

Perspectives sur les besoins futurs des experiences vis-à-vis des frontend et backend électronique

...de physique nucléaire

Novembre 2019

Contenu

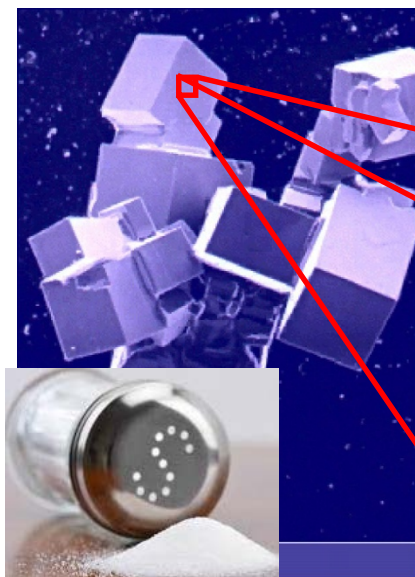
- La physique nucléaire
- Ce que nous mesurons
- Comment nous le mesurons
- La spectroscopie haute résolution
- Instrumentation moderne
 - Projet AGATA
 - Projet GRIT
 - Projet FAZIA
 - Projet NEDA

- Les systèmes d'acquisition
- Le traitement et filtre en temps réel dans le data flow
- Le big data

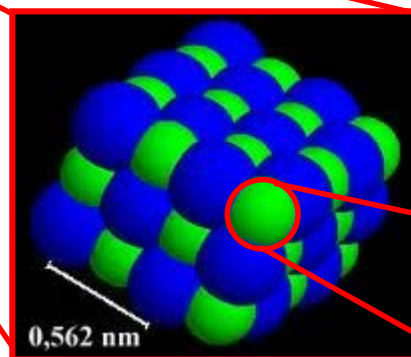
Ce dont je ne vais pas parler

- Les Mchannel détecteurs
- Basse activité et bas seuil
- Les détecteurs gazeux (TPC ou Ions lourds)

Notre sujet d'étude : le noyau

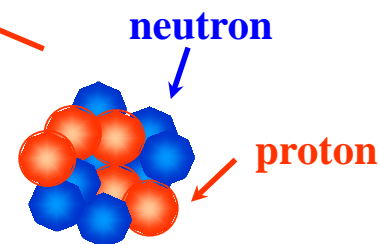
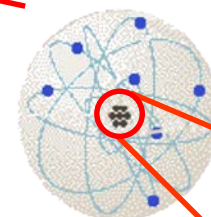


Les cristaux de sel
1 mm / 100



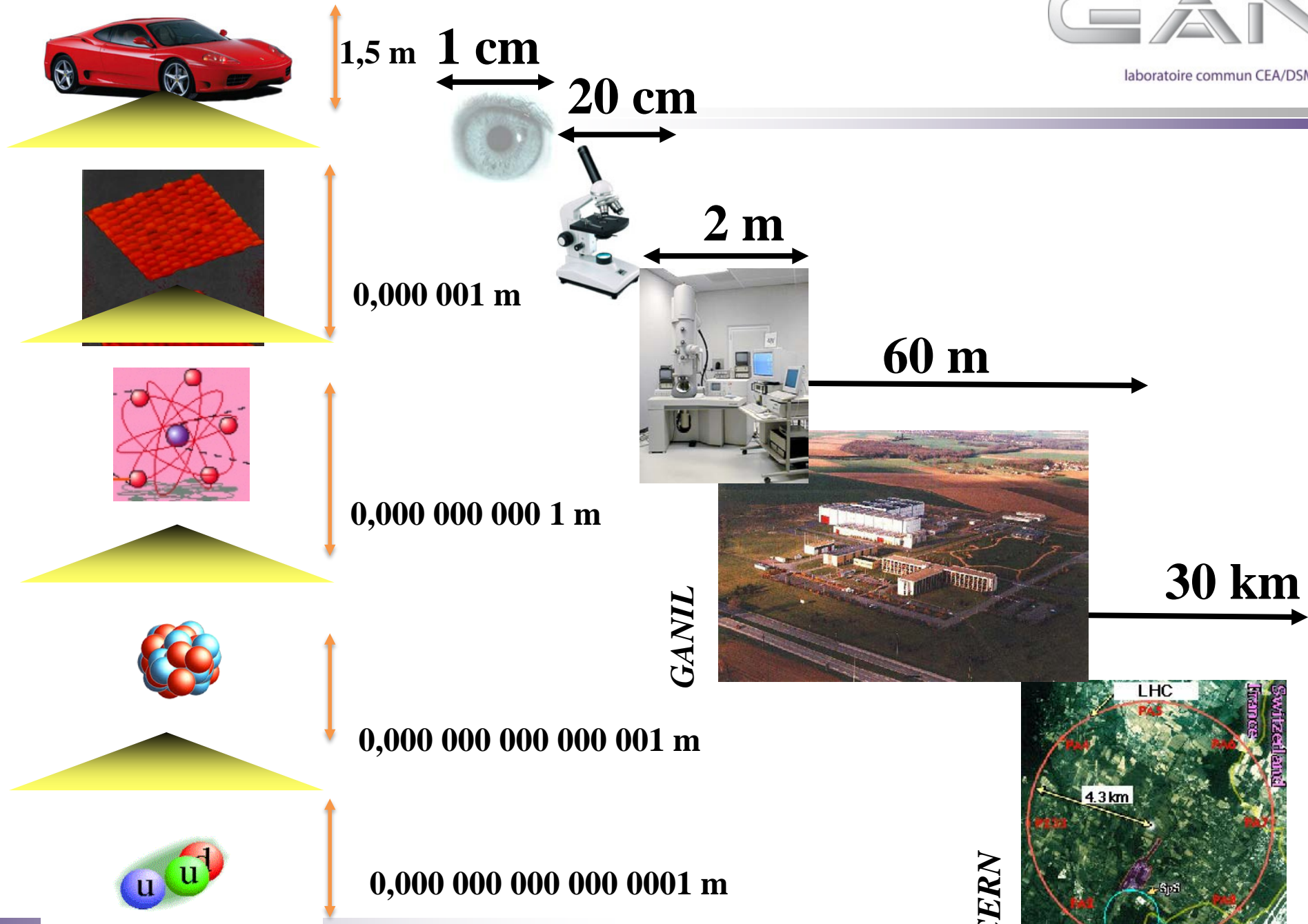
Un arrangement régulier d'atomes de sodium "Na" et de chlore "Cl"

1 mm / 10 000 000
L'atome : un coeur compact (le noyau) entouré d'électrons

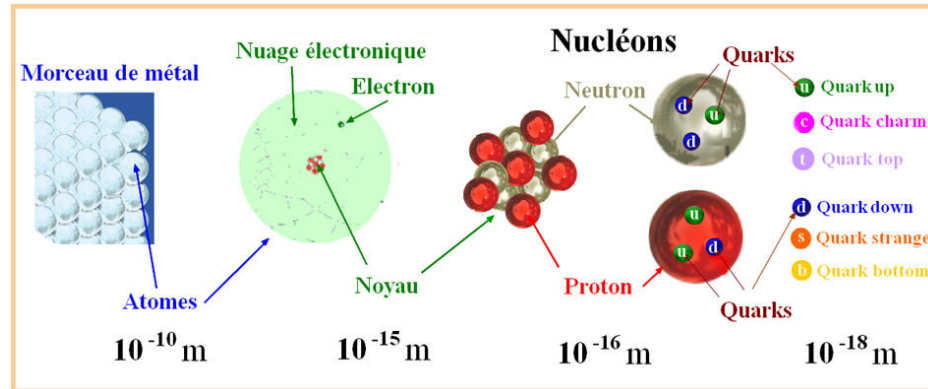


Le noyau atomique : un ensemble de **protons** et de **neutrons** (nucléons)
1 mm / 100 000 000 000

Deux constituants (protons et neutrons)
mais des milliers de combinaisons

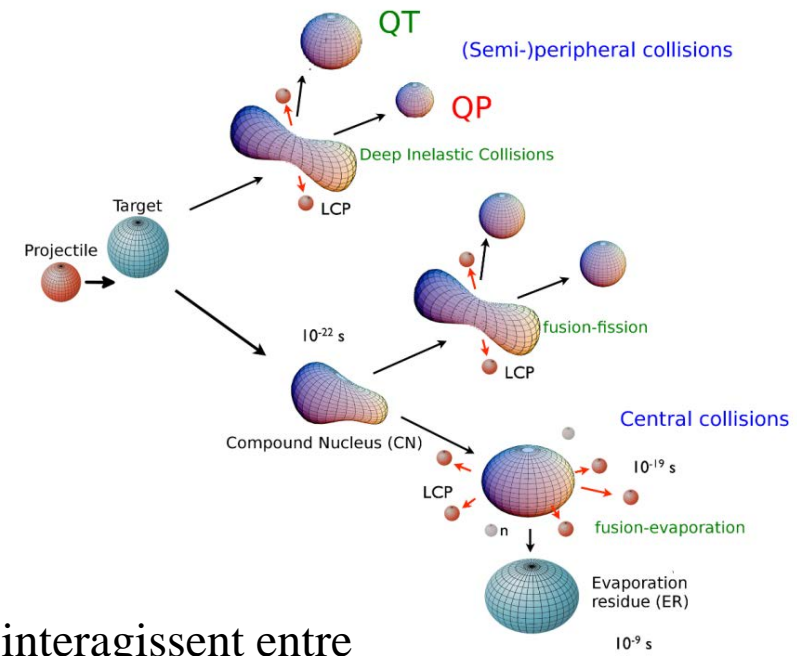


Notre sujet d'étude est le noyau de l'atome



Structure du noyau : interaction entre nucléons

Dynamique nucléaire : interaction entre noyaux



Le défi de décrire avec précision comment les noyaux interagissent entre eux est intimement lié aux études sur la structure nucléaire et vice-versa

L'objectif de ces recherches est de répondre directement à :

Comment la **matière nucléaire** s'est-elle créée et comment évolue-t-elle ?

