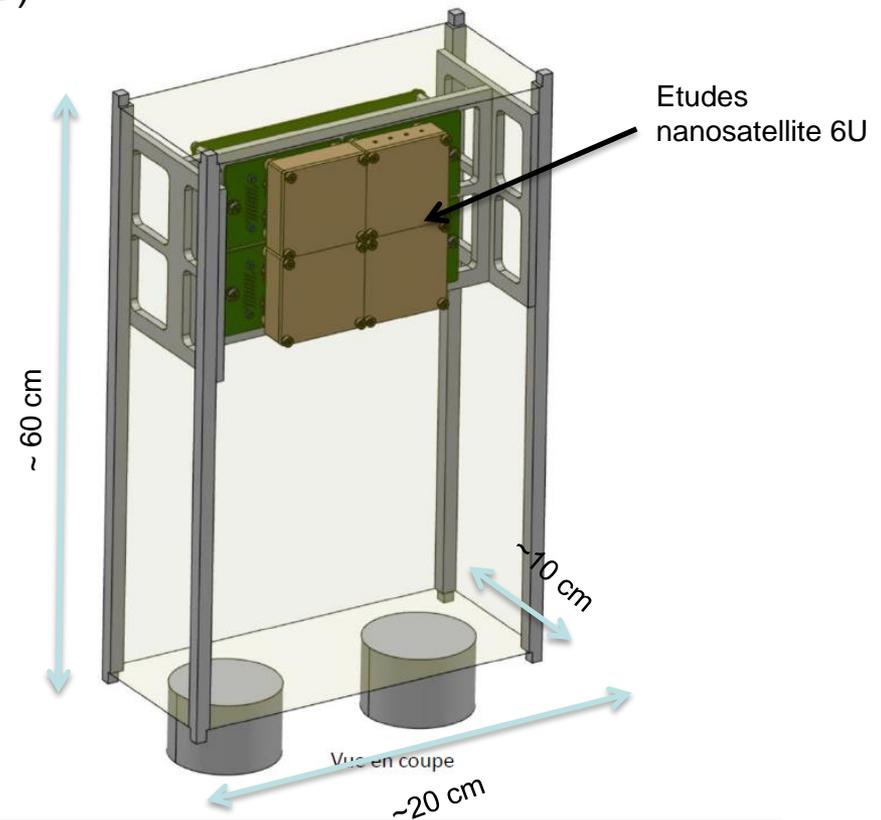
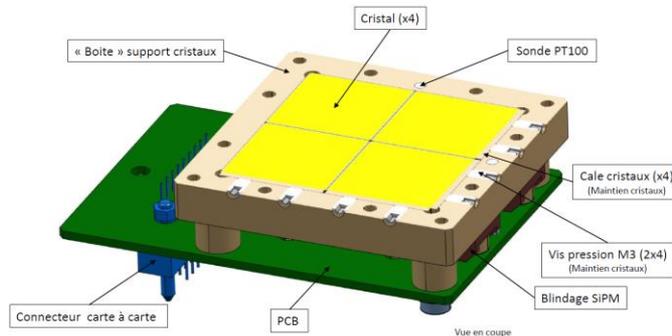


Architecture mécanique

- Compacité de l'instrument
 - Module 16 voies → Dimension ~ 150 x 150 x 50 mm
 - Intégration complexe (Collage SiPM / scintillateur, électronique proche du plan détecteur)
 - Etude thermique
- Etude pour un vol ballon et nanosatellite (6U)

