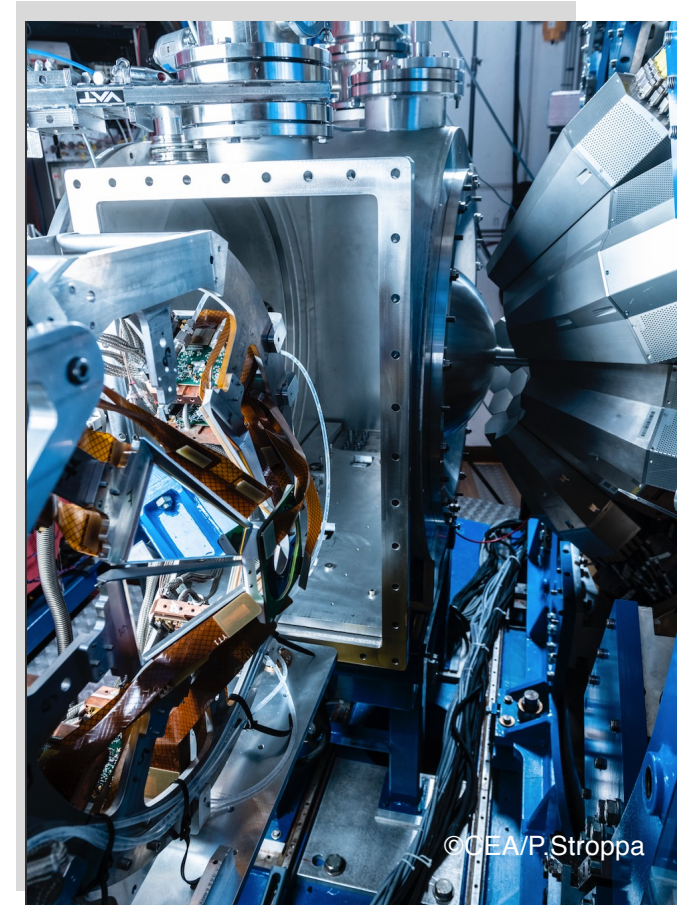


# GRIT

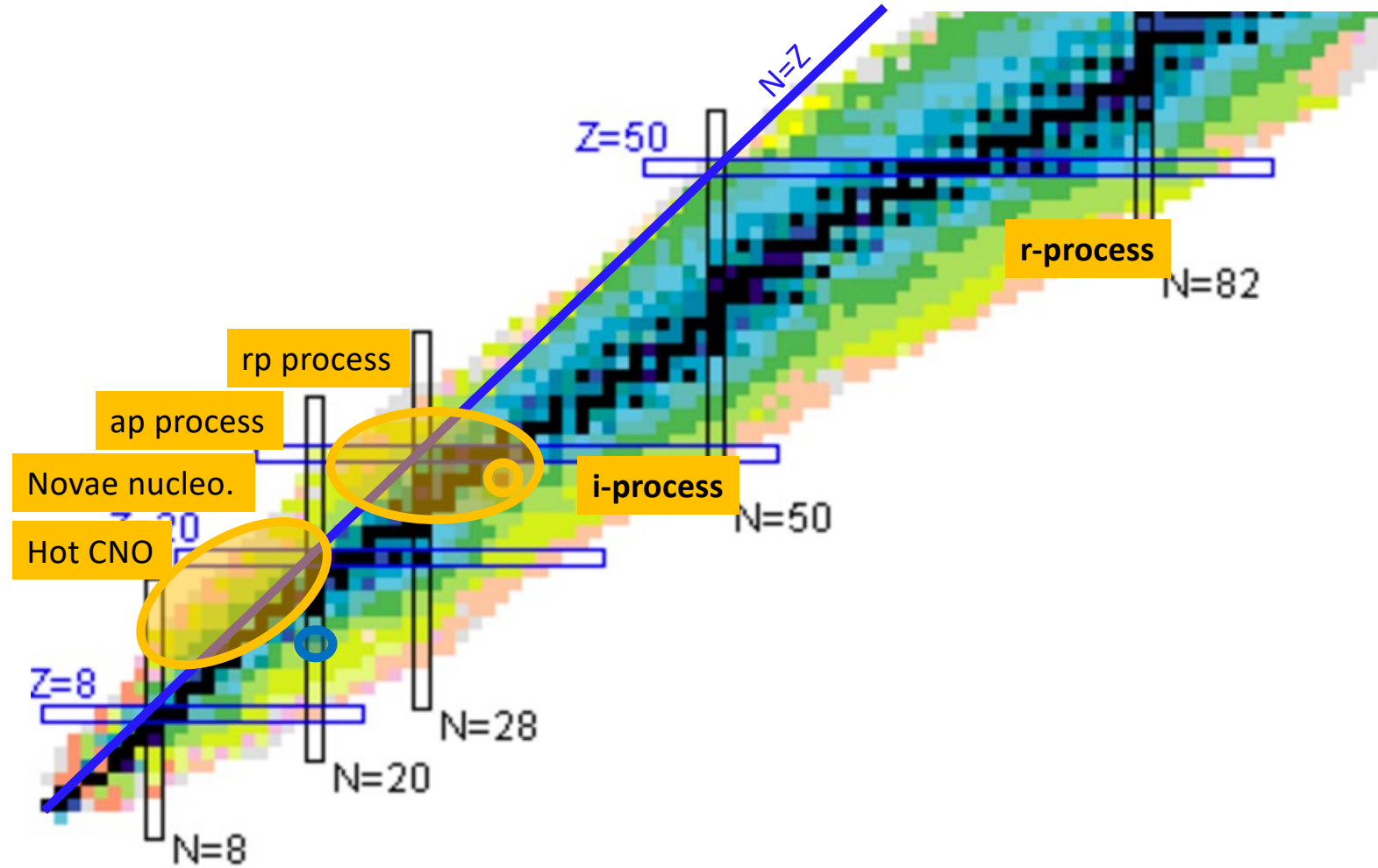
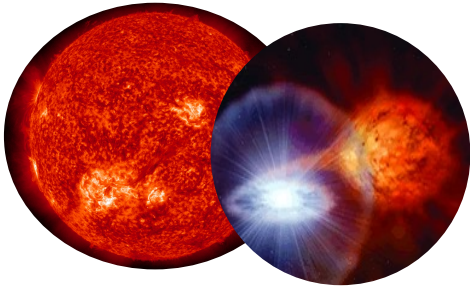
Marlène Assié, IJCLab  
on behalf of the GRIT collaboration



©CEA/P.Stroppa

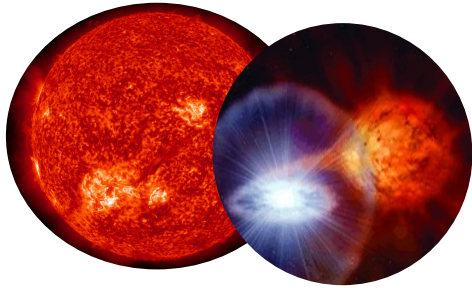
# Richesses et variété de la structure des noyaux

## Astrophysique nucléaire

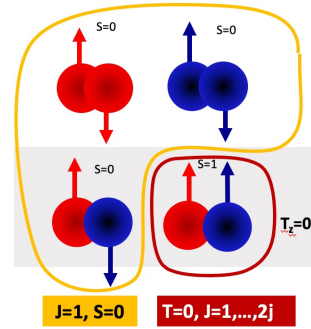


# Richesses et variété de la structure des noyaux

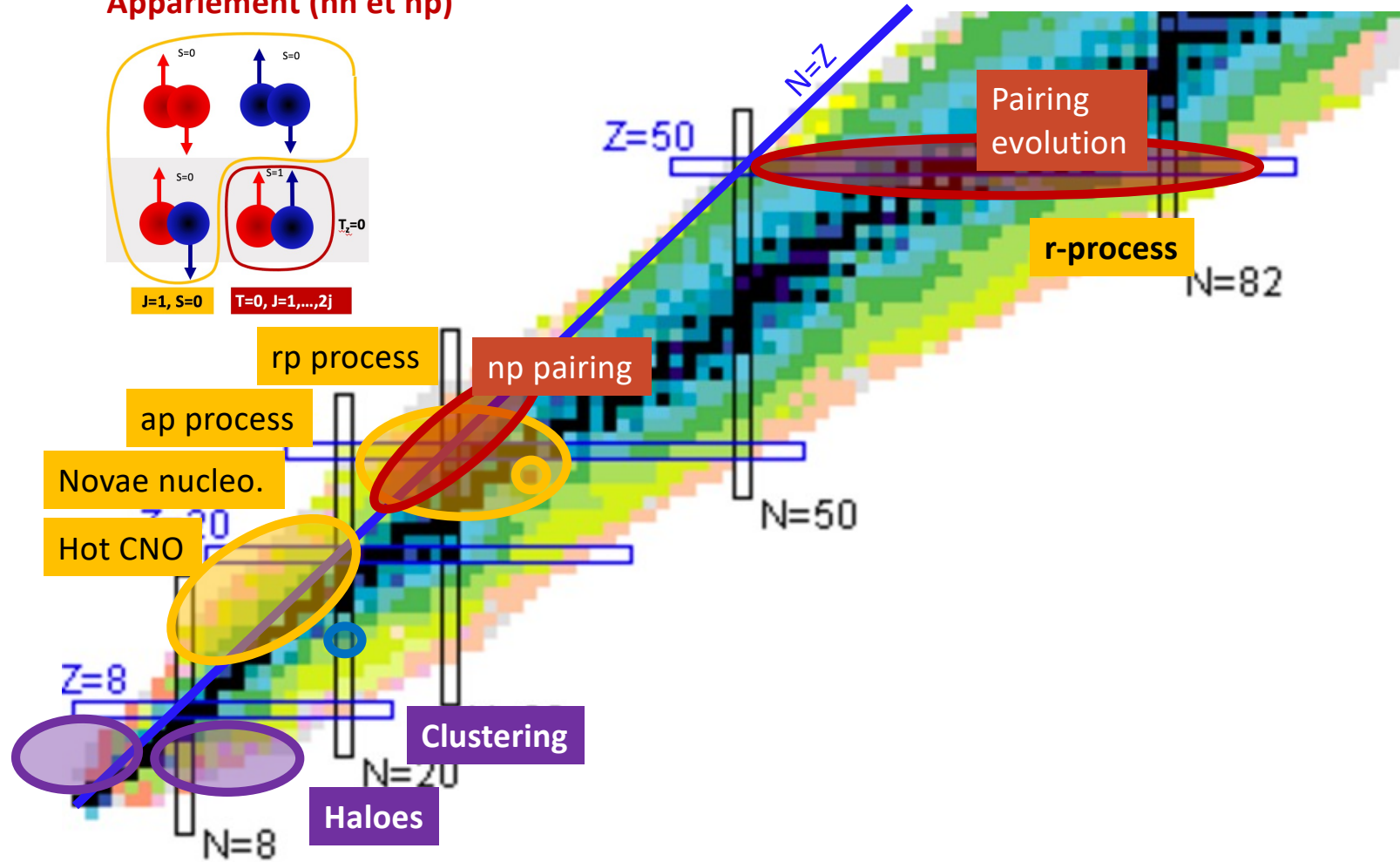
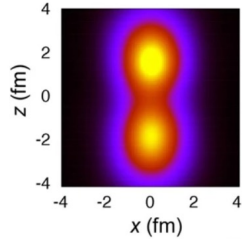
## Astrophysique nucléaire