Les interactions fondamentales sont-elles **comprises** ?

Quelle est la **nature de la force nucléaire** qui lie les protons et les neutrons ?

Comment la matière nucléaire **s'organise** et quels **phénomènes émergent** ?

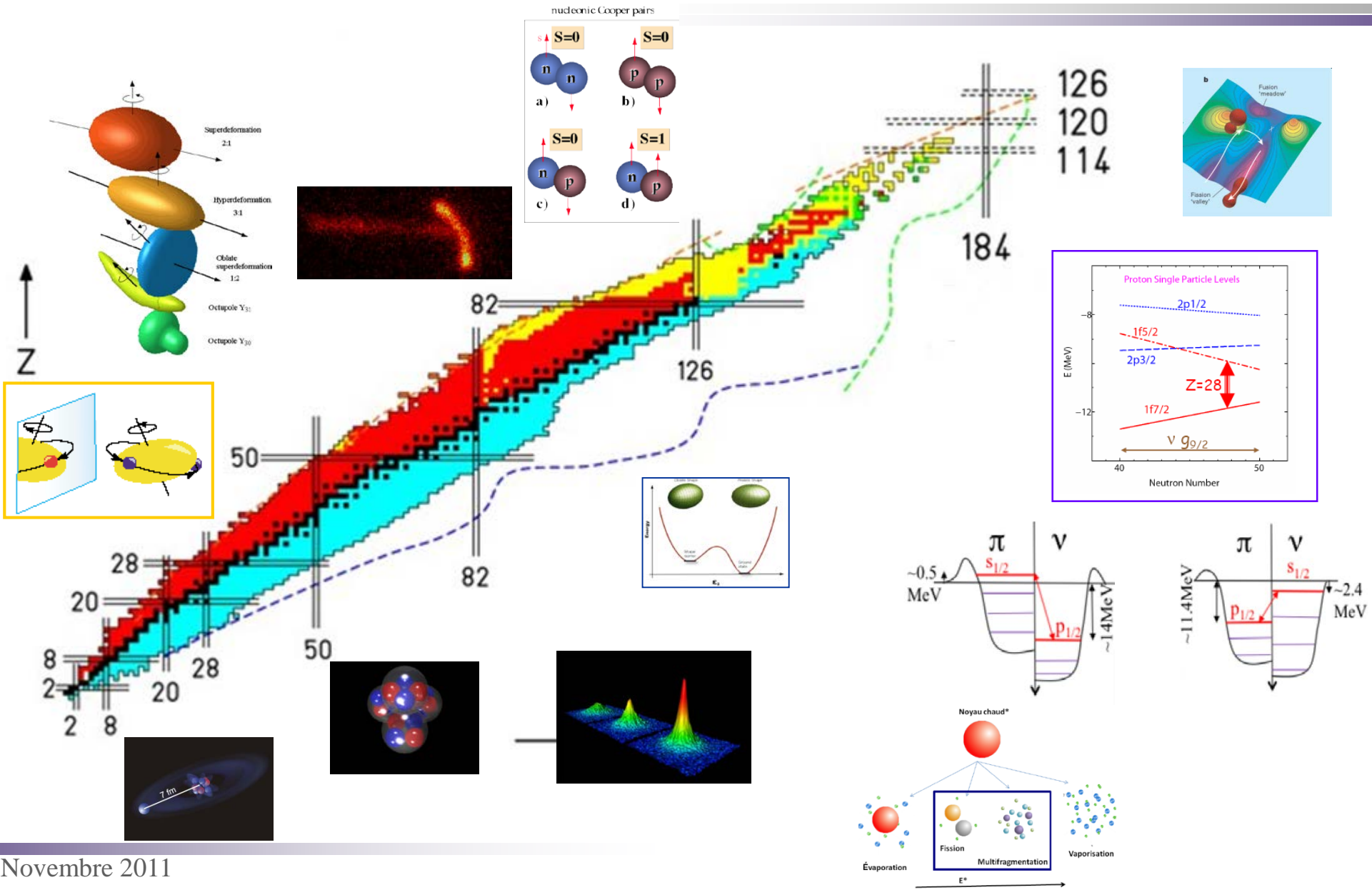
«What is the origin of simple patterns in complex nuclei?»

Avec des dizaines voir des centaines de nucléons qui interagissent fortement, le noyau affiche des **singularités frappantes** :

- L'apparition de fermeture de couches (nombres magiques)
- L'apparition de modes collectifs (rotations, vibrations)
- L'apparition de phénomènes de pairing et cluster (Pair de Cooper ou état de Hoyle)
- L'apparition de symétries de hauts rangs (super Déformation, Octupole, Tétraèdre)
- L'apparition de transitions de phases

Une description théorique prédictive des propriétés nucléaires nécessite une solution précise du **problème quantique à N-corps** - un défi formidable qui, même avec l'avènement des superordinateurs, nécessite des hypothèses de modèle simplifiées avec des paramètres de modèle inconnus qui doivent être contraints par des observations expérimentales.

Le paysage nucléaire



La compréhension de la structure des noyaux est à la fois **théoriquement et expérimentalement**

→ **Développer un modèle fiable du noyau** et des réactions nucléaires avec un pouvoir prédictif et des incertitudes quantifiées

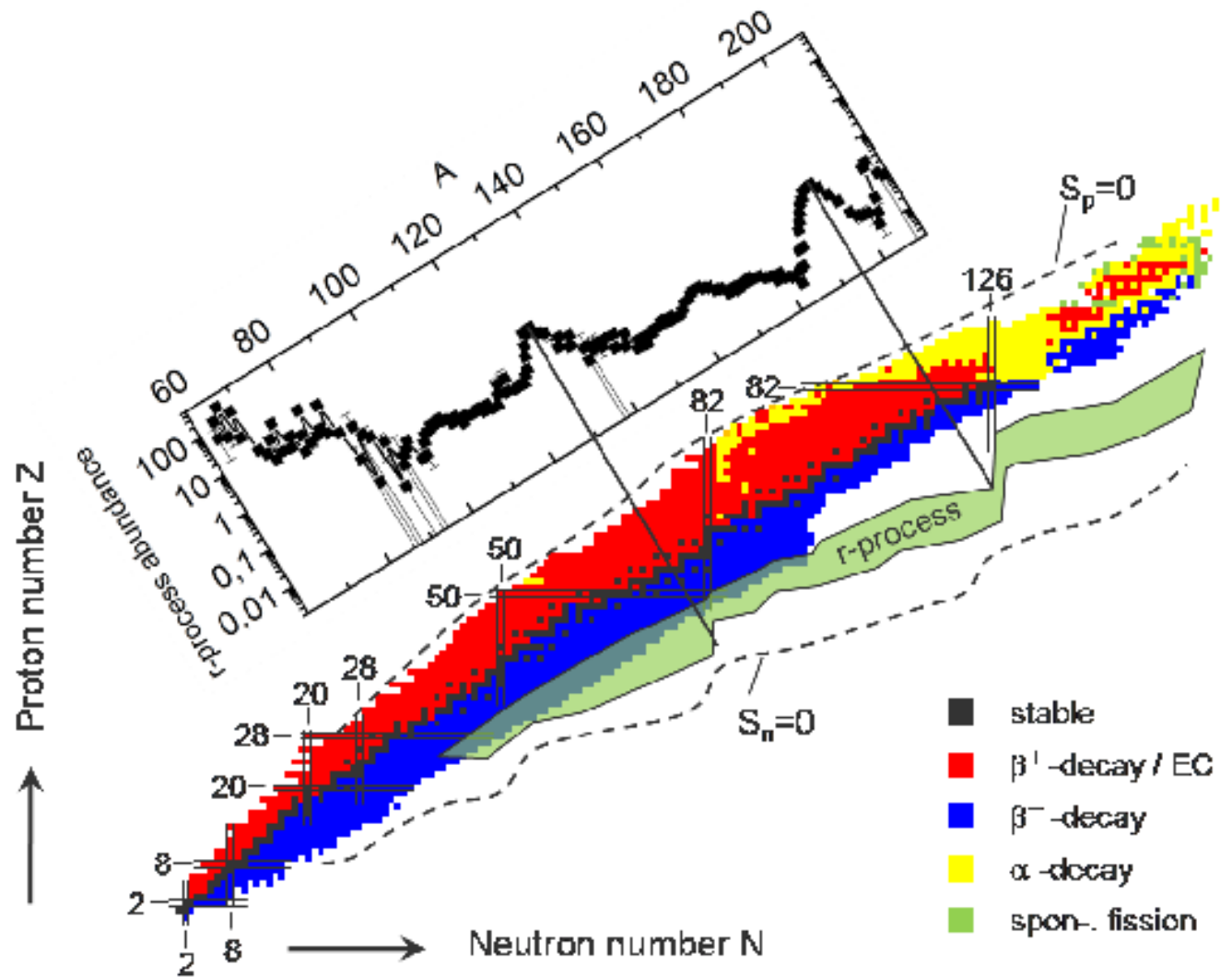
Déterminations de propriétés importantes pour les noyaux clés qui nous permettront par exemple

De connaître le taux de fusion de noyaux légers et retracer l'origine des éléments dans le cosmos,

De comprendre les profils de fission des noyaux lourds

De fournir des informations nucléaires pour l'interprétation d'expériences impliquant des noyaux comme *neutrino less double beta-decay* et la recherche de la matière noire

