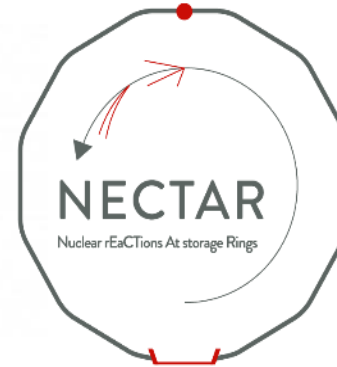


Journée technologique LP2i

Développements NECTAR: Bilan et perspectives



European Research Council
Established by the European Commission

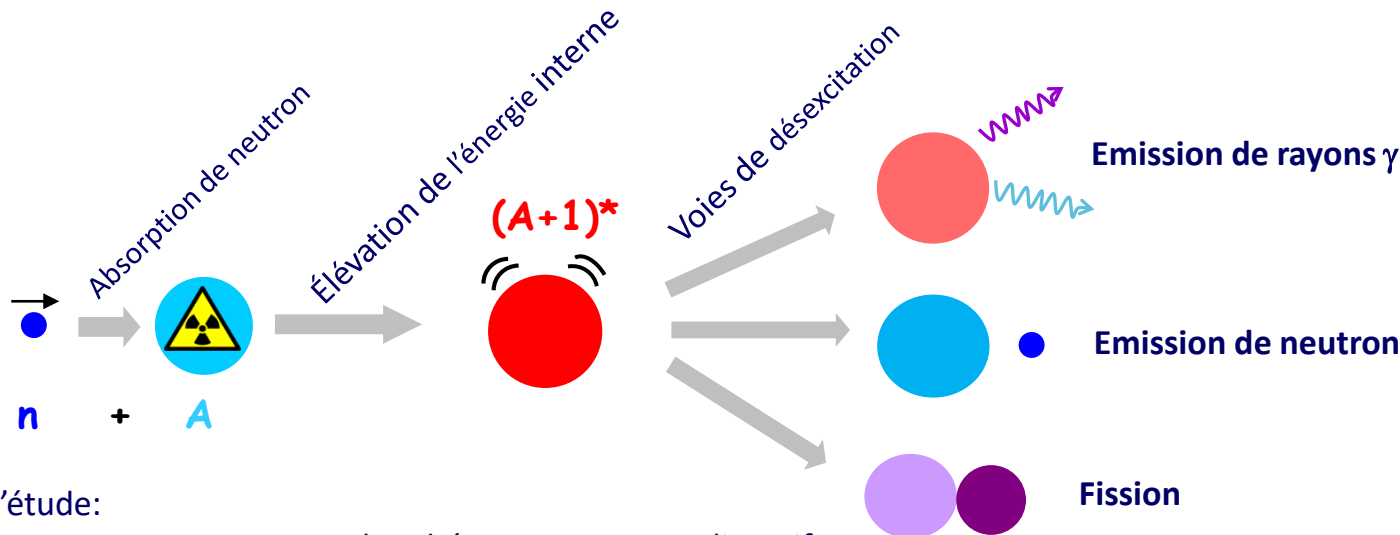


J. Pibernat

20/12/2023

Motivation scientifique

Connaître les sections efficaces de noyaux radioactifs dans des réactions induites par neutron



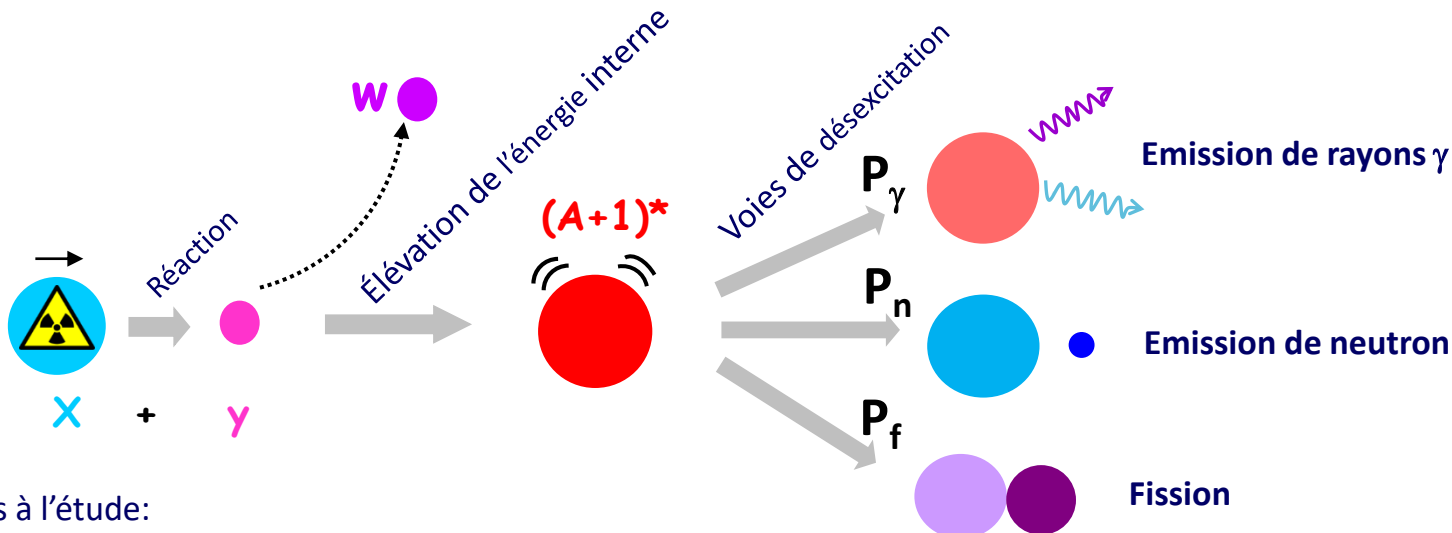
Processus à l'étude:

- 1) Un neutron en mouvement est absorbé par un noyau radioactif
- 2) L'énergie interne du noyau augmente dans l'interaction
- 3) Le noyau se désexcite en émettant un neutron, des γ ou en fissionnant

Très difficile à mesurer en raison de l'activité de la cible -> méthode alternative à mettre en oeuvre

Méthode d'investigation

La méthode de substitution en cinématique inverse devrait résoudre le problème de la production des cibles



Processus à l'étude:

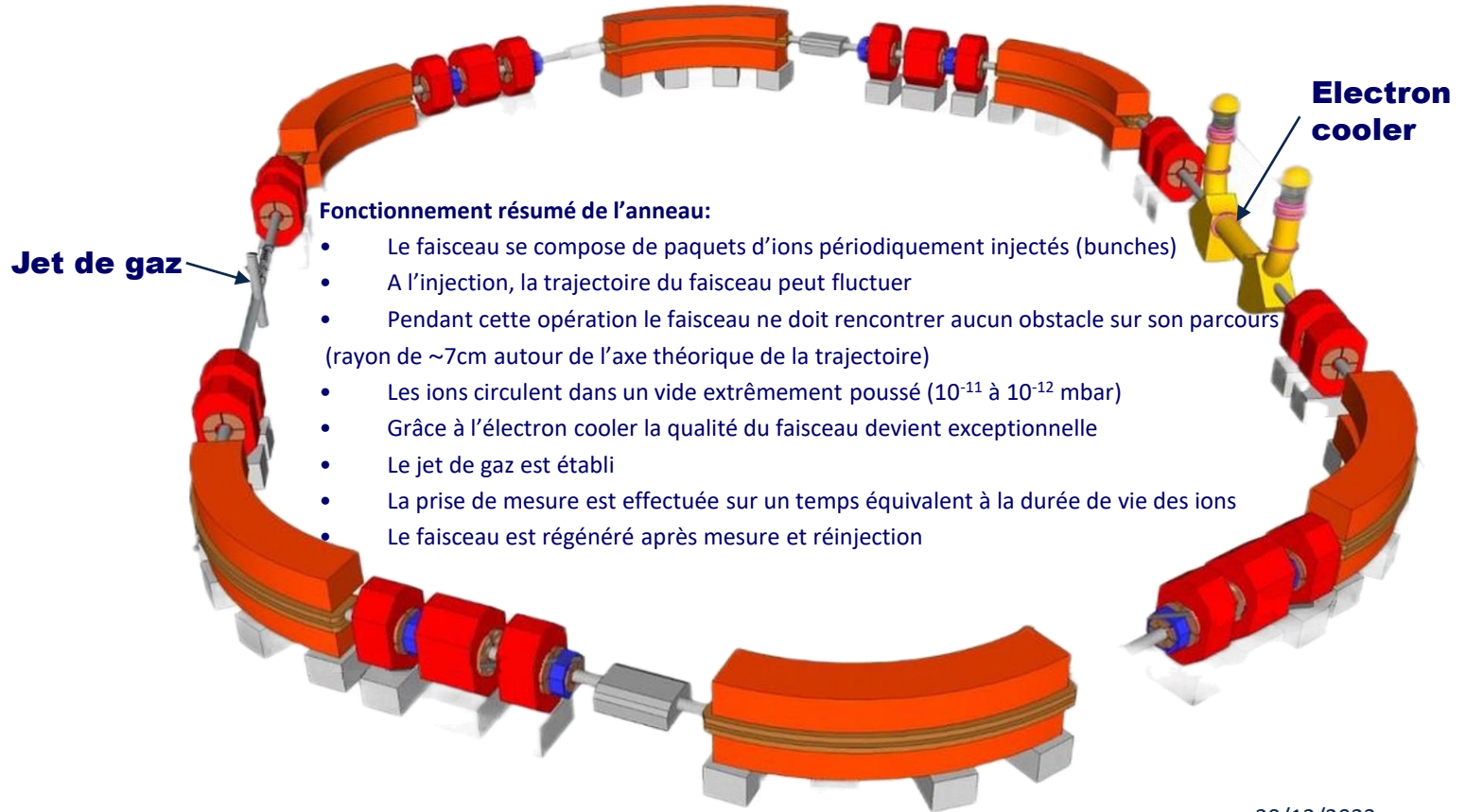
- 1) Un noyau radioactif en mouvement, X , interagit avec une cible de gaz, y
- 2) Le résidu de la cible éjecté, w , signe la production d'un noyau $A+1$ dans un état excité
- 3) Le noyau se désexcite en émettant un neutron, des γ ou en fissionnant

- En mesurant les probabilités P_γ , P_n , P_f , on peut remonter à la section efficace d'intérêt
- Mais difficulté de mesurer précisément ces probabilités par des méthodes standards

Contexte des développements de Nectar

- Possible avec un anneau de stockage et il en existe deux au GSI Darmstadt (Allemagne)
- D'où **NECTAR: Nuclear rEaCTIONS At heavy-ion storage Rings**
 - Bourse ERC advanced
 - Budget: 2.5M€
 - Durée 6 ans, de janvier 2021 à décembre 2026

L'ESR (Experimental Storage Ring)

