

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

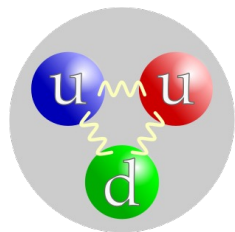
Stabilité de la matière nucléaire

État fondamental de la matière hadronique

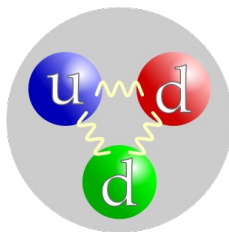
« bag model », années 70's

« strange quark matter », années 80's

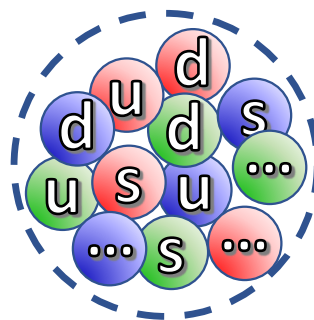
Strangelets, nuclearites, q-balls...



proton

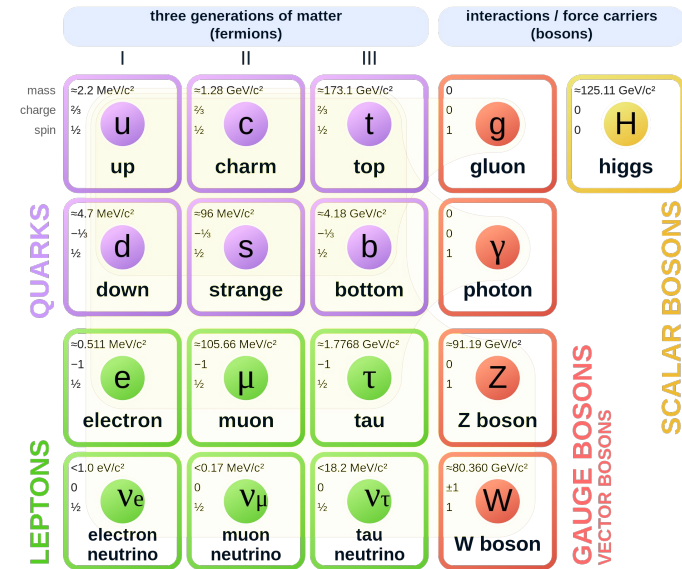


neutron



SQM

Standard Model of Elementary Particles



✧ Autres types d'objets exotiques

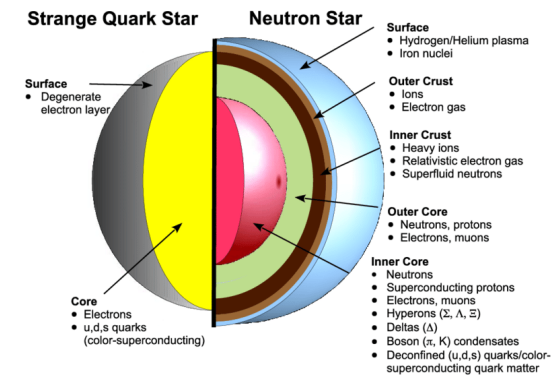
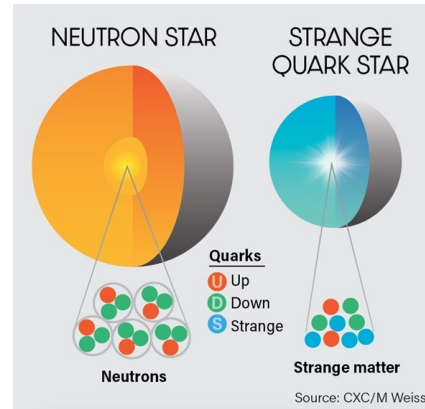
- Mirror matter
- Fermi balls
- Trous noirs primordiaux
- Fuzz balls
- Daemons (Dark Electric Matter Objects)
- Etc.

Contexte scientifique

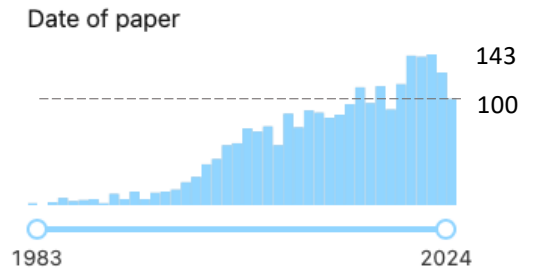
✧ Cosmologie et astrophysique

- Univers primordial
- Matière noire ?
- Étoiles de quarks ?
- Strangelets, Q-balls... intégrés au rayonnement cosmique?

($\sim 100 \leq A \leq \sim 10^{57}$!)



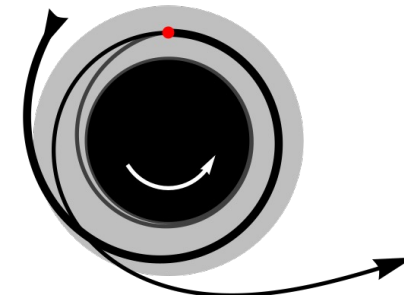
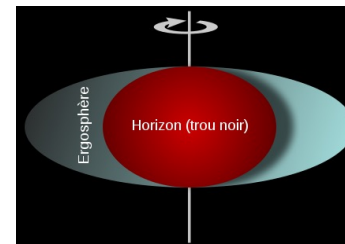
NB: candidat matière noire sans sortir du modèle standard
(Non contraint par la nucléosynthèse primordiale !)



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

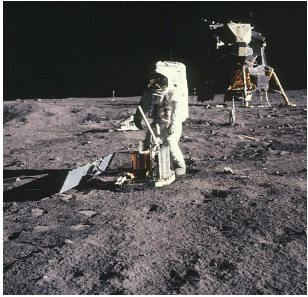
- Éjection lors de la coalescence d'étoiles à neutrons NS-NS ou SN-BH
- Processus d'accélération de Penrose

(extraction d'énergie cinétique dans l'ergosphère d'un trou noir)



Recherches antérieures

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



Strangelets: who is looking and how?