## Appariement (nn et np)



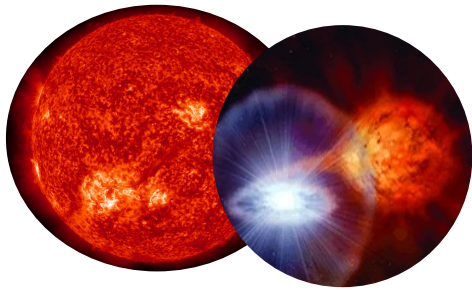
## Clustering exotiques



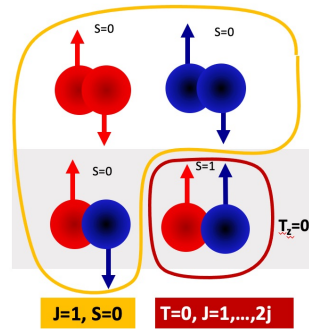


# Richesses et variété de la structure des noyaux

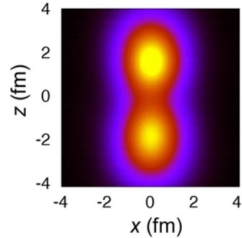
## Astrophysique nucléaire



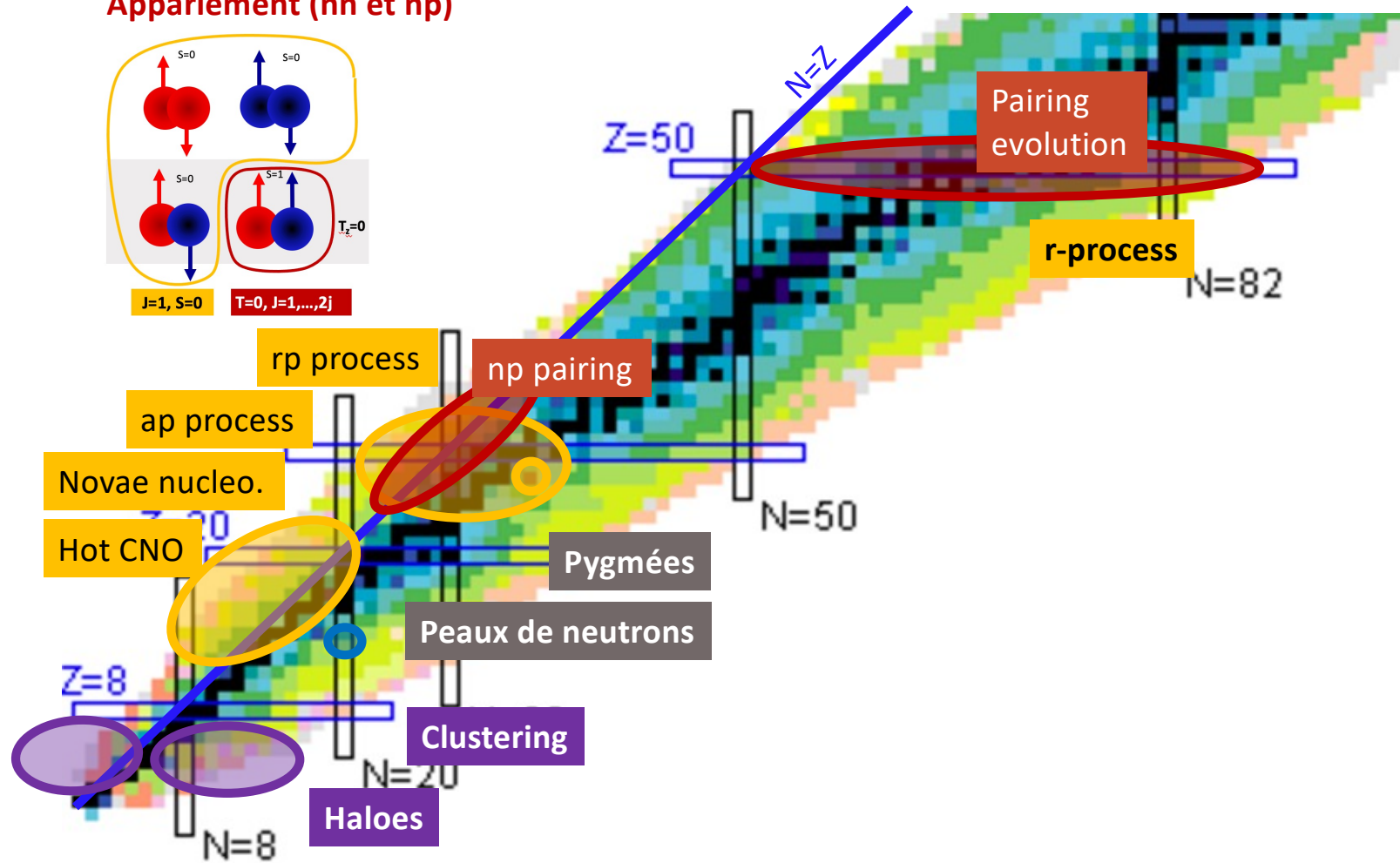
## Appariement (nn et np)



## Clustering exotiques



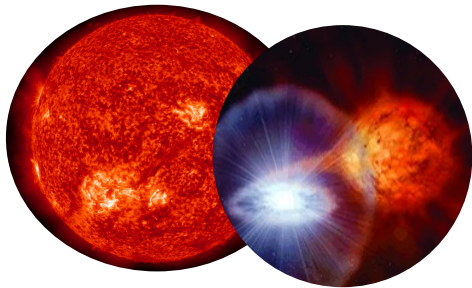
## Phénomènes collectifs



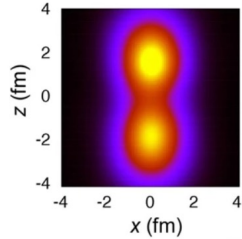


# Richesses et variété de la structure des noyaux

## Astrophysique nucléaire



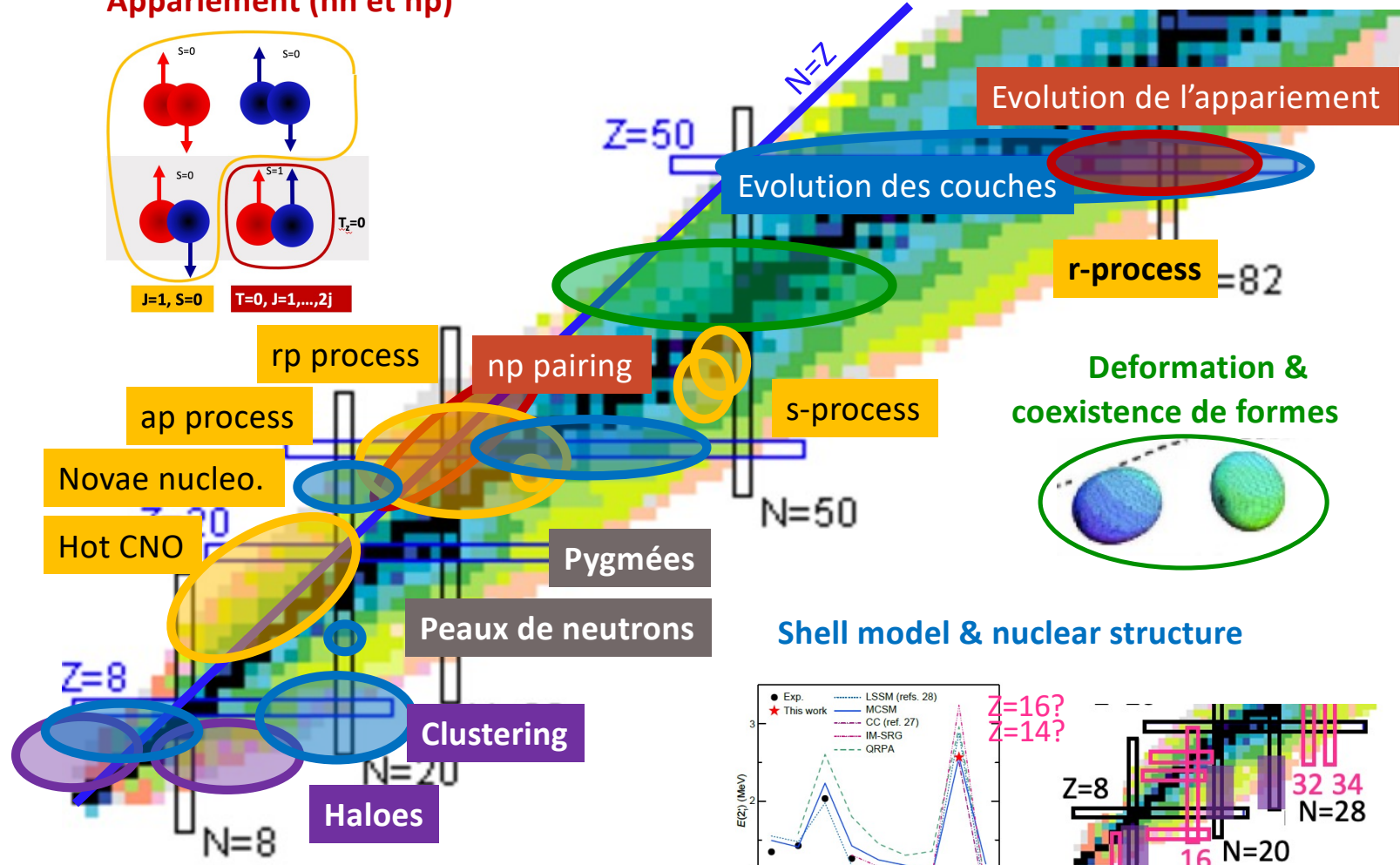
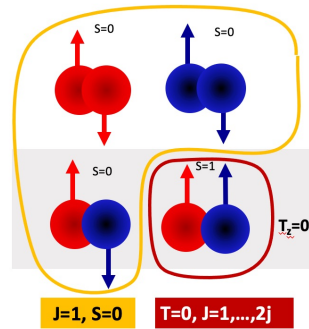
## Clustering exotiques



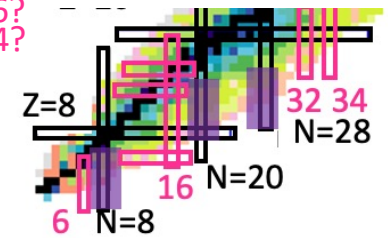
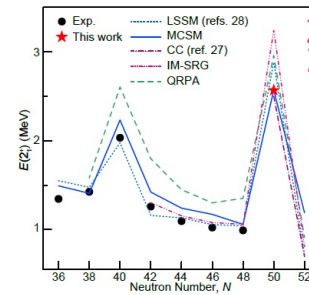
## Phénomènes collectifs



## Appariement (nn et np)



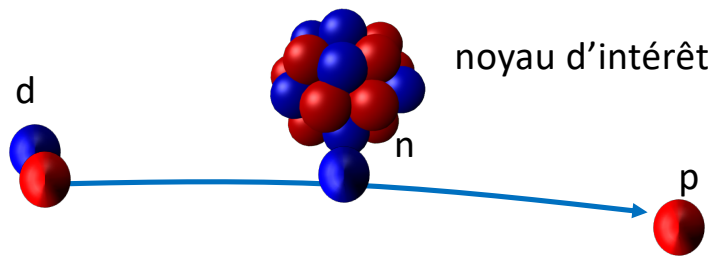
## Shell model & nuclear structure



# Les réactions directes : un outil performant pour étudier la structure des noyaux

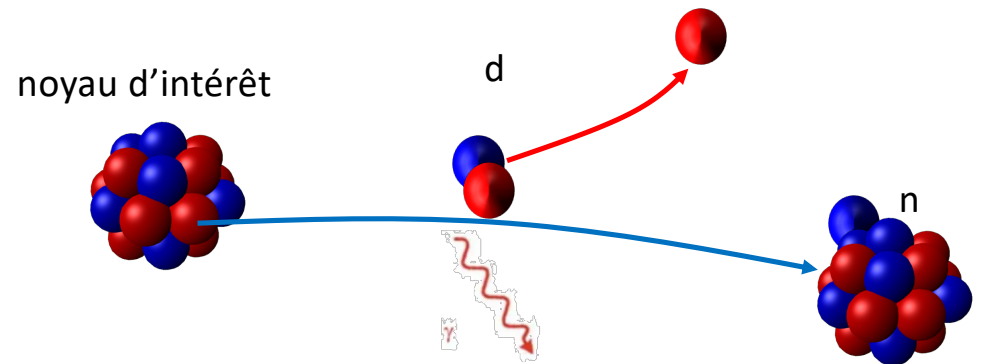
REACTIONS DIRECTES = transfert, diffusion élastique/inélastique ...

- Cinématique directe



Détection de la particule légère à l'avant (dans un petit angle) --> **spectromètre avec une très bonne résolution en énergie**

- Cinématique inverse: Faisceaux d'ions radioactifs sur cible d'ions légers (H, He, Li)



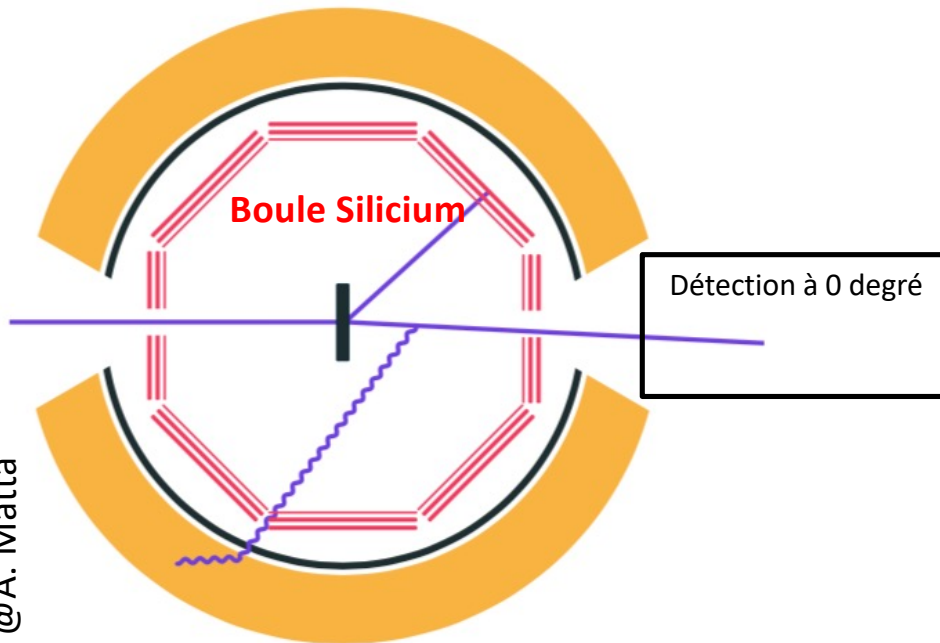
Détection de :

la **particule légère** de recul sur  $4\pi$   
+ **des gammas** de décroissance  
+ éventuellement le résidu lourd } --> **coïncidence triple**

--> Technologie basée sur les **détecteurs Siliciums** couplés avec d'autres détecteurs

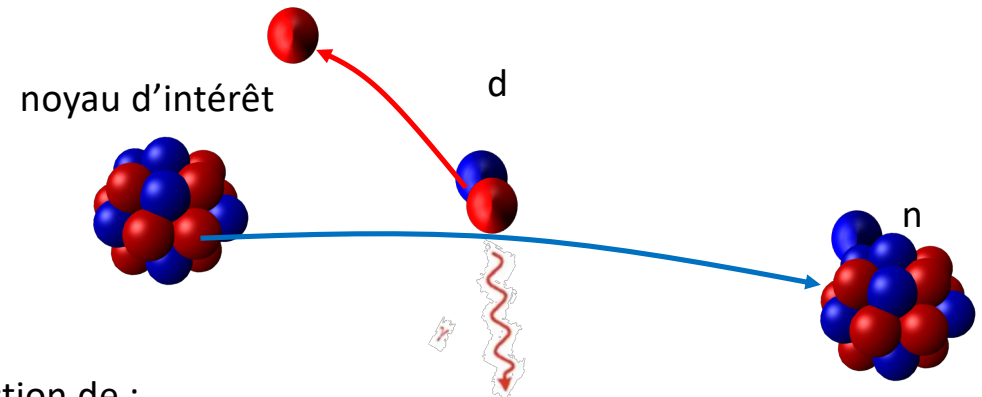
REACTIONS DIRECTES = transfert, diffusion élastique/inélastique ...