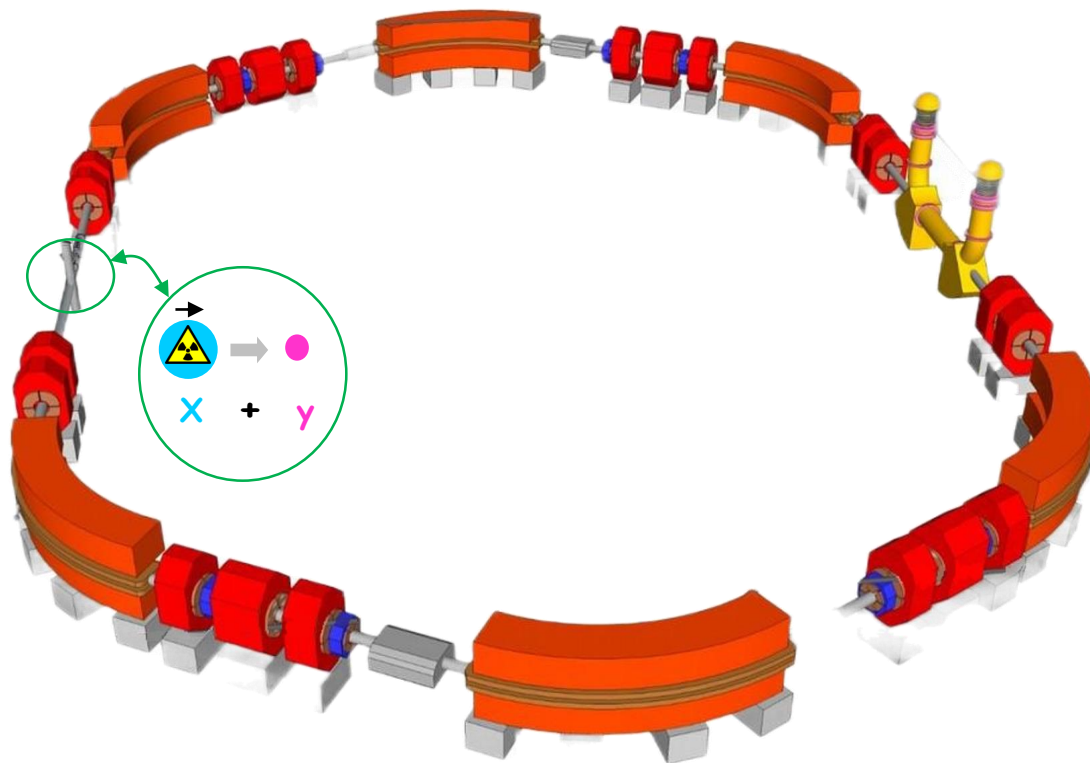


Fonctionnement résumé de l'anneau:

- Le faisceau se compose de paquets d'ions périodiquement injectés (bunches)
- A l'injection, la trajectoire du faisceau peut fluctuer
- Pendant cette opération le faisceau ne doit rencontrer aucun obstacle sur son parcours (rayon de $\sim 7\text{cm}$ autour de l'axe théorique de la trajectoire)
- Les ions circulent dans un vide extrêmement poussé (10^{-11} à 10^{-12} mbar)
- Grâce à l'électron cooler la qualité du faisceau devient exceptionnelle
- Le jet de gaz est établi
- La prise de mesure est effectuée sur un temps équivalent à la durée de vie des ions
- Le faisceau est régénéré après mesure et réinjection

1^{er} principe NECTAR illustré (1/2)

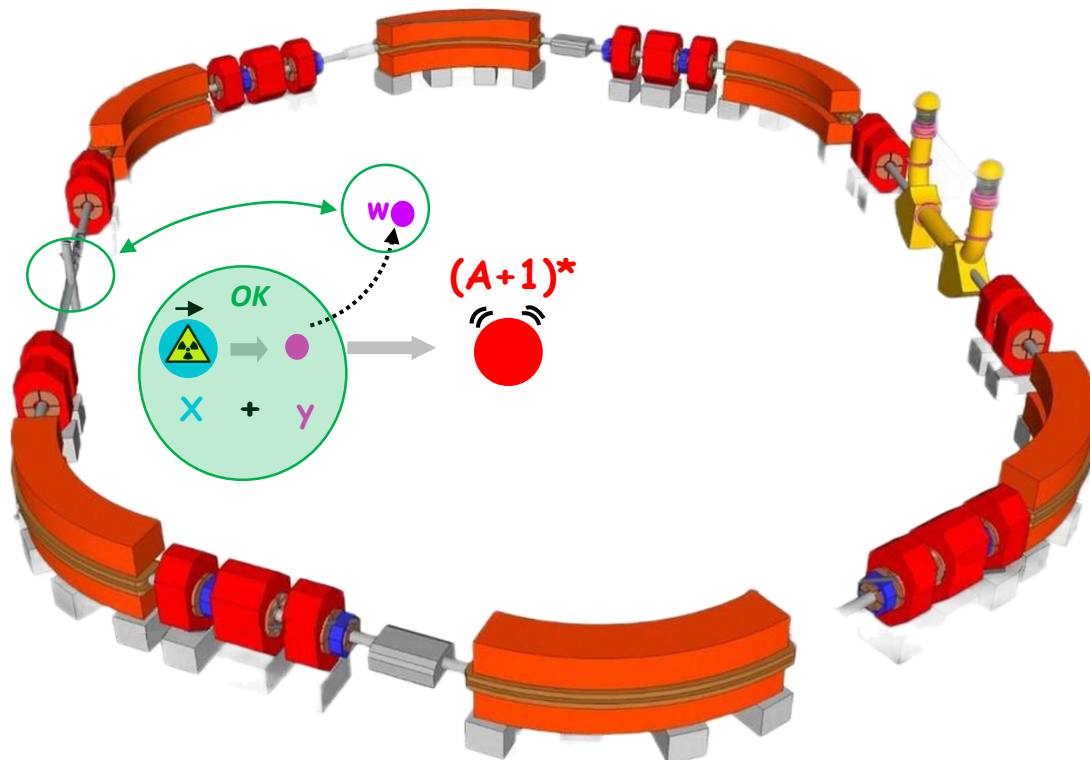
En provoquant une réaction entre un faisceau d'ions lourds et un jet de gaz...



1^{er} principe NECTAR illustré (2/2)

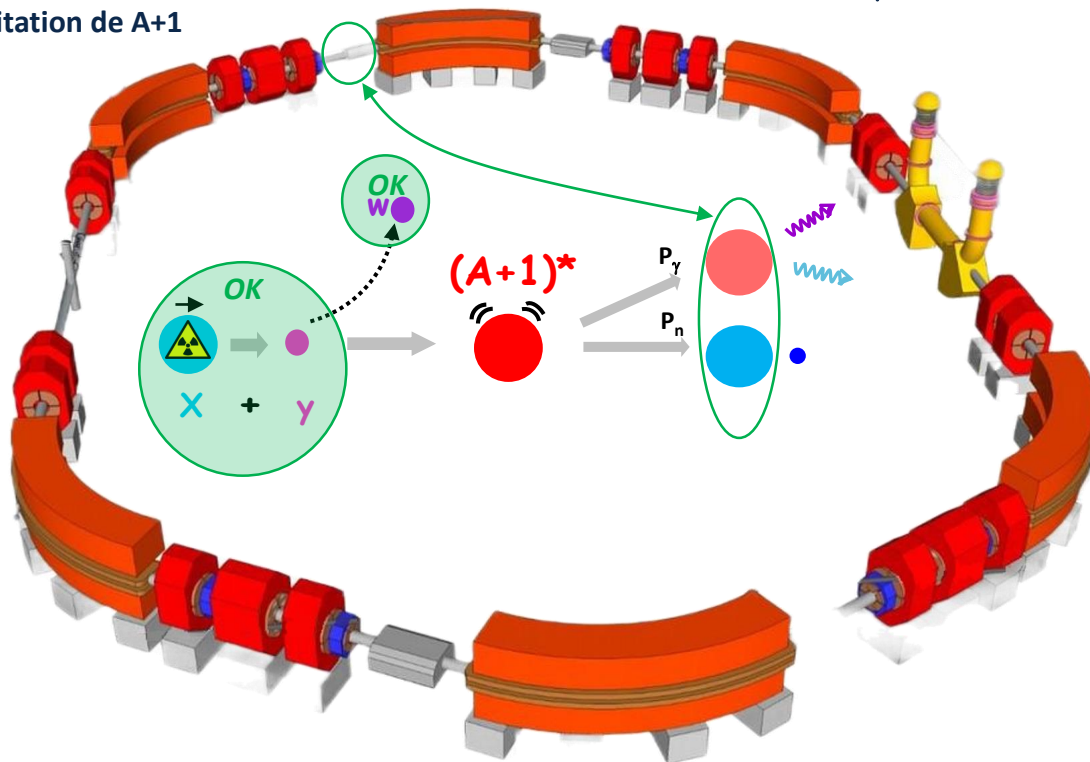
Si l'on parvient à détecter le résidu de la cible, w , alors on a produit le noyau $A+1$

De plus si l'on parvient à mesurer avec suffisamment de résolution l'énergie de w et son angle d'émission, alors on peut déduire l'énergie d'excitation du noyau $A+1$



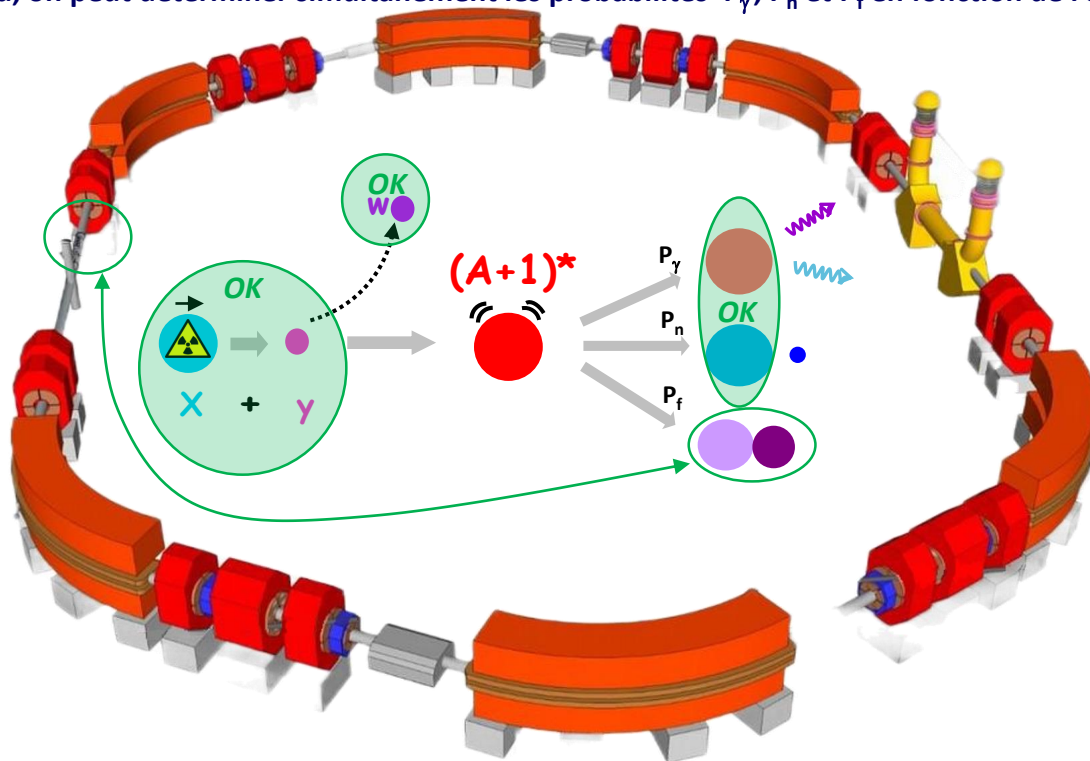
2eme principe NECTAR illustré

Si le noyau $A+1$ a été produit, alors grâce à l'anneau, on n'a pas besoin de détecter des γ ou des neutrons, mais seulement les résidus lourds qui restent après leur émission, pour déterminer $P(\gamma)$ et $P(n)$ en fonction de l'énergie d'excitation de $A+1$



