

Visite du CNES à l'APC

30 janvier 2026

# SQM-ISS

“Searching for strange quark matter onboard the ISS”

## Avancement du projet et APR 2026

(Etienne Parizot, APC, University of Paris, Institut Universitaire de France)



# Contexte scientifique

## ❖ Physique fondamentale

Physique des particules

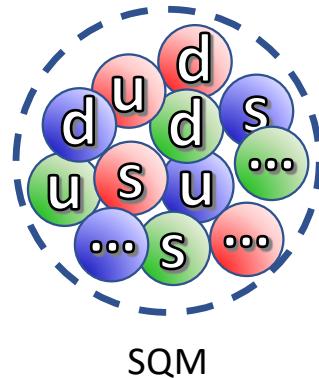
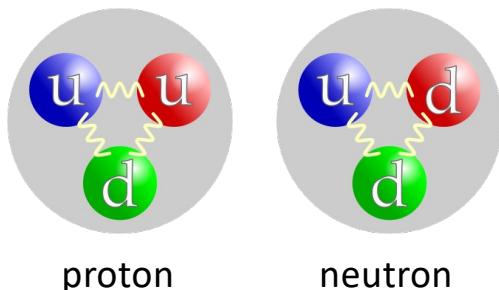
Stabilité de la matière nucléaire

État fondamental de la matière hadronique

« bag model », années 70's

« strange quark matter », années 80's

Strangelets, nuclearites, q-balls...



Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
I	II	III	g	H
mass ≈2.2 MeV/c <sup>2</sup> charge 2/3 spin 1/2 u up	mass ≈1.28 GeV/c <sup>2</sup> charge 2/3 spin 1/2 c charm	mass ≈173.1 GeV/c <sup>2</sup> charge 2/3 spin 1/2 t top	0 0 1 g gluon	≈125.11 GeV/c <sup>2</sup> 0 0 0 H higgs
mass ≈4.7 MeV/c <sup>2</sup> charge -1/3 spin 1/2 d down	mass ≈96 MeV/c <sup>2</sup> charge -1/3 spin 1/2 s strange	mass ≈4.18 GeV/c <sup>2</sup> charge -1/3 spin 1/2 b bottom	0 0 1 γ photon	
mass ≈0.511 MeV/c <sup>2</sup> charge -1 spin 1/2 e electron	mass ≈105.66 MeV/c <sup>2</sup> charge -1 spin 1/2 μ muon	mass ≈1.7768 GeV/c <sup>2</sup> charge -1 spin 1/2 τ tau	0 1 0 Z Z boson	
mass <1.0 eV/c <sup>2</sup> charge 0 spin 1/2 ν <sub>e</sub> electron neutrino	mass ≈0.17 MeV/c <sup>2</sup> charge 0 spin 1/2 ν <sub>μ</sub> muon neutrino	mass ≈18.2 MeV/c <sup>2</sup> charge 0 spin 1/2 ν <sub>τ</sub> tau neutrino	±1 1 0 W W boson	
				GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS
				SCALAR BOSONS

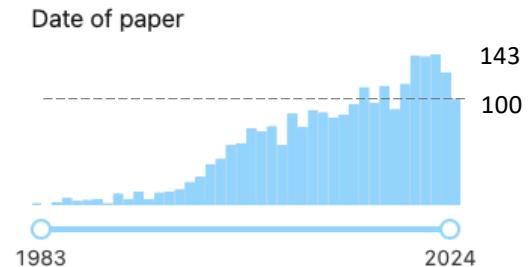
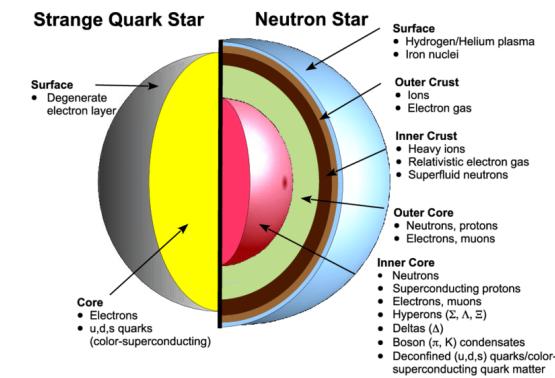
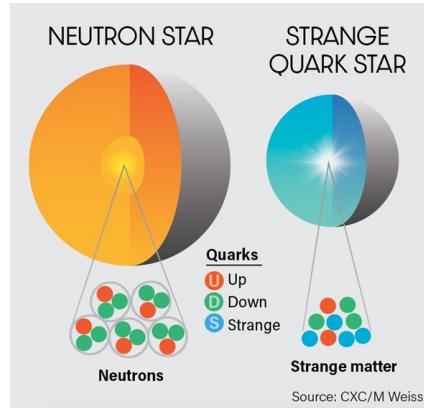
## ❖ Autres types d'objets exotiques

- Mirror matter
- Fermi balls
- Trous noirs primordiaux
- Fuzz balls
- Daemons (Dark Electric Matter Objects)
- Etc.

# Contexte scientifique

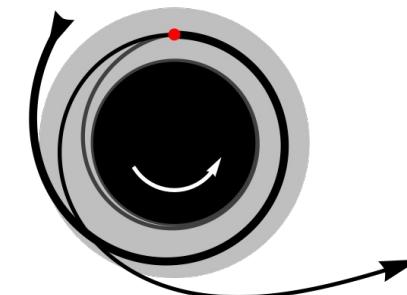
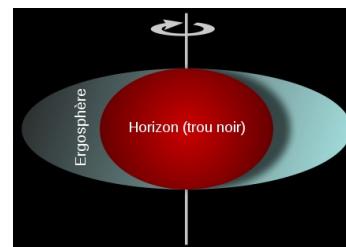
## ❖ Cosmologie et astrophysique

- Univers primordial
- Matière noire ?
- Étoiles de quarks ?
- Strangelets, Q-balls... intégrés au rayonnement cosmique?  
 $(\sim 100 \leq A \leq \sim 10^{57})$  !



NB: candidat matière noire sans sortir du modèle standard  
(Non contraint par la nucléosynthèse primordiale !)

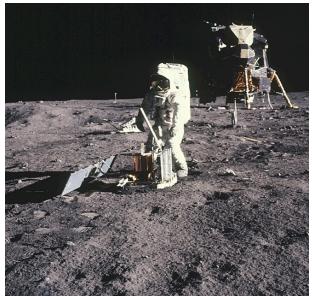
- Éjection lors de la coalescence d'étoiles à neutrons NS-NS ou SN-BH
- Processus d'accélération de Penrose  
(extraction d'énergie cinétique dans l'ergosphère d'un trou noir)



[Recherche de « quark star » dans « Inspire-hep »]

# Recherches antérieures

(Au sol, en ballon, dans l'espace, sur la Lune, sous l'eau, dans la glace...)



## Strangelets: who is looking and how?

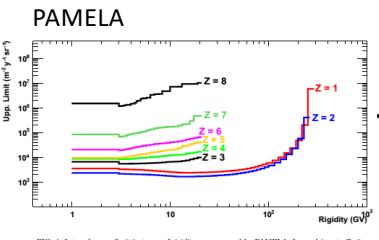
Evan Finch<sup>1</sup>

Published 17 November 2006 · 2006 IOP Publishing Ltd

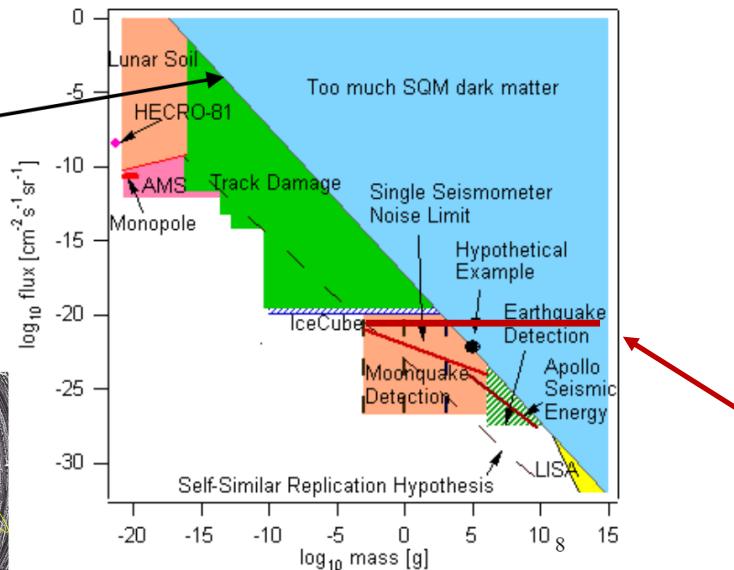
[Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, Volume 32, Number 12](#)

Citation Evan Finch 2006 J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 32 S251

DOI 10.1088/0954-3899/32/12/S31



DIMS stéréo



CERN, NA52

À défaut d'en trouver autour de nous, fabriquons-en !