Retracer l'origine des éléments dans le cosmos

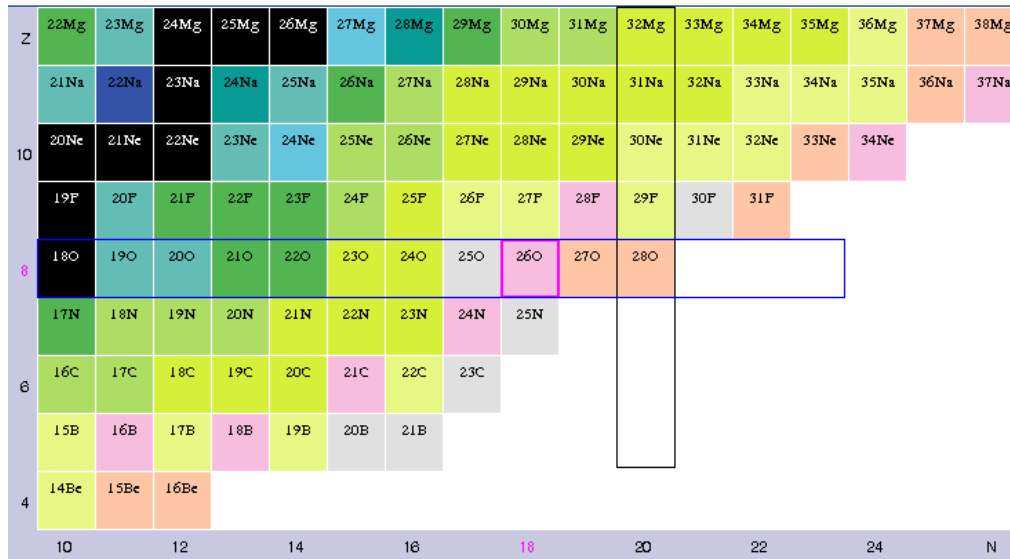


Etudier les noyaux exotiques

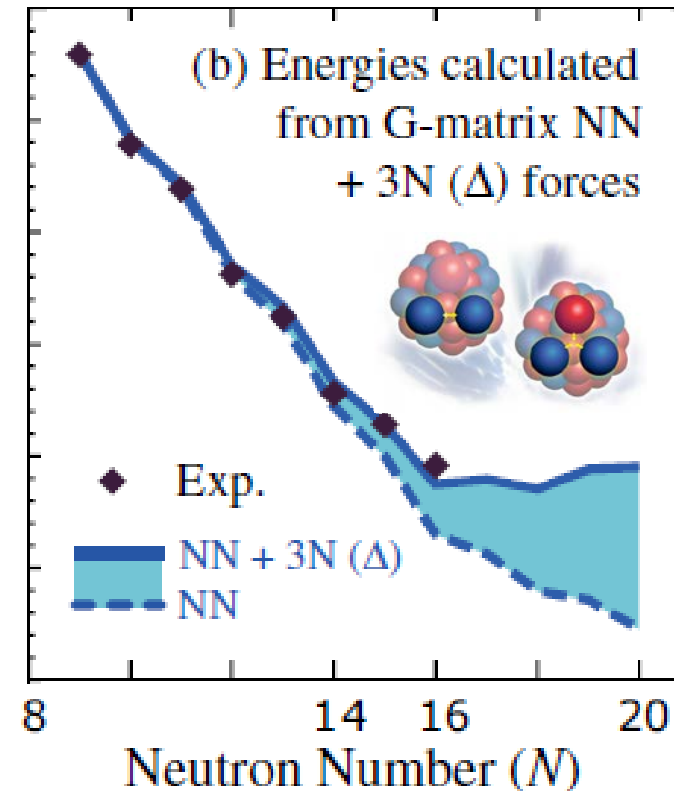
L'importance des **noyaux exotiques** dans les progrès spectaculaire dans la compréhension de la matière nucléaire

Les nombres magique sont des approximations utiles pour des noyaux stables, mais ils ne peuvent pas offrir de pouvoir prédictif pour les isotopes rares.

Des expériences récentes ont montré d'autres déficiences des modèles telles que les **interactions multi-nucléons** (3 corps), le **couplage au continuum** et le rôle de **la force de tenseur** dans les noyaux.



T. Otsuka Phys. Rev. Lett. 105, 032501 (2010)



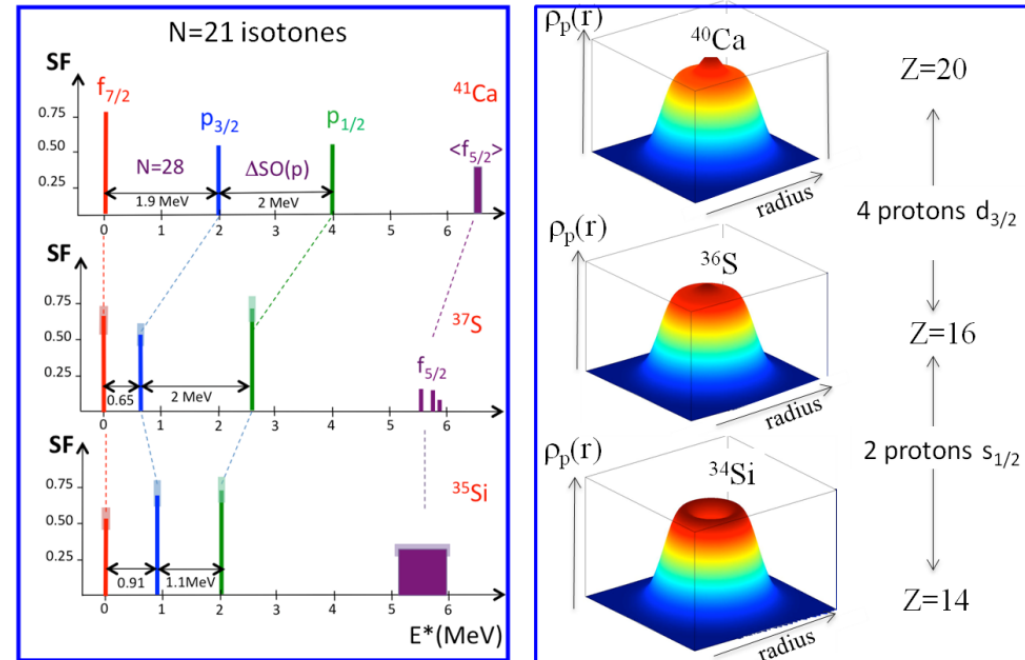
Tester la dépendance en densité et isospin du terme spin-orbite

Dans le ^{34}Si :

- ❖ Déplétion centrale des protons
- ❖ La densité neutron reste similaire

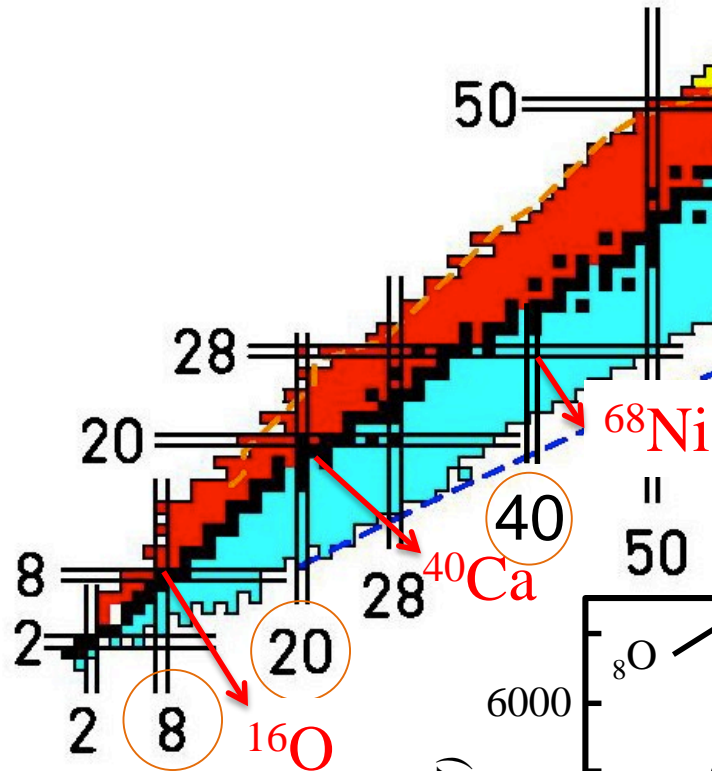
Entre le ^{37}S et le ^{35}Si , réduction du $2p_{3/2} 2p_{1/2}$ SO splitting
→ Liée à la déplétion des protons

« *Noyau bulle* »



A. Mutschler et al. Nat. Phys. 13, 152 (2017)
A. Mutchler et al., Phys.Rev. C93 (2016) 034333,
G. Burgunder et al., Phys.Rev. Lett. 112 (2014) 042502.