## Détecteur gamma



@A. Matta

- Cinématique inverse: Faisceaux d'ions radioactifs sur cible d'ions légers (H, He, Li)



Détection de :

la **particule légère** de recul sur  $4\pi$   
 + **des gammas** de décroissance  
 + éventuellement le résidu lourd

} --> **coïncidence triple**

--> Technologie basée sur les **détecteurs Siliciums** couplés avec d'autres détecteurs

**Regime d'énergie du faisceau : quelques MeV/u → quelques dizaines de MeV/u**





## Les défis du projet GRIT (Granularity Resolution Identification Transparency)

GRANULARITE

### Boule de détecteurs Silicium double face (DSSD)

--> précision sur l'angle  $<0.1^\circ$  avec 128X + 128Y (1<sup>er</sup> étage)

- Couronne avant : 8 trapèzes (3 étages : 0.5+1.5+1.5mm)
- Couronne arrière : 8 trapèzes (2 étages : 0.5+1.5mm)
- 90 deg : Détecteurs carrés (2 à 3 étages : 0.5+1.5 mm)
- 2 annulaires : 1 étage à l'arr, 2-3 étages à l'avant

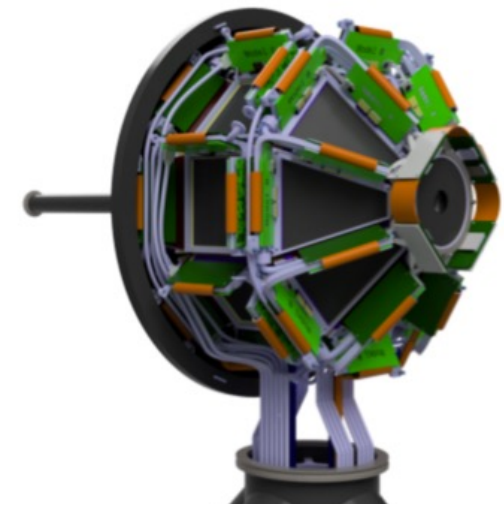
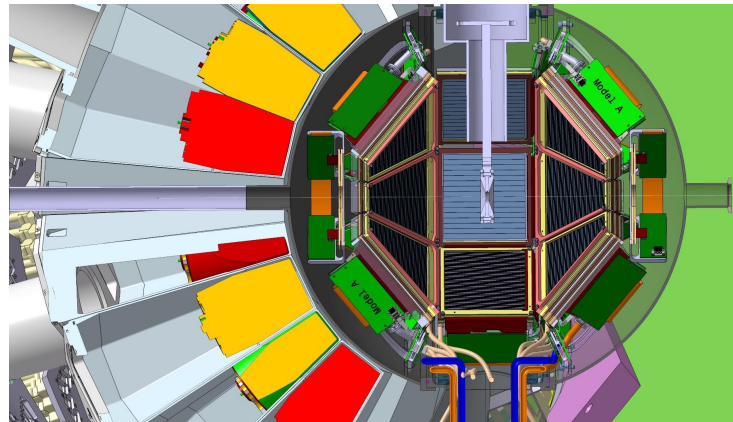
➔ 8000 voies individuelles !

RESOLUT°

### Résolution en énergie : 35 (1<sup>er</sup> étage) à $<100$ keV (si 2 étages)

- 1<sup>er</sup> étage : 500 um DSSD, pitch  $< 0.8$  mm
- 2<sup>eme</sup> & 3<sup>eme</sup> étage : **1.5 mm DSSD** pitch  $\sim 5$ mm

➔ épaisseur des détecteurs & résolution !



# Les défis du projet GRIT (Granularity Resolution Identification Transparency)

GRANULARITE

## Boule de détecteurs Silicium double face (DSSD)

--> précision sur l'angle  $<0.1^\circ$  avec 128X + 128Y (1<sup>er</sup> étage)

- Couronne avant : 8 trapèzes (3 étages : 0.5+1.5+1.5mm)
- Couronne arrière : 8 trapèzes (2 étages : 0.5+1.5mm)
- 90 deg : Détecteurs carrés (2 à 3 étages : 0.5+1.5 mm)
- 2 annulaires : 1 étage à l'arr, 2-3 étages à l'avant

➔ 8000 voies individuelles !

RESOLUT°

## Résolution en énergie : 35 (1<sup>er</sup> étage) à $<100$ keV (si 2 étages)

- 1<sup>er</sup> étage : 500 um DSSD, pitch  $< 0.8$  mm
- 2<sup>eme</sup> & 3<sup>eme</sup> étage : **1.5 mm DSSD** pitch  $\sim 5$ mm

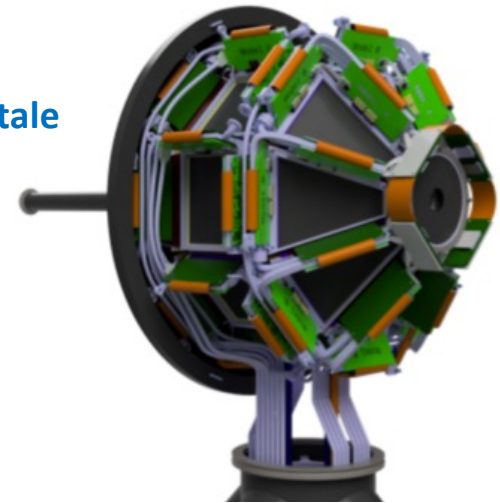
➔ épaisseur des détecteurs & résolution !

IDENTIF.

## Identification des particules légères :



➔ Electronique digitale + Silicium nTD



# Les défis du projet GRIT (Granularity Resolution Identification Transparency)

GRANULARITE

## Boule de détecteurs Silicium double face (DSSD)

--> précision sur l'angle  $<0.1^\circ$  avec 128X + 128Y (1<sup>er</sup> étage)

- Couronne avant : 8 trapèzes (3 étages : 0.5+1.5+1.5mm)
- Couronne arrière : 8 trapèzes (2 étages : 0.5+1.5mm)
- 90 deg : Détecteurs carrés (2 à 3 étages : 0.5+1.5 mm)
- 2 annulaires : 1 étage à l'arr, 2-3 étages à l'avant

➔ 8000 voies individuelles !

RESOLUT°

## Résolution en énergie : 35 (1<sup>er</sup> étage) à $<100$ keV (si 2 étages)

- 1<sup>er</sup> étage : 500 um DSSD, pitch  $< 0.8$  mm
- 2<sup>eme</sup> & 3<sup>eme</sup> étage : **1.5 mm DSSD** pitch  $\sim 5$ mm

➔ épaisseur des détecteurs & résolution !

IDENTIF.

## Identification des particules légères :



➔ Electronique digitale + Silicium nTD

TRANSPAR.

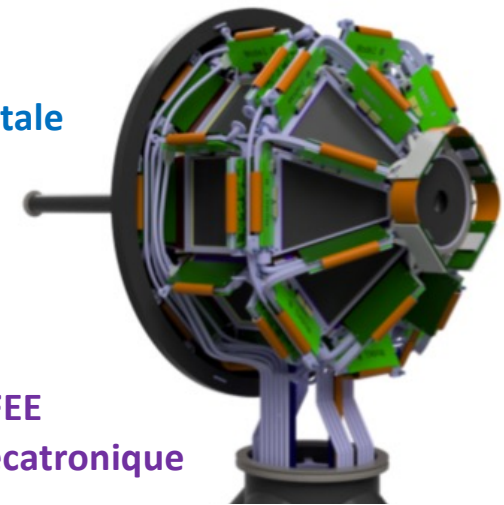
## Transparence aux rayonnements gamma :

Minimum de matière entre la cible et les détecteurs gamma :

- positionnement des cartes électroniques dans les zones mortes
- géométrie très compacte et optimisée : **impression métal 3D**

➔ Faible taille des FEE + Intégration mécatronique

+ Intégration de cibles spéciales (cryogéniques, tritium, sans fenêtre )





# Les défis du projet GRIT et les étapes du projet

GRANULARITE

## Boule de détecteurs Silicium double face (DSSD)

--> précision sur l'angle  $<0.1^\circ$  avec 128X + 128Y (1<sup>er</sup> étage)

- Couronne avant : 8 trapèzes (3 étages : 0.5+1.5+1.5mm)
- Couronne arrière : 8 trapèzes (2 étages : 0.5+1.5mm)
- 90 deg : Détecteurs carrés (2 à 3 étages : 0.5+1.5 mm)
- 2 annulaires : 1 étage à l'arr, 2-3 étages à l'avant

RESOLUT°

## Résolution en énergie : 35 (1<sup>er</sup> étage) à $<100$ keV (si 2 étages)

- 1<sup>er</sup> étage : 500 um DSSD, pitch  $< 0.8$  mm
- 2<sup>eme</sup> & 3<sup>eme</sup> étage : **1.5 mm DSSD** pitch  $\sim 5$ mm

IDENTIF.

## Identification des particules légères :



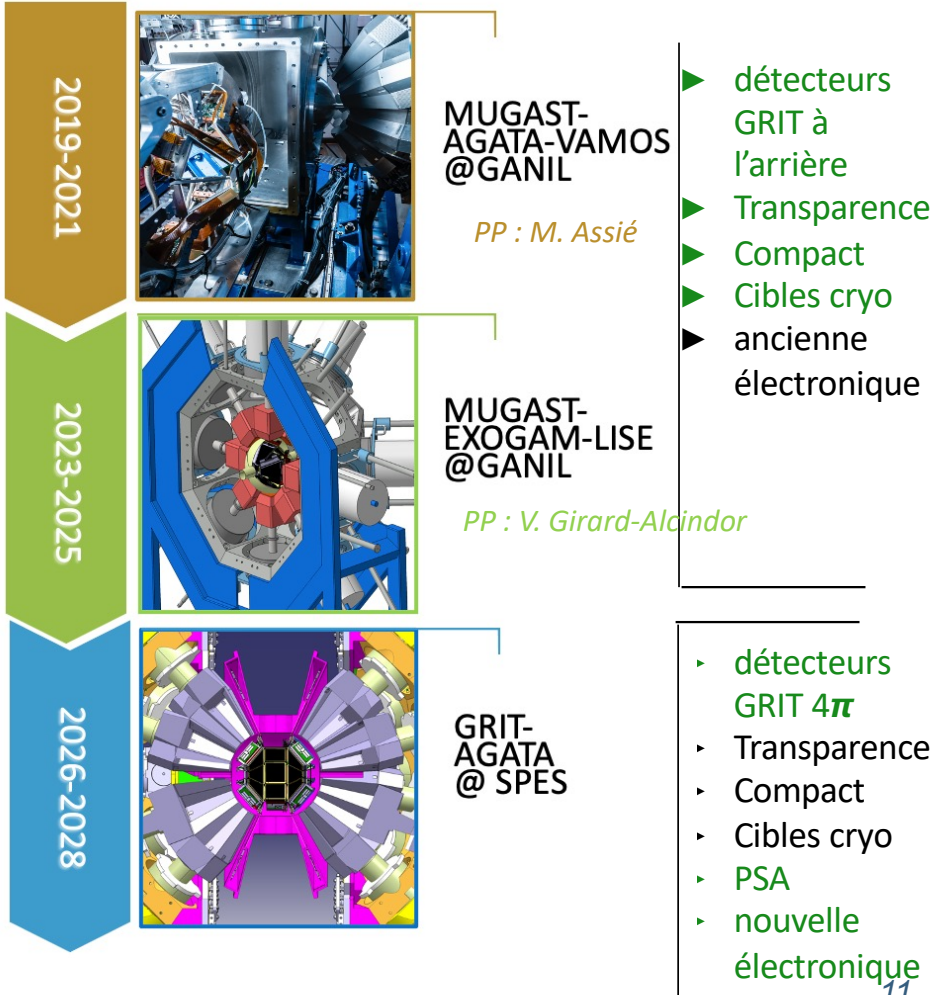
TRANSPAR.