Lunar soil

(Yale, avec spectromètre de masse)

SkyLab (1978)

Pas de candidats

HECRO (1981)

High-energy cosmic ray observatory (Balloon)  
2 événements à Z~14 et A~350 ( => TBC !)

BESS (1993)

Balloon spectrometer

AMS-01

2 événements à Z/A anormal => "background"

AMS-02

Pas de candidats à Z/A anormaux

Apollo et les sismographes lunaires

Anomalies dans les cristaux de mica géologiques

Ice-cube

Détecteur de neutrinos (dans la glace, Antarctique)

ANTARES

Détecteur de neutrinos (sous-marin)

PAMELA

Pas de candidats à Z/A anormaux

Pi-of-the-sky

Recherche de météores rapides

DIMS

Recherche stéréo de météores rapides

Mini-EUSO

Météores rapides depuis l'ISS

Etc. !

Participation directe  
de notre consortium !

**Contexte:** « In 2019, ESA launched OSIP to better serve the emerging needs of the modern space sector. The platform is now the main entry point for novel ideas into ESA, both in response to specific problems and through open calls for ideas. »

[Link to site](#)



ENABLING & SUPPORT

# The Open Space Innovation Platform (OSIP)

150289 VIEWS 106 LIKES

ESA / Enabling & Support / Preparing for the Future / Discovery and Preparation

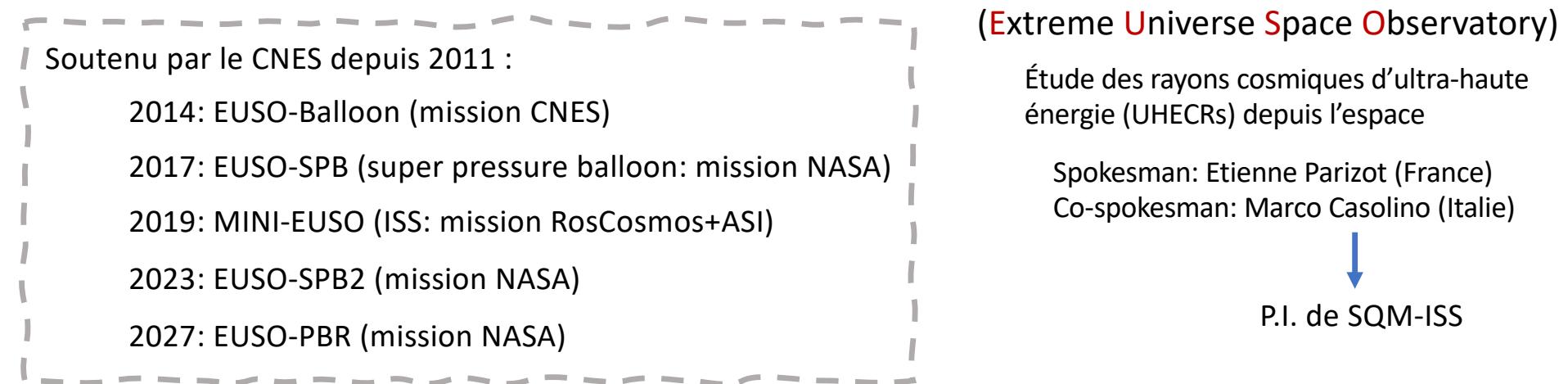
In 2019, ESA launched OSIP to better serve the emerging needs of the modern space sector. The platform is now the main entry point for novel ideas into ESA, both in response to specific problems and through open calls for ideas.

2022: L'ESA émet un « Call for Ideas »

« Reserve pools of Science Activities for ISS: A SciSpacE Announcement of Opportunity”

=> Réponse à cet appel avec la proposition « **SQM-ISS** »

**Spin-off** de nos activités dans le cadre de la collaboration internationale JEM-EUSO



=> Sélectionné en 2023 [Scientific merit: “Excellent” (90/100)]

=> APR 2024 (sept. 2023): demande "modeste" pour études et prototypage

=> 2024: discussions avec l'ESA pour une mise en œuvre rapide



{ - Sébastien Vincent-Bonnieu (responsable Sciences Physiques de la division Human & Robotic Exploration de l'ESA)  
- Volker Köhne (ingénieur système)

# Réponse à l'appel à idées

[Lien vers la page web](#)

esa

Start Activity Explore Help

Search | Log In Register

✓ Draft ✓ Qualification ✓ Evaluation ✓ Selected

IDEA: I-2022-02839

## SQM-ISS Search for Strange Quark Matter and nuclearites on board the International Space Station

Campaign: Reserve pools of Science Activities for ISS: A SciSpacE Announcement of Opportunity

The diagram illustrates the SQM-ISS experiment. On the left, there are three scientific concepts: 'Black Hole Ergosphere' (depicted as a red, swirling region around a black dot), 'Quark star collision' (depicted as a bright blue and white explosion), and 'Big Bang cosmology' (depicted as a small, colorful sphere). Dashed lines connect these concepts to a central image of the International Space Station (ISS). The ISS is shown from a side-on perspective, with its solar panels and various modules. A purple oval surrounds a specific part of the station's equipment, which is labeled 'SQM-ISS'. Inside this oval, there is a green and blue grid pattern, possibly representing experimental instruments or sensor arrays. Above the central image, the text 'SQM-ISS' is written in yellow, and below it are the flags of France, Italy, Poland, and Sweden.

# Article publié en 2024

[Lien vers l'article](#)

Bianchi et al., Sensors 24 (2024) 16, 5090

doi:10.3390/s24165090



## Search for Strange Quark Matter and Nuclearites on Board the International Space Station (SQM-ISS): A Future Detector to Search for Massive, Non-Relativistic Objects in Space

Massimo Bianchi <sup>1</sup>, Francesca Bisconti <sup>1</sup>, Carl Blaksley <sup>2</sup>, Valerio Bocci <sup>3</sup>, Marco Casolino <sup>1,2,4,\*</sup>, Francesco Di Clemente <sup>5</sup>, Alessandro Drago <sup>5</sup>, Christer Fuglesang <sup>6</sup>, Francesco Iacoangeli <sup>3</sup>, Massimiliano Lattanzi <sup>7</sup>, Alessandro Marcelli <sup>1</sup>, Laura Marcelli <sup>4,\*</sup>, Paolo Natoli <sup>5</sup>, Etienne Parizot <sup>8</sup>, Piergiorgio Picozza <sup>1</sup>, Lech Wiktor Piotrowski <sup>9</sup>, Zbigniew Plebania <sup>1,4</sup>, Enzo Reali <sup>1</sup>, Marco Ricci <sup>10</sup>, Alessandro Rizzo <sup>11</sup>, Gabriele Rizzo <sup>12</sup> and Jacek Szabelski <sup>13</sup>

<sup>1</sup> Physics Department, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, 00133 Rome, Italy; bianchi@roma2.infn.it (M.B.); francesca.bisconti@roma2.infn.it (F.B.); alessandro.marcelli@roma2.infn.it (A.M.); picozza@roma2.infn.it (P.P.); zbigniew.plebania@roma2.infn.it (Z.P.); reali@roma2.infn.it (E.R.)

<sup>2</sup> RIKEN, Wako 351-0198, Japan; saishokukenbi@gmail.com

<sup>3</sup> INFN (National Institute for Nuclear Physics), Structure of Rome, 00133 Rome, Italy; valerio.bocci@roma1.infn.it (V.B.); francesco.iacoangeli@roma1.infn.it (F.I.)

<sup>4</sup> INFN (National Institute for Nuclear Physics), Structure of Rome Tor Vergata, 00133 Rome, Italy

<sup>5</sup> Department of Physics and Earth Sciences, Università degli Studi di Ferrara, 44122 Ferrara, Italy; francesco.diclemente@unife.it (F.D.C.); drago@fe.infn.it (A.D.); paolo.natoli@fe.infn.it (P.N.)