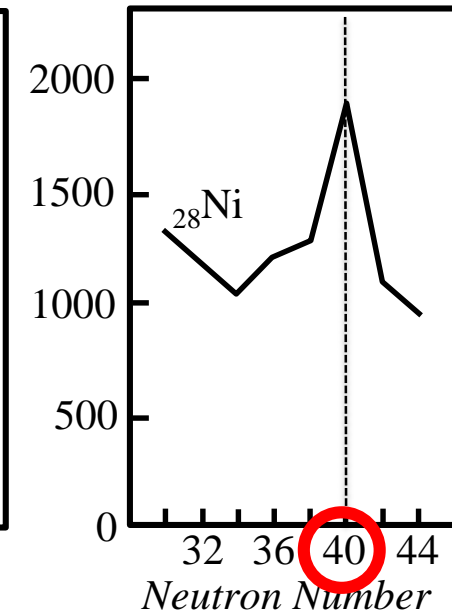
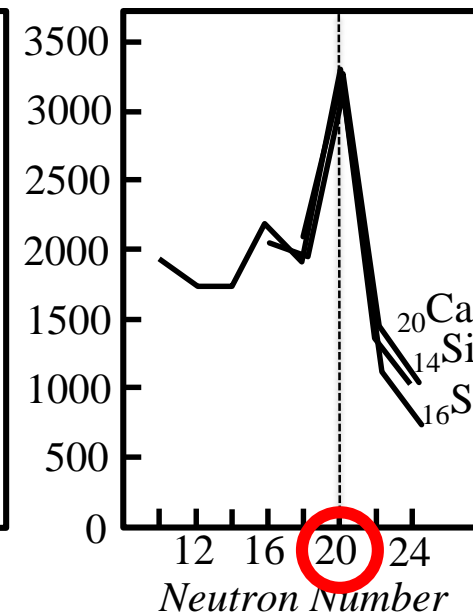
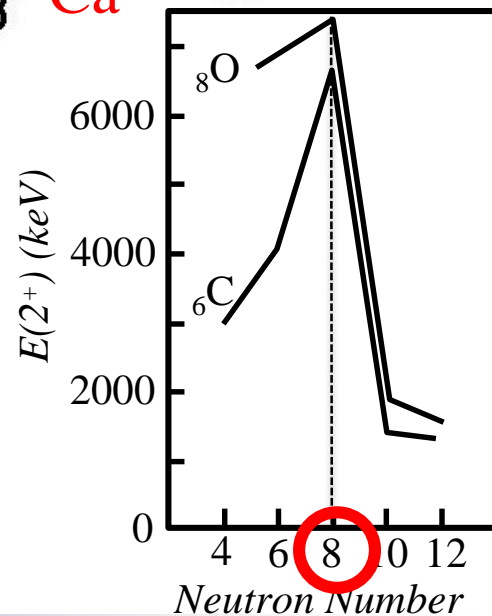
Première contrainte sur la dépendance en isospin de l'interaction SO



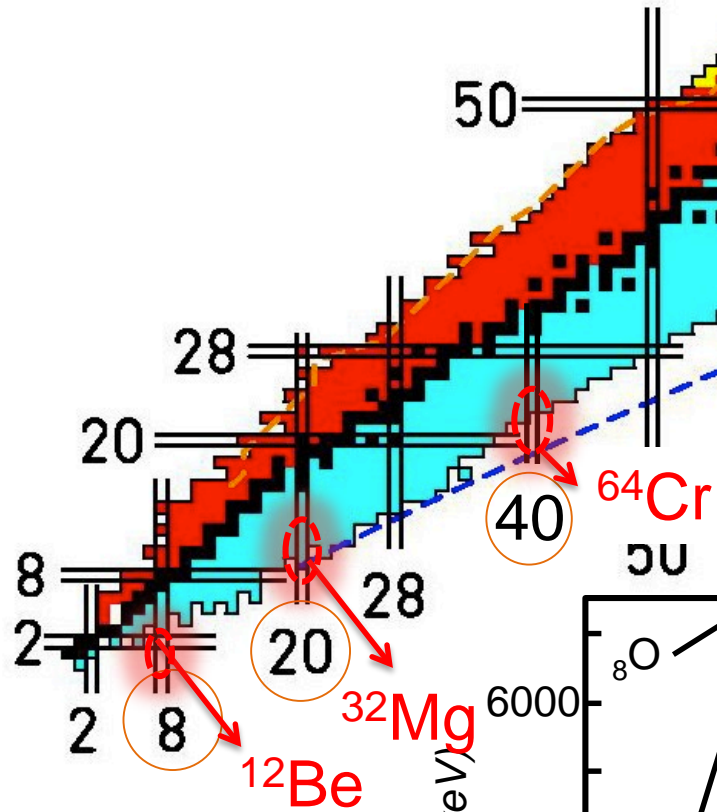
(jusqu'aux années 80)

→ Nombres magiques universels: 2, 8, 20, 28, 40, 82, 126 ...

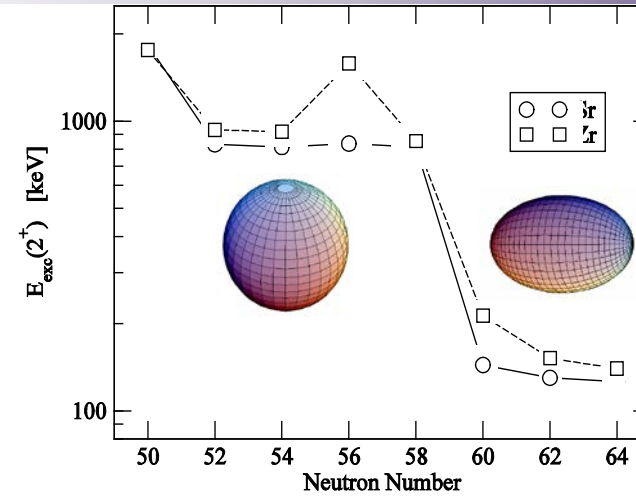
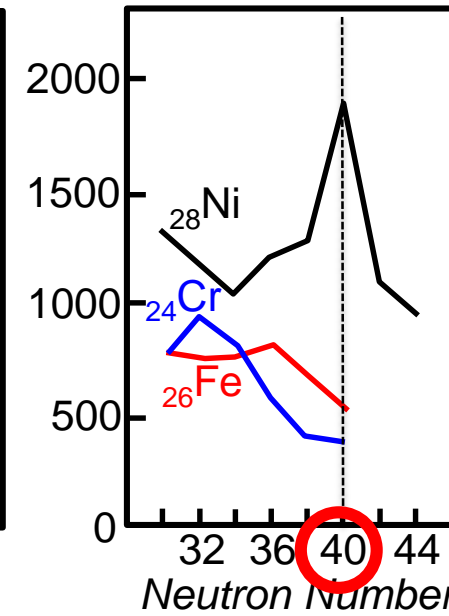
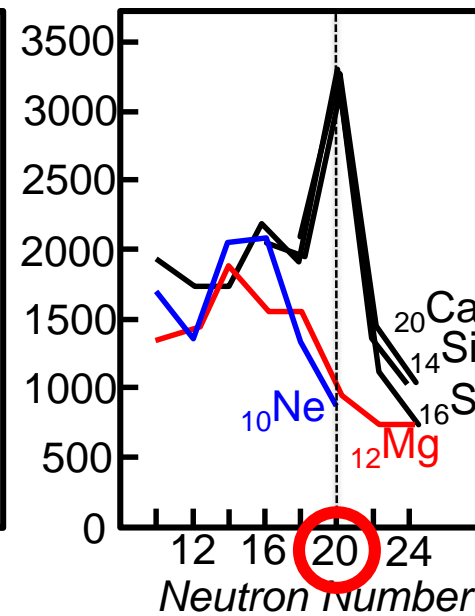
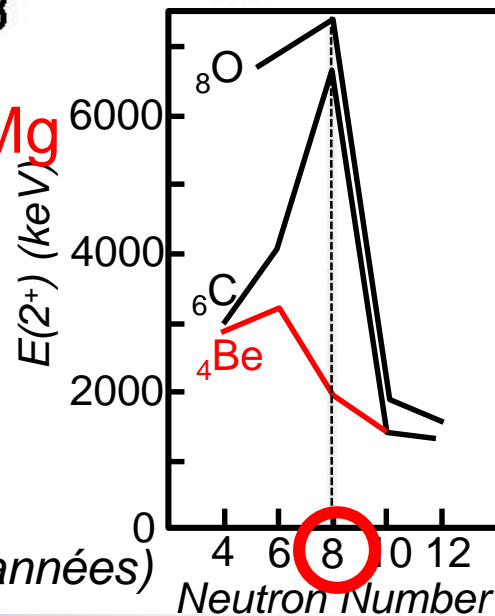
→ Signature des nombres magiques : *systematique du 1^{er} état excité 2⁺ des noyaux*



Le Tenseur responsable de **changement rapide**

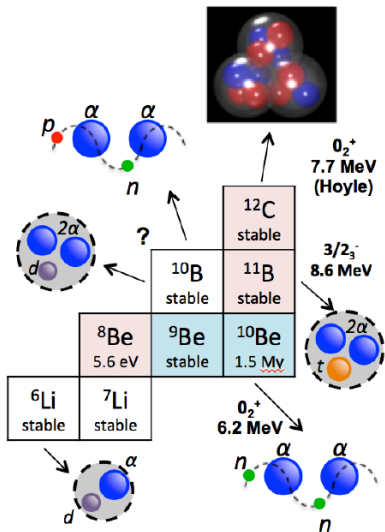
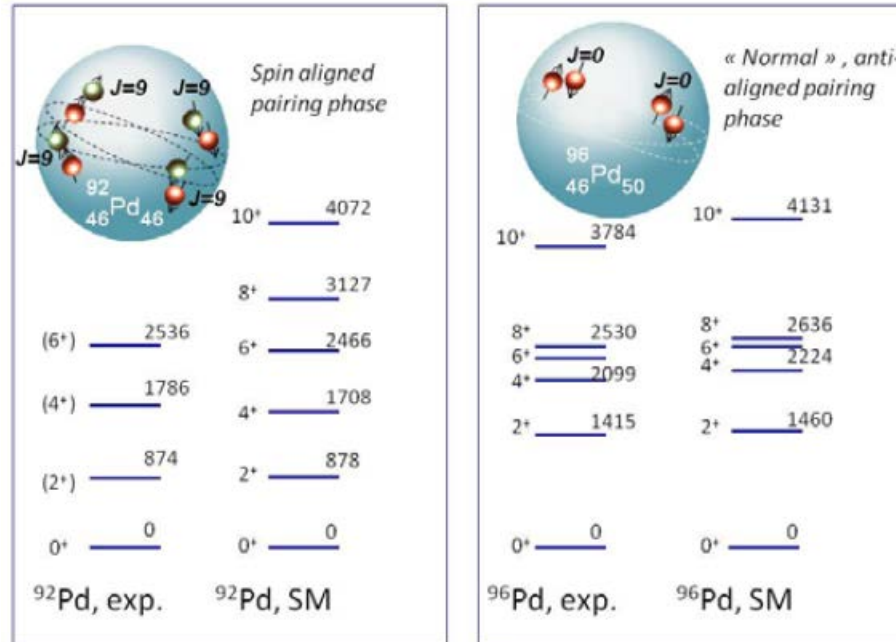