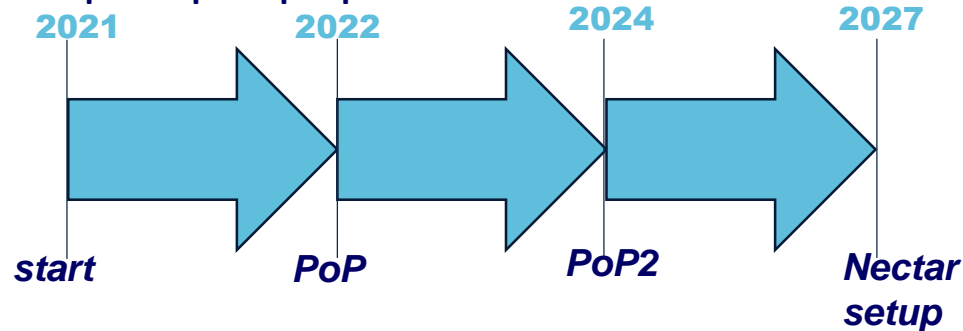
3eme principe NECTAR illustré

Si l'on parvient de plus, à mettre au point une technologie pour détecter les fragments de fission dans l'ultra-vide,
Alors, grâce à l'anneau, on peut déterminer simultanément les probabilités P_γ , P_n et P_f en fonction de l'énergie des noyaux excités



Besoins de développement et time line

- En résumé, pour Nectar on a besoin d'équipements techniques capables de réaliser les fonctions principales suivantes:
 - Provoquer la réaction entre un faisceau d'ions radioactifs et un jet de gaz
 - Détecter les produits de la réaction qui en résultent (TR, HR et FF)
 - Extraire les signaux de détection et les convertir en données pour analyse
- On a aussi besoin de vérifier que les principes précédemment énoncés sont bien valides d'où les principaux jalons :

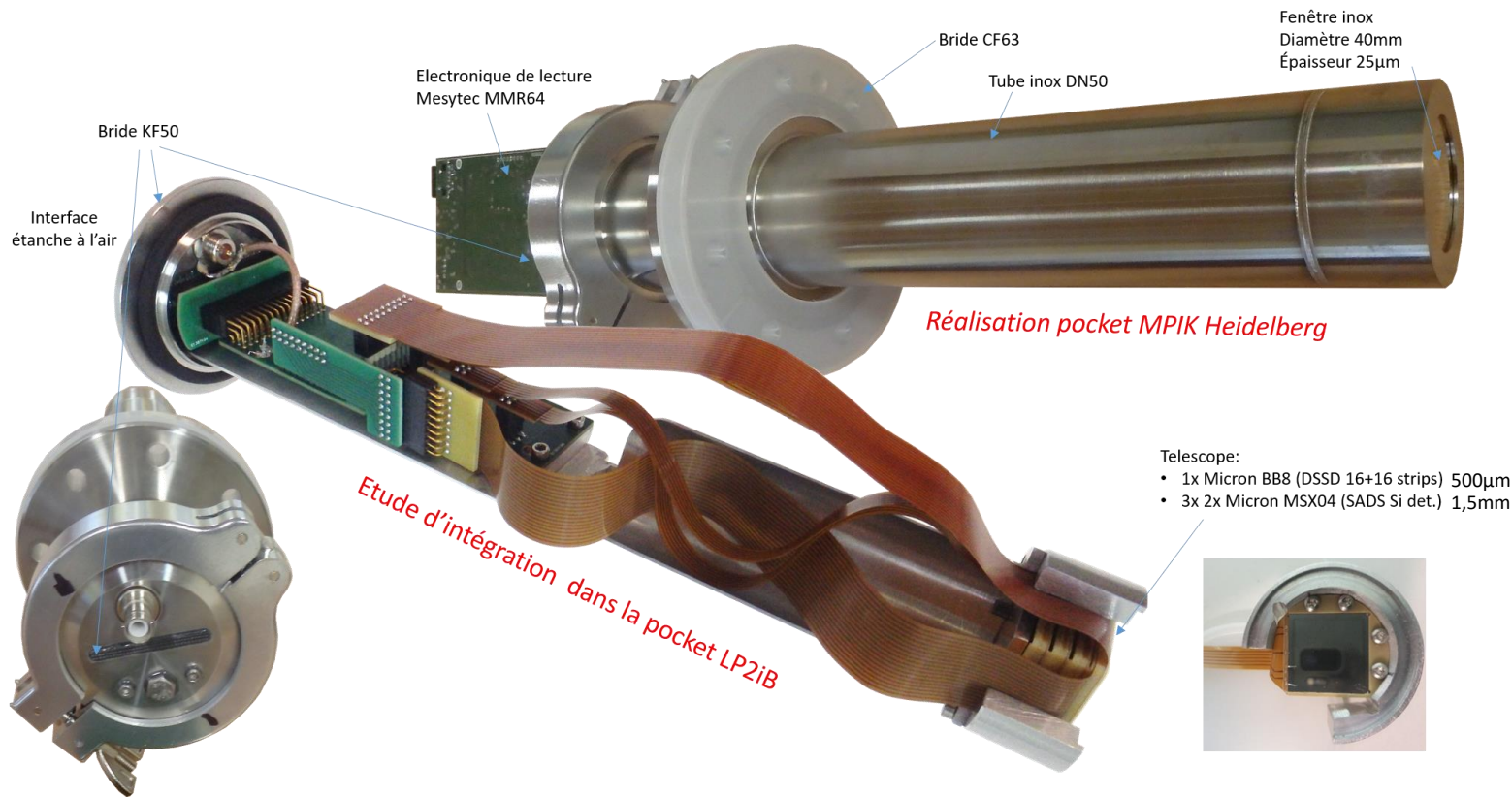


- « PoP » signifie « Proof Of Principle » ou preuve de principe
- Les expériences PoP et PoP2 doivent permettre de vérifier que le développement ultime de Nectar a un sens et est réalisable

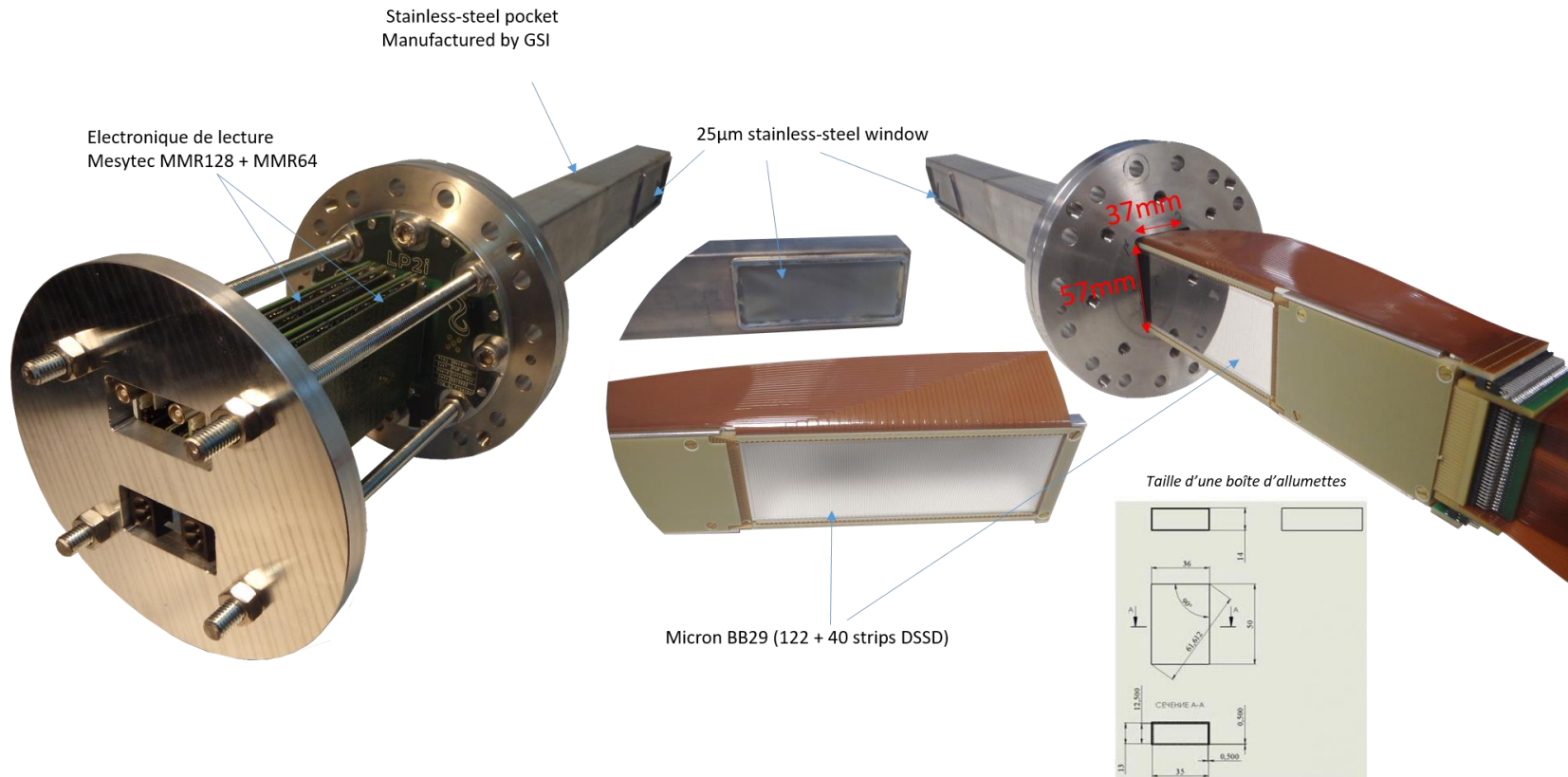
Développements NECTAR PoP

- 2 systèmes de détection prototypes à monter sur deux chambres existantes
 - Un prototype de système de détection des résidus de la cible (PoP-TRDS)
Objectifs:
 - Tester sur site une technologie permettant de vérifier que l'on peut détecter les résidus de la cible
 - Evaluer la résolution sur la mesure en énergie interne ou d'excitation que l'on peut obtenir avec ce système
 - Un prototype de système de détection des résidus lourds (PoP-HRDS)
Objectifs:
 - Tester sur site une technologie permettant de vérifier que l'on peut détecter les résidus lourds
 - Evaluer la séparation entre les résidus produits après émission gamma et neutron et l'efficacité de détection
- 1 système d'acquisition (PoP-DAQ)
Objectifs:
 - Tester sur site que l'on peut exploiter les signaux de détection et en tirer les données requises pour chaque détecteur
 - Tester sur site que l'on peut déterminer une corrélation en temps entre l'instant auquel un résidu de la cible est détecté et l'instant auquel un résidu lourd est détecté

PoP-TRDS (Proof of Principle - Target-like Residue Detection System)

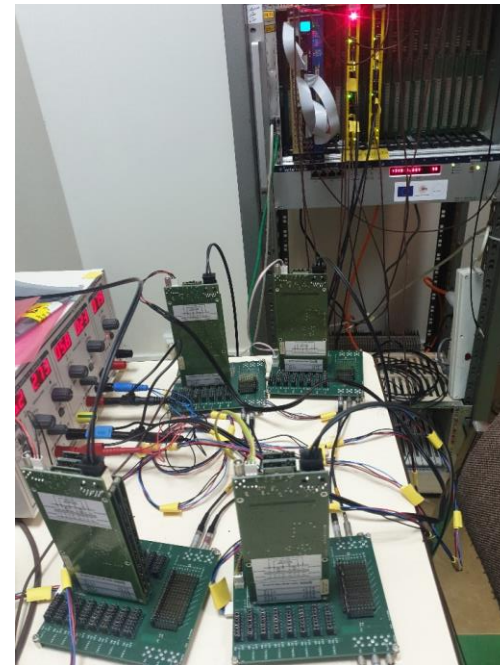
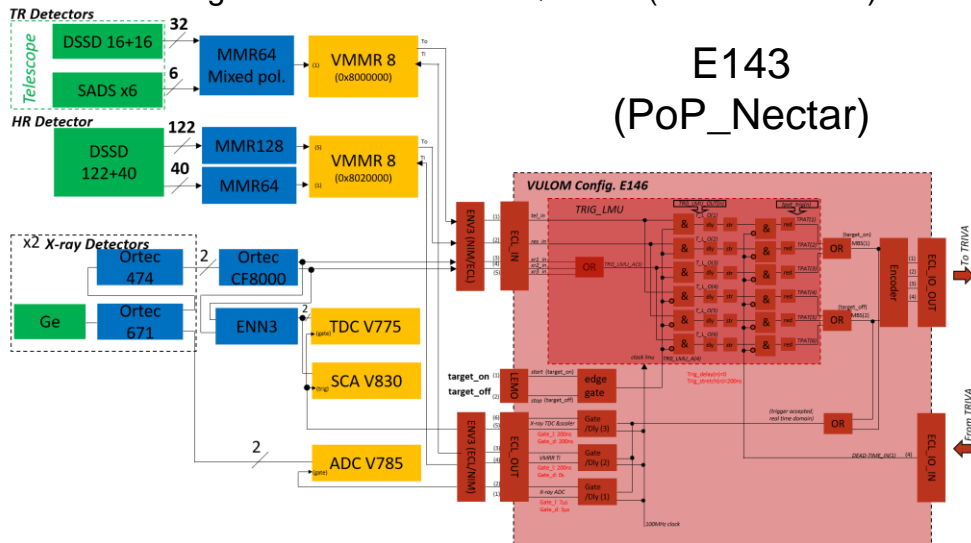