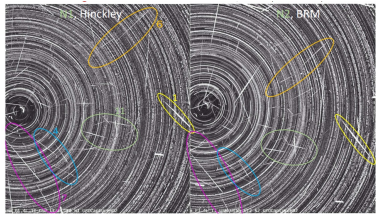
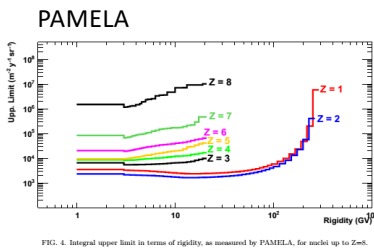
Evan Finch¹

Published 17 November 2006 • 2006 IOP Publishing Ltd

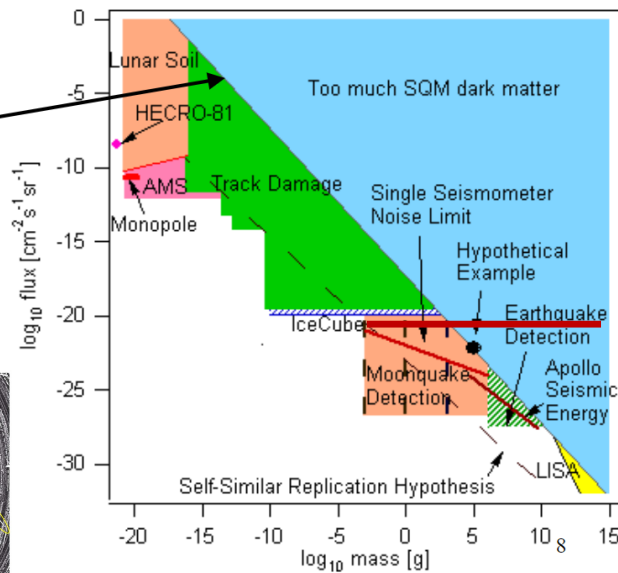
[Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics](#), Volume 32, Number 12

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

Soutenu par le CNES depuis 2011 :

2014: EUSO-Balloon (mission CNES)

2017: EUSO-SPB (super pressure balloon: mission NASA)

2019: MINI-EUSO (ISS: mission RosCosmos+ASI)

2023: EUSO-SPB2 (mission NASA)

2027: EUSO-PBR (mission NASA)

(**E**xtrême **U**niverse **S**pace **O**bservatory)

Étude des rayons cosmiques d'ultra-haute énergie (UHECRs) depuis l'espace

Spokesman: Etienne Parizot (France)

Co-spokesman: Marco Casolino (Italie)



P.I. de SQM-ISS

=> **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](#)

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



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 !

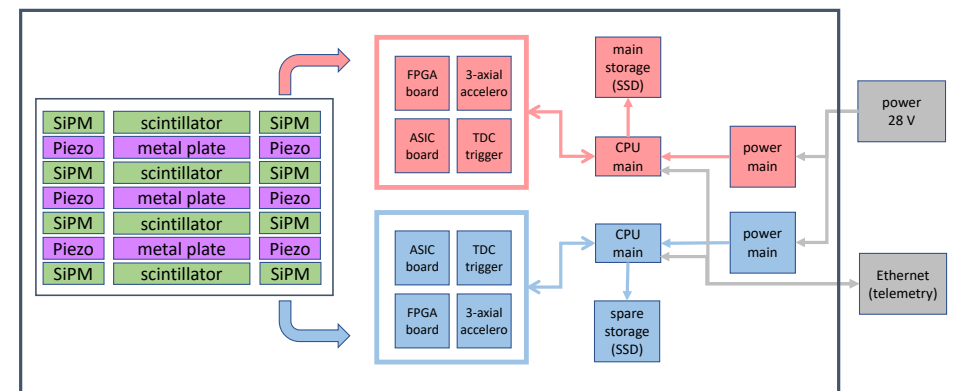
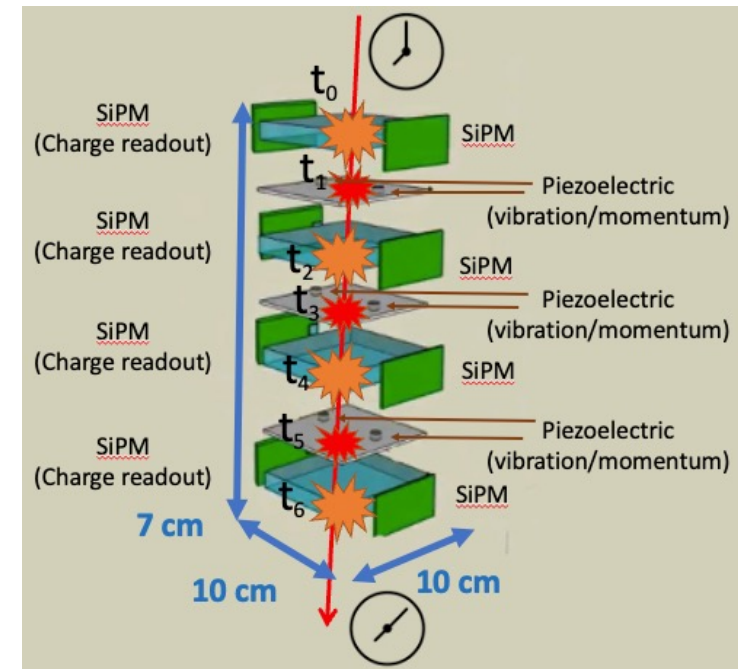
$\rho_{\text{nucléaire}}$