<sup>6</sup> KTH Royal Institute of Technology, 11428 Stockholm, Sweden; cfug@kth.se

<sup>7</sup> INFN (National Institute for Nuclear Physics), Structure of Ferrara, 44122 Ferrara, Italy; lattanzi@fe.infn.it

<sup>8</sup> APC (Laboratoire Astroparticule & Cosmologie), Univ Paris Diderot, CNRS/IN2P3, CEA/Irfu, Obs. de Paris, Sorbonne Paris Cité, 75013 Paris, France; parizot@apc.in2p3.fr

<sup>9</sup> Faculty of Physics, University of Warsaw, 00-927 Warsaw, Poland; lech-wiktor.piotrowski@fuw.edu.pl

<sup>10</sup> INFN (National Institute for Nuclear Physics), National Laboratories of Frascati, 00044 Frascati, Italy; marco.ricci@lnf.infn.it

<sup>11</sup> ENEA, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Radioprotection Institute (IRP), 00196 Rome, Italy; alessandro.rizzo@enea.it

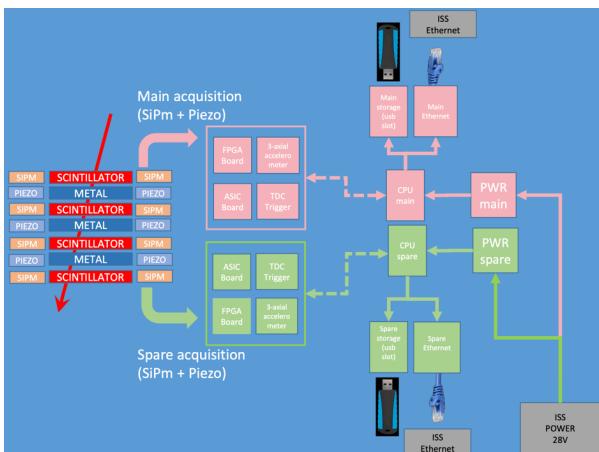
<sup>12</sup> Longviews S.r.l., 00134 Rome, Italy; gabriele@gmail.com

<sup>13</sup> Stefan Batory Academy of Applied Sciences, Stefana Batorego 64C, 96-100 Skierwice, Poland; jxsabel@gmail.com

\* Correspondence: marco.casolino@roma2.infn.it (M.C.); laura.marcelli@roma2.infn.it (L.M.)

**Abstract:** SQM-ISS is a detector that will search from the International Space Station for massive particles possibly present among the cosmic rays. Among them, we mention strange quark matter, Q-Balls, lumps of fermionic exotic compact stars, Primordial Black Holes, mirror matter, Fermi balls, etc. These compact, dense objects would be much heavier than normal nuclei, have velocities of galaxy-bound systems, and would be deeply penetrating. The detector is based on a stack of scintillator and piezoelectric elements which can provide information on both the charge state and mass, with the additional timing information allowing to determine the speed of the particle, searching for particles with velocities of the order of galactic rotation speed ( $v \lesssim 250$  km/s). In this work, we describe the apparatus and its observational capabilities.

**Keywords:** strange quark matter; SQM; ISS; space detector



A block scheme of the instrument is shown in Figure 3. The sensitive part of the detector is composed of a stack of four scintillators and three metal planes, all having  $10 \times 10 \times 0.5$  cm<sup>3</sup> size. The overall detector height is 7 cm. The geometrical factor of a four-fold coincidence of the scintillator planes is 111 cm<sup>2</sup> sr, while a three-fold coincidence of either the scintillators or the metal plates results in a geometrical factor of 154 cm<sup>2</sup> sr. The whole system is housed in a  $15 \times 15 \times 14$  cm<sup>3</sup> aluminum container (no sharp edges, thickness 2 mm) and weighs  $\approx 10$  kg.



# SQM-ISS : détecteur hybride

## Innovations :

- Détection potentielle en amont de l'atmosphère
- Détection d'interaction par transfert d'impulsion
- Sélection par vitesse maximale

## Grande variété de cibles et de modes d'interaction possibles

NB: Toute détection de corpuscules denses et lents serait une découverte majeure !

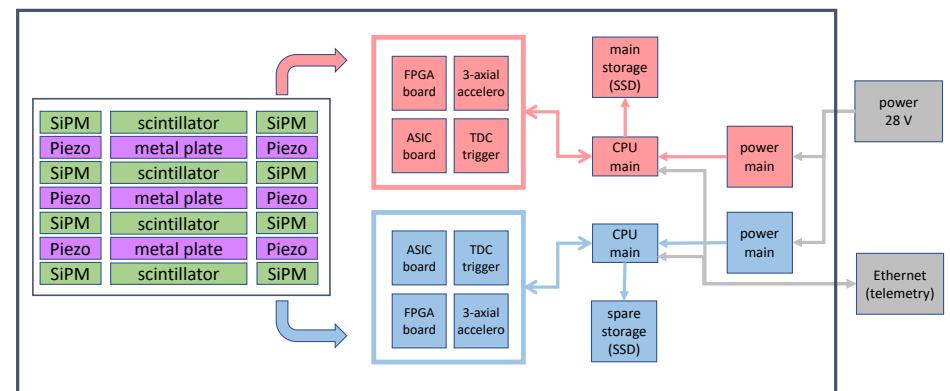
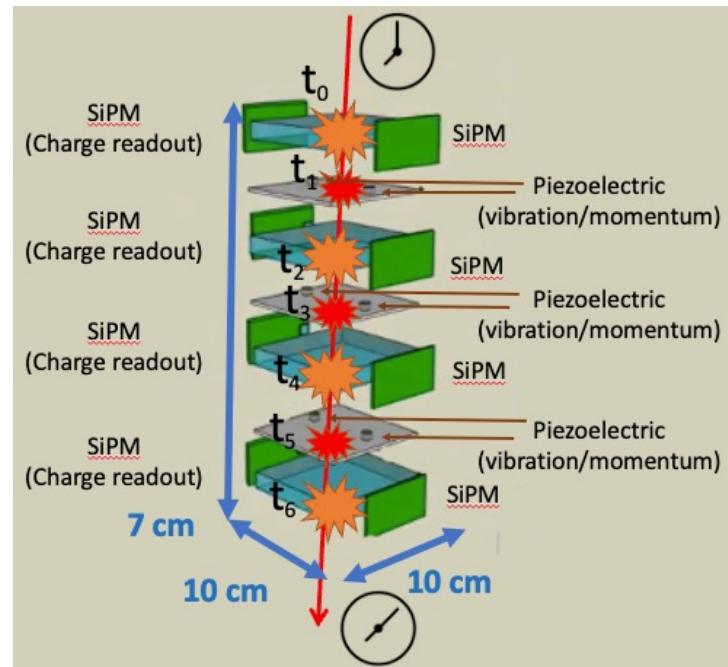
$\rho_{\text{nucléaire}}$

$$3 \cdot 10^{-4} \text{ c} \leq v \leq 10^{-2} \text{ c}$$

( $v_{\text{gal}} \approx 250 \text{ km/s}$ )

=> Élargissement et amélioration de limites actuelles

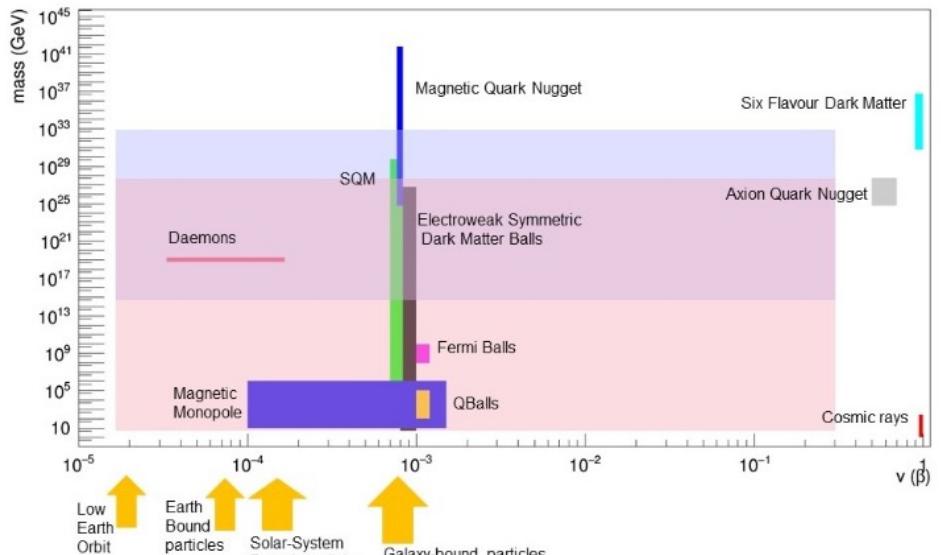
=> Sélection par l'ESA pour un déploiement dans l'ISS