## Transparence aux rayonnements gamma :

Minimum de matière entre la cible et les détecteurs gamma :

- positionnement des cartes électroniques dans les zones mortes
- géométrie très compacte et optimisée : **impression métal 3D**

+ Intégration de cibles spéciales (cryogéniques, tritium, sans fenêtre )



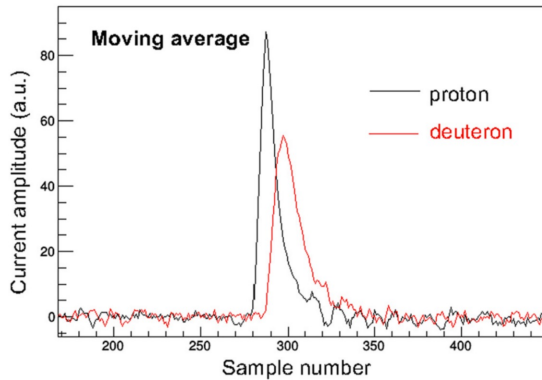


J. Duenas et al, NIMA 2012  
 J. Duenas et al, NIMA 2013  
 B. Genolini et al, NIMA 2013  
 J. Duenas et al, NIMA 2014  
 D. Mengoni et al, NIMA 2014  
 M. Assié et al, EPJA 2015  
 M. Assié et al, NIMA 2017  
 JJ Dormard et al, NIMA 2021

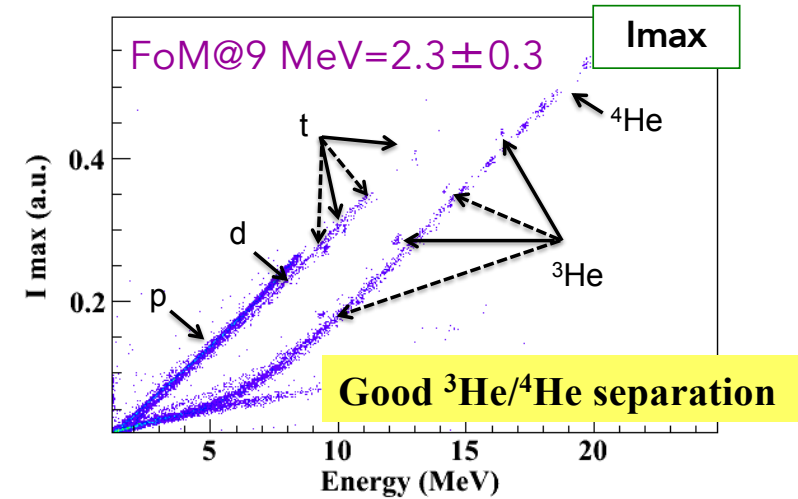
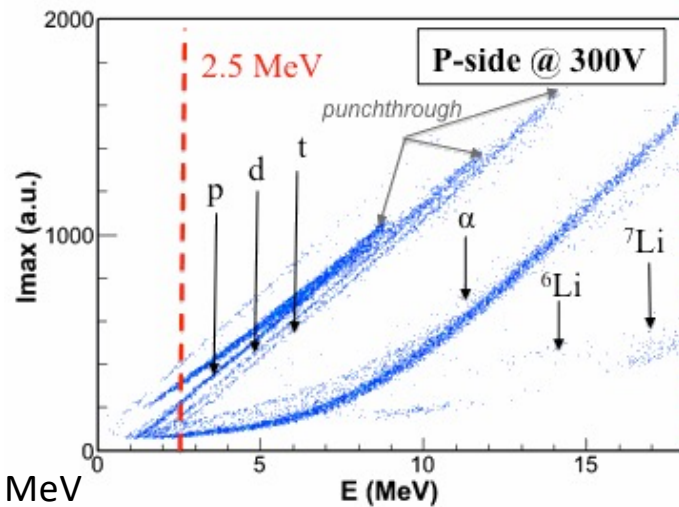
Nombreuses études de R&D sur l'identification des particules par PSA:

○ Identification des particules légères Z=1 et Z=2 : validée !

- Siliciums de type nTD
- Meilleure observable : amplitude du signal de courant  $I_{max}$  ou Temps au-dessus d'un seuil à 10% après filtre de Haar
- Seuil bas en énergie : 2 MeV



Exemple de signaux de courant @ 5 MeV

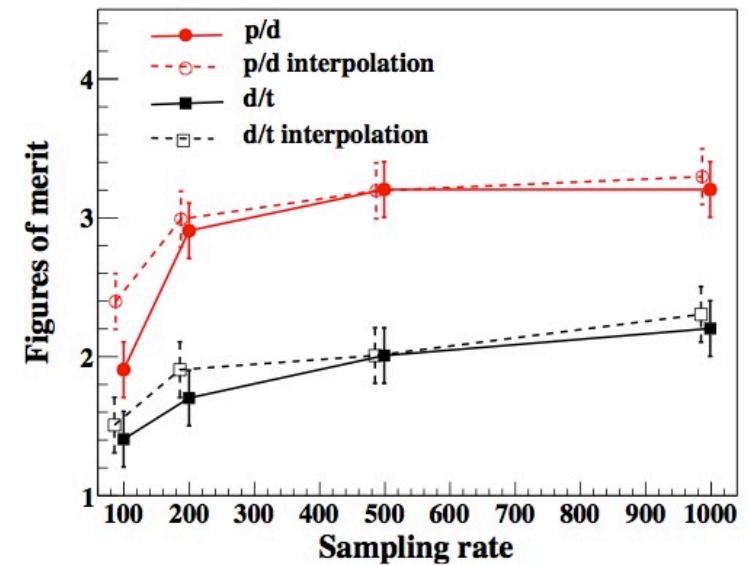
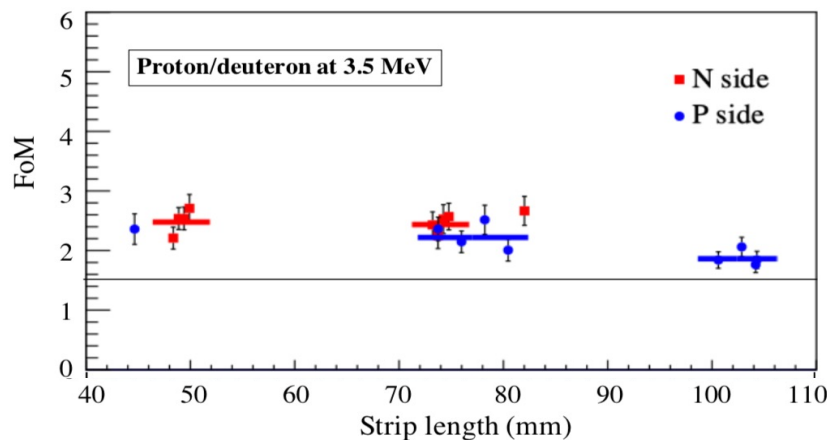




*J. Duenas et al, NIMA 2012*  
*J. Duenas et al, NIMA 2013*  
*B. Genolini et al, NIMA 2013*  
*J. Duenas et al, NIMA 2014*  
*D. Mengoni et al, NIMA 2014*  
*M. Assié et al, EPJA 2015*  
*M. Assié et al, NIMA 2017*  
*JJ Dormard et al, NIMA 2021*

Nombreuses études de R&D sur l'identification des particules par PSA:

- **Identification des particules légères Z=1 et Z=2 : validée !**
  - Siliciums de type nTD
  - Meilleure observable : **amplitude du signal de courant I<sub>max</sub>** ou Temps au-dessus d'un seuil à 10% après filtre de Haar
  - Seuil bas en énergie : 2 MeV
- **Taux d'échantillonnage minimum : 200 MSa/s**
- Effet des différentes capa des pistes (longueurs): OK





## Les détecteurs Silicium : nTD vs.float-zone

GRANULARITE

### Boule de détecteurs Silicium double face (DSSD)

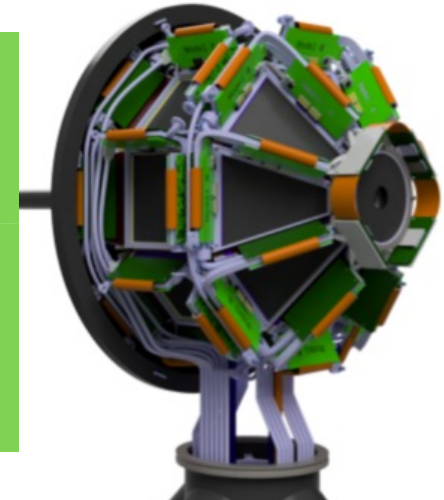
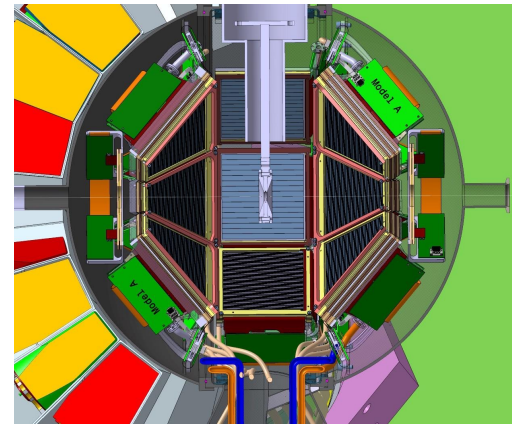
--> précision sur l'angle  $< 0.1^\circ$  avec 128X + 128Y (1<sup>er</sup> étage)

- Couronne avant : 8 trapèzes (3 étages : 0.5+1.5+1.5mm)
- Couronne arrière : 8 trapèzes (2 étages : 0.5+1.5mm)
- 90 deg : Détecteurs carrés (2 à 3 étages : 0.5+1.5 mm)
- 2 annulaires : 1 étage à l'arr, 2-3 étages à l'avant

RESOLUT°

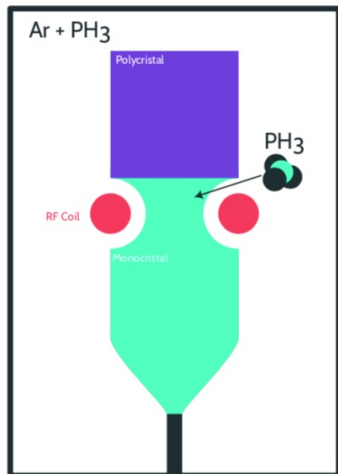
### Résolution en énergie : 35 (1<sup>er</sup> étage) à $< 100$ keV (si 2 étages)

- 1<sup>er</sup> étage : 500 um DSSD, pitch  $< 0.8$  mm **!! nTD !!**
- 2<sup>eme</sup> & 3<sup>eme</sup> étage : **1.5 mm DSSD** pitch  $\sim 5$ mm **float zone**

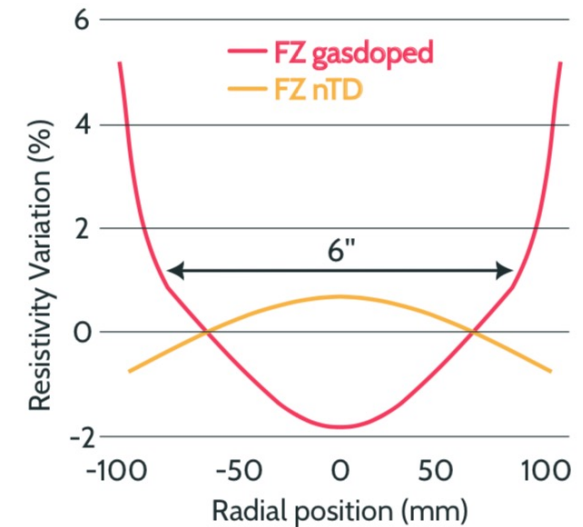
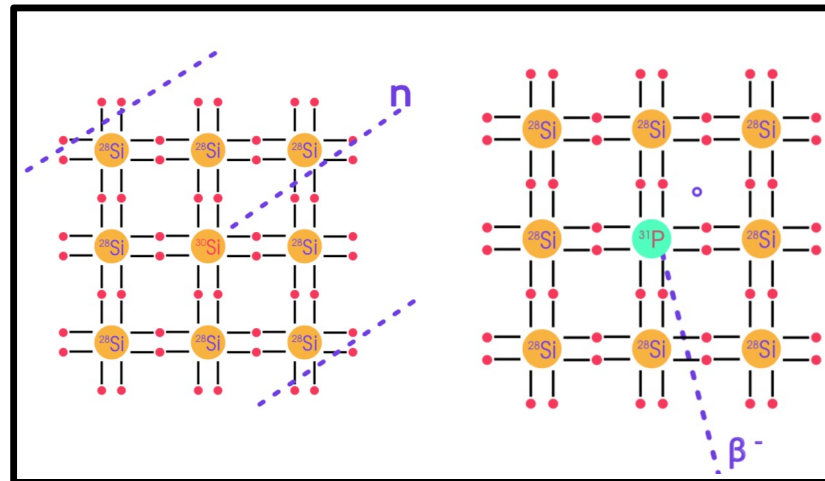


IDENTIF.

### FZ dopé au gaz



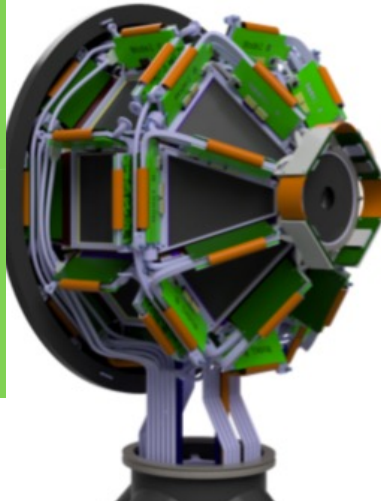
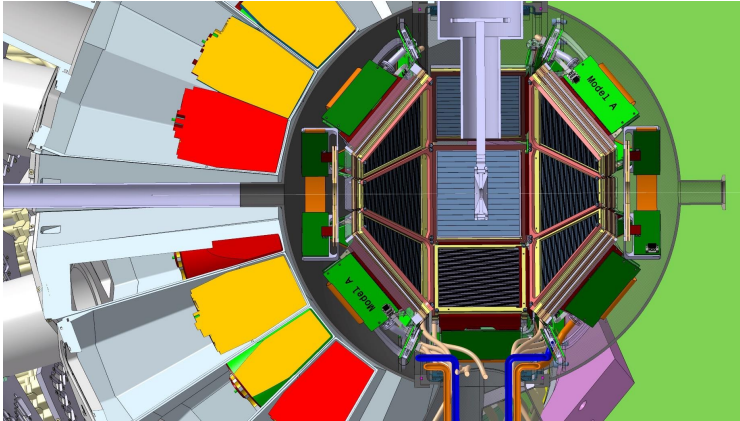
### Si nTD



## Les détecteurs Silicium : bancs de test

GRANULARITE

RESOLUT°



**7 nouveaux design** de détecteurs « sur mesure »

- Epaisseur (1.5 mm) **encore jamais réalisée**

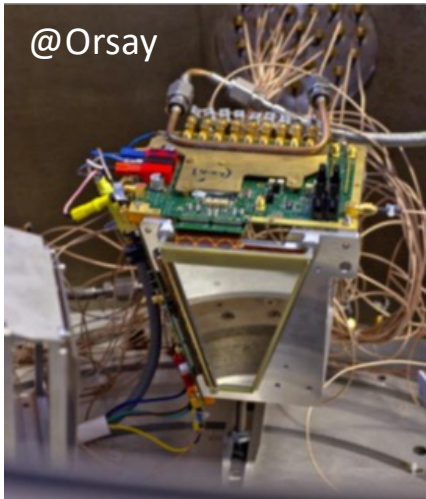
- PSA pour le 1<sup>er</sup> étage (détecteurs nTD)

--> Fabrication : Micron Semiconductors Limited

IDENTIF.