PoP-HRDS (Proof of Principle - Heavy Residue Detection System)



PoP-DAQ (Proof of Principle Data Acquisition)

- Electronique de lecture DSSD: Solution commerciale MMR Mesytec (contraintes encombrement + temps de dev.)
- Architecture front-end modulaire, back-end orienté VME (taux d'événements faible) ; éprouvée pour la lecture de détecteur Si
- Hardware complété par « standards » acquisition GSI :
 - Module TRIVA pour trigger et synchro multidétecteurs
 - Module VULOM logique de trigger (firmware générique développé par GSI)
- Driver Mesytec VMMR développé par GSI, pour MBS
- Traitement des données par logiciel Go-4/Nectar développé par GSI
- Tests d'intégration avec modules Qi-MMR (LP2i Bordeaux)



Status PoP

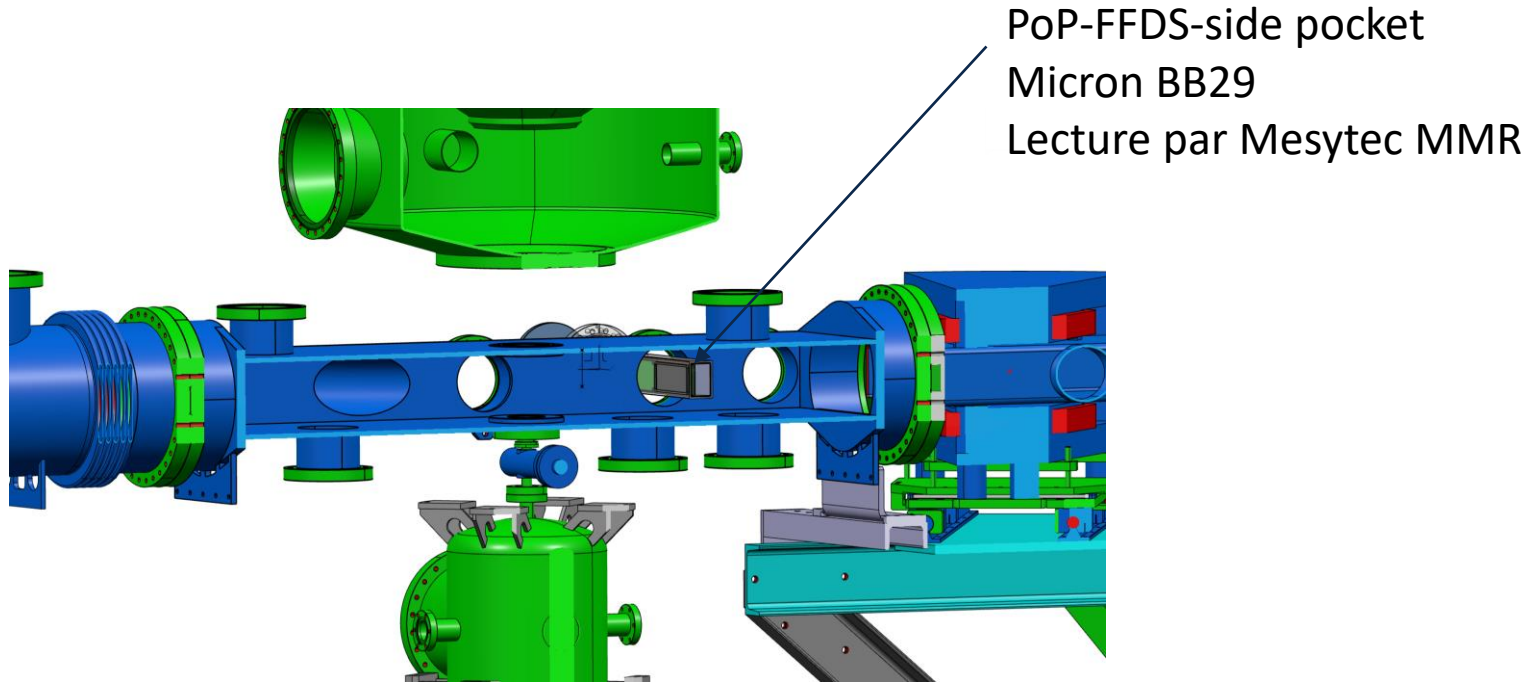
- **Les résultats de physique obtenus au cours de l'expérience PoP vont être soumis à PRL le 22/12/2023**
- **Plus en détail, techniquement:**
- **Validation complète du prototype de système de détection des résidus lourds**
 - On a vérifié que l'on peut détecter les résidus lourds
 - On a vérifié une très bonne séparation entre les résidus et des efficacités de détection proches de 100%
- **Validation partielle du prototype de système d'acquisition de données**
 - On a vérifié que l'on peut exploiter les signaux de détection et en tirer les données requises pour chaque détecteur
 - On a vérifié que l'on peut déterminer une corrélation en temps entre l'instant auquel un résidu de la cible est détecté et l'instant auquel un résidu lourd est détecté
 - On doit encore vérifier que c'est aussi le cas lorsqu'on détecte des fragments de fission => PoP2
- **Validation partielle du prototype de système de détection des résidus de la cible**
 - On a vérifié que l'on dispose d'une technologie pour détecter les résidus de la cible
 - On a besoin d'optimiser les mesures en énergie => PoP2

⇒ Avant PoP2 optimisation du point de fonctionnement des détecteurs épais du télescope

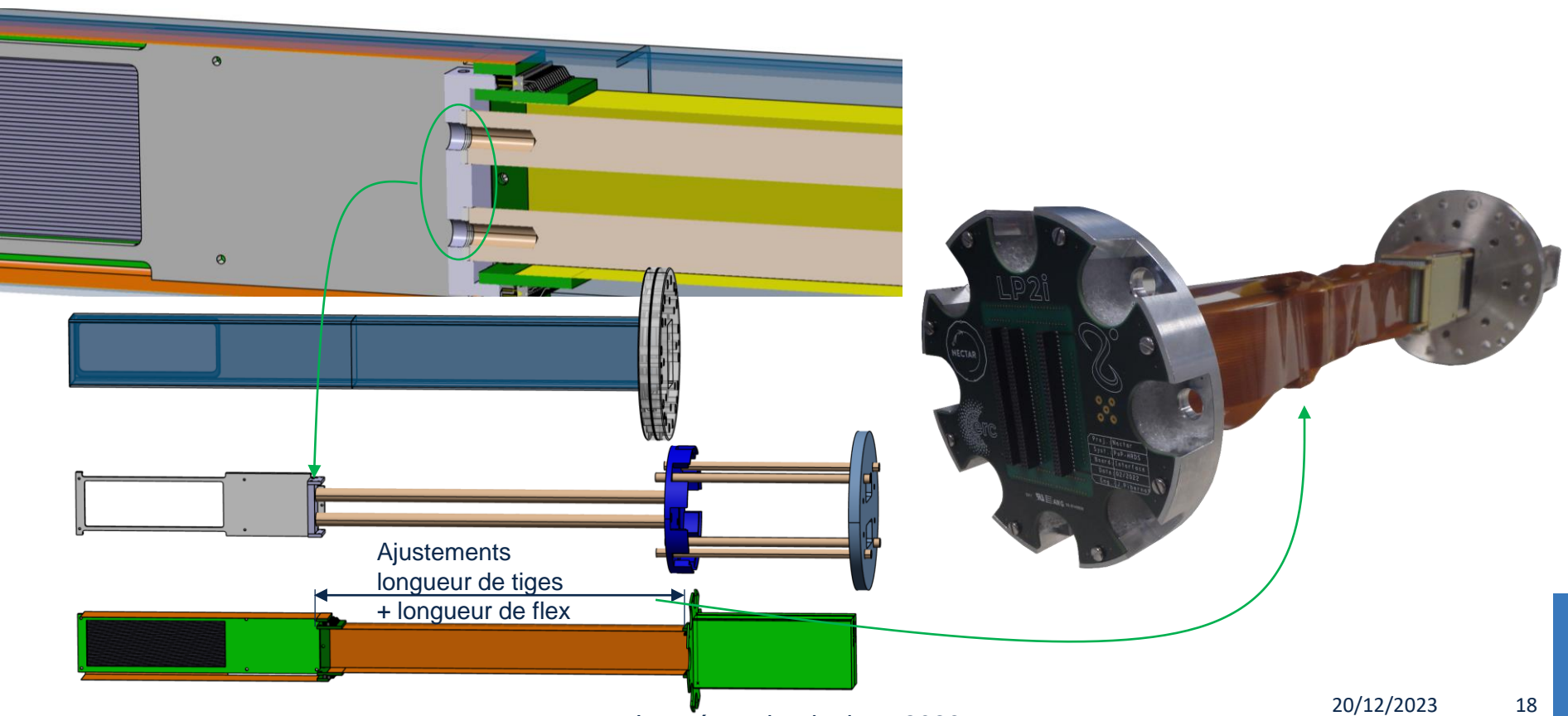
Stratégie PoP2

- Réutilisation PoP-TRDS avec intégration BB8 épaisseur 300 μ m ; point de fonctionnement MSX04 optimisé
- Réutilisation PoP-HRDS avec addition de solutions pour faciliter son intégration
- Développement PoP-FFDS (détection fragments de fission) -> Plan A, extensible à B et C:
 - A. Assurer la détection de fragments
 - 1 pocket existante, 1 détecteur existant (BB29), 1 solution de lecture MMR éprouvée
 - B. Augmenter l'efficacité de la détection des fragments
 - Nouvelles pockets, nouveau design DSSD, solution de lecture MMR éprouvée
 - C. Anticiper le besoin futur d'un détecteur dans l'ultra-vidé
 - Possible intégration dans nouvelle pocket détecteur photovoltaïque proto + solution de lecture adaptée
- Réutilisation PoP-DAQ avec possible ajout d'un numériseur Mesytec MDPP32 pour le plan C