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

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

=> 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

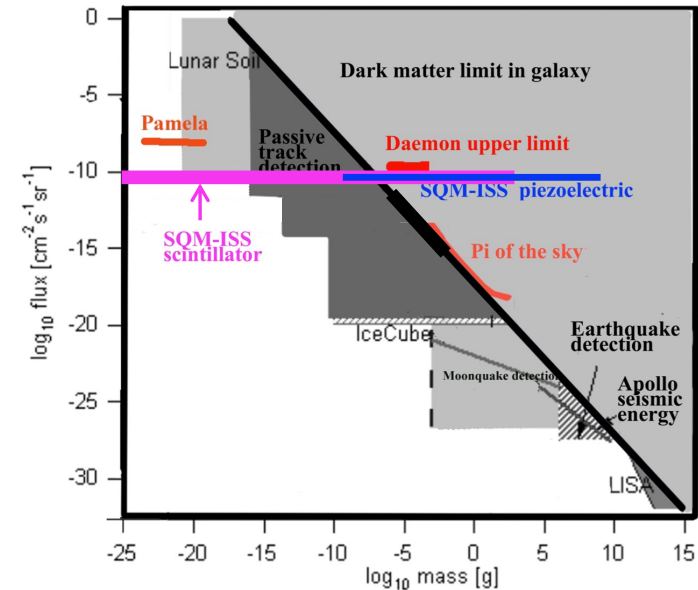
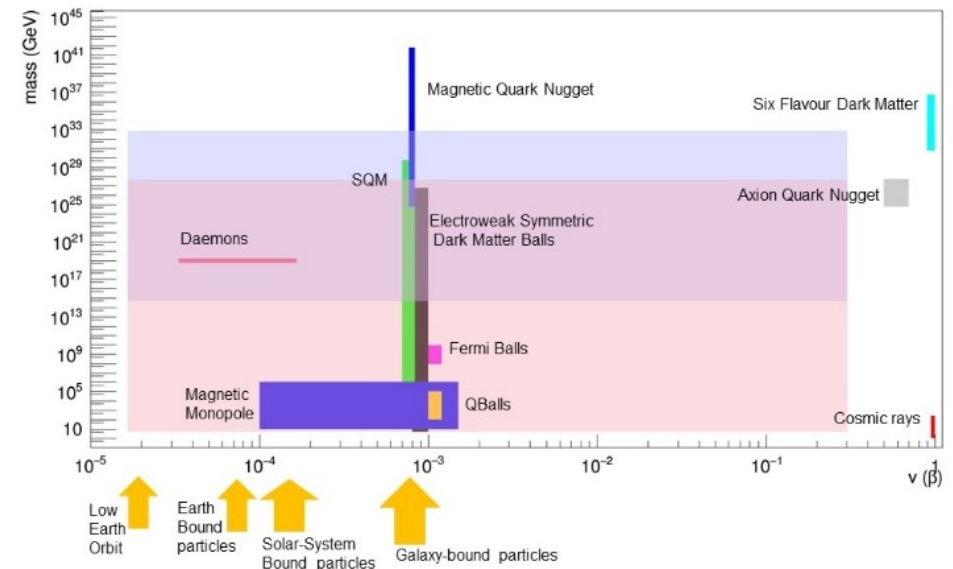
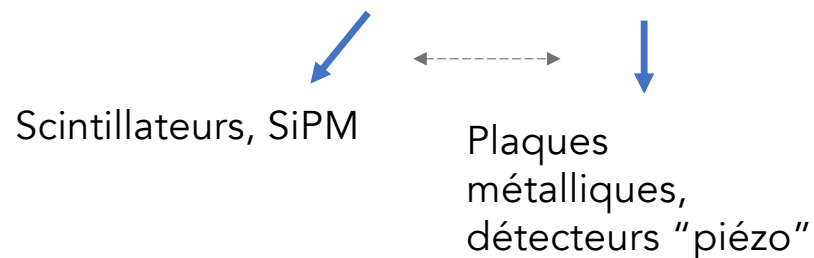
Modes d'interaction à explorer

✧ Extension des limites existantes

Extension du domaine de masse

Particules chargées ou neutres

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



Contribution française

WP1 : Scintillateurs

WP2 : Silicon Photomultipliers (SiPMs)

WP3 : Readout

WP4 : Assemblage

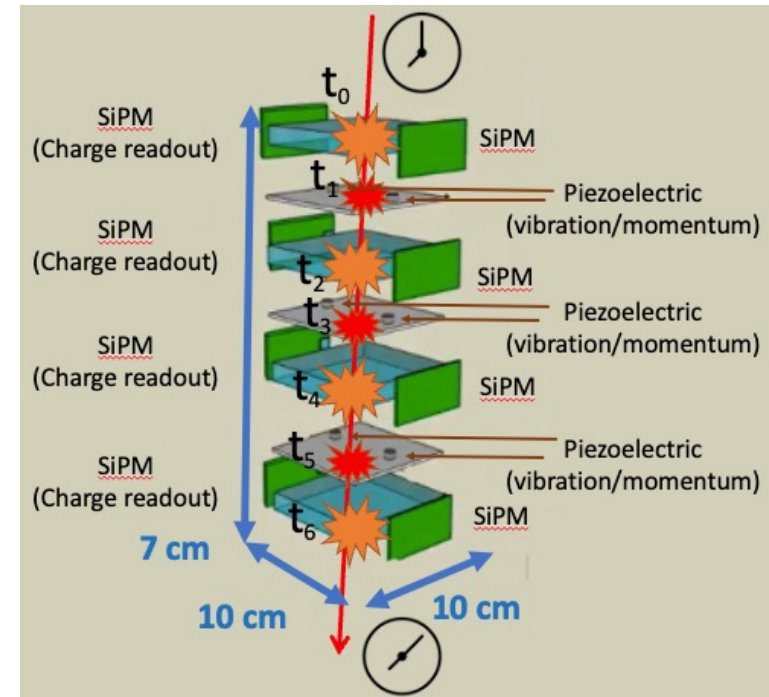
WP5 : Tests

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€ + [?]