(Ces 10 dernières années)



Recherche de la signature du canal T=0, l=1 de l'interaction nucléaire dans les noyau N=Z

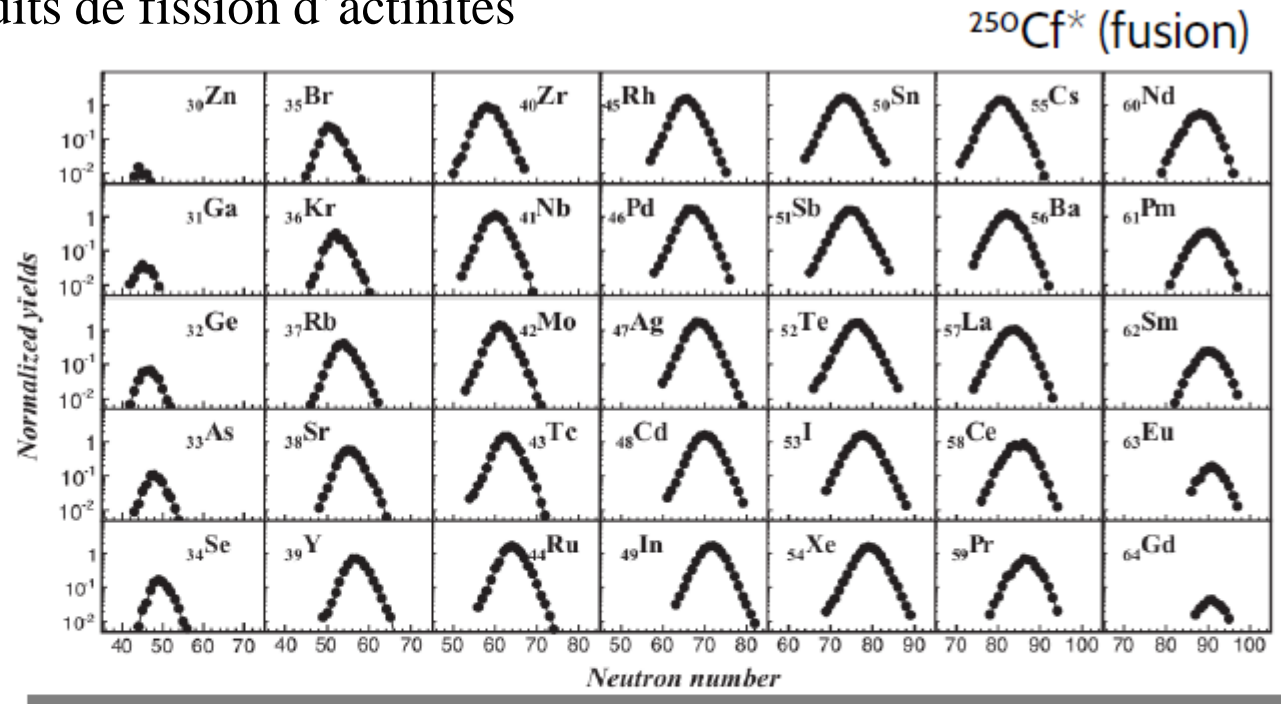
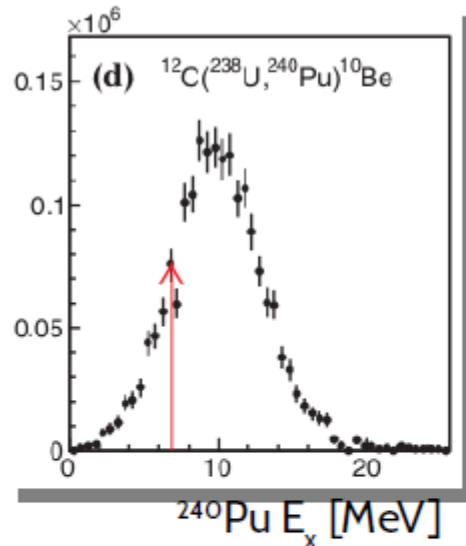
F.Ghazi Moradi et al, Phys.Rev. C 89, 014301 (2014)
 F.Ghazi Moradi et al Phys.Rev. C 89, 044310 (2014)
 B.Cederwall et. al, Nature 469, 68-71 (2011)



Autour du ${}^{12}\text{C}$, d'autres noyaux peuvent présenter des structure à hautes énergie tel que ${}^{11}\text{B}$ ($3\alpha + t$ **cluster** à 8.6 MeV) and ${}^{10}\text{Be}$ ($2\alpha + 2n$ à 6.2 MeV).

Dans le ${}^{10}\text{B}$ ($2\alpha + n + p$), est ce qu'une paire np crée un **cluster** similaire à la paire nn du ${}^{10}\text{Be}$ et forme une orbite moléculaire autout de 2α ou forment-ils un d et produit d'autre cluster comme dans le ${}^{11}\text{B}$ et ${}^{12}\text{C}$?

Mesure complète des produits de fission d'actinides



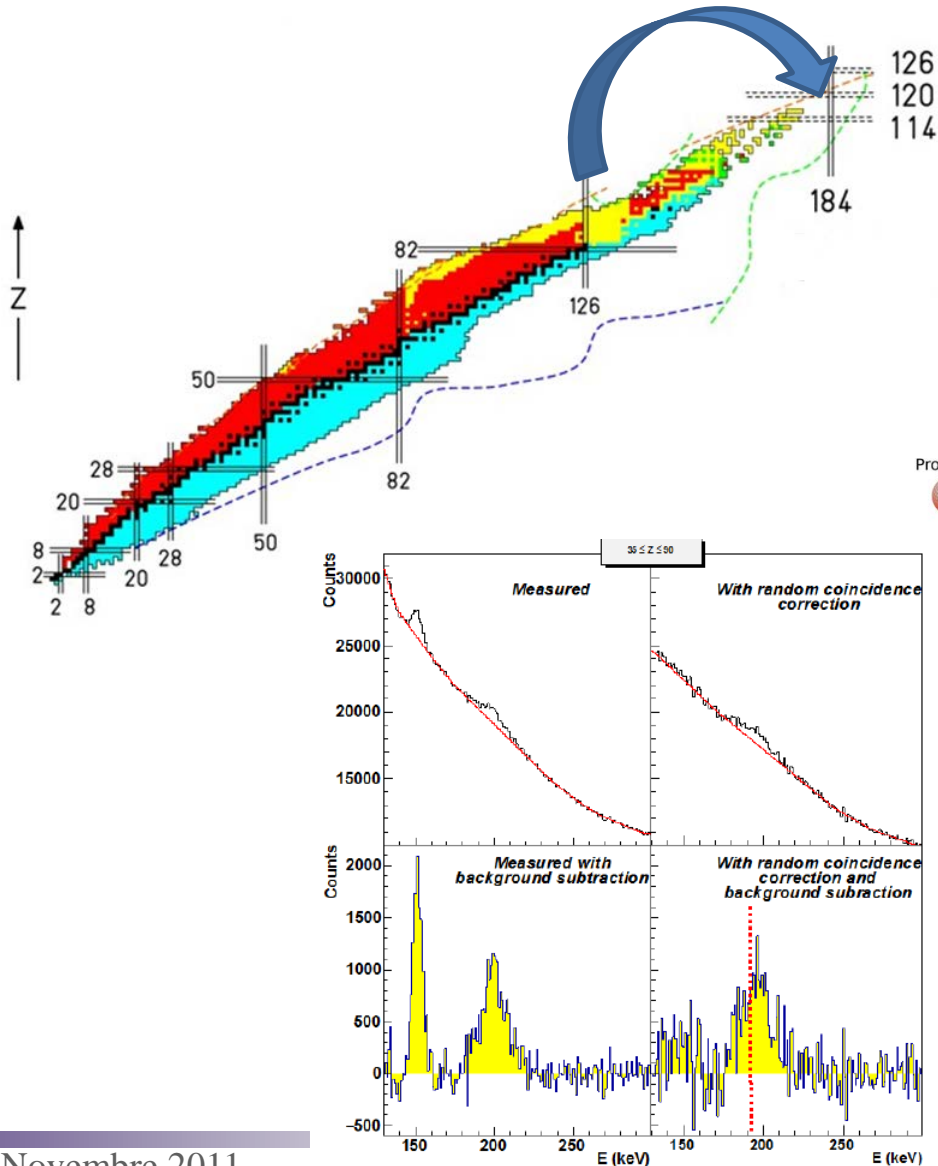
Simultaneous (A,Z)
identification &
kinematics
for well-defined
fissioning systems

Essential input to improve fission models:

- *separate measures of A or Z in contradiction*
- *directly sensitive to PES topology/stiffness*
- *even/odd staggering: pairing vs. saddle-to-scission dynamics*

M. Caamano, O. Delaune et al., *Phys. Rev. C* **88**, 024605 (2013)

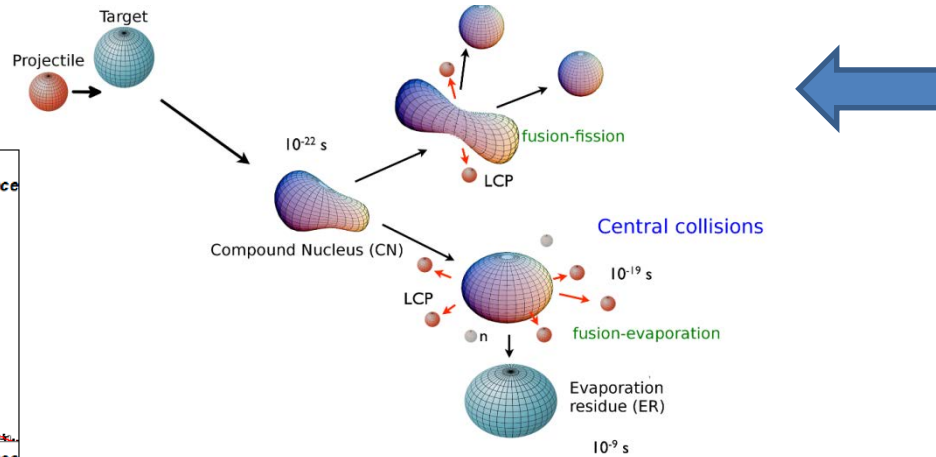
C. Rodriguez-Tajes, F. Farget et al., *Phys. Rev. C* **89**, 024614 (2014)