### Bancs de tests

@Orsay



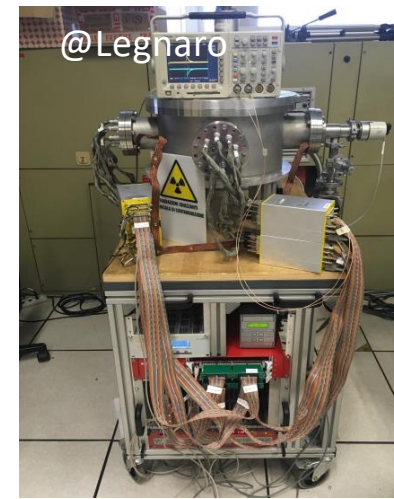
@LPC Caen



@LPC Caen



@Legnaro



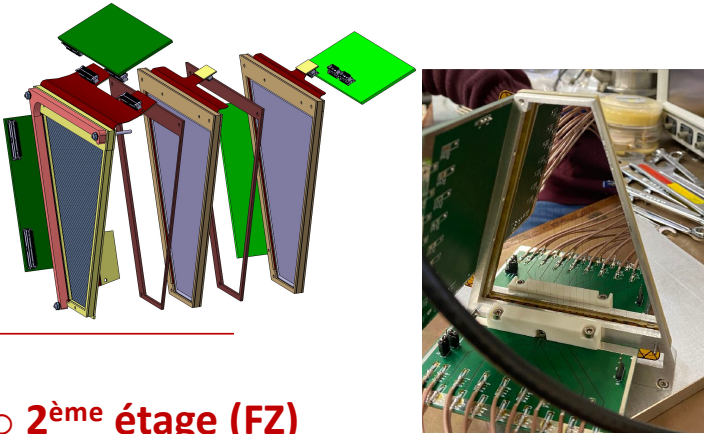
@Legnaro



## Trapèzes

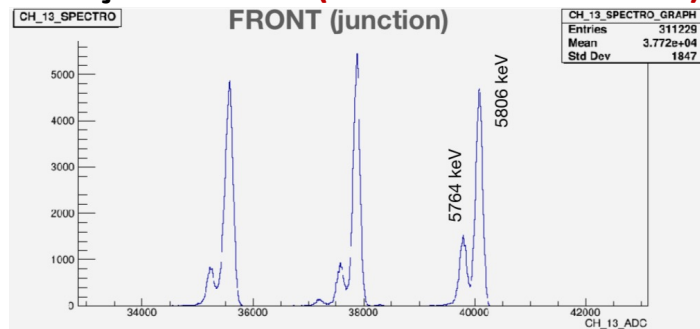
### ○ 1<sup>er</sup> étage (nTD)

- design OK pour les 2 premiers étages
- 11 reçus et testés (35 keV)



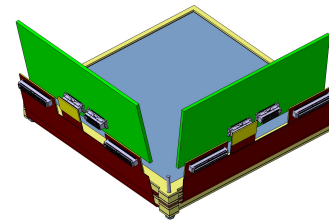
### ○ 2<sup>ème</sup> étage (FZ)

**12 reçus et testés (35 keV! de résolution)**



## Carrés

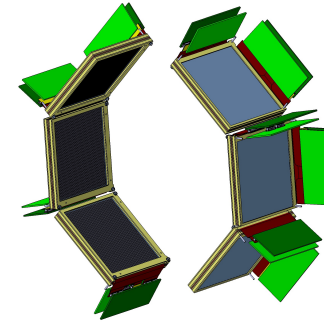
### ○ 1<sup>er</sup> étage (nTD)



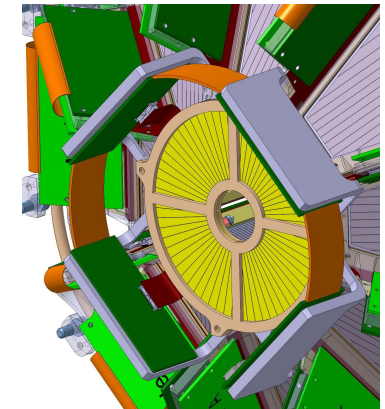
- Design OK
- 2<sup>ème</sup> prototype reçu à tester sur le banc de test

### ○ 2<sup>ème</sup> étage (FZ)

- Design OK
- 1<sup>er</sup> proto reçu, à tester



## Annulaires (nTD+FZ)



- Design OK
- Discussions en cours avec Micron

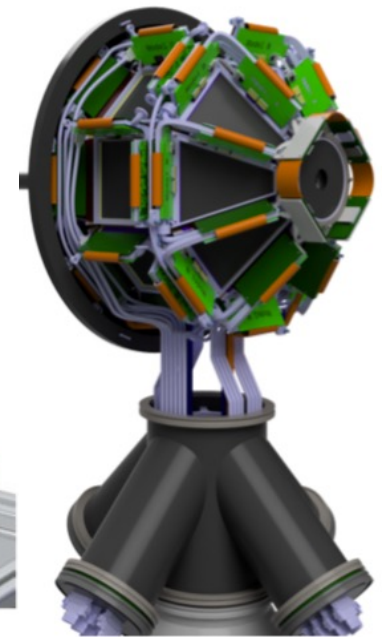
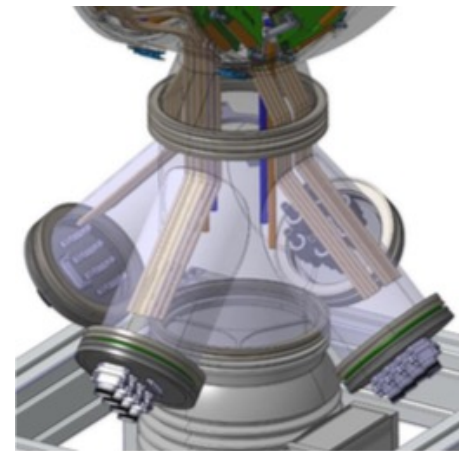
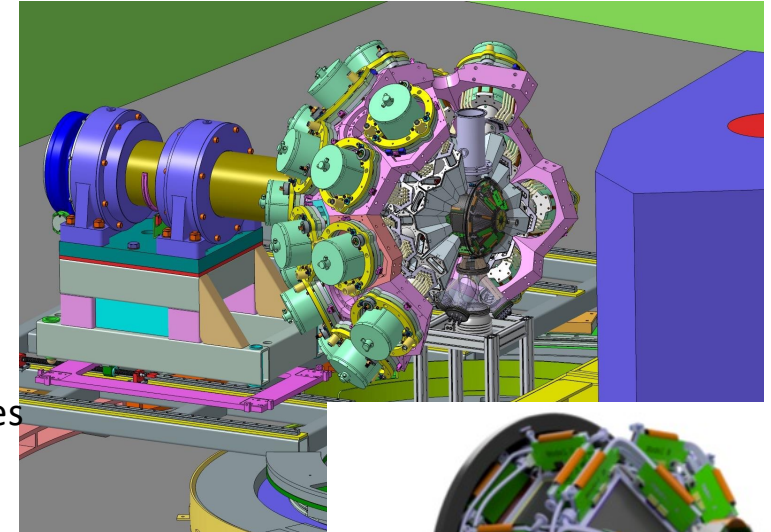
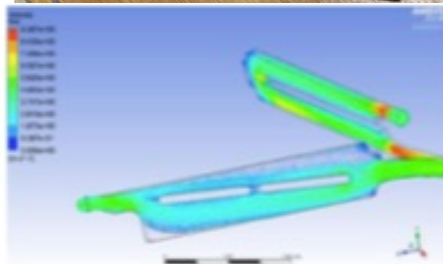
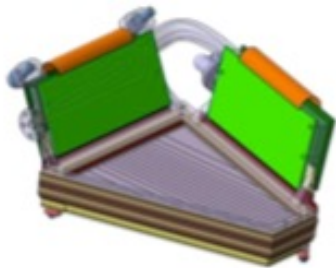
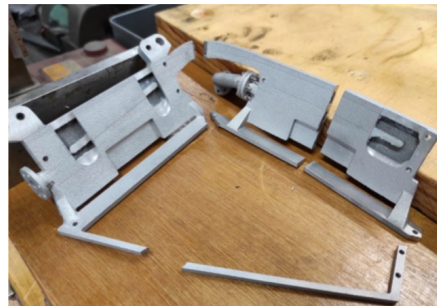
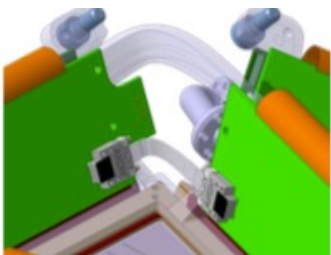


### Transparence aux rayonnements gamma :

Minimum de matière entre la cible et les détecteurs gamma :

- positionnement des cartes électroniques dans les zones mortes
- géométrie très compacte et optimisée : **impression métal 3D**

- Définition de la connectique interne, de la bride et de ses connecteurs
- Test des blocs de refroidissement (imprimés 3D) :
  - maquette 2 blocs : test des performances hydrauliques et thermiques
    - > température uniforme mais chute de pression
    - > nouveau design validé



Blocs de refroidissement Ph. Rosier, IJCLab)

## Simulations GEANT4 de transparence aux rayons gamma

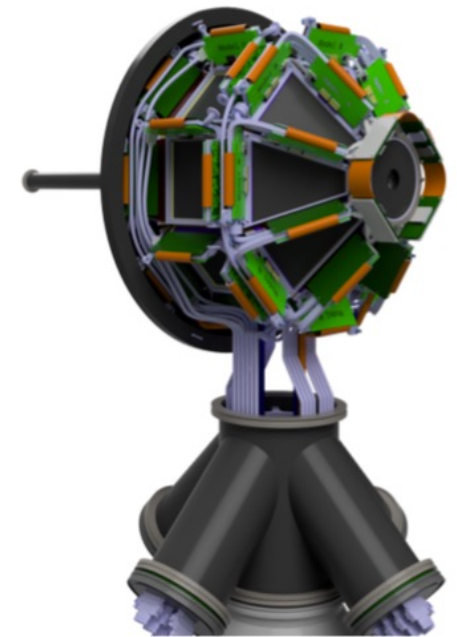
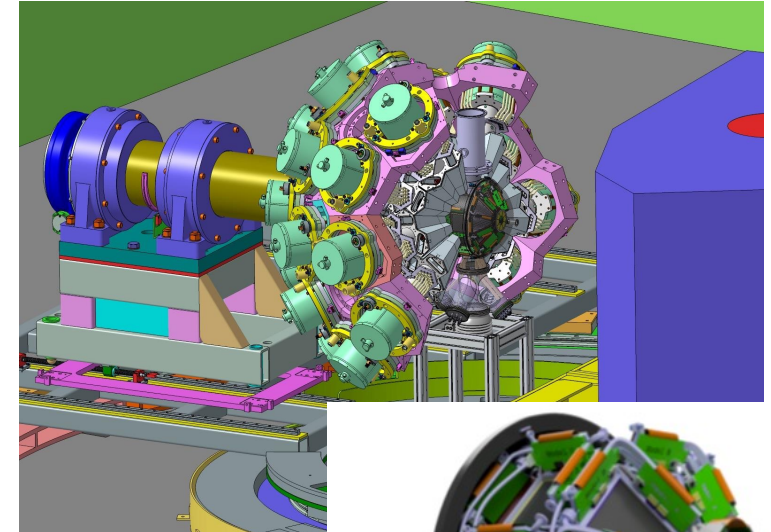
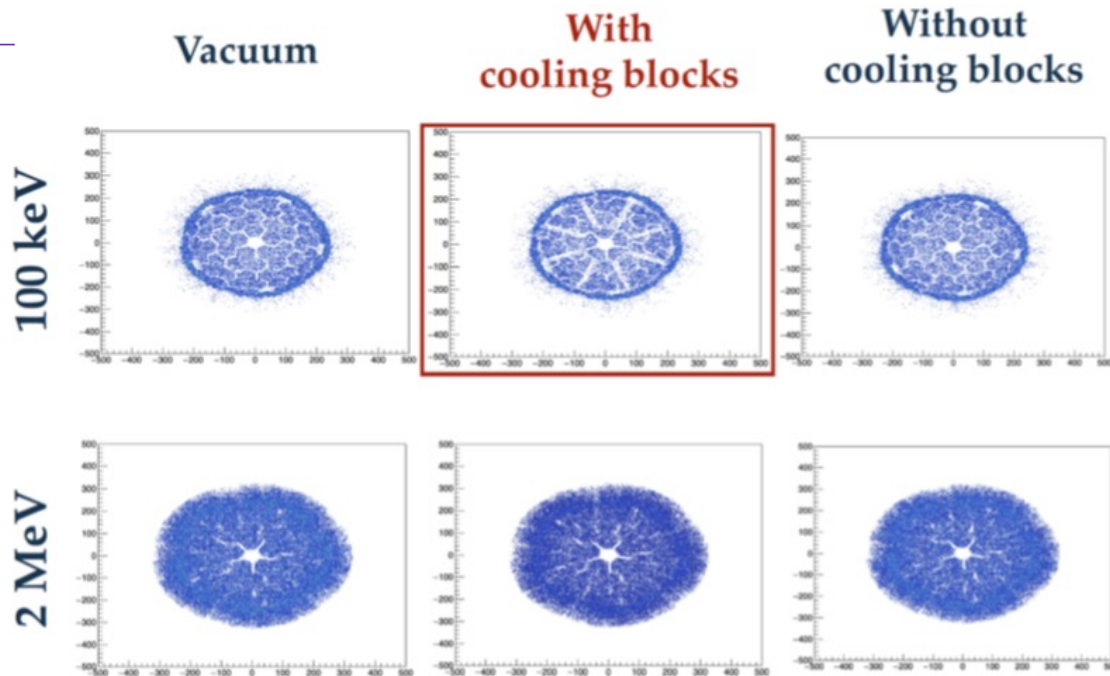
TRANSPAR.