WP1 : Scintillateurs
WP2 : Silicon
Photomultipliers (SiPMs)
WP3 : Readout
WP4 : Assemblage
WP5 : Tests
WP6 : Intégration
WP7 : Intégration finale,
qualification, lancement

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€

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)

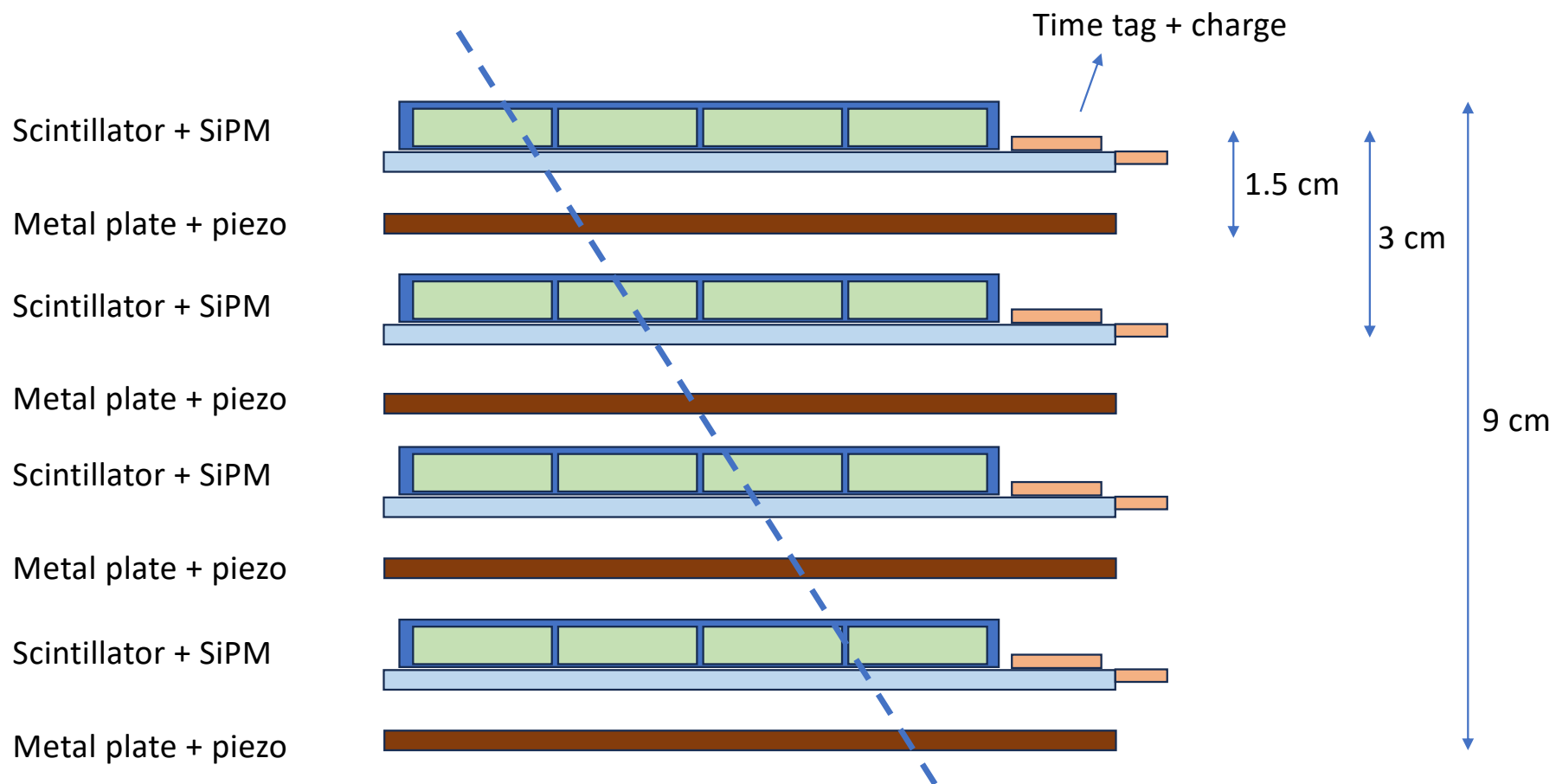
d. Reliquats éventuels

Veuillez 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 la 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

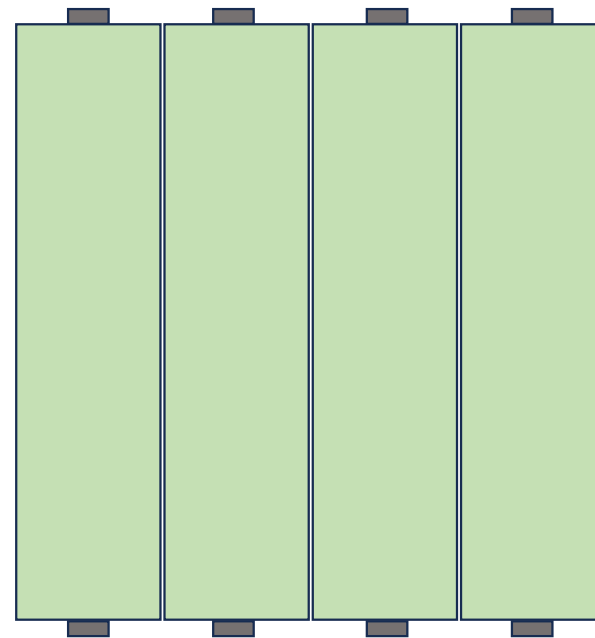
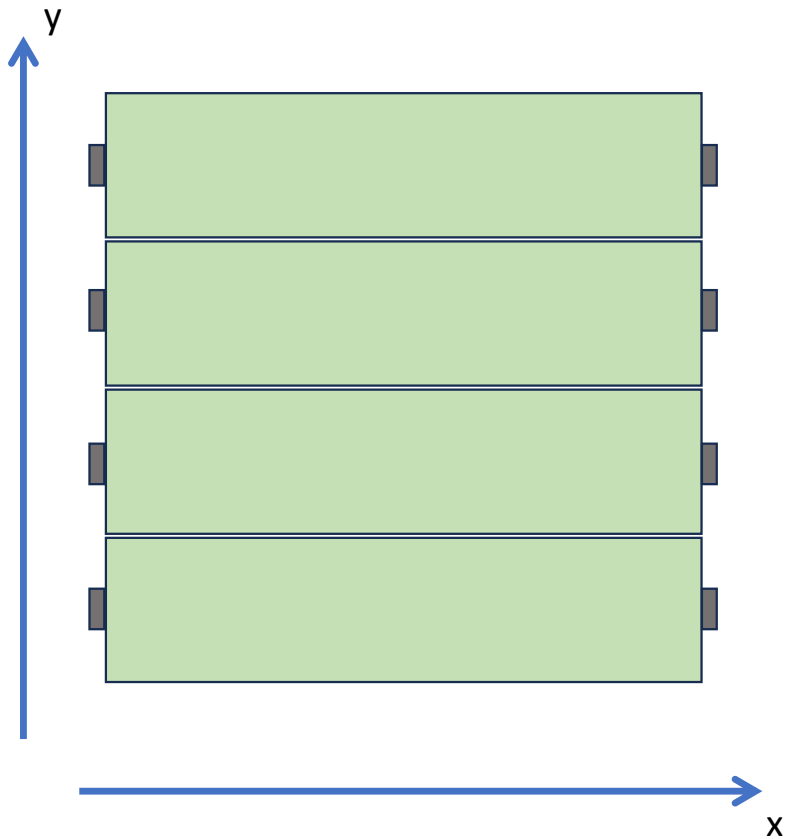
Detector stack