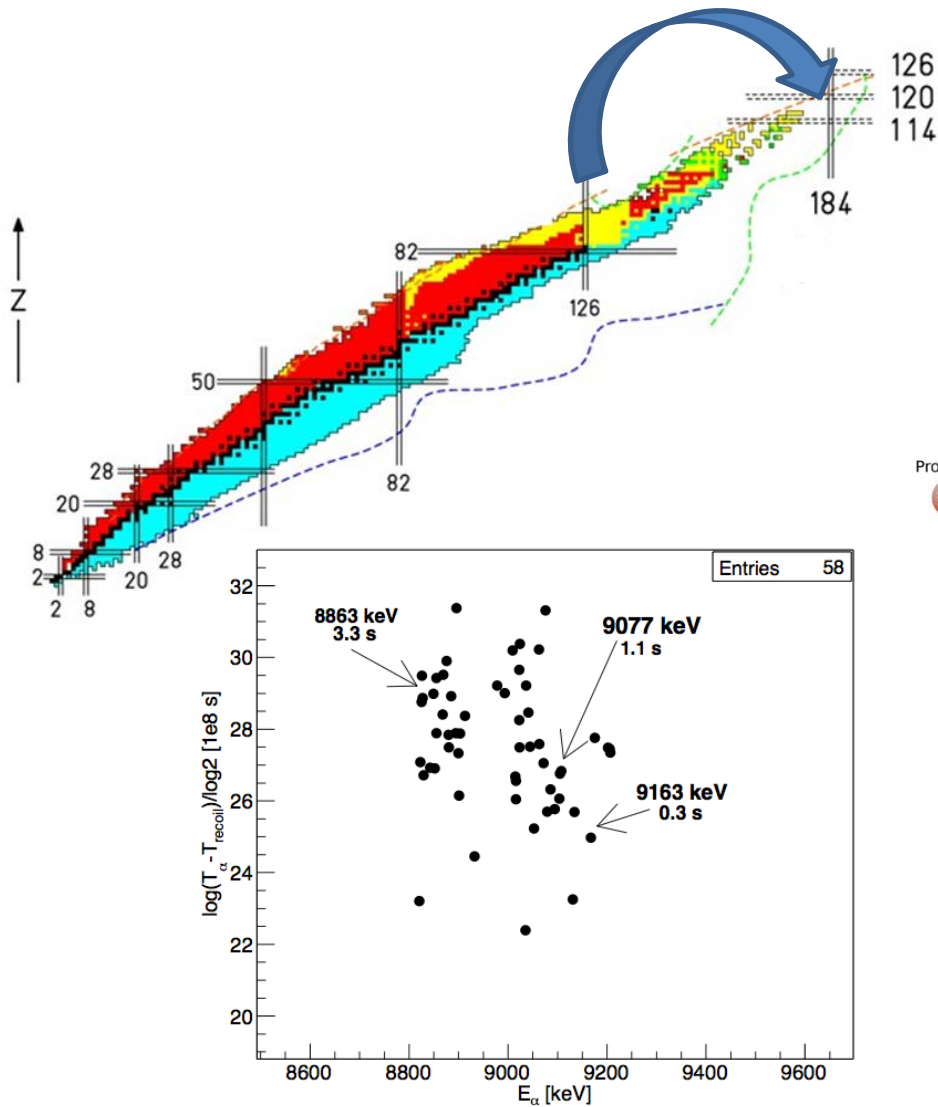
Les SHE tiennent leur stabilité des effets de couches et de la déformation

La recherche de la prochaine fermeture de couches est un défis de longue date

Temps de fission par fluorescence X

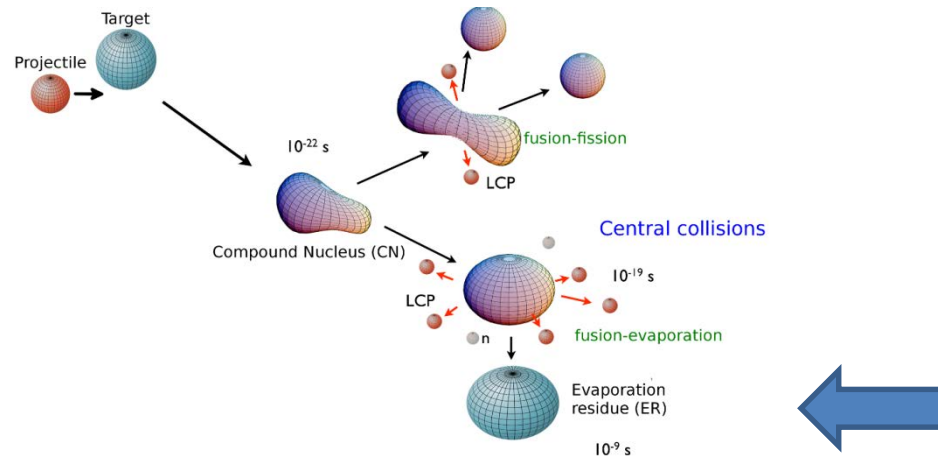


M.O. Frégeau et al., Phys. Rev. Lett. 108, 122701 (2012)



Les SHE tiennent leur stabilité des effets de couches et de la déformation

La recherche de la prochaine fermeture de couches est un défi de longue date
Etude des noyaux déformés



→ Spectroscopy of ^{257}Db , ^{253}Lr

Importance des **noyaux exotiques** dans les progrès de la compréhension de la matière nucléaire

Evolution de l'interaction nucléaire à large isospin → la fusion des étoiles à neutron est un problème de physique nucléaire

Développement de nouveaux faisceaux et accélérateurs

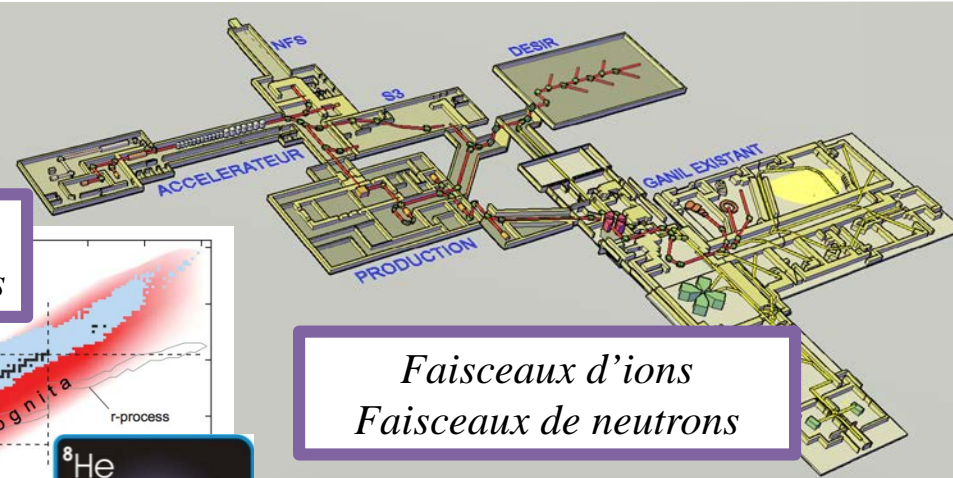
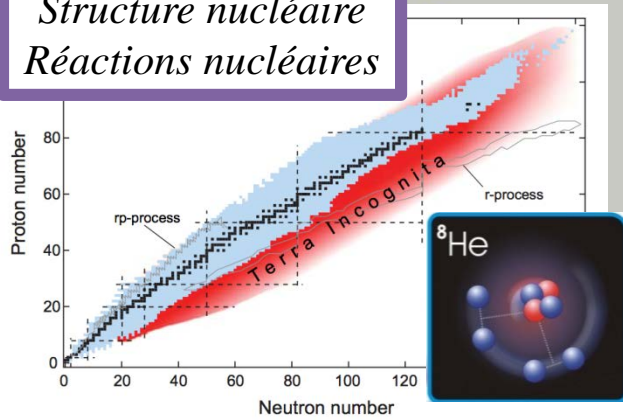
Développement de l'instrumentation associée

Développement des moyens pour le calcul théorique

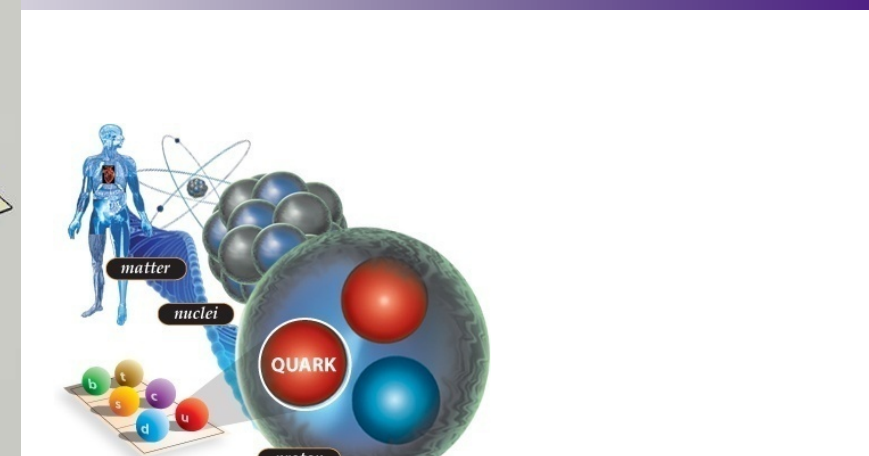
Pour comprendre le noyau atomique, on va au GANIL :