## ✧ Variété d'objets physiques potentiellement visés

Vaste domaine de masse, de vitesse et de densité de masse

Modes d'interaction à explorer



## ✧ Extension des limites existantes

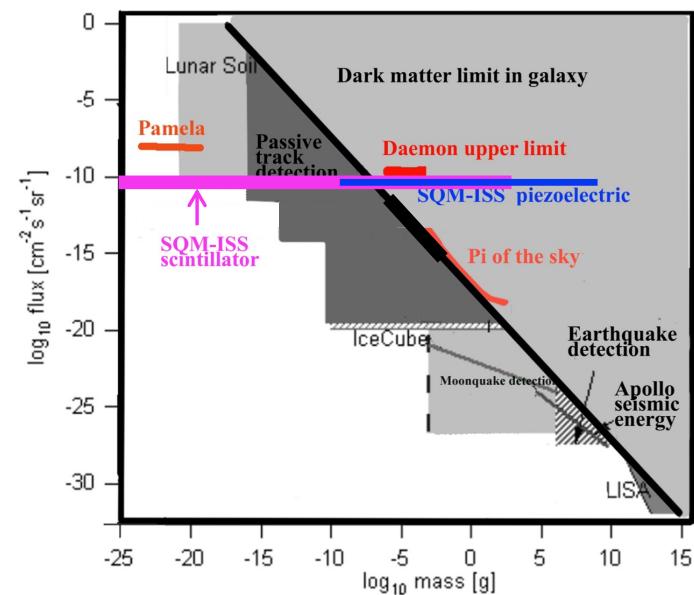
Extension du domaine de masse

Particules chargées ou neutres

Détection d'un dépôt d'énergie ou d'impulsion

Scintillateurs, SiPM

Plaques métalliques,  
détecteurs "piézo"



# Contribution française

**WP1 : Scintillateurs**

**WP2 : Silicon Photomultipliers (SiPMs)**

**WP3 : Readout**

**WP4 : Assemblage**

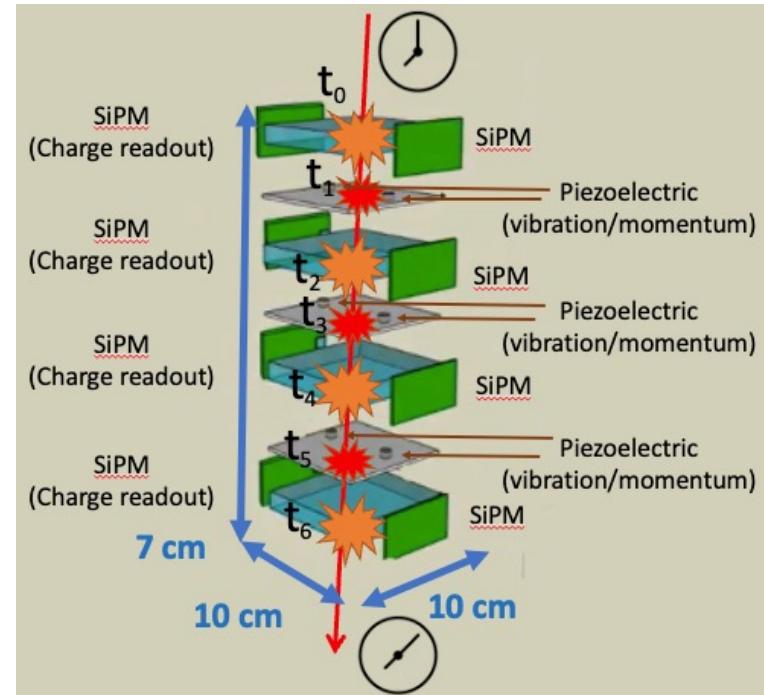
**WP5 : Tests**

**WP6 : Intégration**

**WP7 : Intégration finale, qualification, lancement**

[Estimation initiale]

- Hardware (laboratory model/prototype, engineering model, flight model):
  - Scintillateurs (25 k€)
  - ASICs (15 k€)
  - SiPMs (15 k€)
  - PCBs (40 k€)
  - Moyens de test labo (20 k€)
- Missions (25 k€/an => 75 k€ sur 3 ans)
- Intégration/qualification/lancement... => 25 k€



=> Besoins totaux : estimation complète, avec modèle de vol : ~200 k€

NB: certains éléments mutualisable (synergie EUSO) et possible contribution de l'ESA (« delta »)

## Travaux 2025

- Caractérisation et sélection des différents éléments du hardware associé aux WP1, WP2 et WP3
- Chaîne de détection : scintillateur, SiPM, Trigger (ASIC)
- Marquage temporel (“jitter”, “time walk”...)

**WP1 : Scintillateurs**

**WP2 : Silicon Photomultipliers (SiPMs)**

**WP3 : Readout**

**WP4 : Assemblage**

**WP5 : Tests**

**WP6 : Intégration**

**WP7 : Intégration finale, qualification, lancement**

## Décalage du calendrier global

- Retard significatif côté ESA par rapport à l'intention initiale :  
=> finalisation des documents ARD et SRD seulement à l'été 2025 !
- NB: Pas de difficulté résultant pour nous  
=> pas d'incidence sur la réalisation du projet
- NB: difficulté programmatique éventuelle : fin de l'ISS !  
=> implémentation flexible au niveau de l'ESA (y compris hors de l'ISS)  
(+ prolongement de l'ISS ?)

# Décalage du calendrier global

- ITT (Invitation To Tender): publié en octobre 2025

Prime contractor (industrie) => mandatory subcontractors: Rome Tor Vergata (Italie)  
APC (France)  
(+ Pologne, simulations)

=> Contacts par 3 entreprises/consortia:  
Kayser (Italie)  
ASRO (Finlande)  
RedWire Space (Luxembourg)

=> Documents divers: PSS, Compliance Statements...

- Sélection en cours (probablement faite !): ASRO => négociation du contrat avec l'ESA : cette semaine !  
(26–30 janvier 2026)

- NB: nous (consortium scientifique) n'avons pas encore vu le dossier du "Prime contractor"

=> attente d'un kick-off meeting pour les contours, l'organisation et le calendrier plus détaillé

## Répercussion sur notre calendrier et nos demandes APR

Essentiellement : décalage de 6 mois (?) et report des WP4, WP5 et WP6

### Plan initial (APR 2025)

Année	WP1	WP2	WP3	WP4	WP5	WP6	WP7	Total
2025	10 k€	7 k€	15 k€	10 k€	12 k€	16 k€		70 k€
2026	10 k€	7 k€	15 k€	10 k€	12 k€	16 k€	[?]	70 k€ + [?]

### Plan révisé (estimation, présente dans la demande APR 2026: septembre 2025)

Année	WP1	WP2	WP3	WP4	WP5	WP6	WP7	Total
2025	10 k€	7 k€	15 k€					32 k€
2026	10 k€	7 k€	15 k€	10 k€	12 k€	16 k€	[?]	70 k€
2027				10 k€	12 k€	16 k€	[?]	38 k€

### Demande actualisée (APR 2026)

Année	WP1	WP2	WP3	WP4	WP5	WP6	WP7	Total
2026	10 k€	7 k€	15 k€				[?]	32 k€
2027				10 k€	12 k€	16 k€	[?]	38 k€

**WP1** : Scintillateurs

**WP2** : Silicon  
Photomultipliers (SiPMs)

**WP3** : Readout

**WP4** : Assemblage

**WP5** : Tests

**WP6** : Intégration

**WP7** : Intégration finale,  
qualification, lancement

#### **a. Liste et montant des missions effectuées**

Les crédits CNES ont été utilisés en 2025 principalement pour couvrir des **missions liées aux réunions de consortium, aux échanges avec l'ESA et à la visibilité internationale du projet SQM-ISS**. Ces missions ont permis de participer à des conférences internationales majeures et à des réunions scientifiques et institutionnelles nécessaires à la structuration du projet.

- Missions scientifiques (conférences internationales, réunions de consortium) : **9 900 €**

Le détail est le suivant :

- Mission d'étude à Rome Tor Vergata (Italie) : 2 personnes, 1 semaine : 3100 €
- Conférence ASAPP 2025 (Espagne) : 1 personne, 1 semaine : 1600 €
- Conférence ICRC 2025 (Suisse) : 1 personne, 8 jours : 2500 €
- Meeting de collaboration (Japon) : 1 personne : 2700 €

NB : comme indiqué également dans le compte rendu de l'APR associé au projet EUSO (PBR), nous nous sommes rendus à 5 au meeting de la collaboration JEM-EUSO à Tokyo, qui fut un meeting charnière et l'occasion de discuter les deux projets avec les collègues internationaux. Nous avons imputés 4 missions aux crédits alloués à EUSO, et 1 mission aux crédits relatifs à SQM-ISS.

#### **b. Liste et montant des achats et de la sous-traitance effectués**

Les achats réalisés en 2025 concernent essentiellement des **équipements et consommables de laboratoire** nécessaires aux études préliminaires sur la chaîne de détection scintillateurs-SiPM-électronique de lecture. Ils incluent notamment l'approvisionnement en scintillateurs, en capteurs SiPM, ainsi qu'en composants électroniques et cartes de test dédiées aux caractérisations expérimentales.