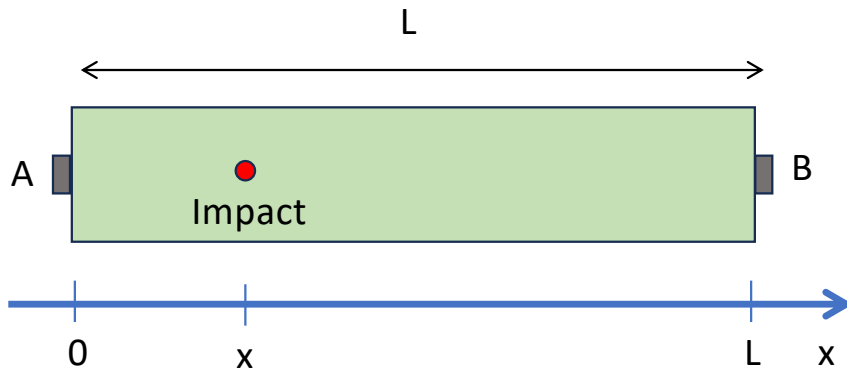
Initial “stripped” layout

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 $v_\gamma \simeq \frac{2}{3}c \Rightarrow \sigma_x \simeq 1.4 \text{ cm} \left(\frac{\sigma_t}{100 \text{ ps}} \right)$

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.



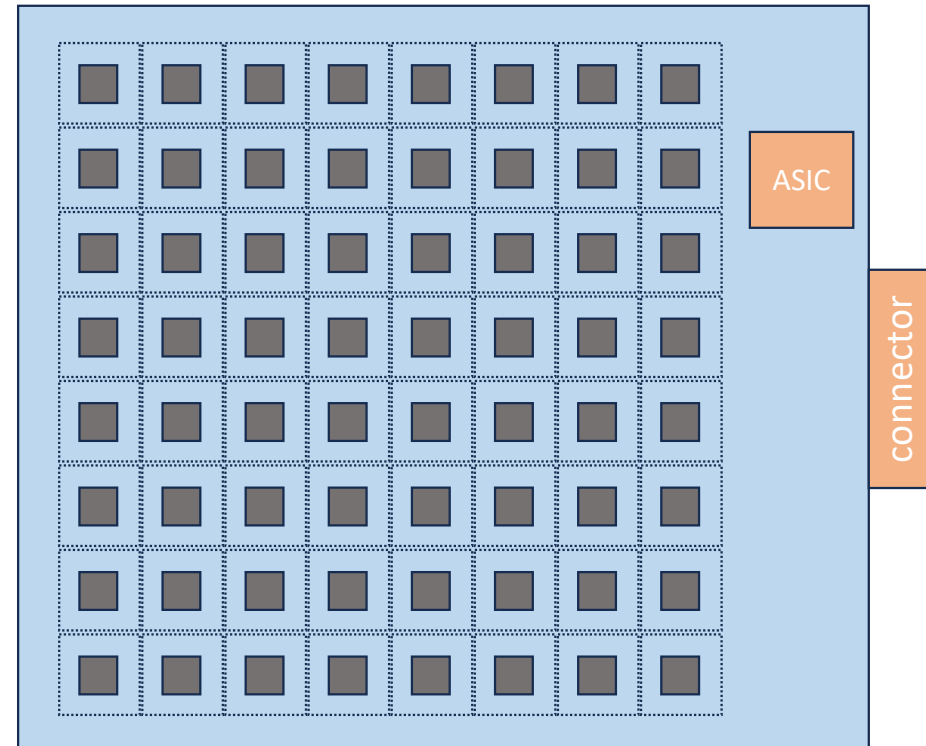
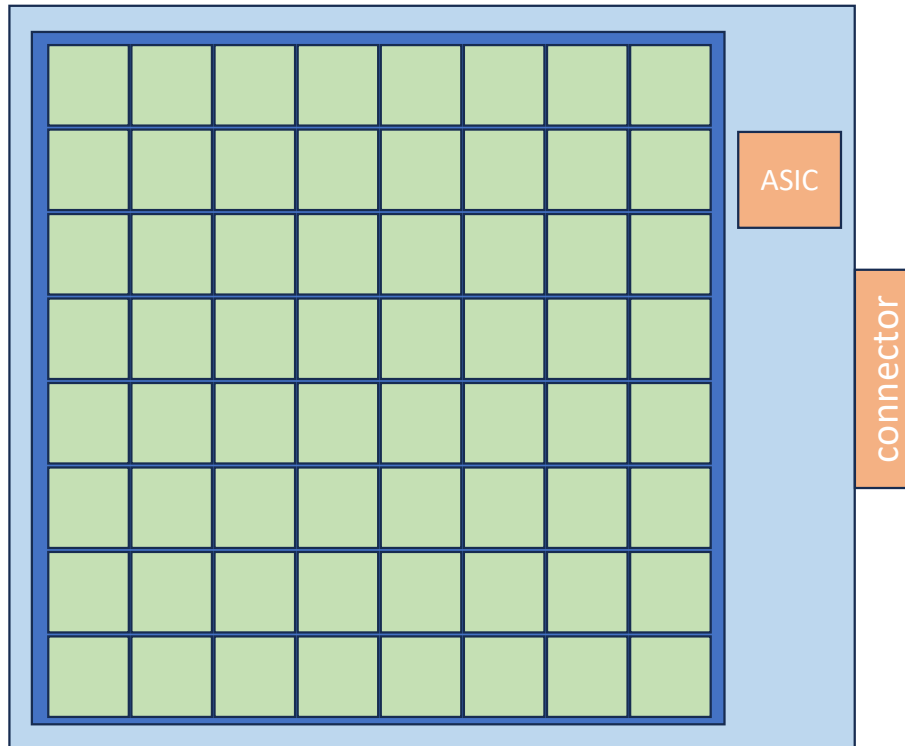
Alternative “chess board” layout