- **essayer de comprendre comment il est fabriqué dans les étoiles**
 - > **Astrophysique nucléaire**
- **déterminer comment les protons et les neutrons sont organisés**
- **déterminer sa taille, sa forme, sa robustesse**
 - > **Structure nucléaire**
- **étudier sa réponse à une excitation**
 - > **Dynamique nucléaire**
- **observer sa décroissance radioactive**
 - > **Interactions faible et forte**
- **étudier ce qui se passe quand on le fait interagir avec un autre noyau**
 - > **propriétés « thermodynamiques » du noyau**

*Structure nucléaire
Réactions nucléaires*

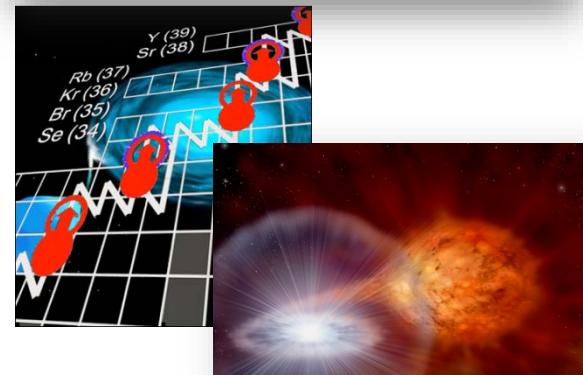
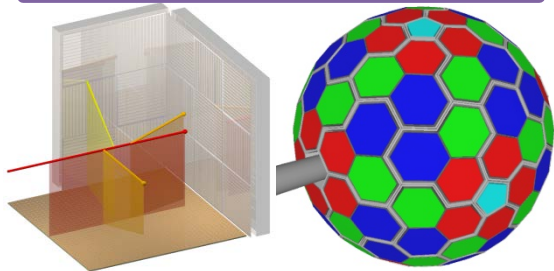


*Faisceaux d'ions
Faisceaux de neutrons*



Interactions fondamentales

Instrumentation/Détection



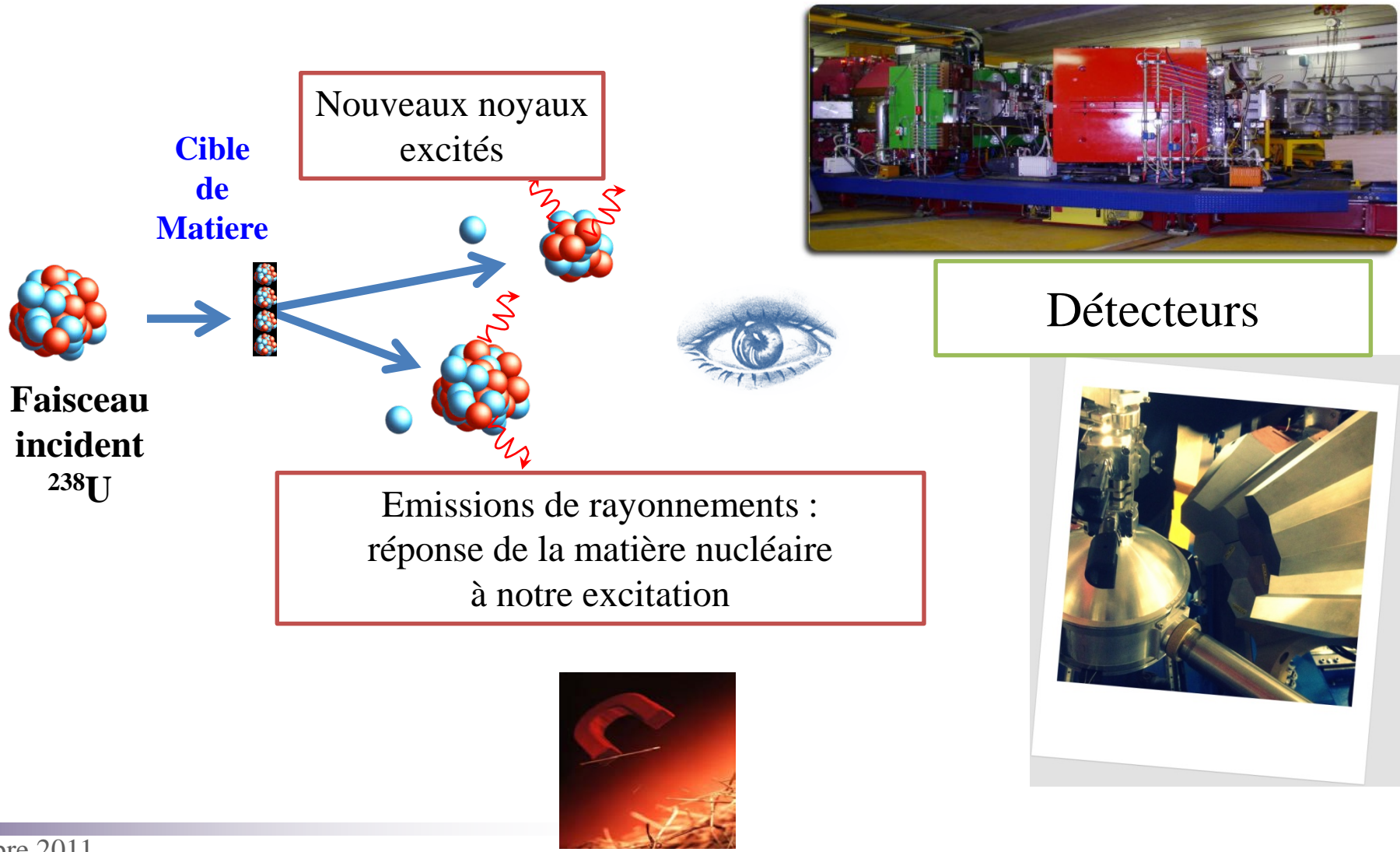
Astrophysique nucléaire

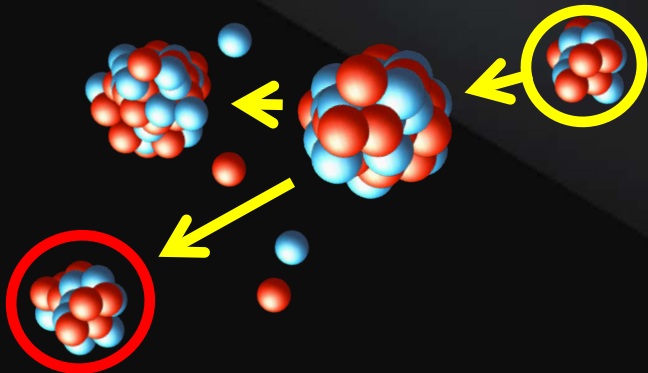
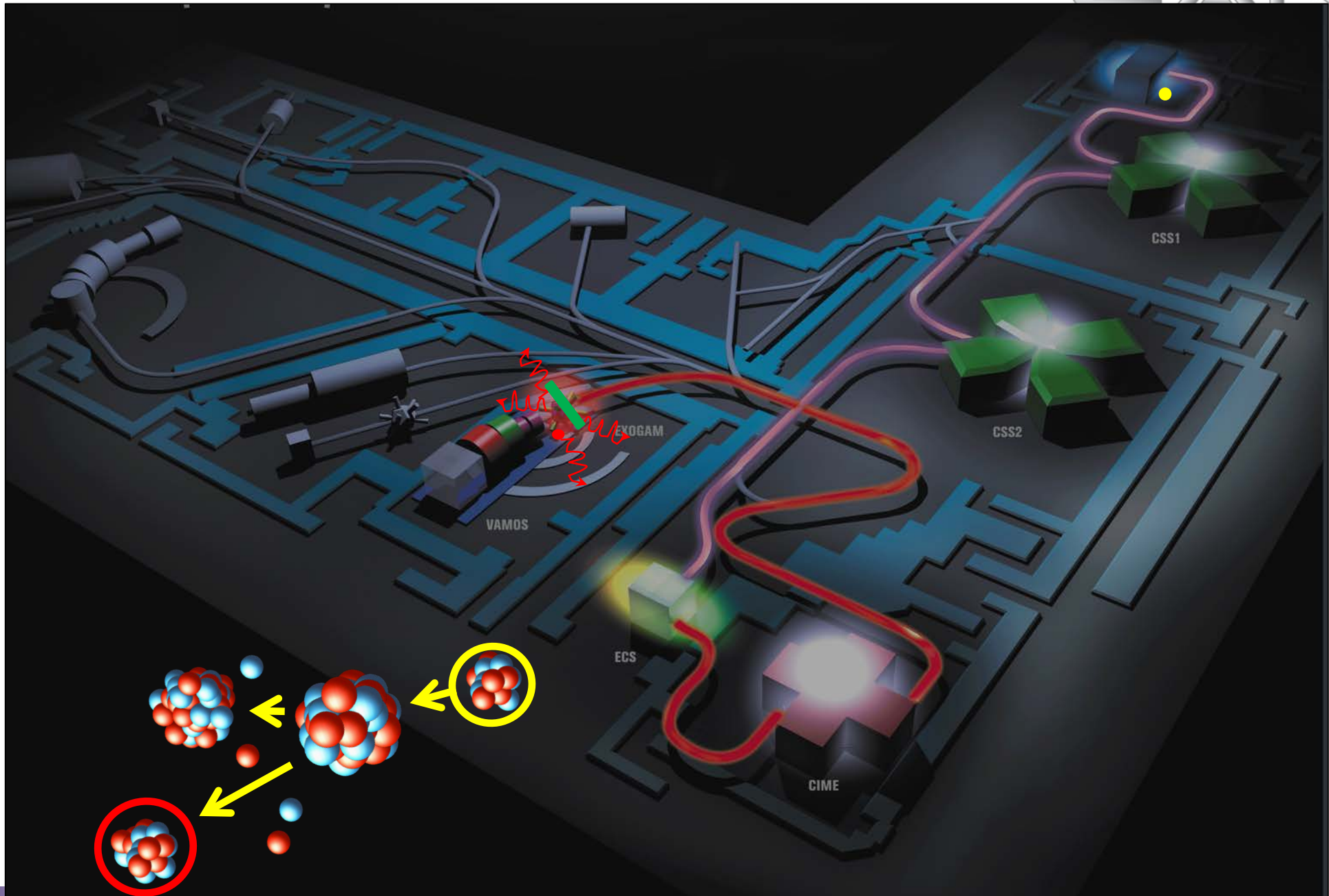
Applications