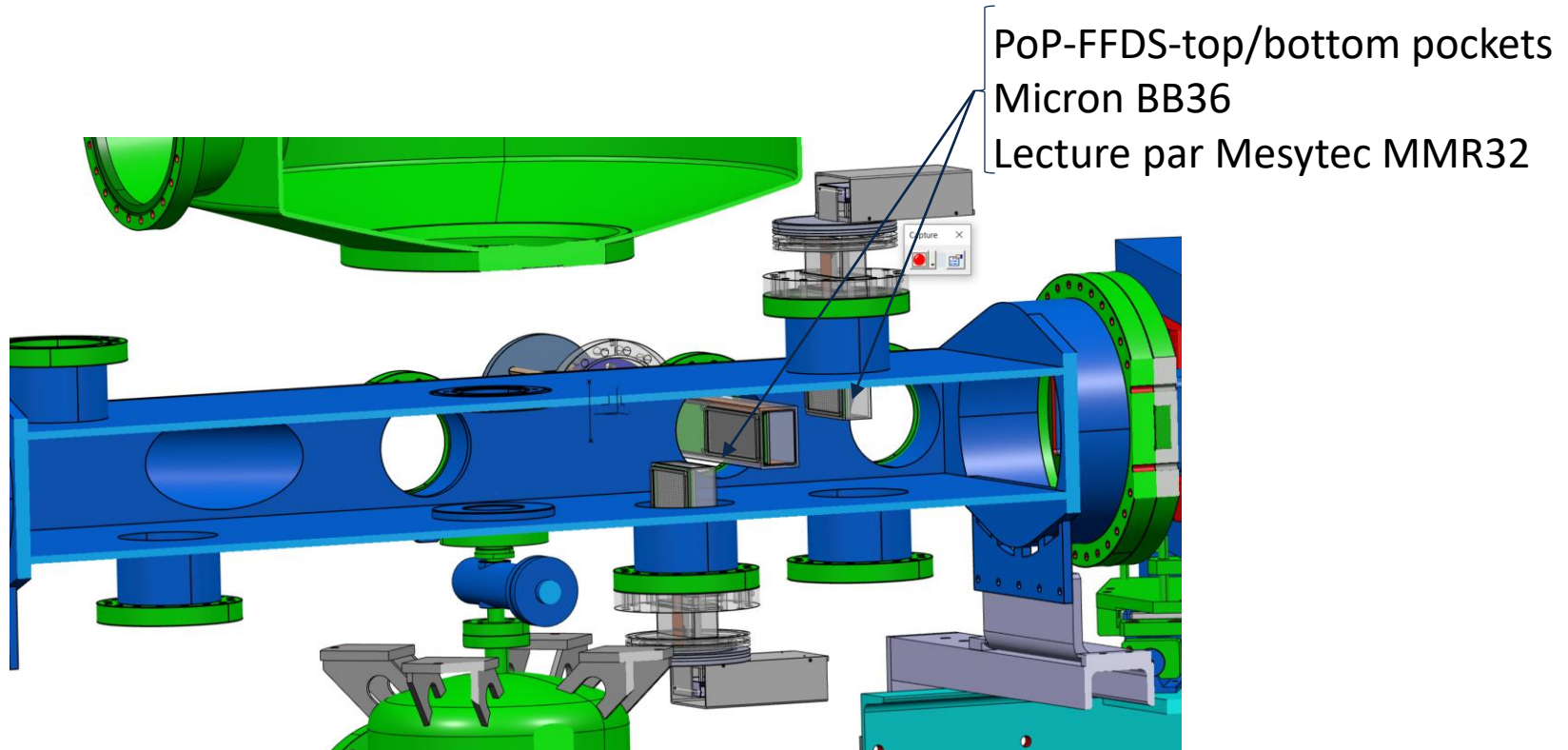
Plan A



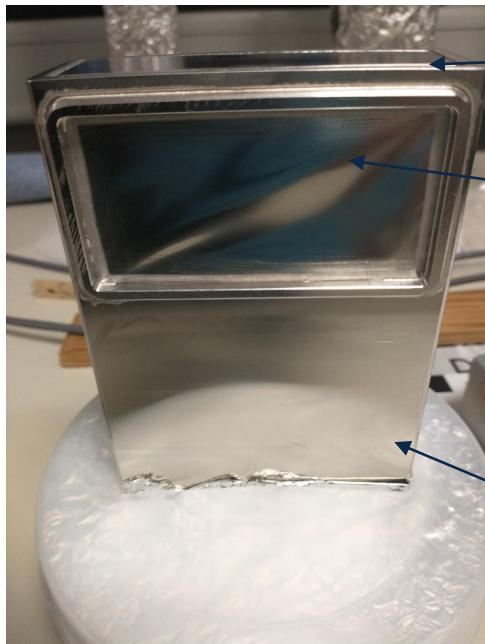
Plan A: Réutilisation du design PoP-HRDS



Plan B (extension de A): Ajout de 2 nouveaux détecteurs

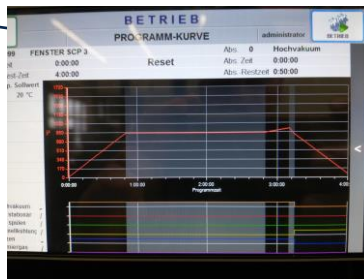


Fabrication des pockets (MPIK Heidelberg) 1/2



Soudage fermeture: Sous vide, par faisceau d'électrons

Fenêtre 25µm brasée à 850°



Fabrication des tubes à façon par electro-érosion



Fabrication des pockets (MPIK Heidelberg) 2/2

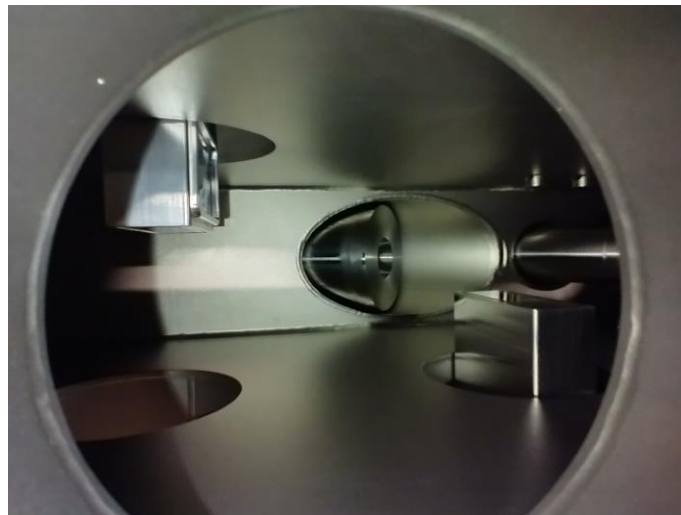
Multiples essais, multiples échecs avant mise au point du procédé!



1^{er} succès le 07/08/2023!

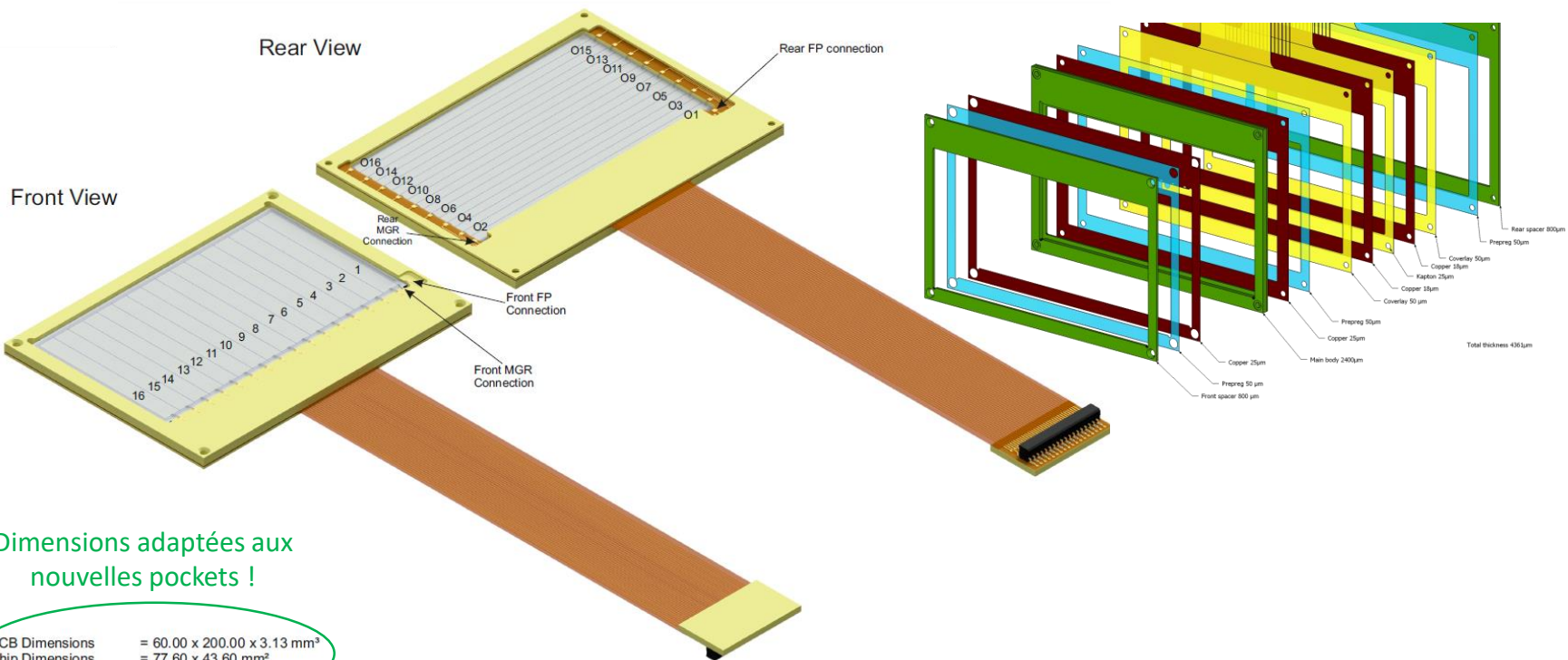


Montage dans la chambre à réaction de l'ESR validé le 09/10/2023



Nouveau Micron BB36 pour NECTAR

Co design package Micron-LP2iB

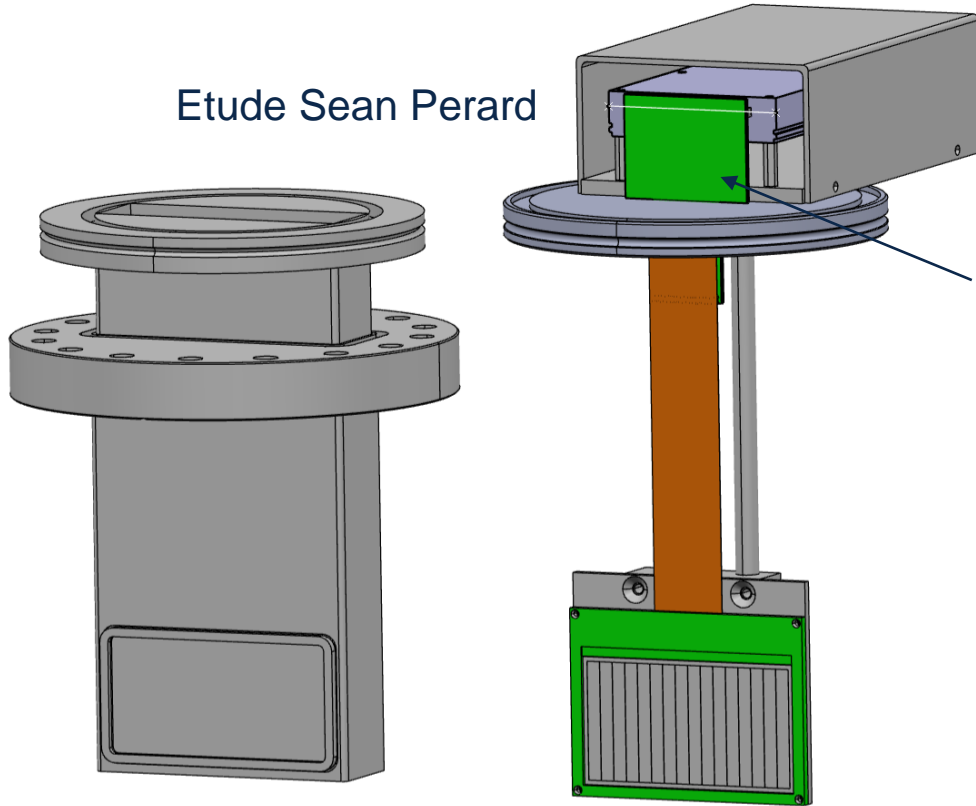


Dimensions adaptées aux nouvelles pockets !