Pixelized scintillator layer

Easier mechanical and electronics integration

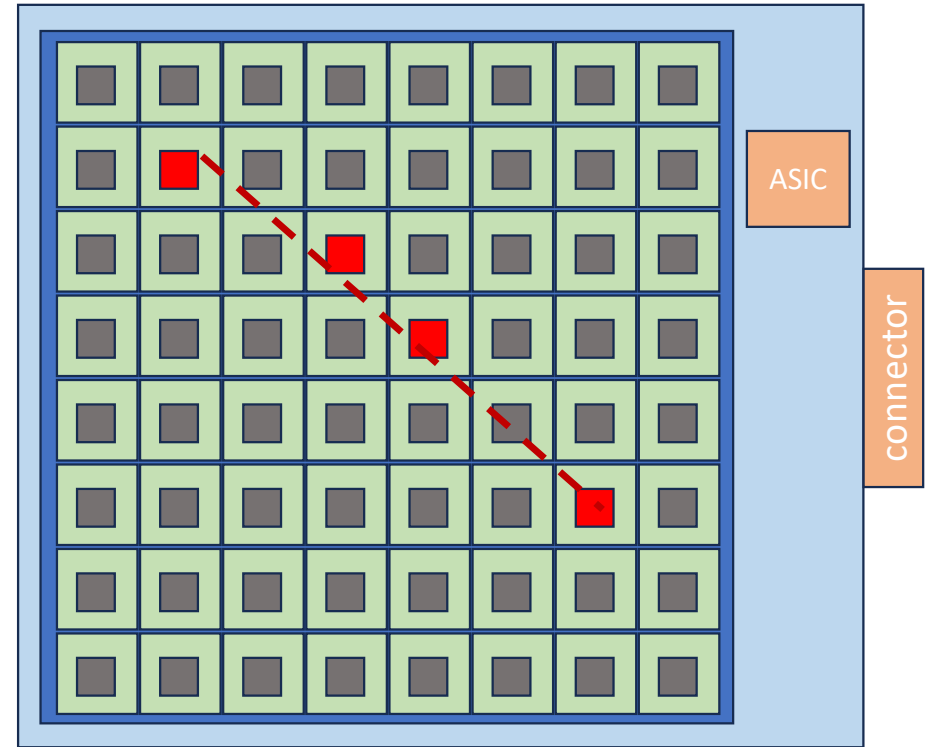
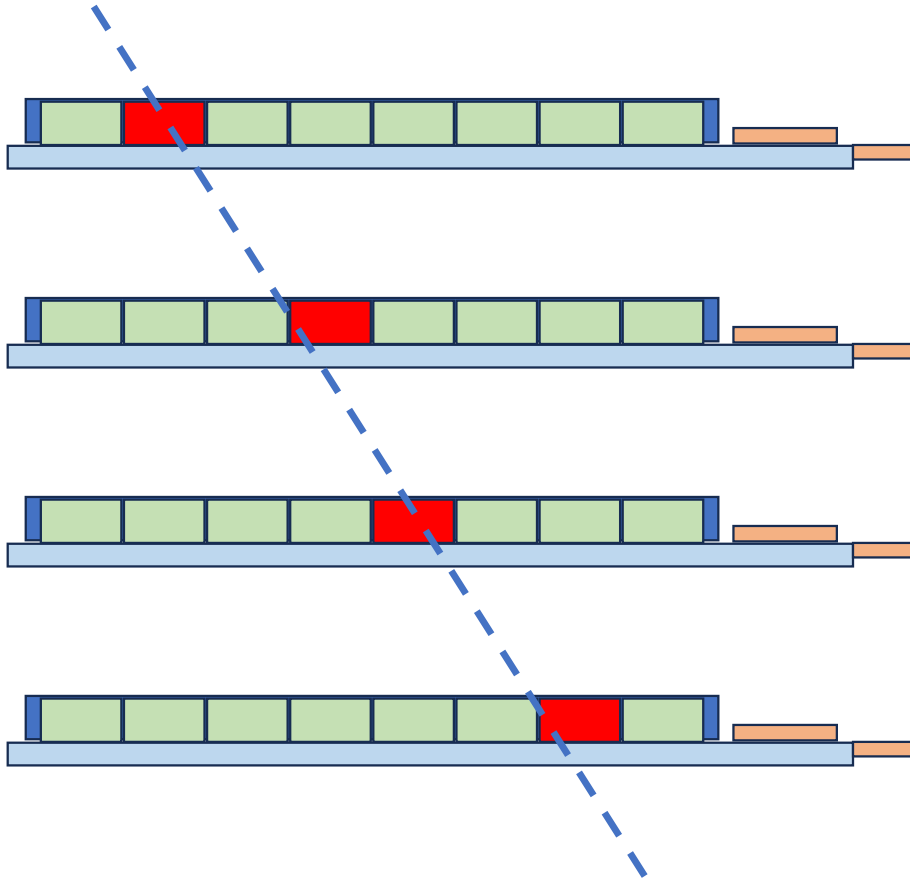
Large acceptable margin in the position of the SiPM in the pixel