### Transparence aux rayonnements gamma :

Minimum de matière entre la cible et les détecteurs gamma :

- positionnement des cartes électroniques dans les zones mortes
- géométrie très compacte et optimisée : **impression métal 3D**

- Simulations de l'absorption des rayons gammas par la mécanique (S. Bottoni, Milano)



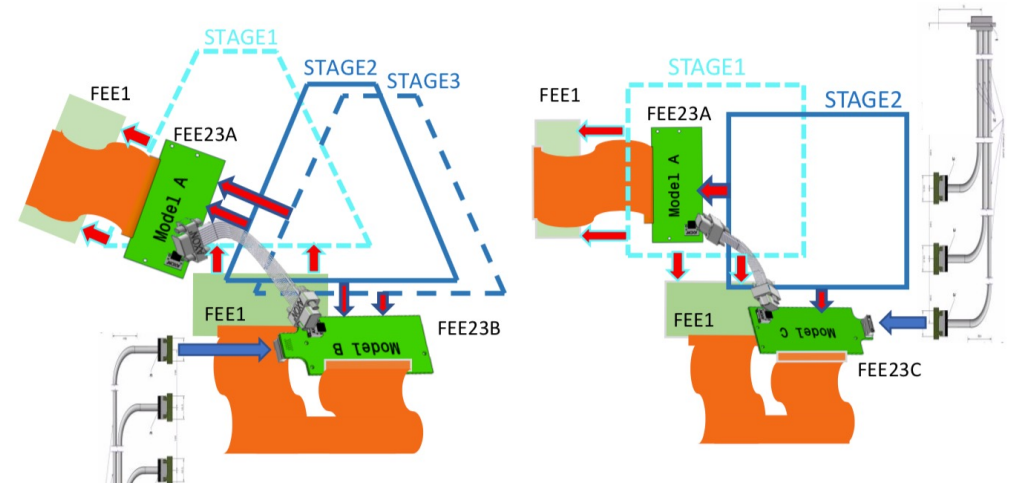
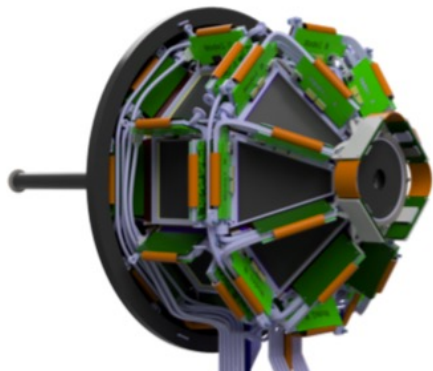
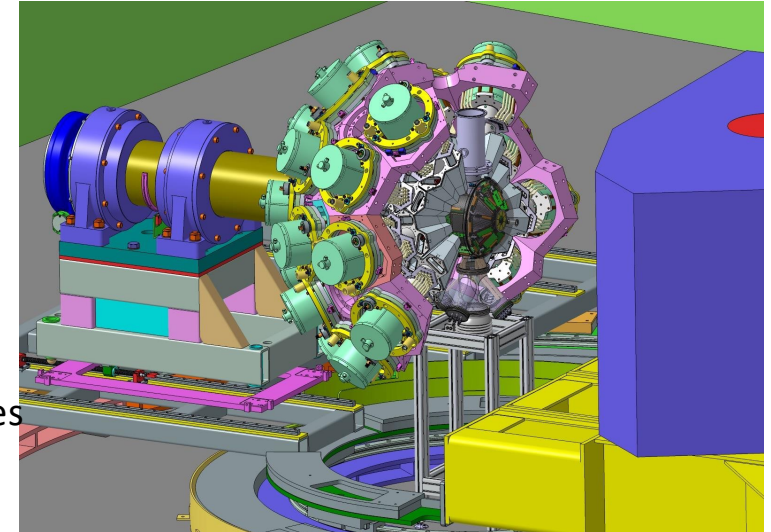
Design Y. Peinaud (IJCLab)

### Transparence aux rayonnements gamma :

Minimum de matière entre la cible et les détecteurs gamma :

- positionnement des cartes électroniques dans les zones mortes
- géométrie très compacte et optimisée : **impression métal 3D**

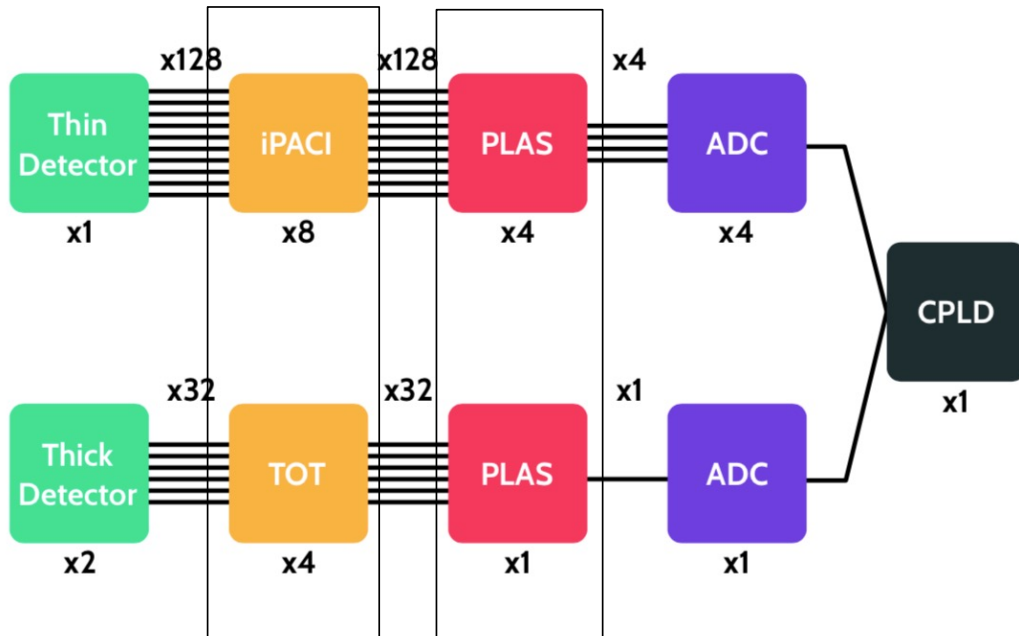
- Définition de la connectique interne, de la bride et de ses connecteurs
- Test des blocs de refroidissement (imprimés 3D) :
  - maquette 2 blocs : test des performances hydrauliques et thermiques
    - > température uniforme mais chute de pression
    - > nouveau design validé
- Définition de la taille des cartes électroniques FEE (4x9 cm X2 cartes)





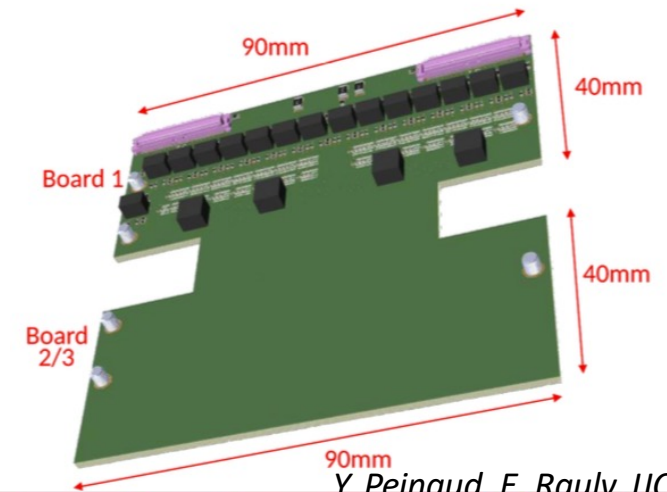
## Le défi principal de GRIT : l'électronique

Schéma conceptuel de l'électronique Front-end de GRIT

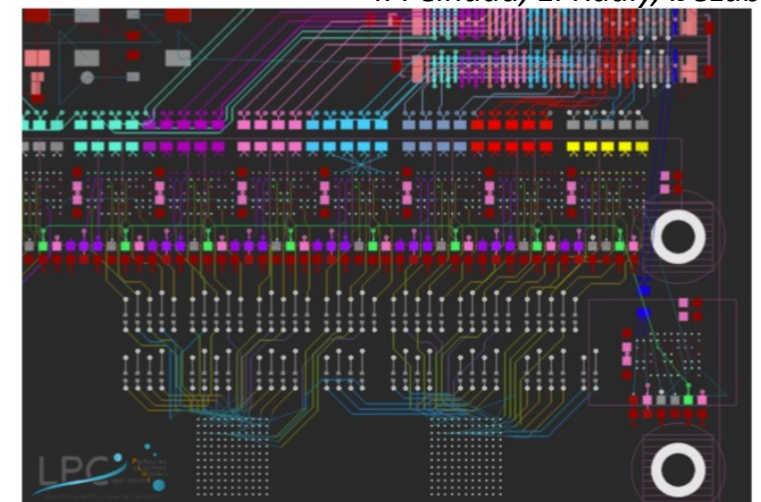


- 2 ASIC préamplis développés :
  - iPACI** (IJCLab): Q & I, gamme 70 MeV -250 MeV (1<sup>er</sup> étage)  
bande passante pour I = 130 MHz
  - ToT** (INFN-Milano): Q, gamme > 1GeV (2<sup>ème</sup> & 3<sup>ème</sup> étage)
- ASIC **PLAS** (Valencia puis LPC Caen): mémoire analogique pour le readout

Tout doit tenir dans 2 cartes double face de 9x4 cm<sup>2</sup> !!!