PCB Dimensions	= 60.00 x 200.00 x 3.13 mm ³
Chip Dimensions	= 77.60 x 43.60 mm ²
Active Area	= 74.55 x 40.55 mm ²

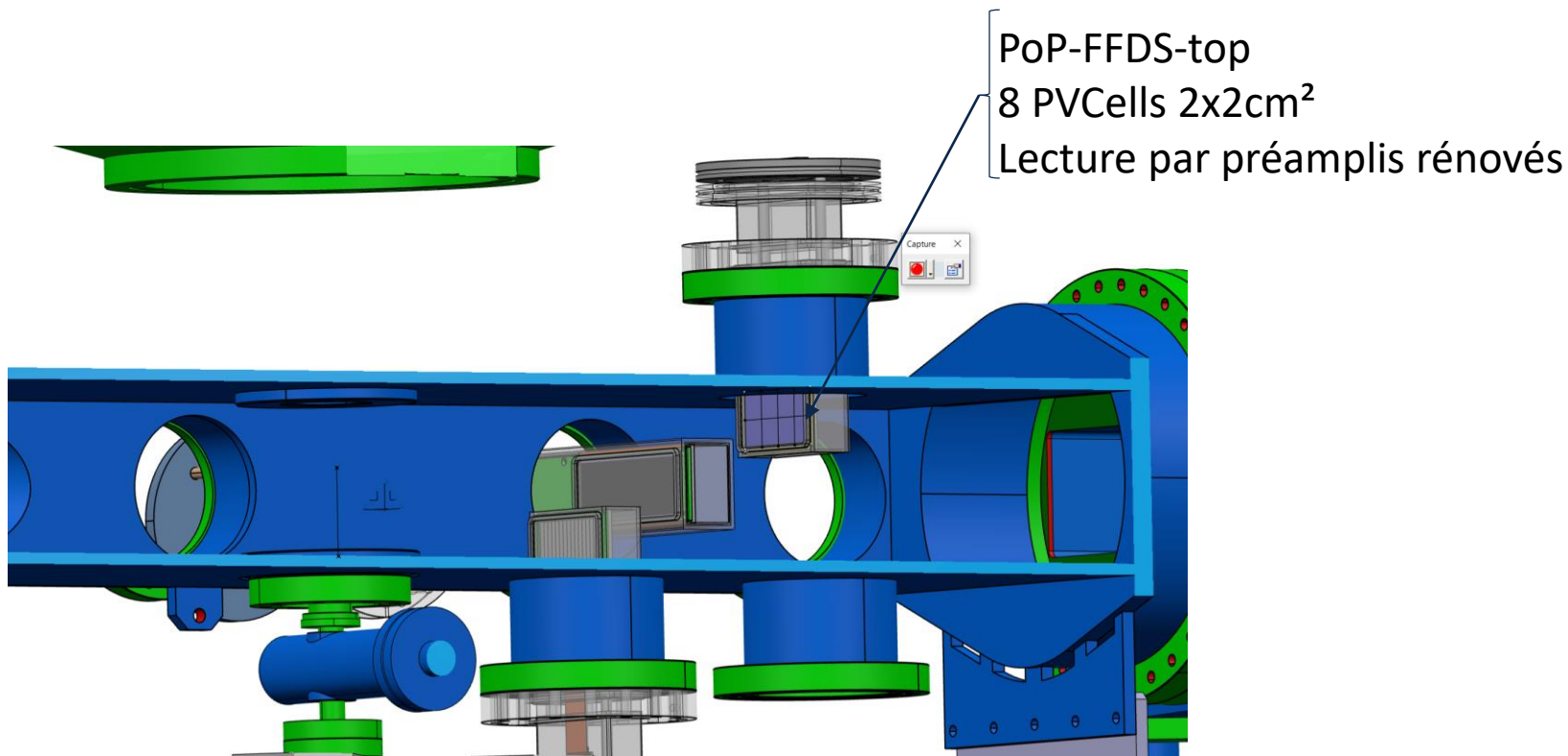
Intégration mécanique BB36

Etude Sean Perard



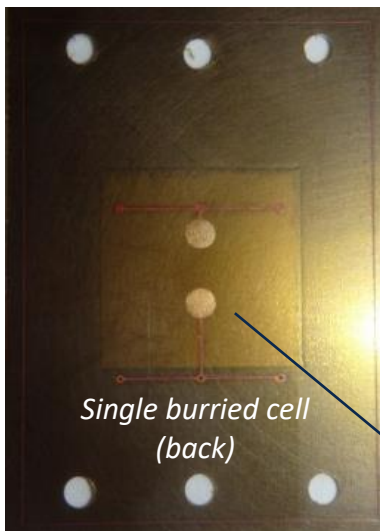
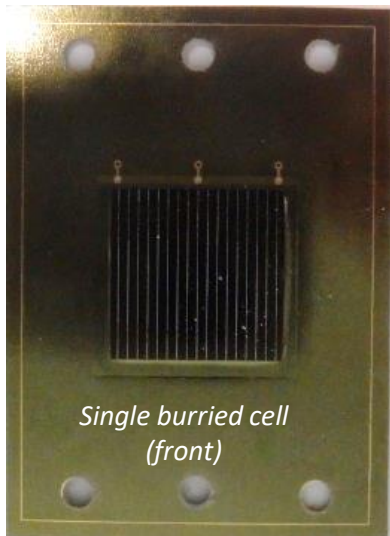
Design de l'interface
BB36/MMR32 pour début 2024

Plan C (extension de B): Remplacement BB36 par proto photovoltaïque

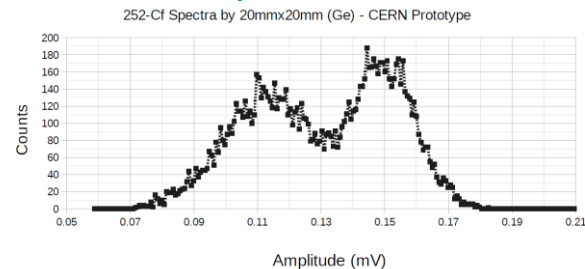


Prototype de faisabilité technologie cellule enfouie (2021)

Burried-cell technology CERN-LP2i



✓ Successfully tested with Celltec



252Cf spectra from extracted signals

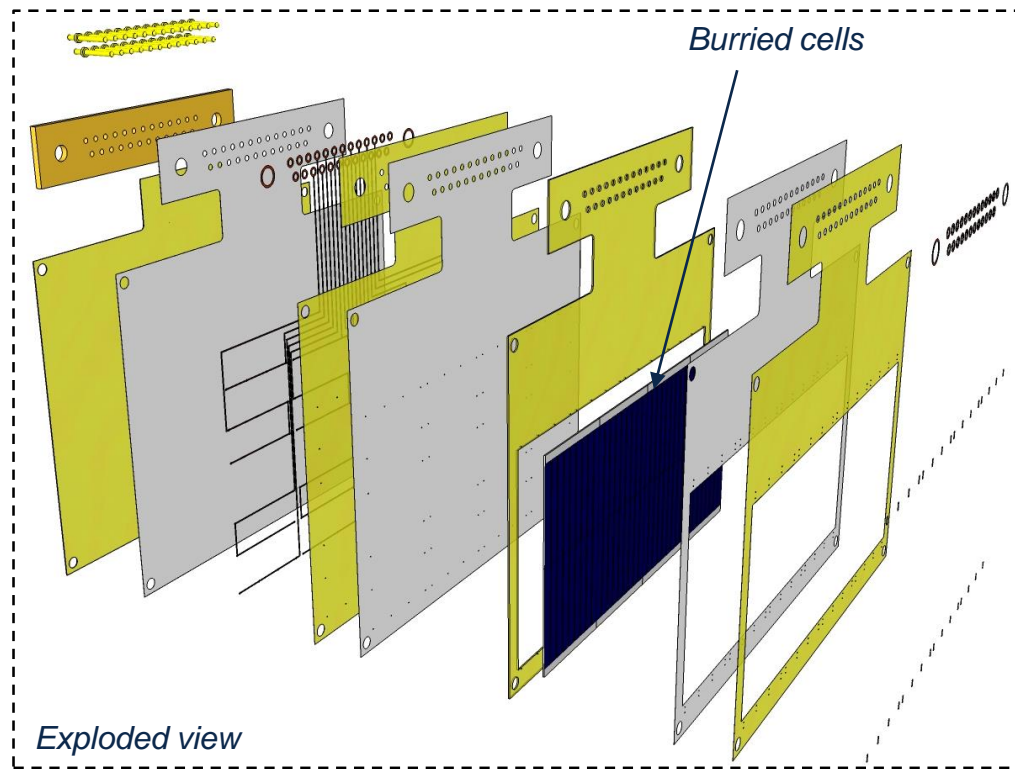
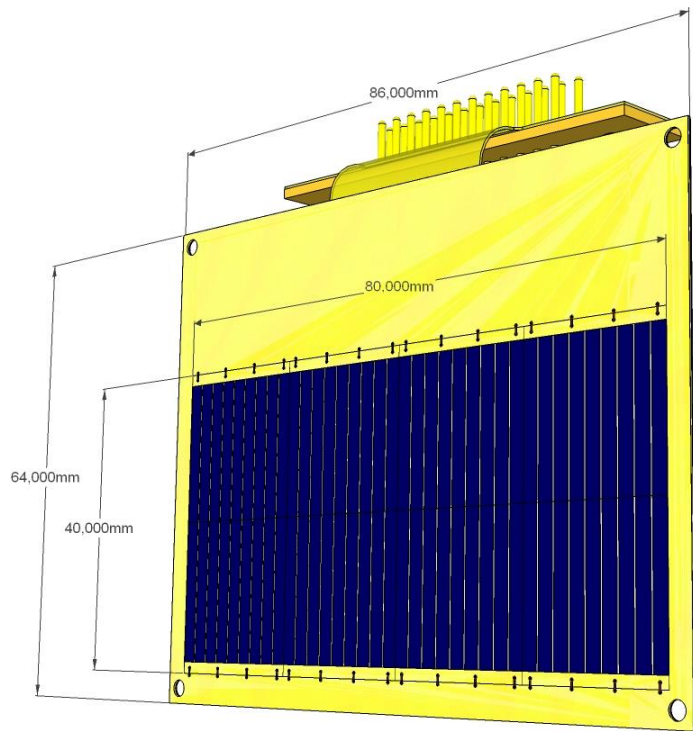
✓ Successfully tested with TREVO

Prototype outgassing rate: $(5, 15 \pm 2, 26) \cdot 10^{-13} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2}$

✗ Inconvenient output pads
(must connect UHV electrical feedthroughs)

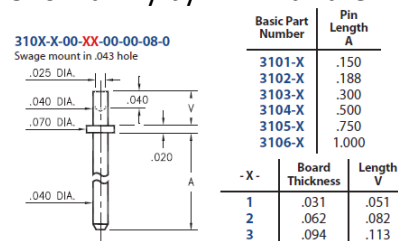
Prototype 2x4 cellules

- Test à l'ESR en Juin 2024 si opérationnel
- (Fabrication en cours)