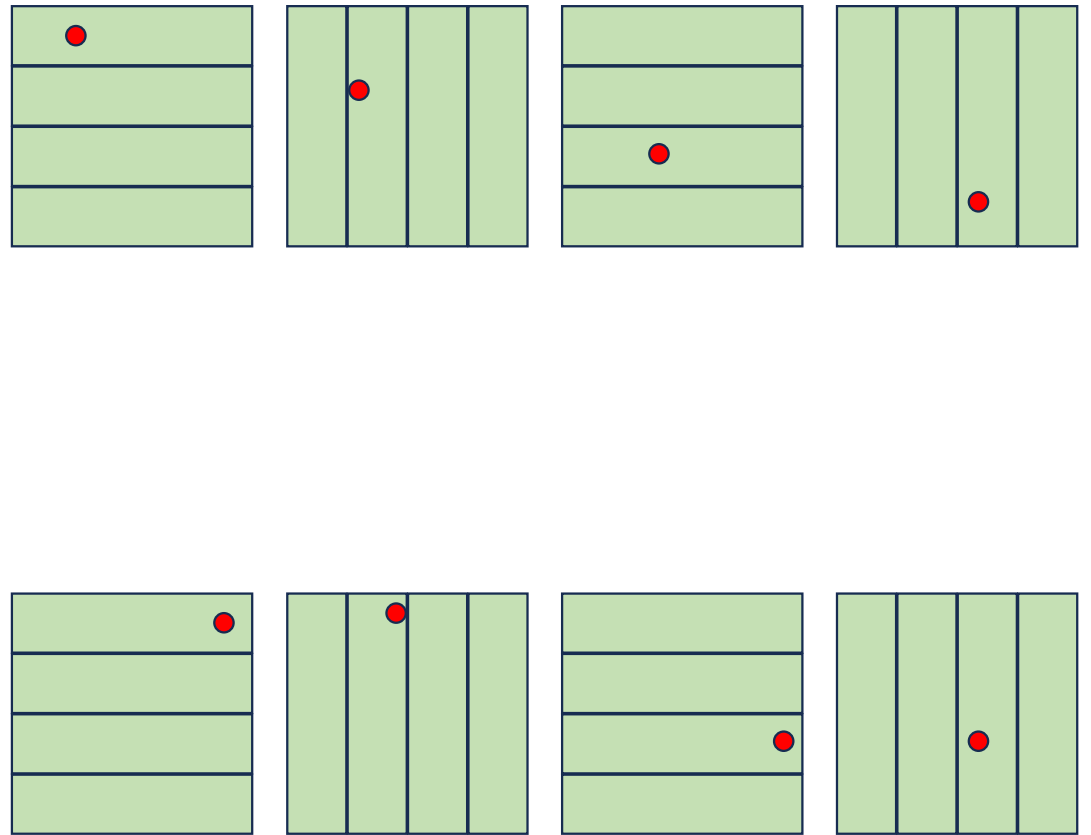
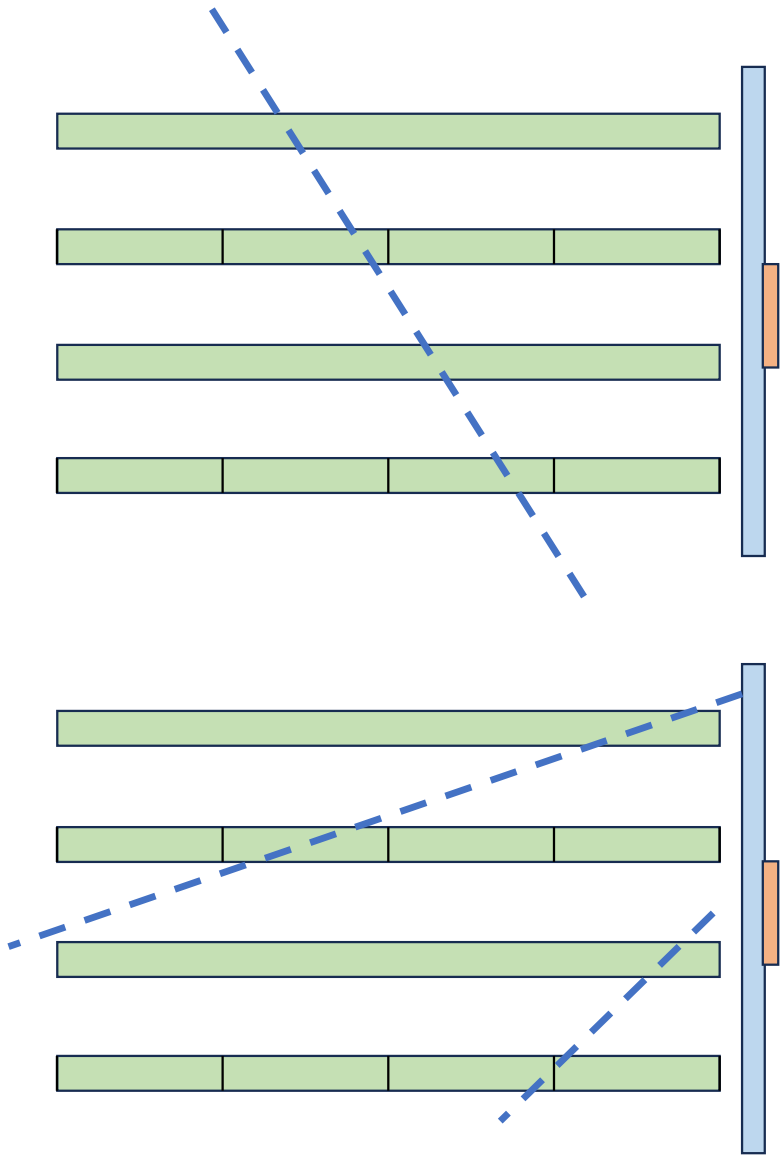
All layers are identical (same side and same length for all cables)