- Achats de matériel scientifique et électronique : **18 400 €**
  - Carte Weeroc : 3600 €
  - Carte Citiroc : 3240 €
  - PCB divers : 960 €
  - Carte détecteur : 210 €
  - Polarisation SiPM : 650 €
  - Coating : 2120 €
  - SiPM : 3920 €
  - Ordinateur de pilotage dédié : 2000 €
  - Matériel pour la photodétection : 1700 €
- Sous-traitance : **0 €** (*aucune sous-traitance engagée en 2025*)

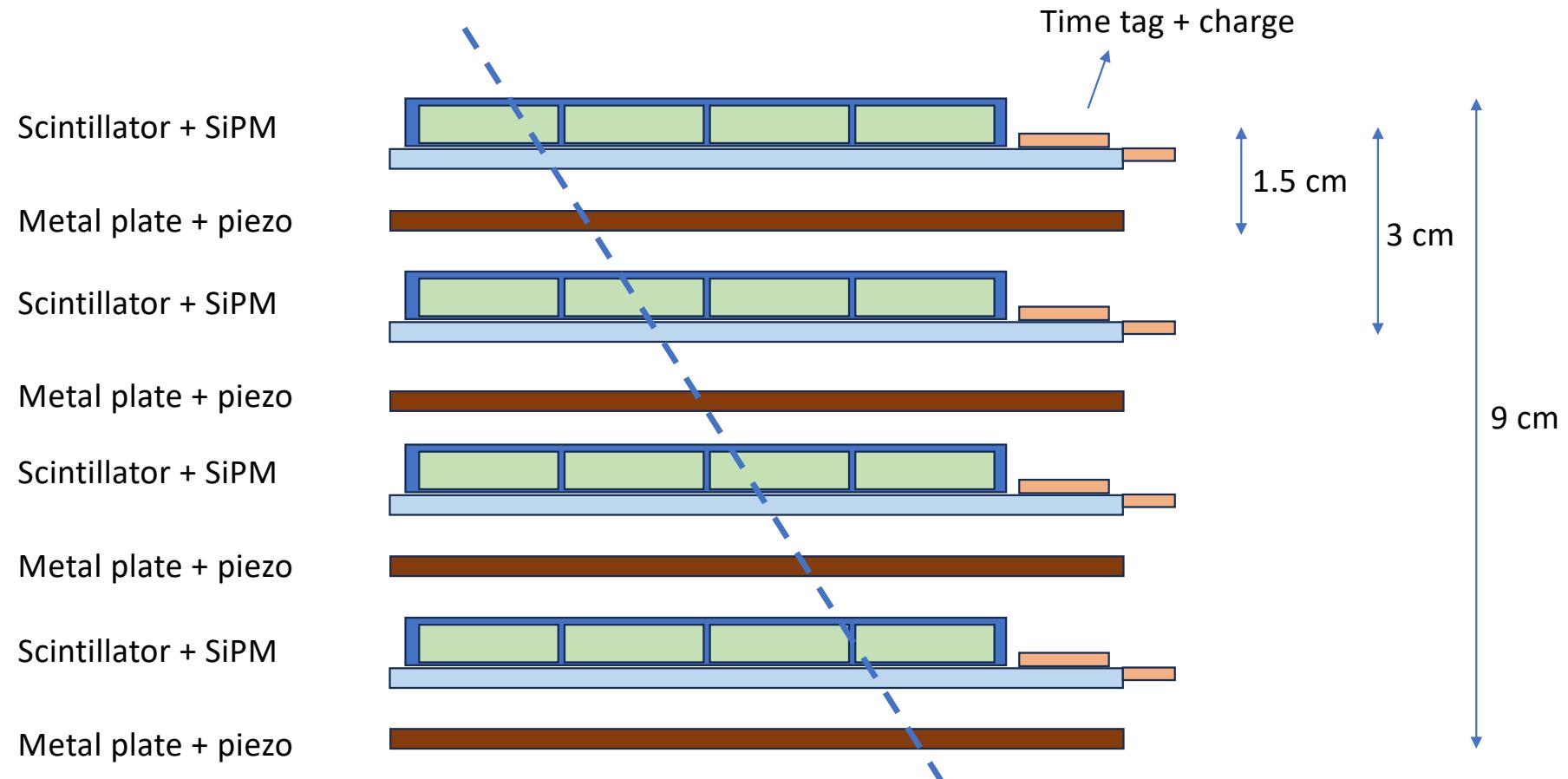
#### **d. Reliquats éventuels**

*Veillez préciser le montant de budget résiduel en euro (non consommé au 31/12/2025) et des commentaires éventuels.*

- **Reliquat au 31/12/2025 : 3 700 € ou 41 700 €**
- **Commentaires** : Dans le demande APR 2026, nous avons expliqué le report de certaines activités de 2025 vers 2026, en raison du retard dans la préparation de l'ITT par l'ESA et la sélection de l'industriel « prime contractor » pour la mission SQM-ISS, qui interviendra début 2026. Nous avons donc réorganisé le planning financier initial en basculant certaines activités initialement prévues en 2025 vers 2026, dont le montant était de 38 k€. C'est ce qui explique la présence des deux montants ci-dessus pour le reliquat de 2025. En effet, **dans la demande APR 2026, nous avons donc déjà intégré ce reliquat par rapport à la prévision initiale**, en diminuant d'autant la demande. Le premier chiffre ci-dessus – reliquat de 3.7 k€ – tient déjà compte de cette réorganisation (la demande ayant déjà été réduite de 38 k€). Le second chiffre – reliquat de 41.7 k€ – correspond au reliquat réel de l'année 2025, à savoir 70 k€ reçus moins 28.3k€ dépensés (9.9 k€ + 18.4 k€). Nous réalisons, en rédigeant ce rapport, que nous n'aurions sans doute pas dû déjà intégrer le reliquat anticipé dans la demande 2026, ce qui risque de créer une confusion inutile...