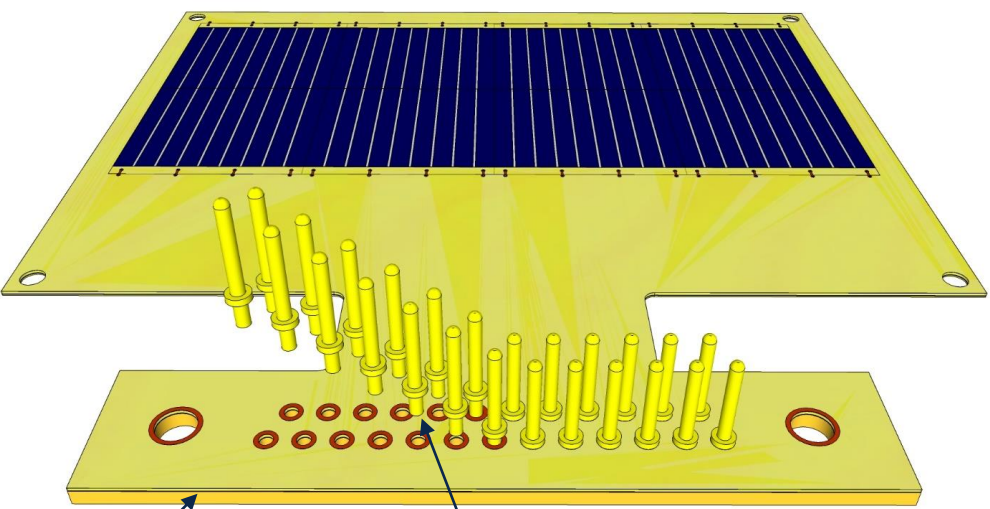
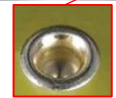
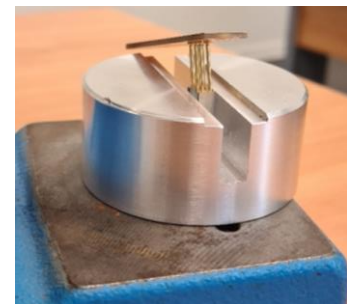


Format de raccordement: Sub-D25

a) Contacts from 310x family by Mill-max are manually inserted



b) They are crimped through a press equipped with dedicated tools



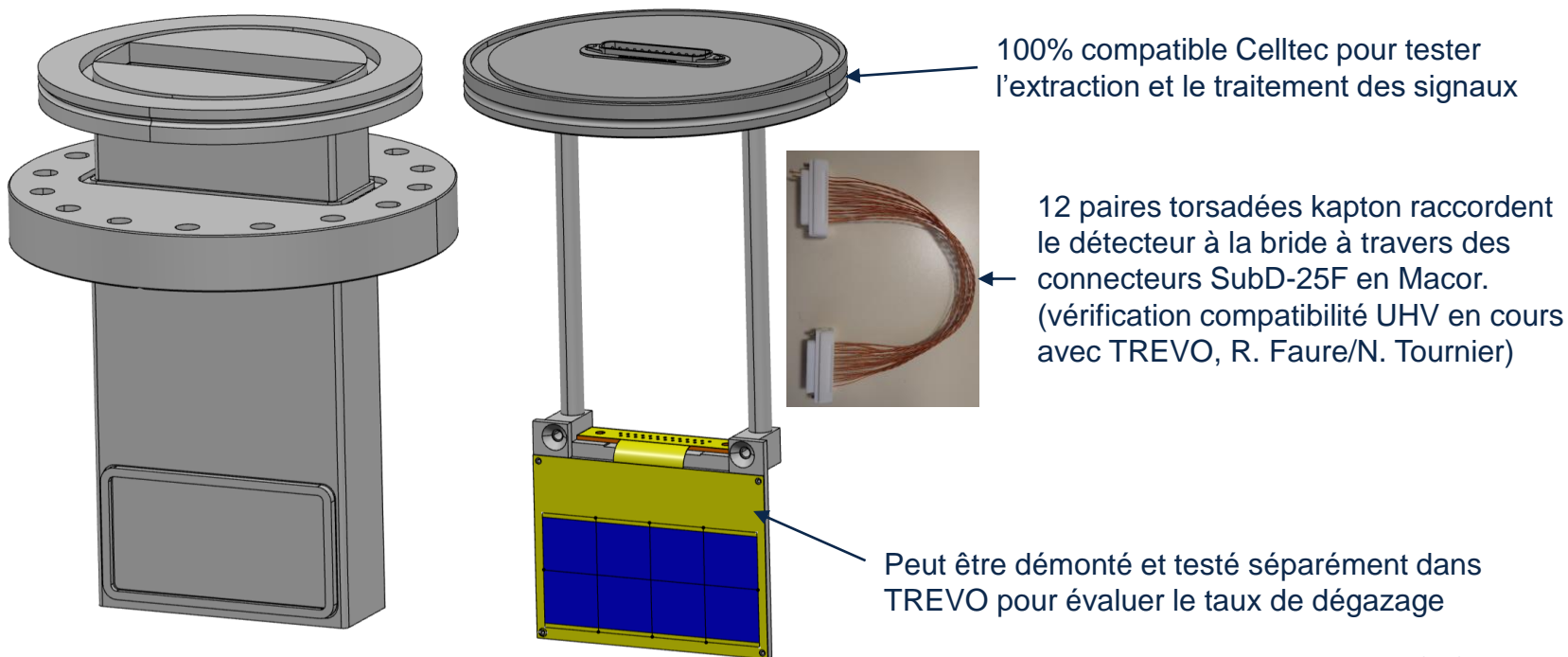
Rigidizer in peek

Customized contact for Nectar
Cu-Te body (>99% Cu → UHV compliant)
50µm gold plating

Intégration du détecteur photovoltaïque

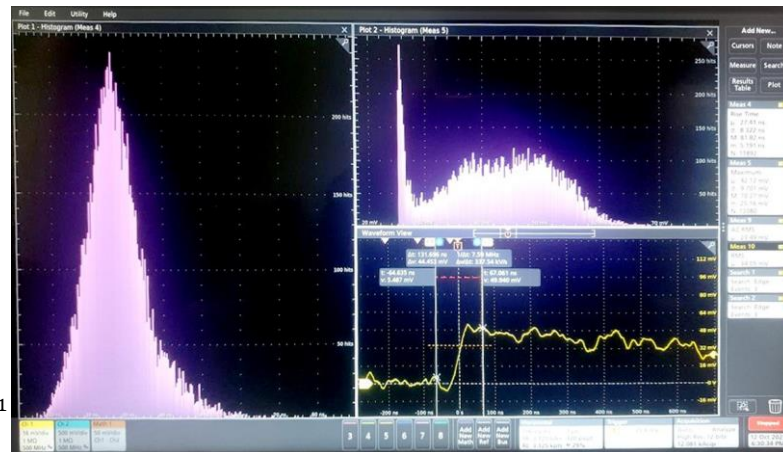
- Compatible pocket Heidelberg pour test à l'ESR
- L'ensemble peut être intégralement testé au labo également

Etude Sean Perard

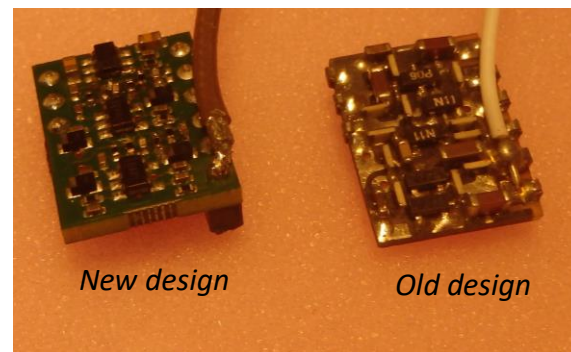


Ampli de lecture cellule photovoltaïque

- Rénovation d'une solution existante (recette perdue)
- Une première architecture testée au GANIL en 2021
 - Résolution en énergie $\leq 2\%$ OK
 - Résolution en temps $\sim 6\text{ns}$ (vs 2ns) \rightarrow bruit en $1/f$
 - Temps de montée $\sim 120\text{ns}$
- Reprise du design fin 2022, modif. architecture, objectif
 - Accroître la réjection du bruit BF (ajout de filtres HP)
 - Réduire le temps de montée (ajout de PZ)
- Transfert de type $\frac{V_o}{i_{cell}} = \underbrace{\left[\frac{N_1(p)}{D_1(p) \cdot (1 + \tau_1 p)} \right]}_{1^{\text{er}} \text{ étage}} \cdot \underbrace{\left[\frac{N_2(p)}{D_2(p)} A \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot \frac{(1 + \tau_1 p)}{(1 + \tau_2 p)} \right]}_{2^{\text{er}} \text{ étage}} \tau_2 < \tau_1$

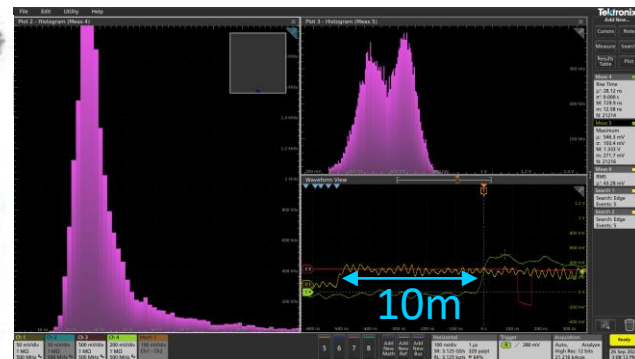
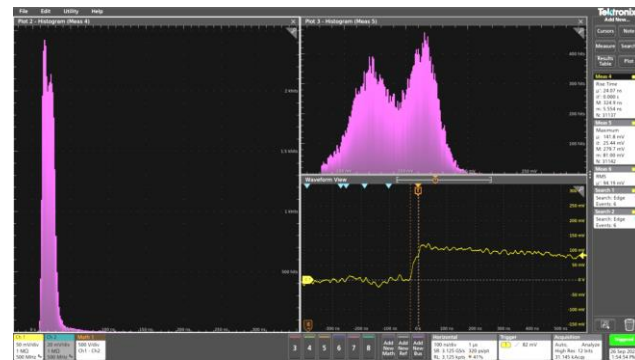


- Envoi en production janvier 2023, retour en mai
- + Changement source Cf (étalon) \rightarrow reprise des tests en octobre
- 😊 Ancien facteur de forme préservé
- 😊 Rise time: 27ns (vs 24ns ; contexte Celltec/old_cell/old_source)
- ☹️ Résolution en énergie dégradée | ajustement τ_1 sur 2 étages délicat
- Compromis nécessaire résolution en énergie/temps de montée
- Taux de comptage faible pour juin 2024



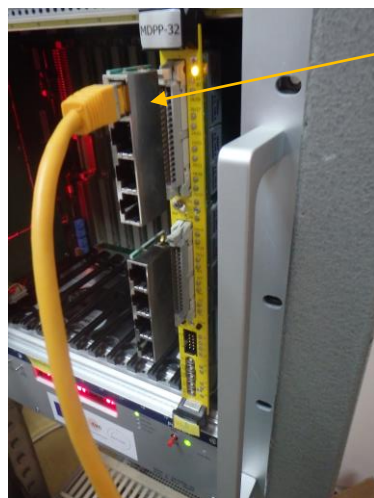
Solution pour transmission différentielle vers numériseur à 10m

- Objectifs:
 - Adapter la connectique entre sortie preamp Pvcell/numériseur MDPP32
 - Utiliser une solution de câblage « standard »
 - Renforcer l'immunité de la transmission sur 10m
(Contexte champs magnétiques, possible parasitage du mode commun)
- Prototype carte de bufferisation routé par C.Huss
- Pas de pertes sur la transmission et temps de montée préservé ($t_r=28\text{ns}$)