Y. Peinaud, E. Raully, IJCLab



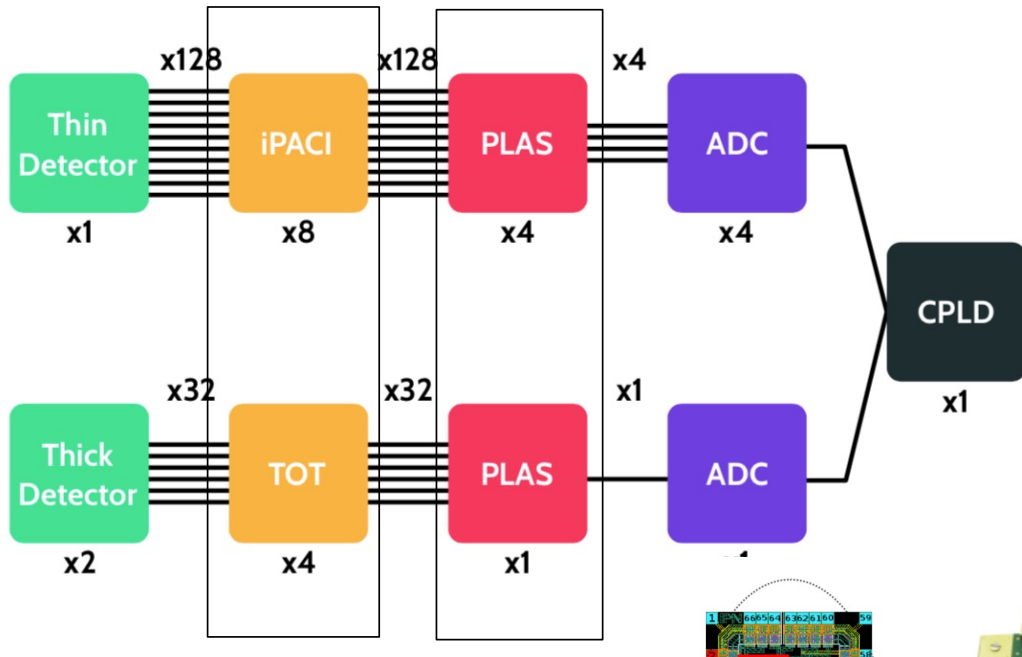
Routage LPC Clermont, M-L Mercier

adapted from A. Matta

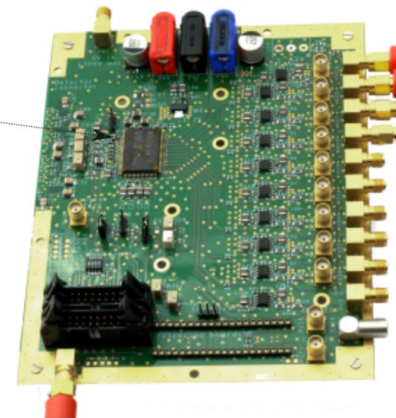


## Le défi principal de GRIT : l'électronique

Schéma conceptuel de l'électronique Front-end de GRIT



- 2 ASIC préamplis développés :  
-iPACI (IJCLab) pour le 1<sup>er</sup> étage

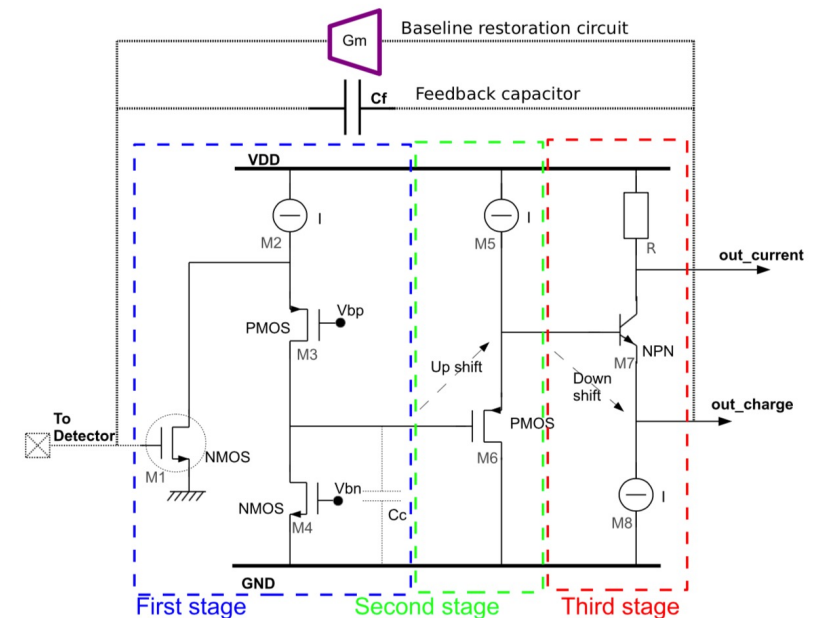


### iPACI

*JJ Dormard et al, NIMA (2021)*

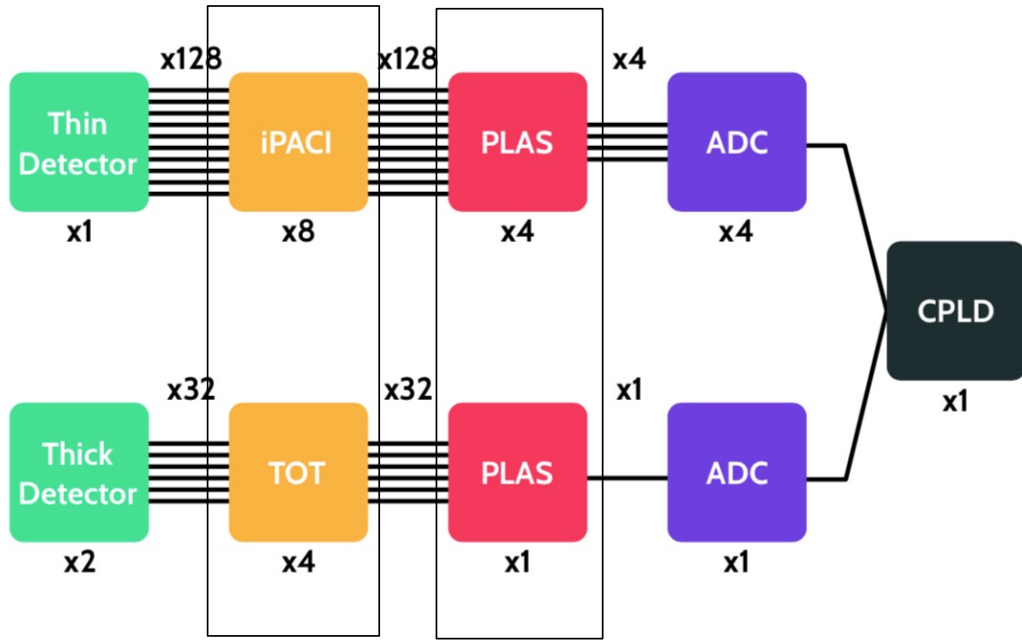
Enjeux principaux :

- amplification et sortie de **signaux rapides** de courant
- bande passante pour I de **130 MHz**
- deux gammes en énergie (70 MeV-250 MeV), ENC= 10 keV
- consommation de puissance **< 40 mW/voie**



# Le défi principal de GRIT : l'électronique

Schéma conceptuel de l'électronique Front-end de GRIT



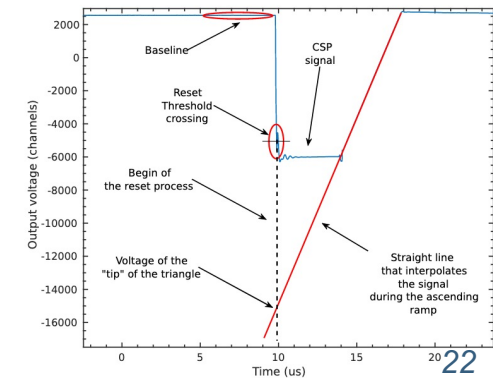
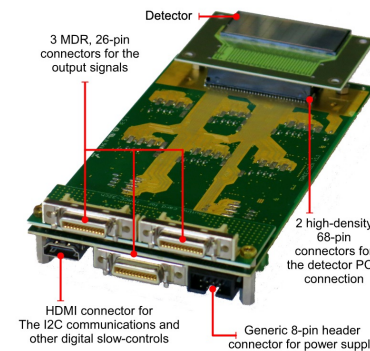
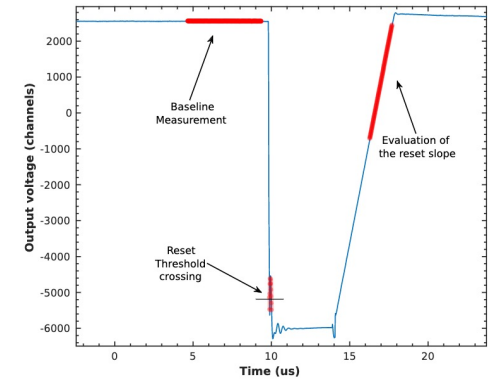
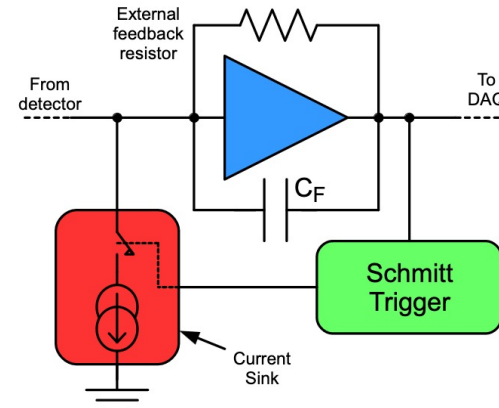
- 2 ASIC préamplis développés :
  - iPACI (IJCLab): pour le 1<sup>er</sup> étage
  - ToT (INFN-Milano) pour le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage
- ASIC PLAS (Valencia puis LPC Caen): mémoire analogique pour le readout

## ToT

*S. Capra et al, NIMA (2019)*

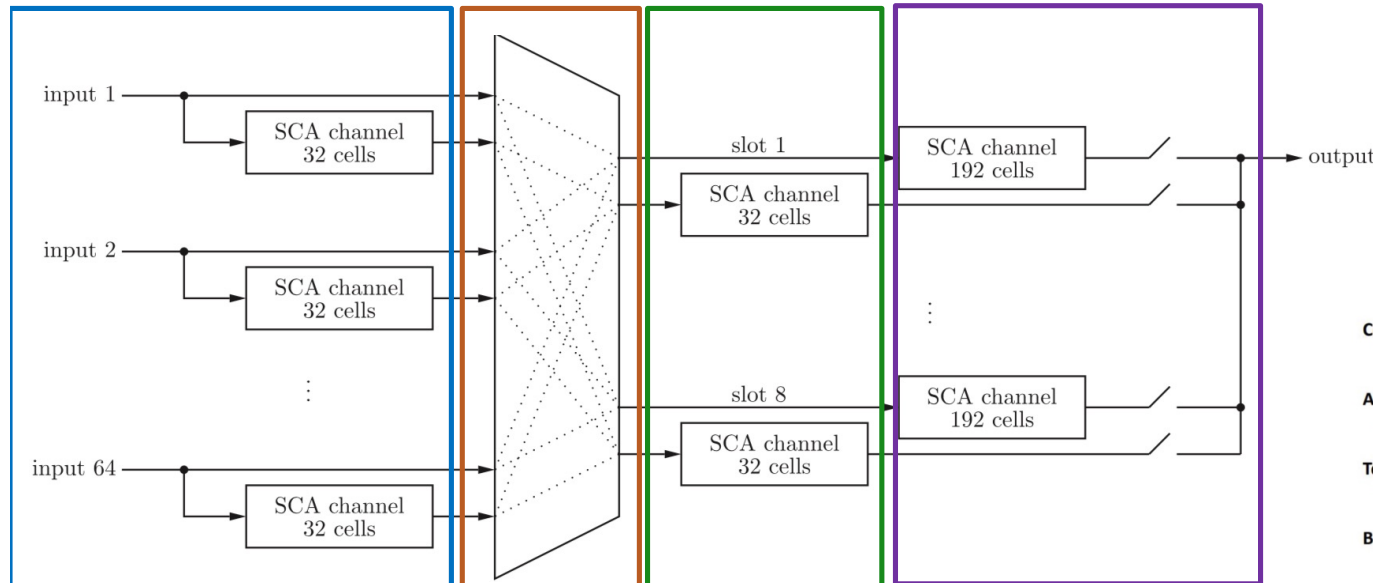
Enjeux principaux :

- Gamme en énergie jusqu'au GeV : procédure de **fast-reset** --> résolution (about 30 keV with alpha source !)



## PLAS : le concept

R. Aliaga, NIMA (2015)  
S. Drouet, L. Alvado (LPC Caen)



Pre-trigger memory

Matrice de  
commutation

Buffer

Trigger memory

PLAS V1 : pas opérationnelle  
PLAS V2 : soumise en 2020 par le LPC Caen  
PLAS V3 : en cours de design

Cell name:  
**TOP\_PLAS**

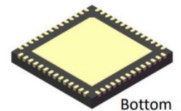
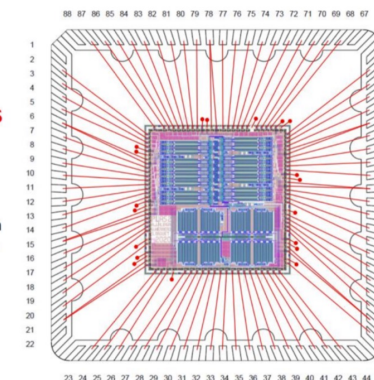
ASIC name:  
**PLAS2**

Techno:  
**TSI 180nm CMOS**

Boitier:  
88 pins  
QFN 88  
Cavité: 7,6 x 7,6 mm  
Boitier: 10 x 10 mm  
Pas: 0,4 mm

Taille circuit:  
X = 3830,12  $\mu\text{m}$   
Y = 4030,12  $\mu\text{m}$   
Area = 15,44 mm<sup>2</sup>

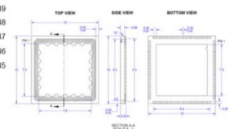
Bonding Diagram – PLASv2 QFN



Bottom



Top



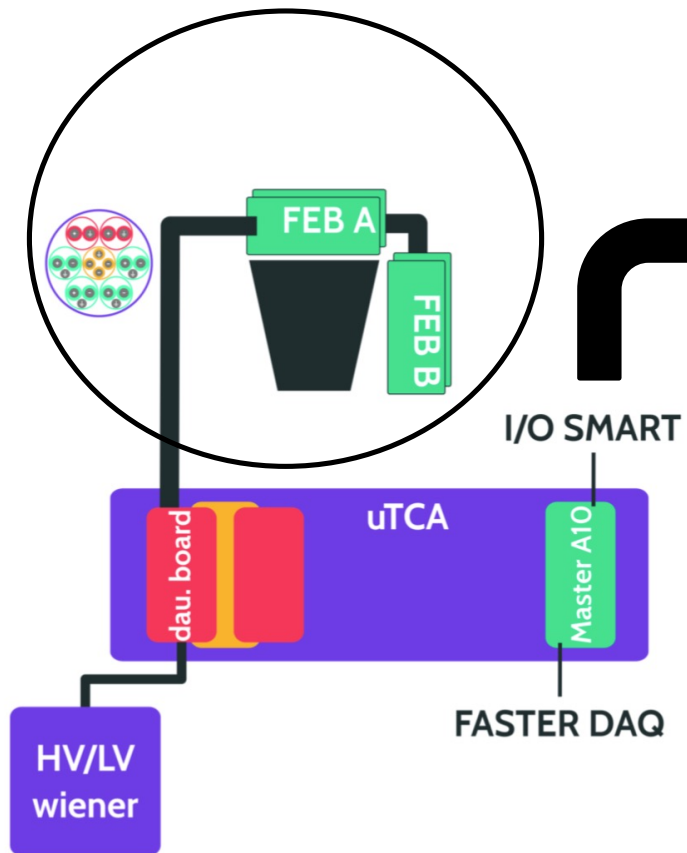
### ○ Résultats pour PLAS V2 :

- Taux d'échantillonnage **200 MSa/s**
- **32 points de pré-trig** et **224 au total** : taille de la trace limitée !
- ENOB : **8.4 bits** alors que d'après les tests de R&D nous avons besoin de **10 bits** minimum

--> redesign en modifiant les schémas (le bruit provient essentiellement des blocs T&H)