**BACK - UP**

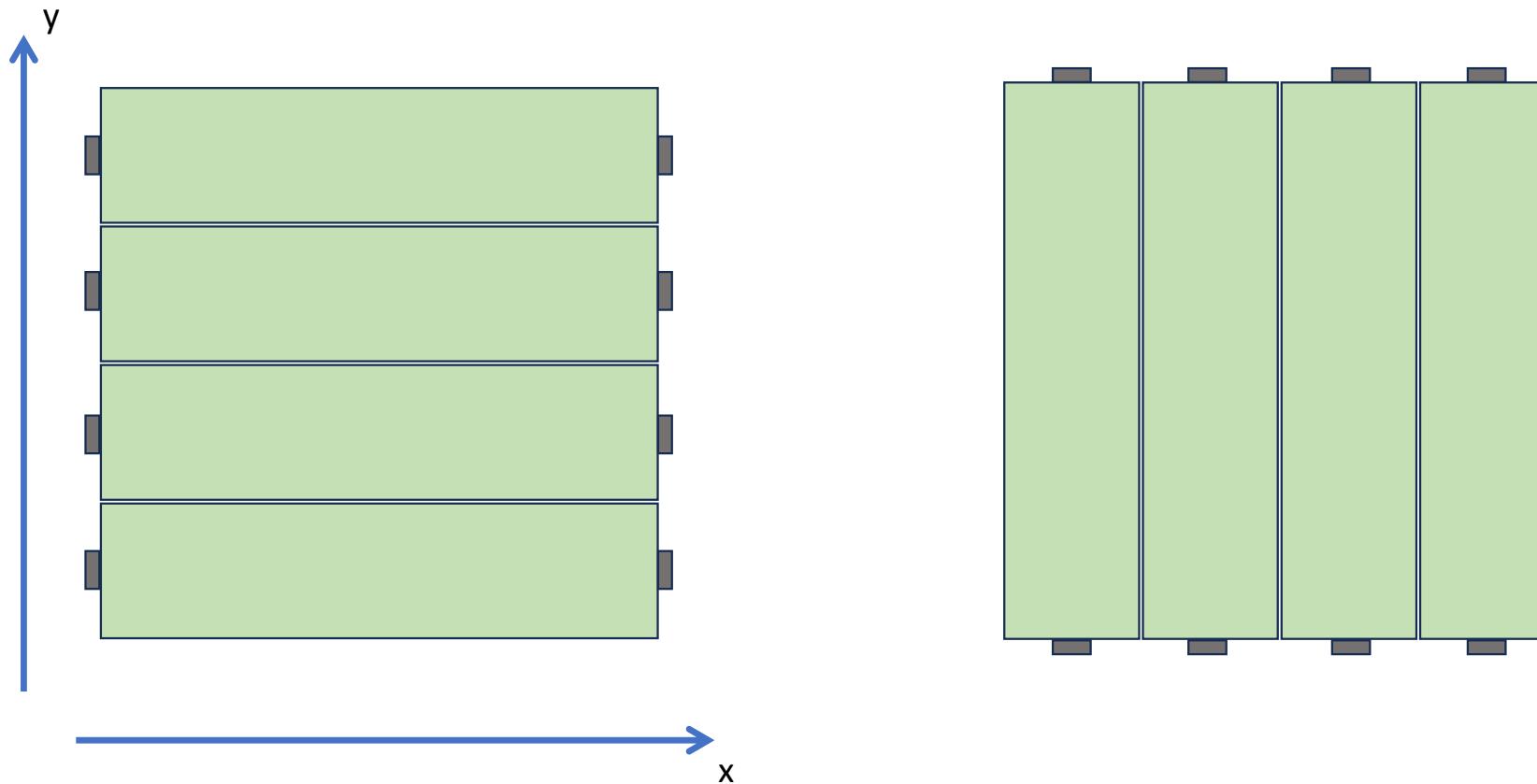
## Detector stack



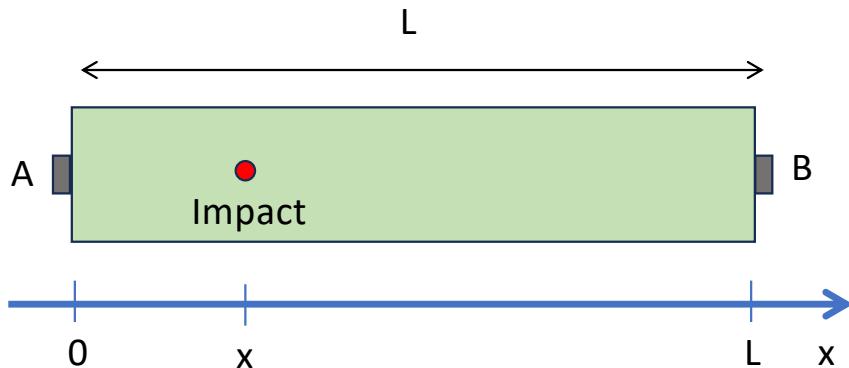
## Initial “stripped” layout

Parallel strips of scintillator layer

4 layers with alternating orientations: x-direction and y-direction



Good localization in 1 direction:



$$\begin{cases} t_A = t_0 + \frac{x}{v_\gamma} + \epsilon_A \\ t_B = t_0 + \frac{L-x}{v_\gamma} + \epsilon_B \end{cases}$$

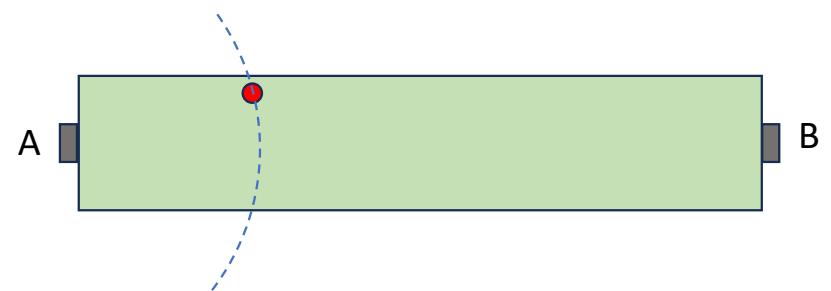
$$\Rightarrow \begin{cases} t_0 = \frac{1}{2}(t_A + t_B) - \frac{L}{2v_\gamma} - \frac{\epsilon_A + \epsilon_B}{2} \\ x = \frac{1}{2}[L - v_\gamma(t_B - t_A) + v_\gamma(\epsilon_B - \epsilon_A)] \end{cases}$$

Uncertainty on position:  $\sigma_x = \frac{v_\gamma}{\sqrt{2}} \sigma_t$  with  $v_\gamma \simeq \frac{2}{3}c$

$$\Rightarrow \boxed{\sigma_x \simeq 1.4 \text{ cm} \left( \frac{\sigma_t}{100 \text{ ps}} \right)}$$

NB: no useful localization if  $\sigma_t \gtrsim 500 \text{ ps}$

NB: including the uncertainty in y, one actually reconstructs not a point, but a hyperboloid with A and B as foci.



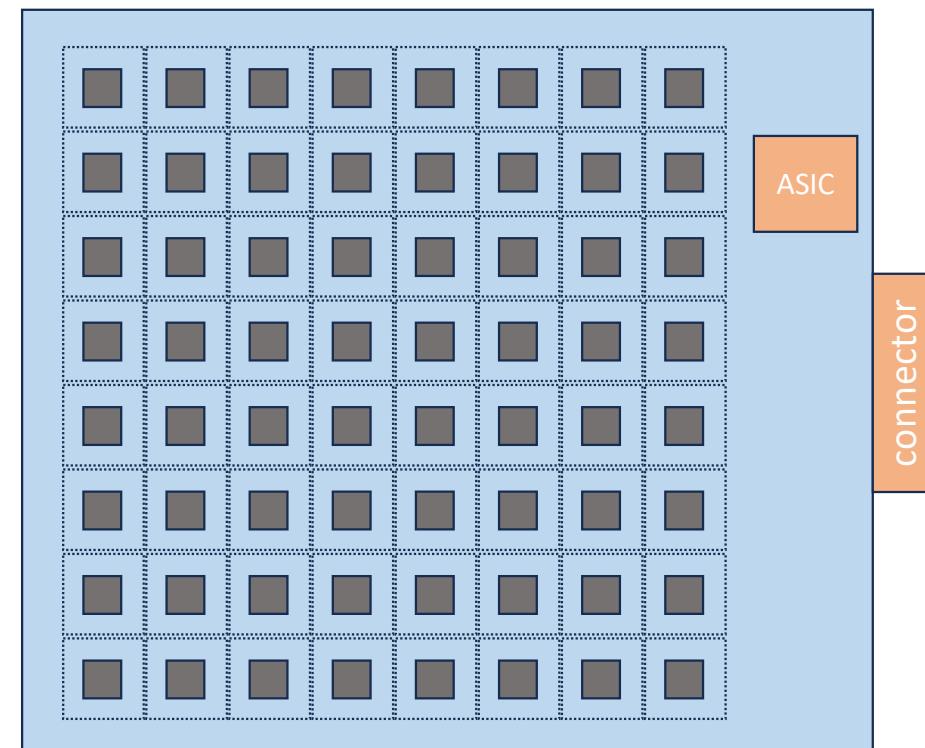
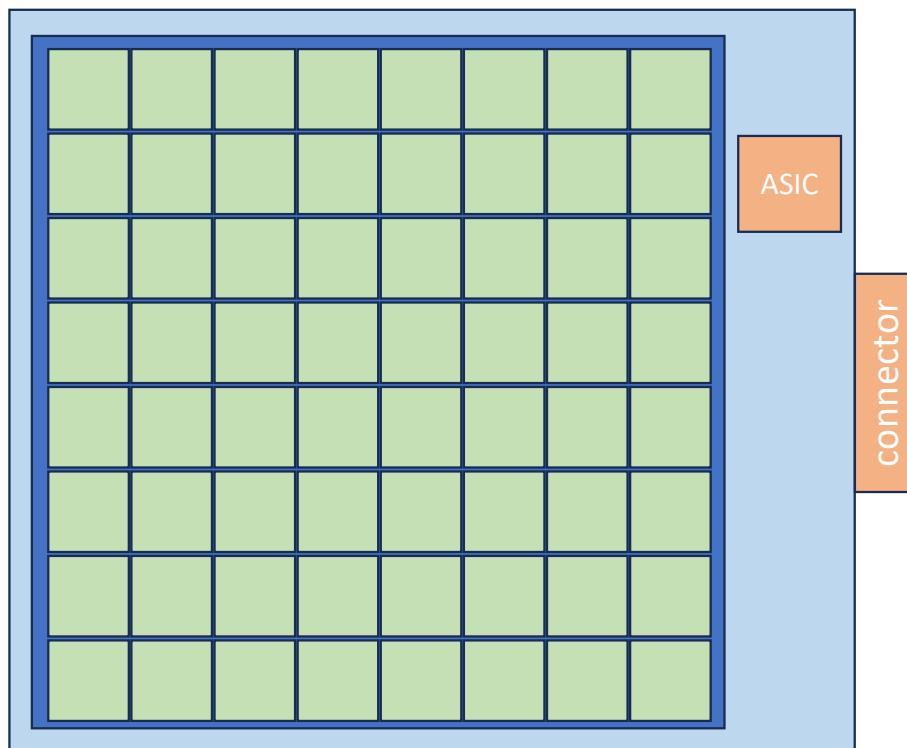
## Alternative “chess board” layout