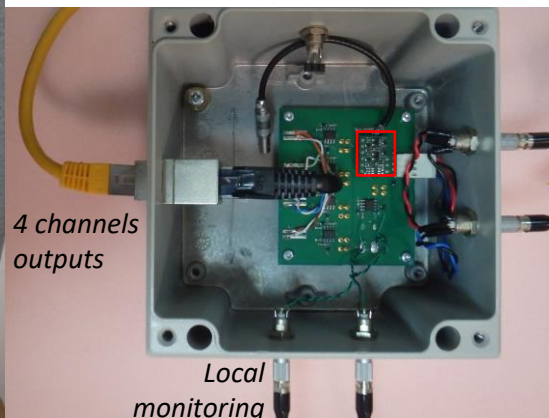


20/12/2023

30



MDPP32 RJ45 adapter

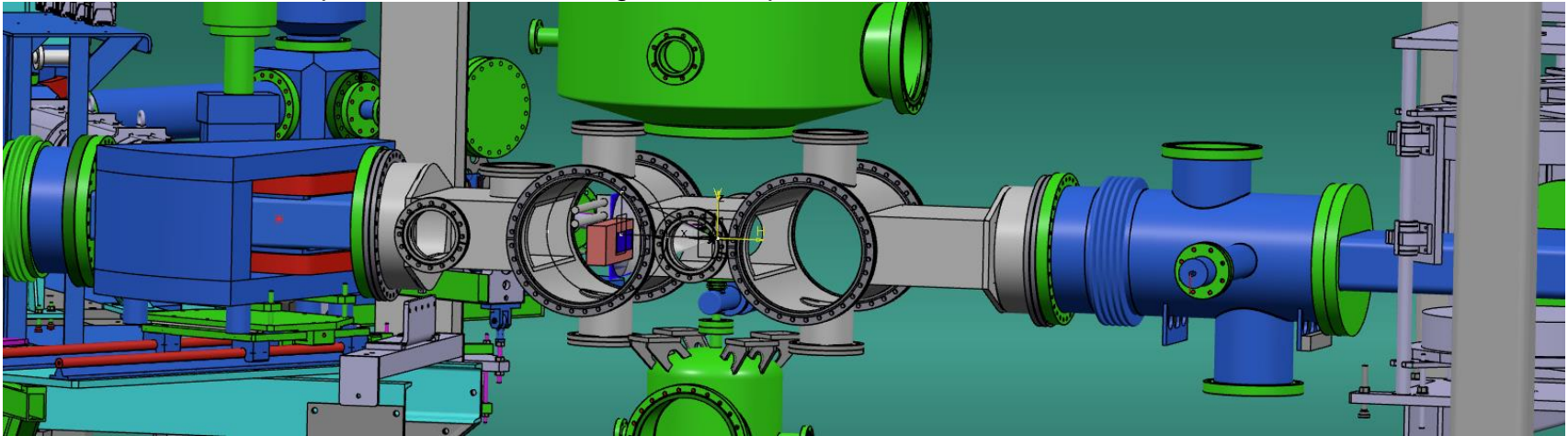

 4 channels
outputs

 Local
monitoring


RJ45 Cat.6



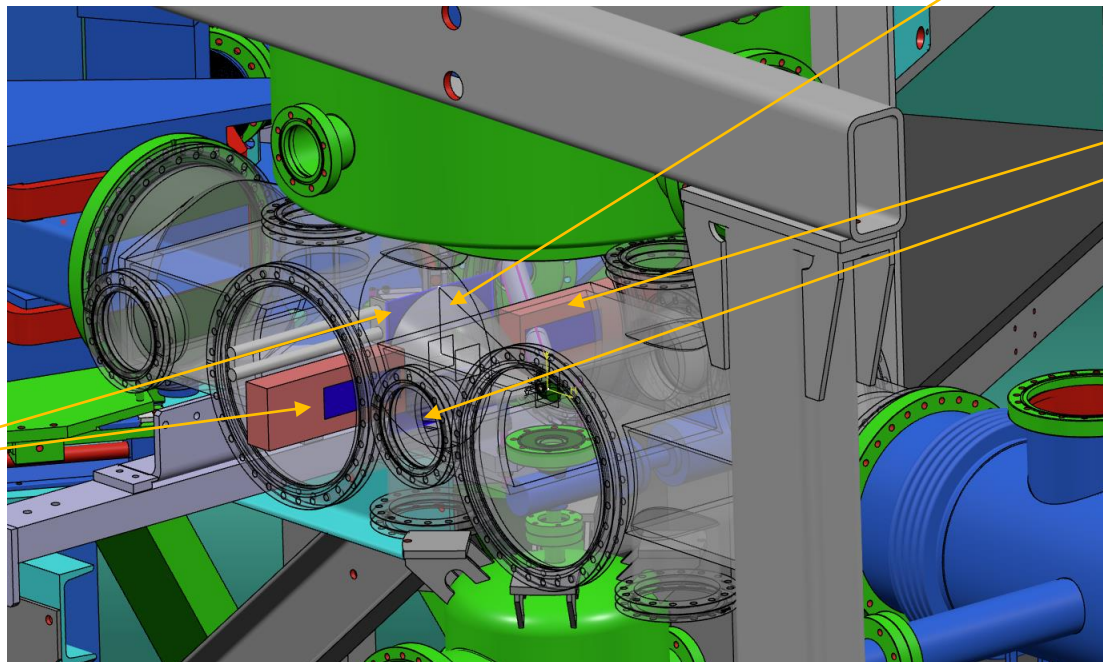
- Sur la base des connaissances acquises, développer un setup qui permette:
 - De maximiser la couverture angulaire du télescope (augmentation de la stat sur une campagne d'expérience)
 - Maximiser l'efficacité de détection des fragments de fission
- Nouvelle chambre à réaction
 - Position télescope et détecteurs de fragments adaptée au besoin



Nouvelle chambre à réaction (NECTAR RCS)

Etude Mathieu Roche

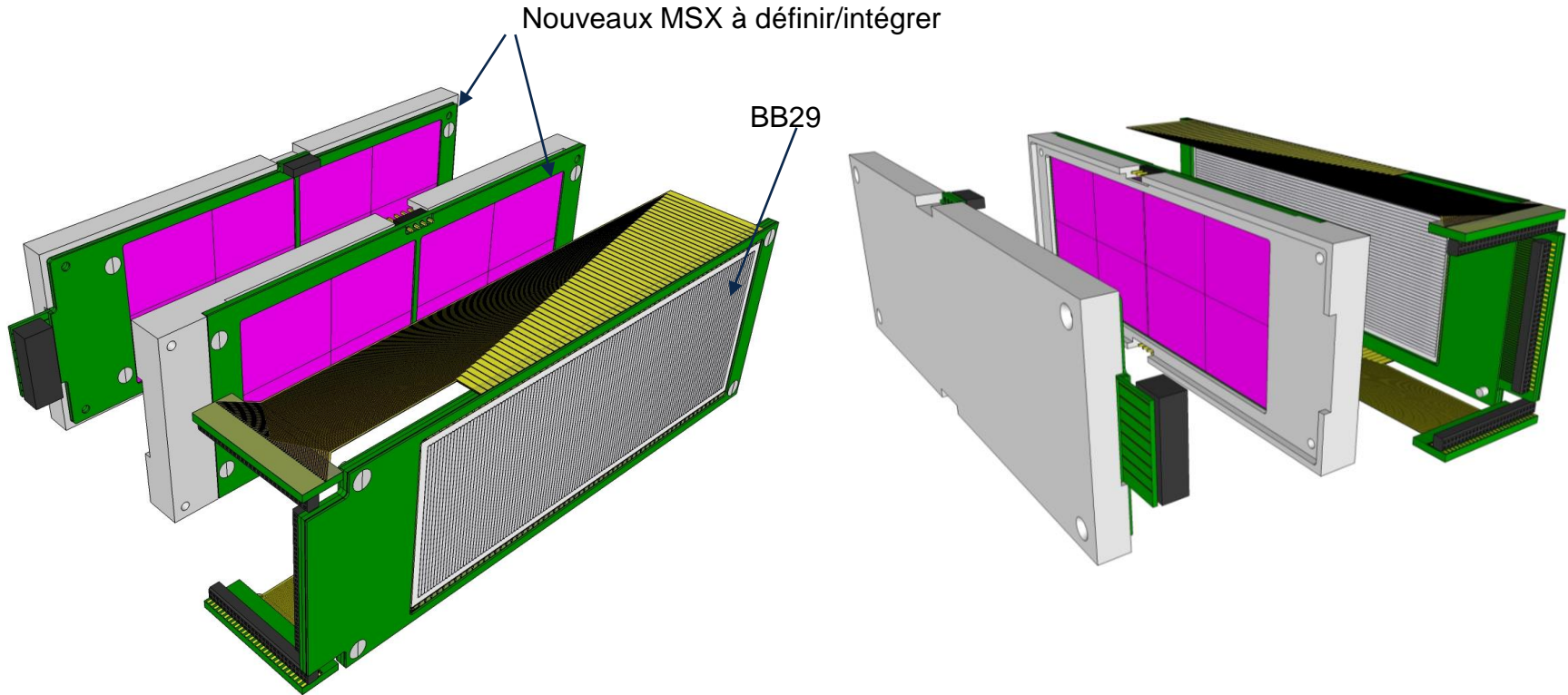
Fission emission cone



In-ring setup:
Telescope pocket
Fission fragments detector down

Out-ring setup:
Fission fragments detector up
Telescope pocket

Futurs télescopes (NECTAR TRDS)



Cellules photovoltaïques pour NECTAR FFDS

- Renforcer la connaissance sur les technologies
- Spécifier les paramètres de cellules et les faire fabriquer à façon

Signals through buffer and MDPP on scope and acquisition software

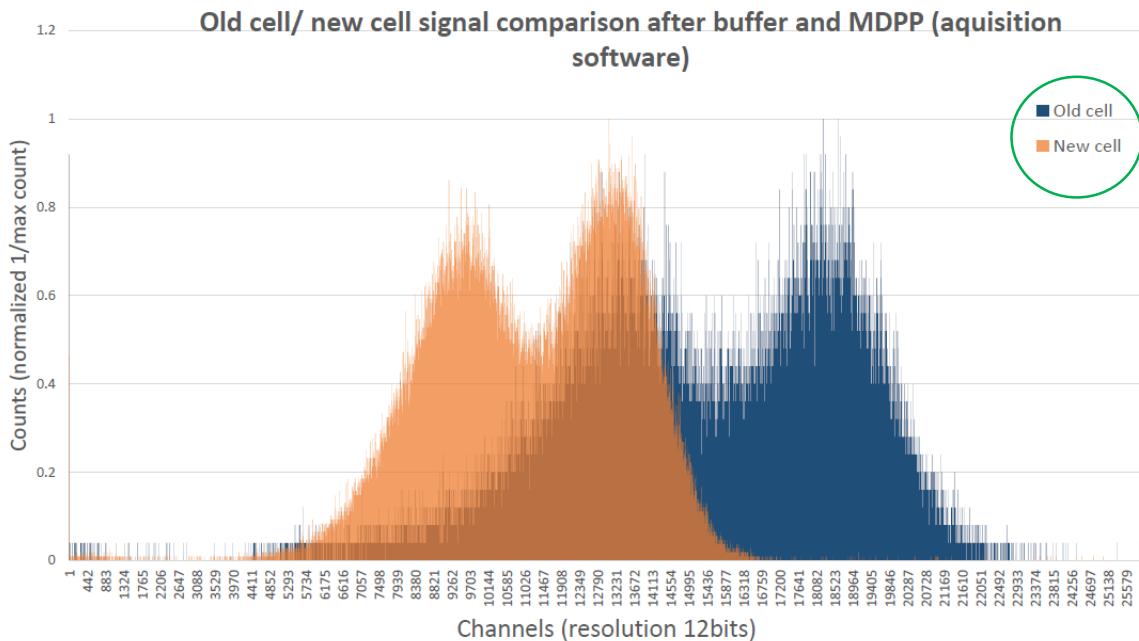


Image Camille Berthelot

Merci pour votre attention jusqu'au bout!