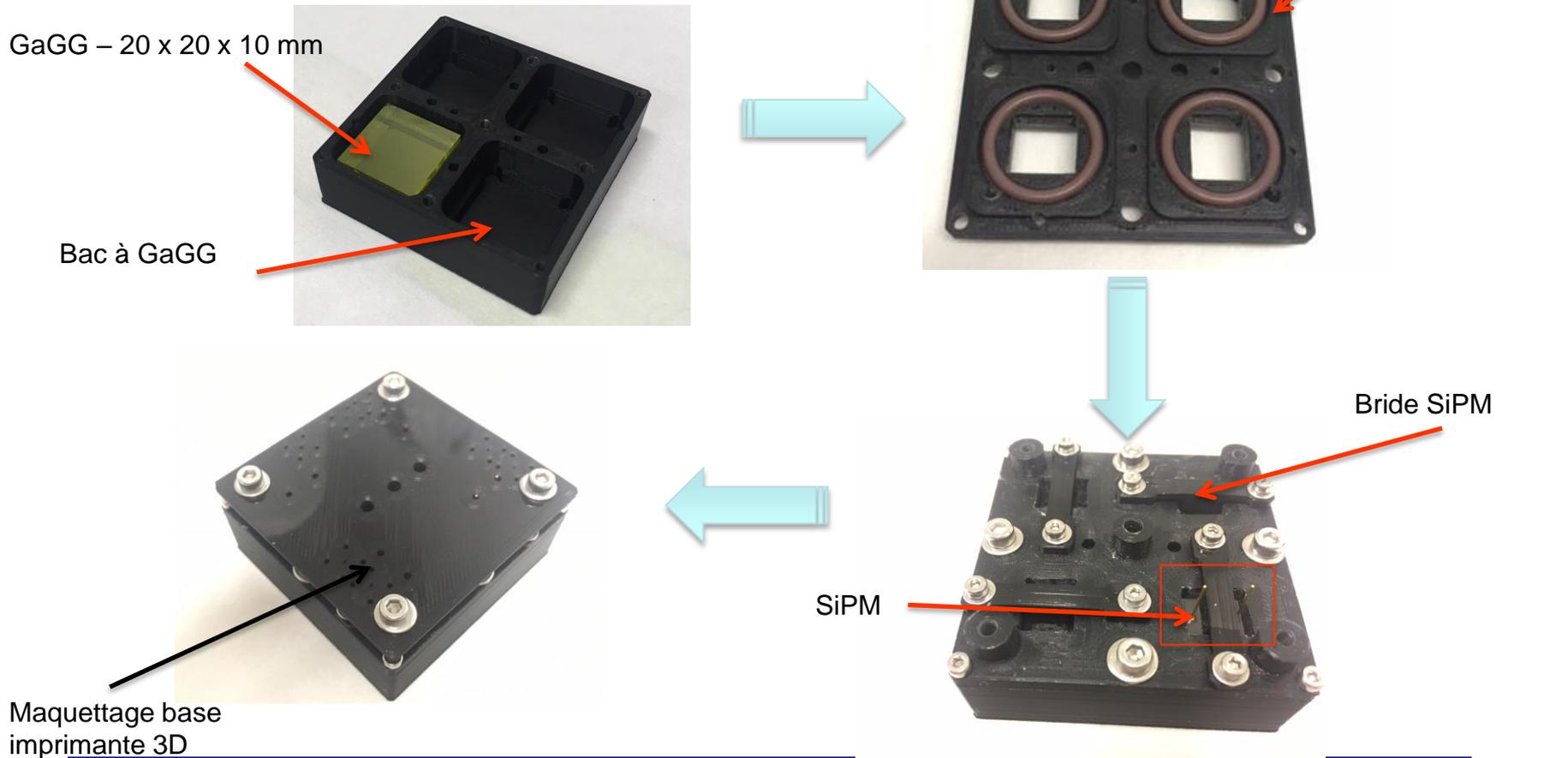


Elément de base type « boîte » : 2x2 cristaux + SiPM





Maquettage imprimante 3D





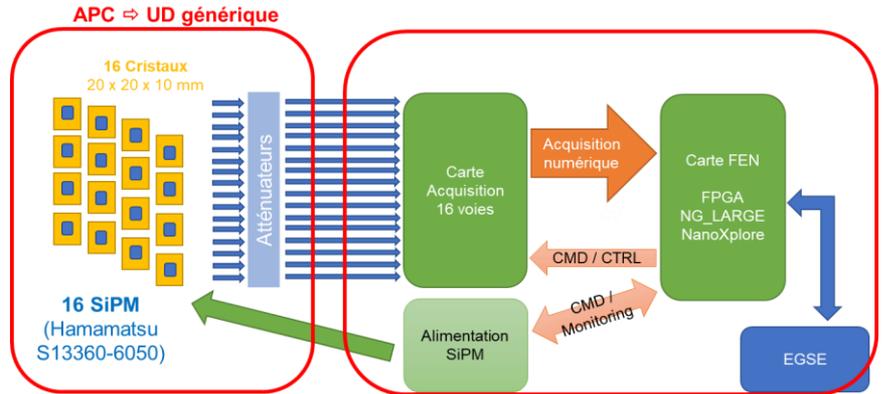
Développement de GSE mécanique

- Collage optique des SiPM sur les scintillateurs
 - Couplage optique → limitation des pertes de photons visibles
 - Positionnement fenêtre SiPM
- Process reproductible
 - → 16 couples SiPM / Scintillateur pour un module !
- Tenue mécanique
 - Missions spatiales visées
 - Vibration / chocs → Niveau à déterminer
- Développement de système d'étalonnage à plus long terme



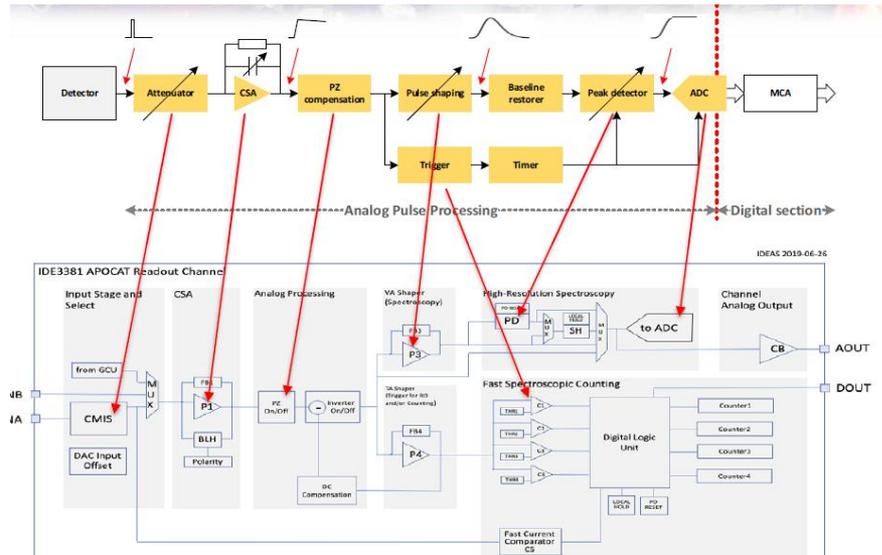
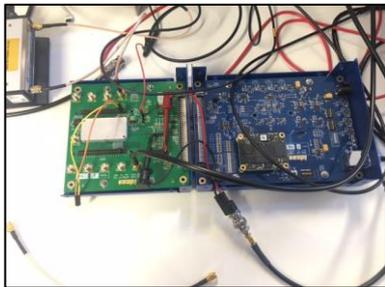
Evaluation de l'électronique de lecture

- ASIC APOCAT → IDEAS (Norvège)
- ASIC Chaîne spectrométrie gamma
 - Chaîne rapide → 1 MCounts / s / channel
 - Temps de mise en forme : 50 ns à 2μs
 - ASIC 16 voies
 - Gamme d'entrée → 0 à 800 pC
 - ADC 12 bits



- Difficultés
 - ASIC complexe : nombreux paramètres et registres
 - Développement par IDEAS non finalisé
 - Peu de documentation

- Chaîne en cours de caractérisation





Conclusion

- Post Taranis et Taranis-2

- Soutenue par le CNES
- Détecteur multi-missions
- Visibilité pour l'APC

- Etudes de technos émergentes

- SiPM / GaGG / ASIC

- Futures missions

- Vol ballon de démonstration
- BEES (TGFs, CNES)
- SPARK (Solaire, ESA - M7)