PCB with mounted SiPM

Scintillator stack

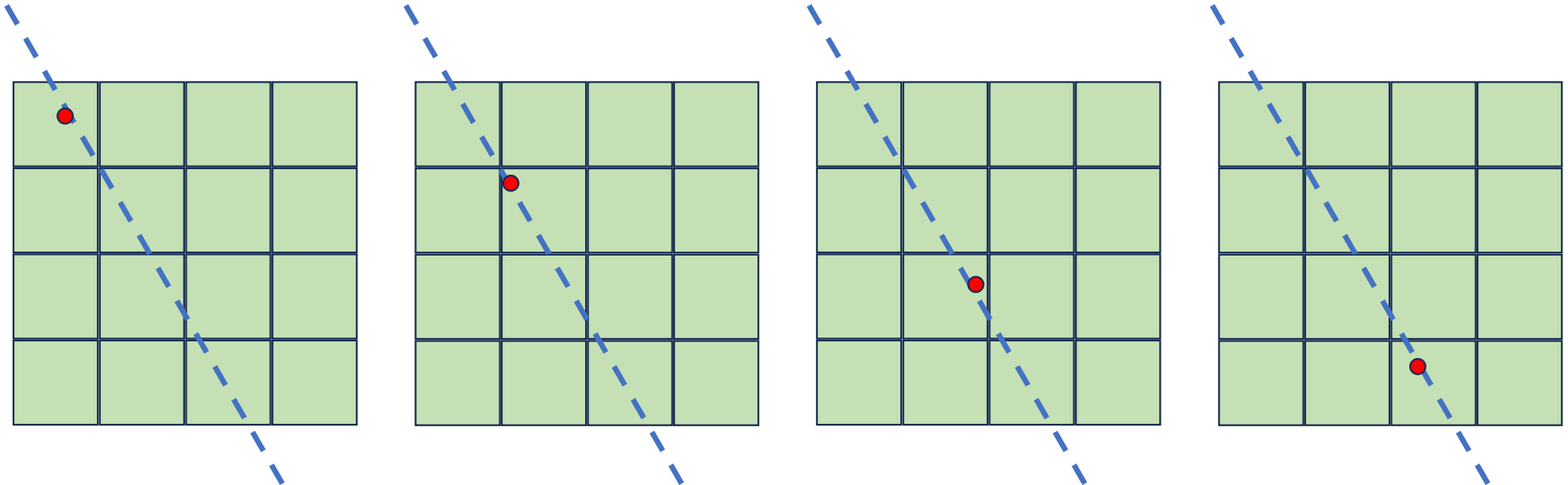
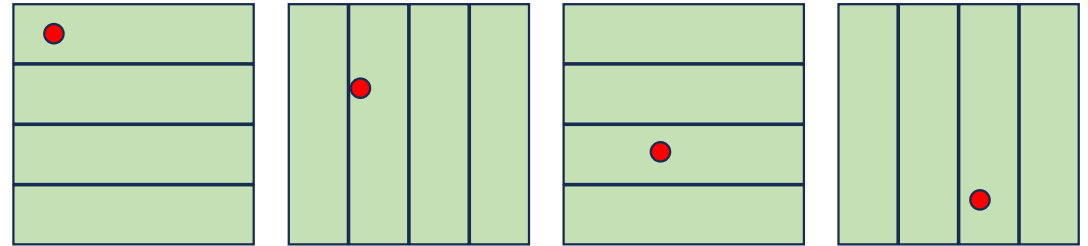




Alternative “chess-board” layout

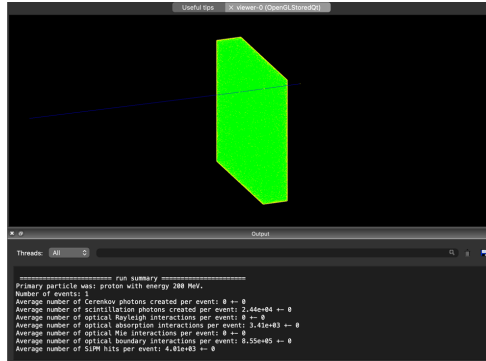
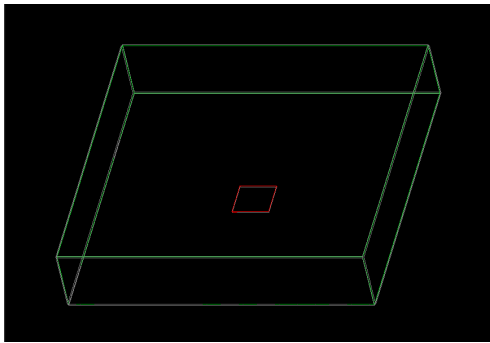
Square pixels

All layer identical.

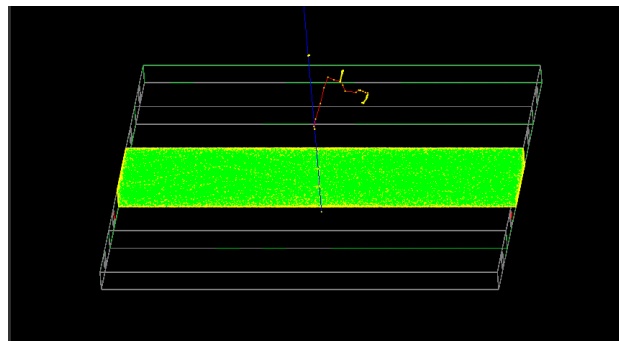
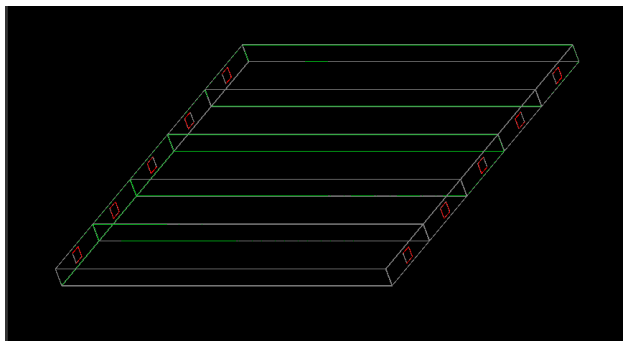


Simulations Géant-4

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)
 $z = \frac{t-\mu}{\sigma}$; ExGauss $f(t) = \frac{1}{\tau} e^{\sigma^2/2\tau^2 - (t-\mu)/\tau} \Phi(\frac{t-\mu}{\sigma} - \frac{\sigma}{\tau})$; Gamma $f(t) = \frac{t^{k-1} e^{-t/\theta}}{\Gamma(k)\theta^k}$; 1