Pixelized scintillator layer

Easier mechanical and electronics integration

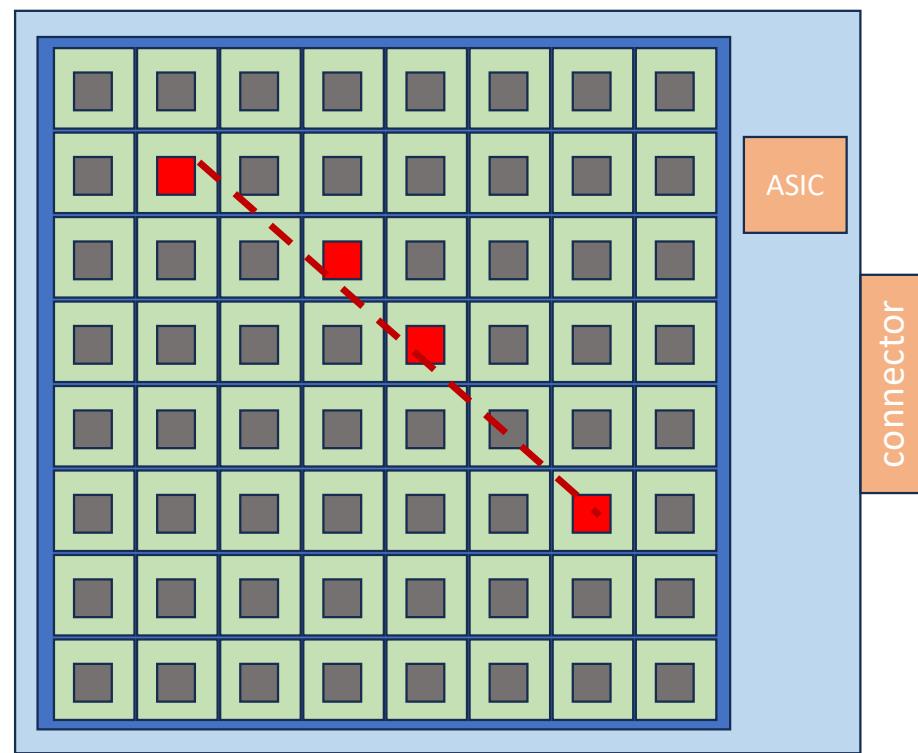
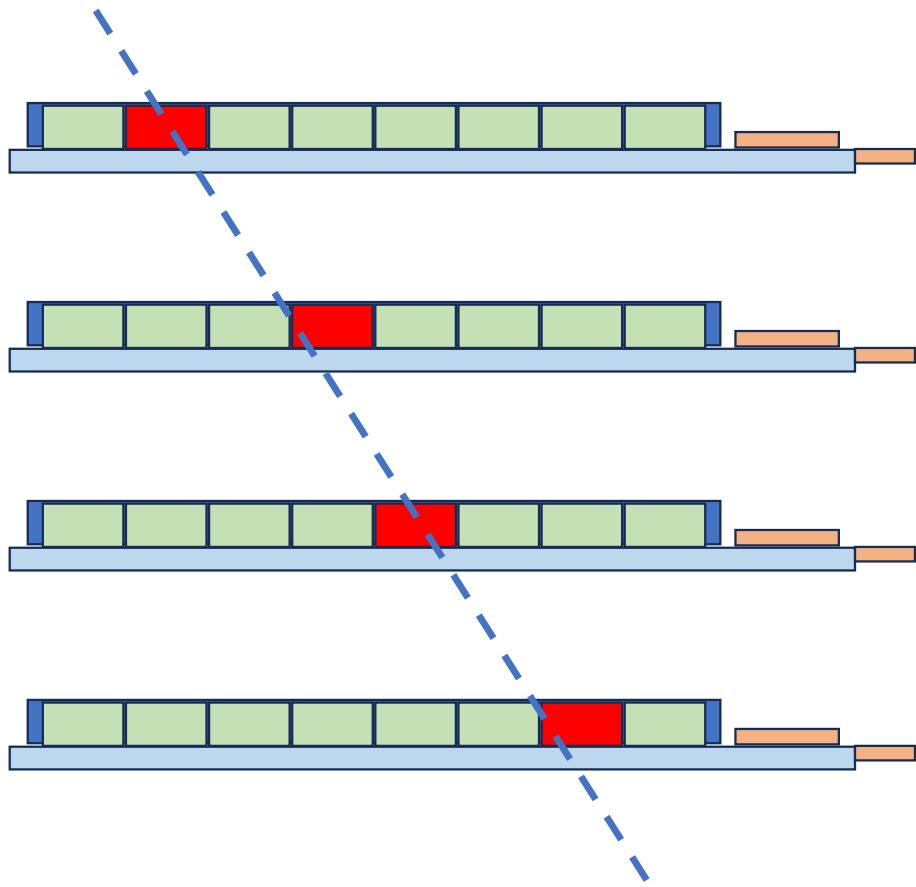
Large acceptable margin in the position of the SiPM in the pixel

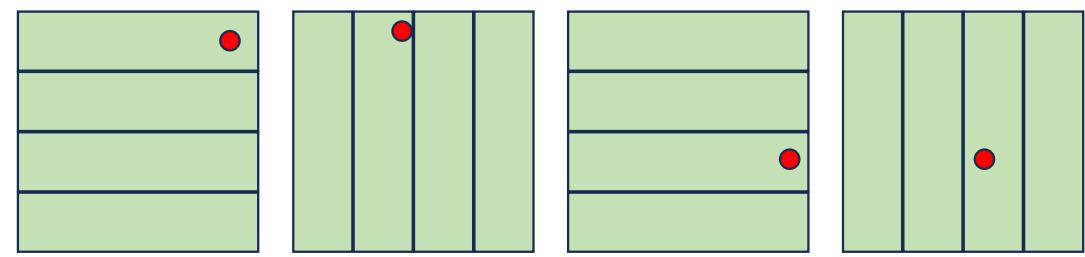
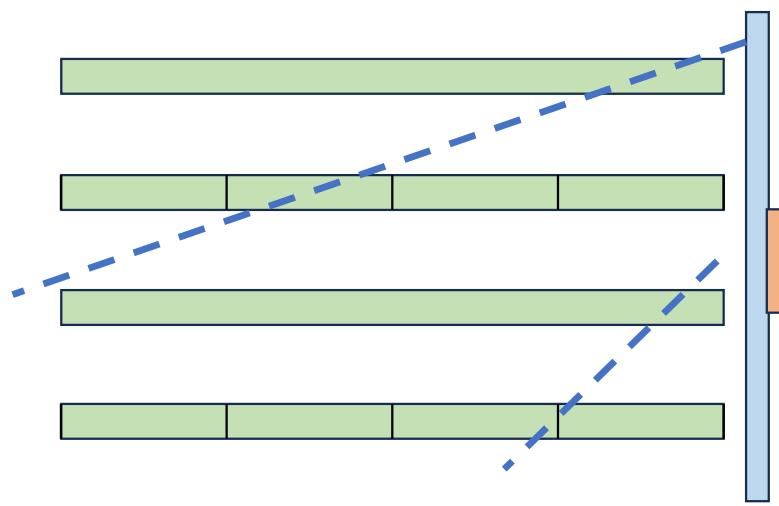
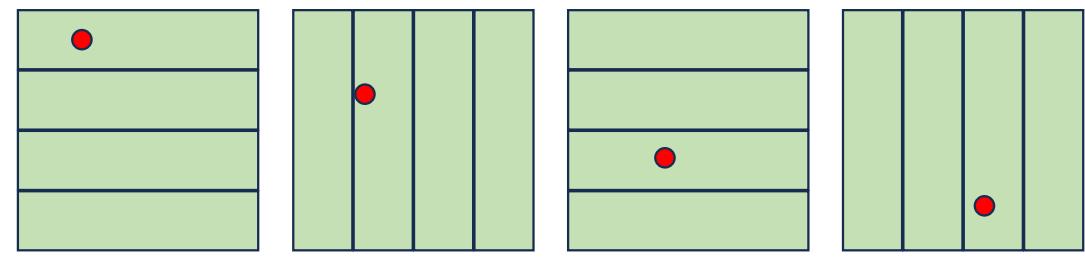
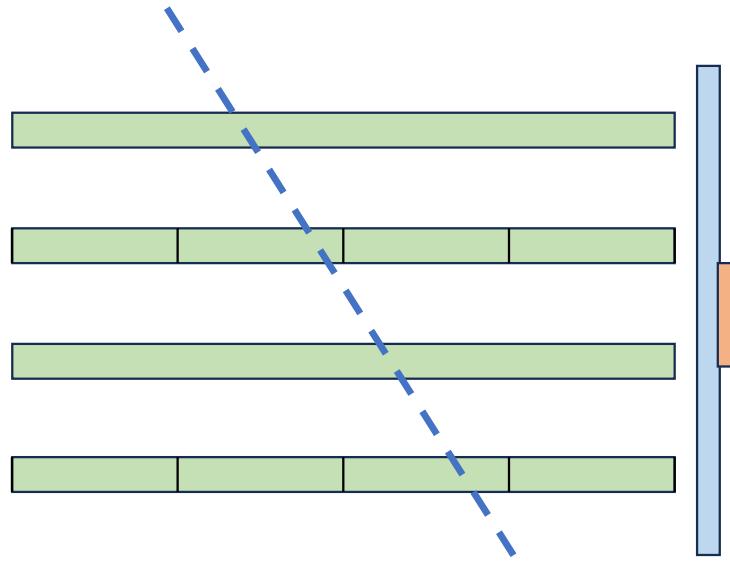
All layers are identical (same side and same length for all cables)