**PLAS V3 en cours de design par : S. Drouet, G. Martinez, L. Alvado, L. Leterrier, LPC Caen**

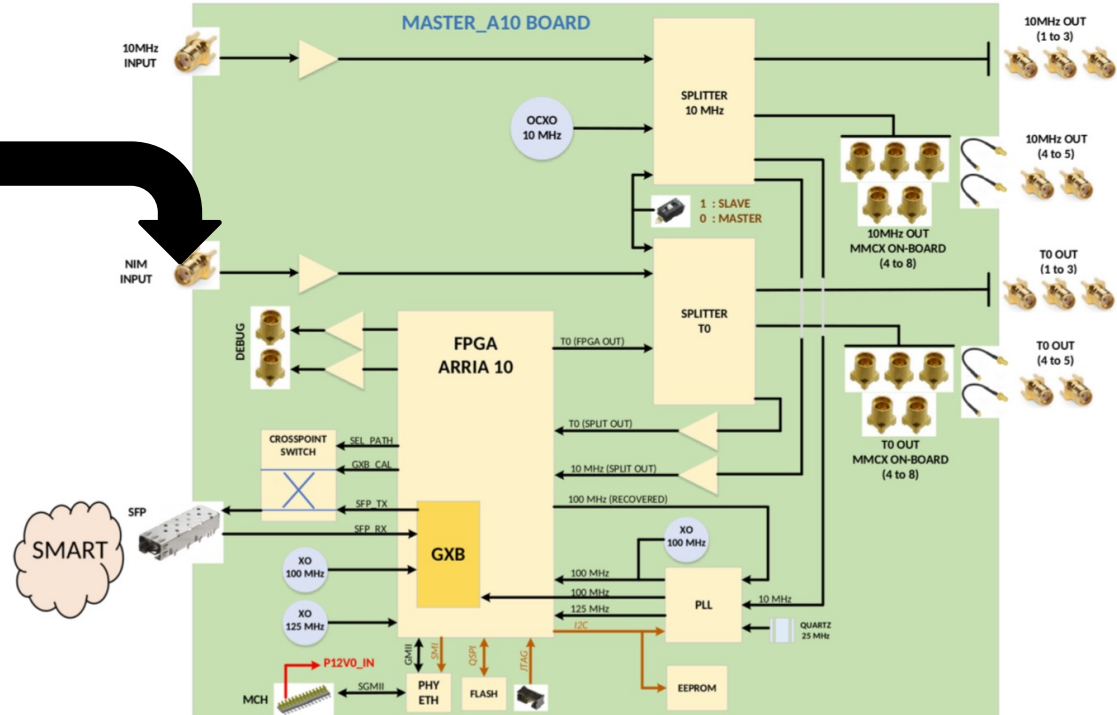
Chambre à vide



## GRIT : SMART protocol with FASTER



### BOARD SYNOPSIS :



D. Etasse, B. Carniol, A. Matta (LPC Caen)





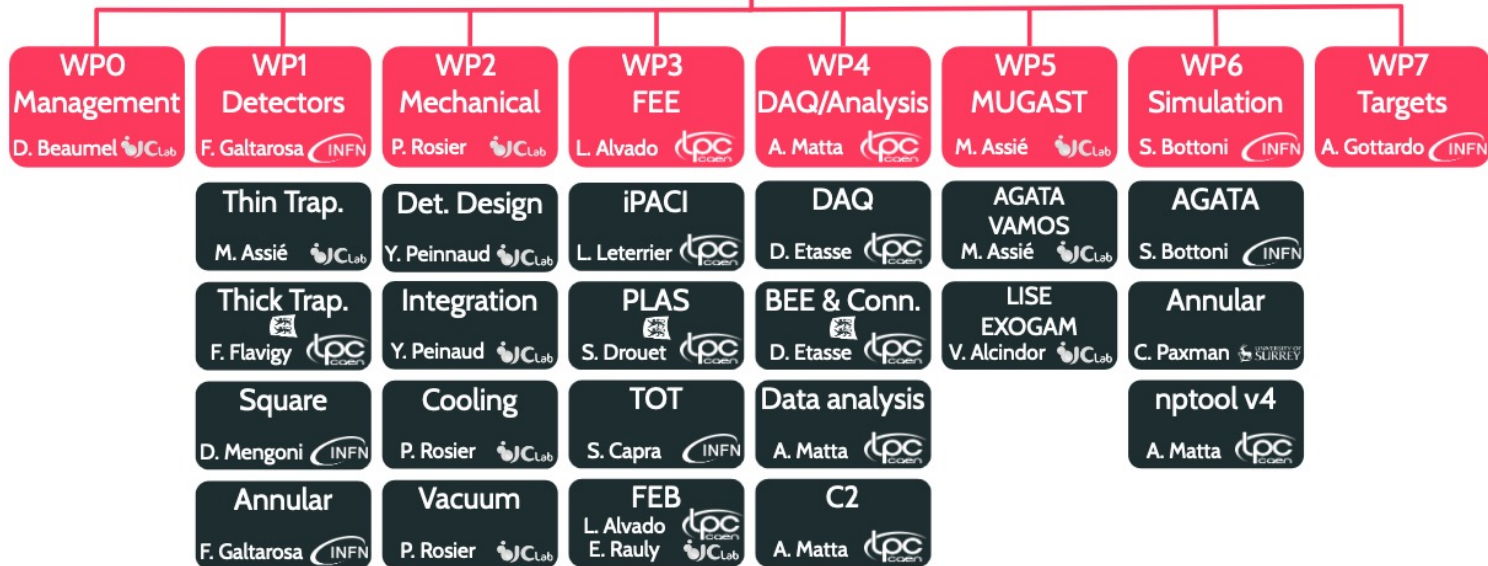
### Spokespersons

D. Beaumel   
D. Mengoni

### Technical Coordinator

C. Soulet

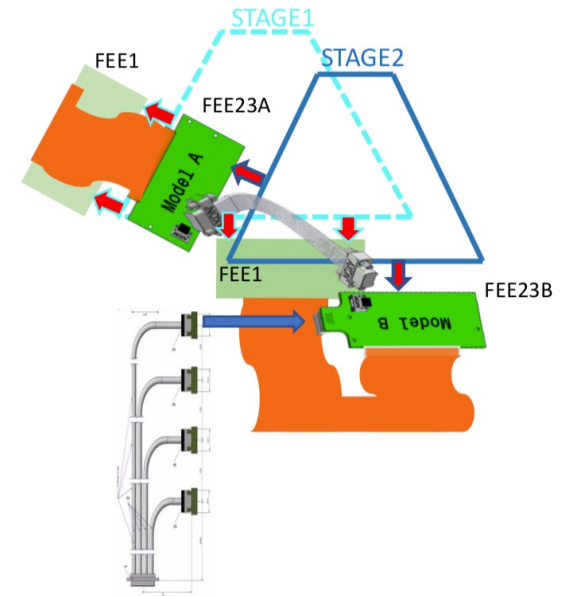
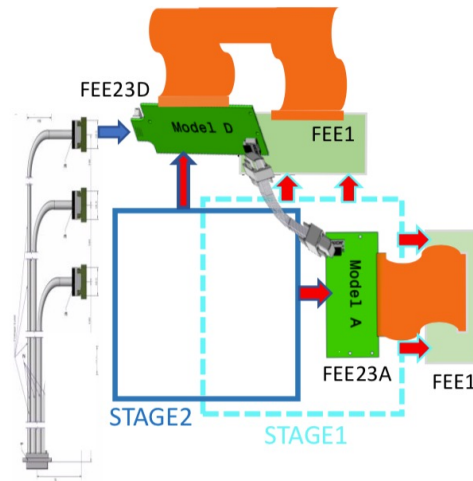
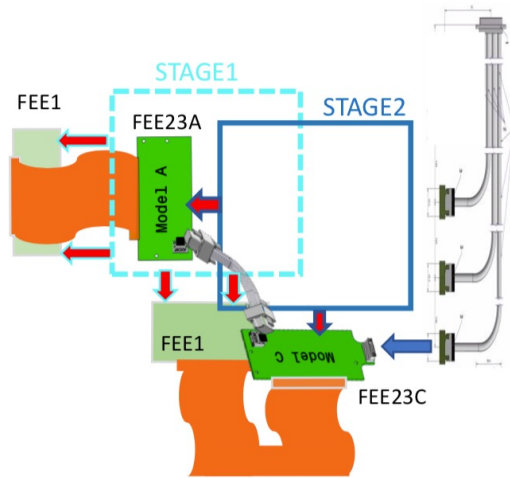
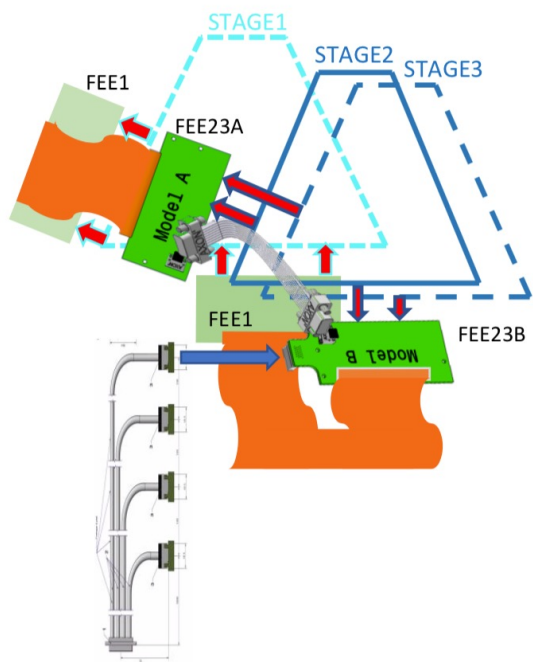
## Management Board

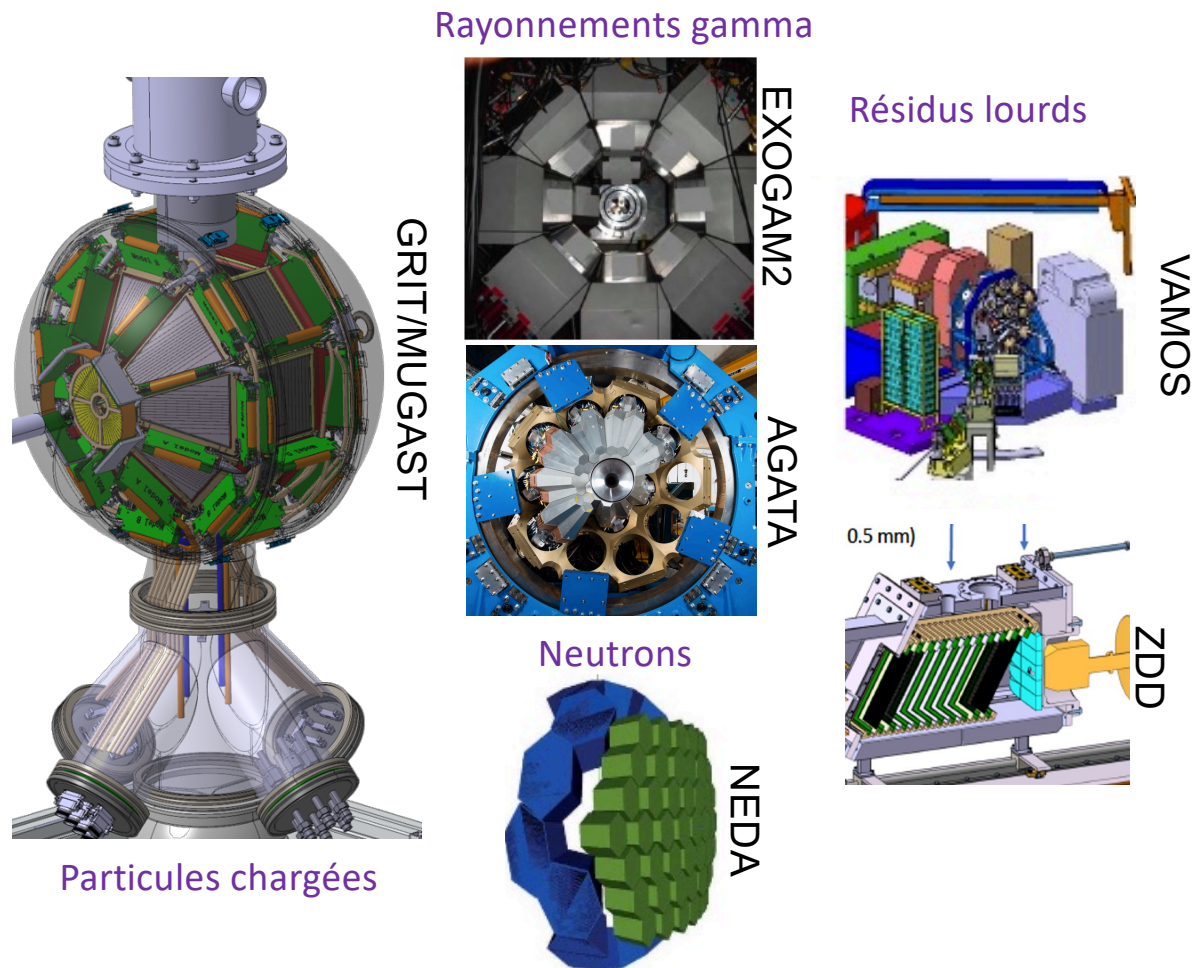


## Steering Committee



## **Back-up slides**





### Enjeux

- ▶ Intégration dans un espace restreint (23 cm de rayon)
- ▶ Transparence aux rayonnements gamma
- ▶ Identification des particules dans le Si plus possible par temps de vol : implémentation de l'analyse de la forme des signaux (PSA) pour l'identification