PCB with mounted SiPM

## Scintillator stack

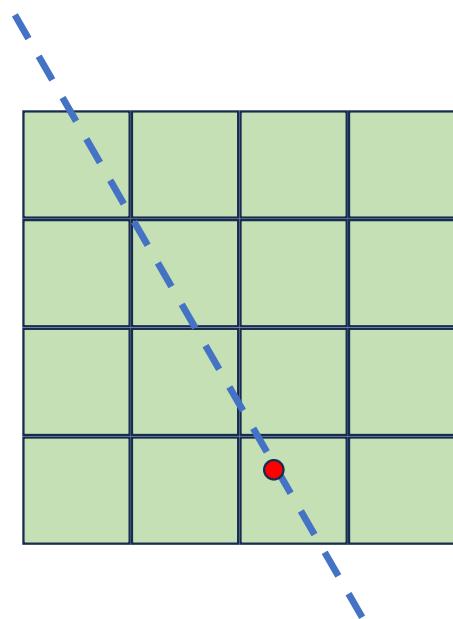
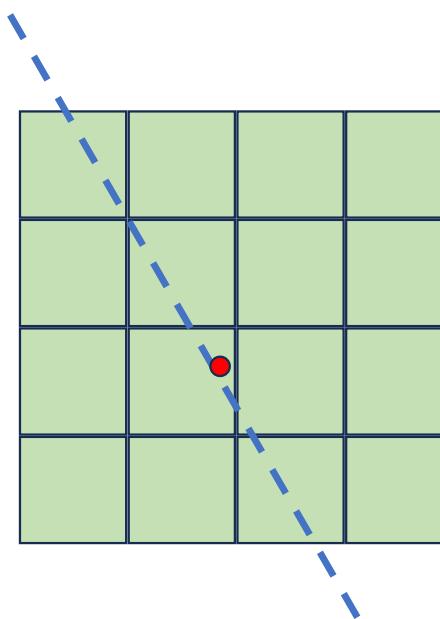
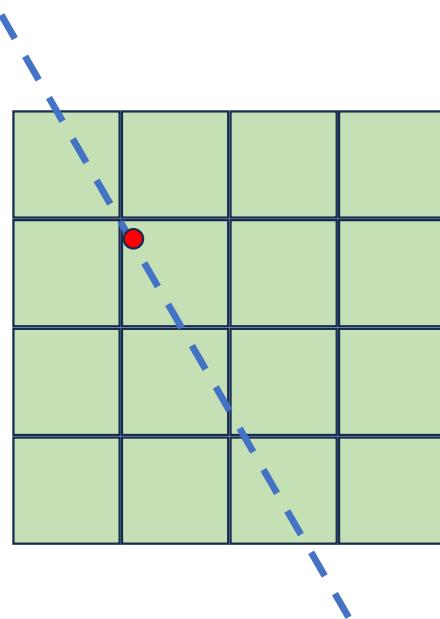
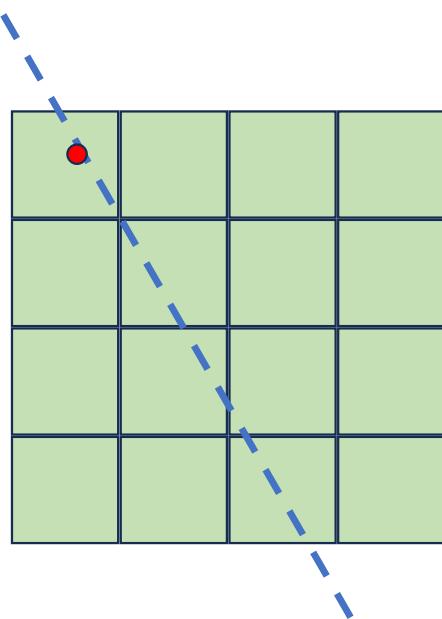
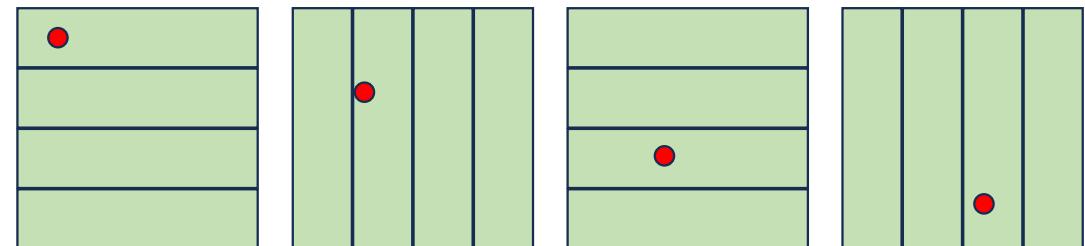




## Alternative “chess-board” layout

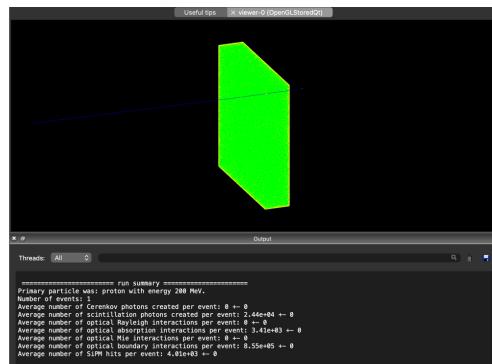
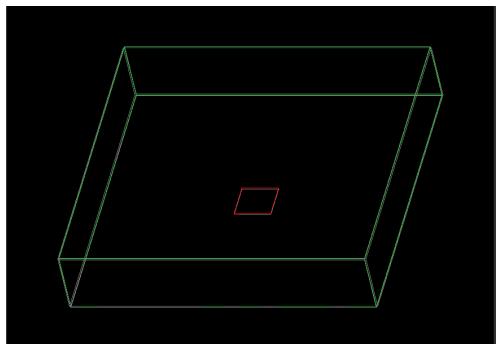
Square pixels

All layer identical.

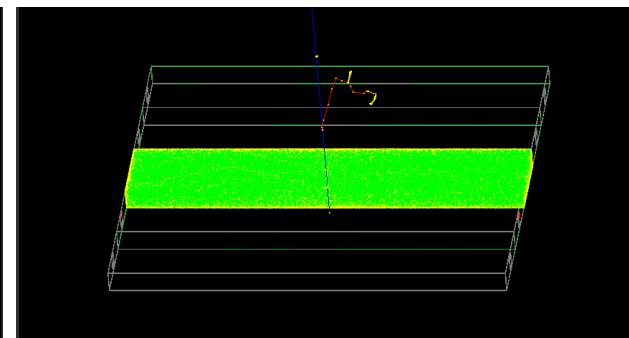
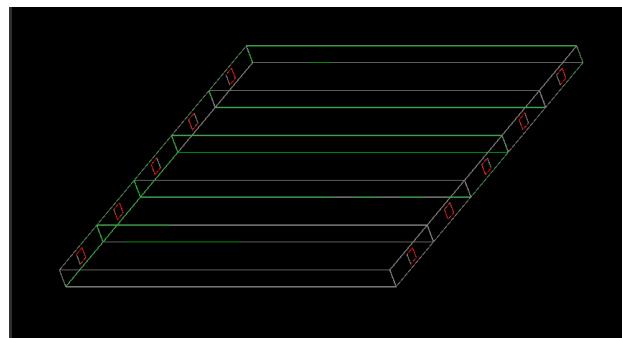


## Simulations Géant-4

Plan scintillateur en damier, un SiPM par pixel



Plan scintillateur en lamelles, 2 SiPMs par lamelle



Per-band RELATIVE photon arrival times (log-x, per-band t0)  
 $xz, z = \frac{t-\mu}{\sigma}; \text{ ExGauss } f(t) = \frac{1}{\tau} e^{\sigma^2/2\tau^2 - (t-\mu)/\tau} \Phi(\frac{t-\mu}{\sigma} - \frac{\sigma}{\tau}); \text{ Gamma } f(t) = \frac{t^{k-1} e^{-t/\theta}}{\Gamma(k)\theta^k}; \backslash$