Collisions Nucléaires :

- 1) Créer de nouveaux noyaux
- 2) Exciter les noyaux pour les observer et les comprendre

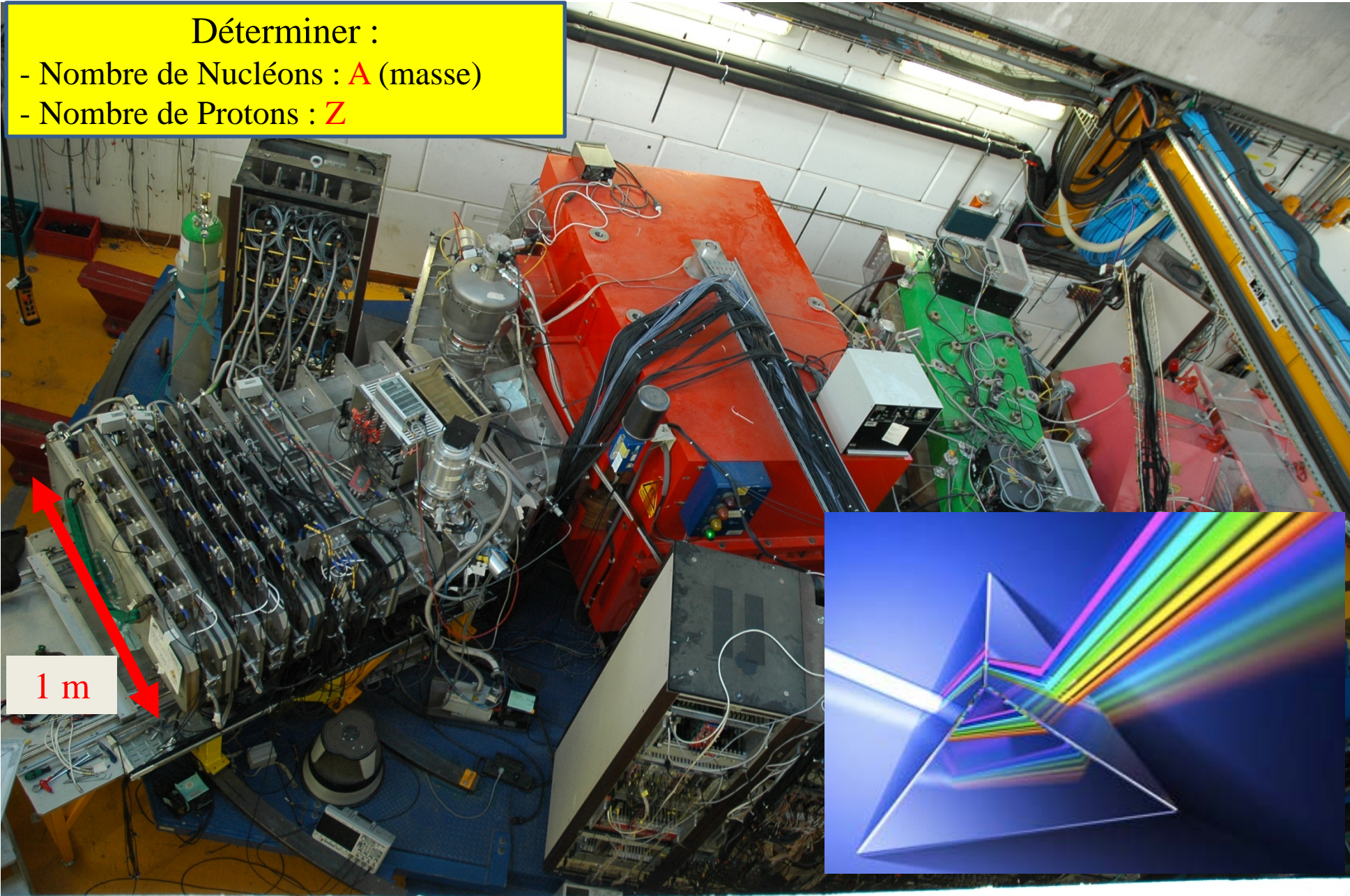


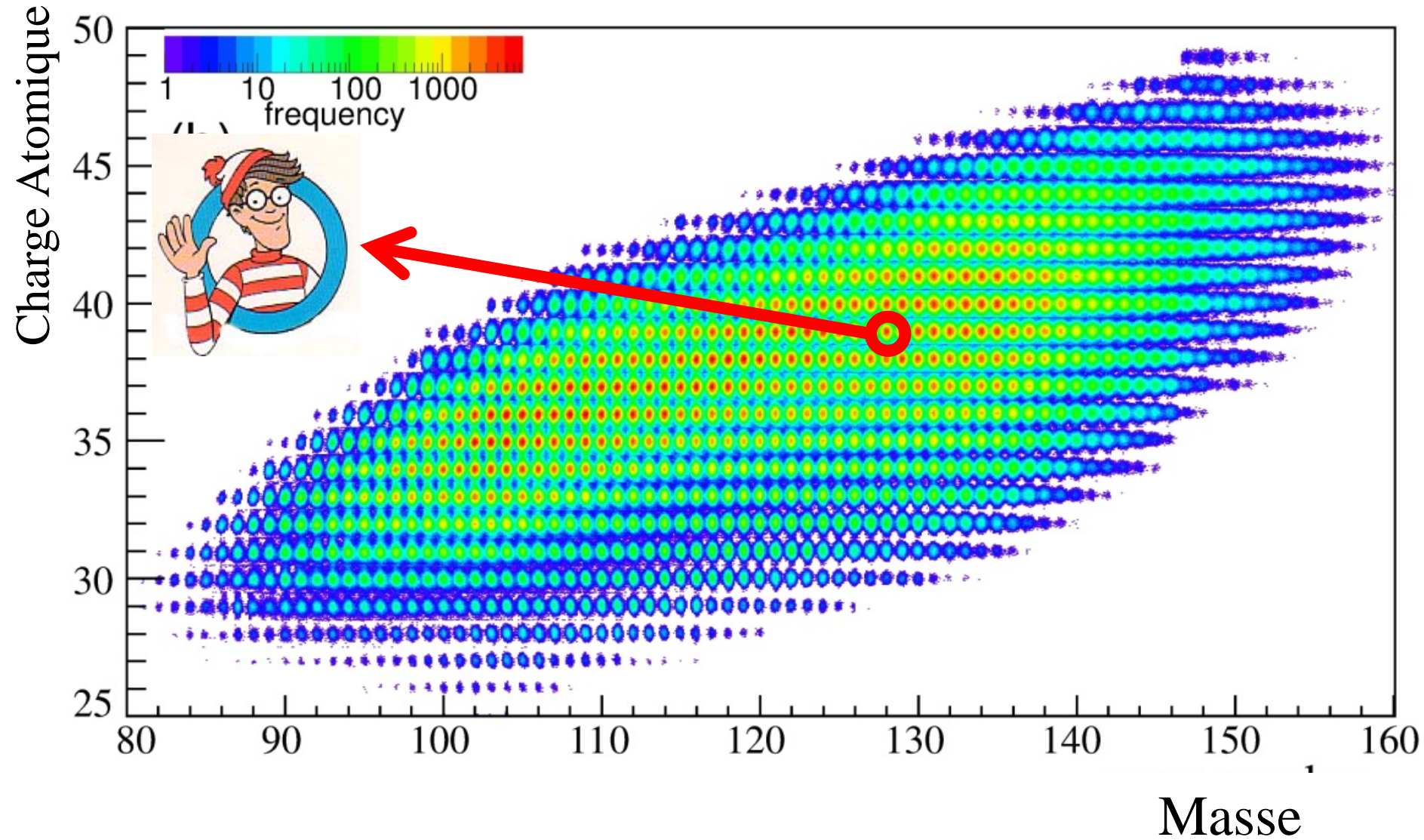


Déterminer :

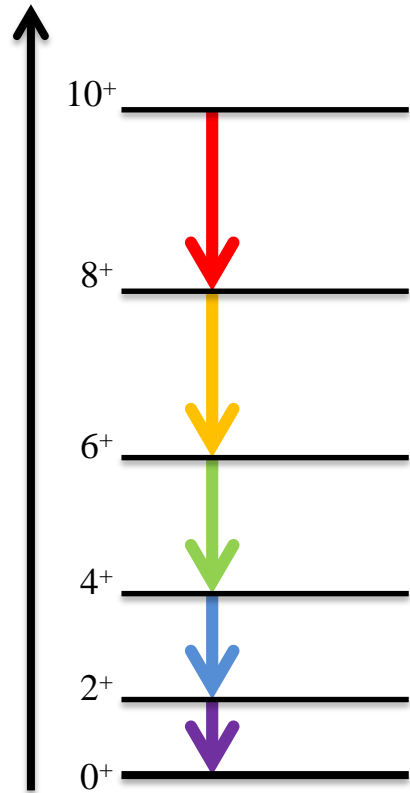
- Nombre de Nucléons : A (masse)
- Nombre de Protons : Z

1 m

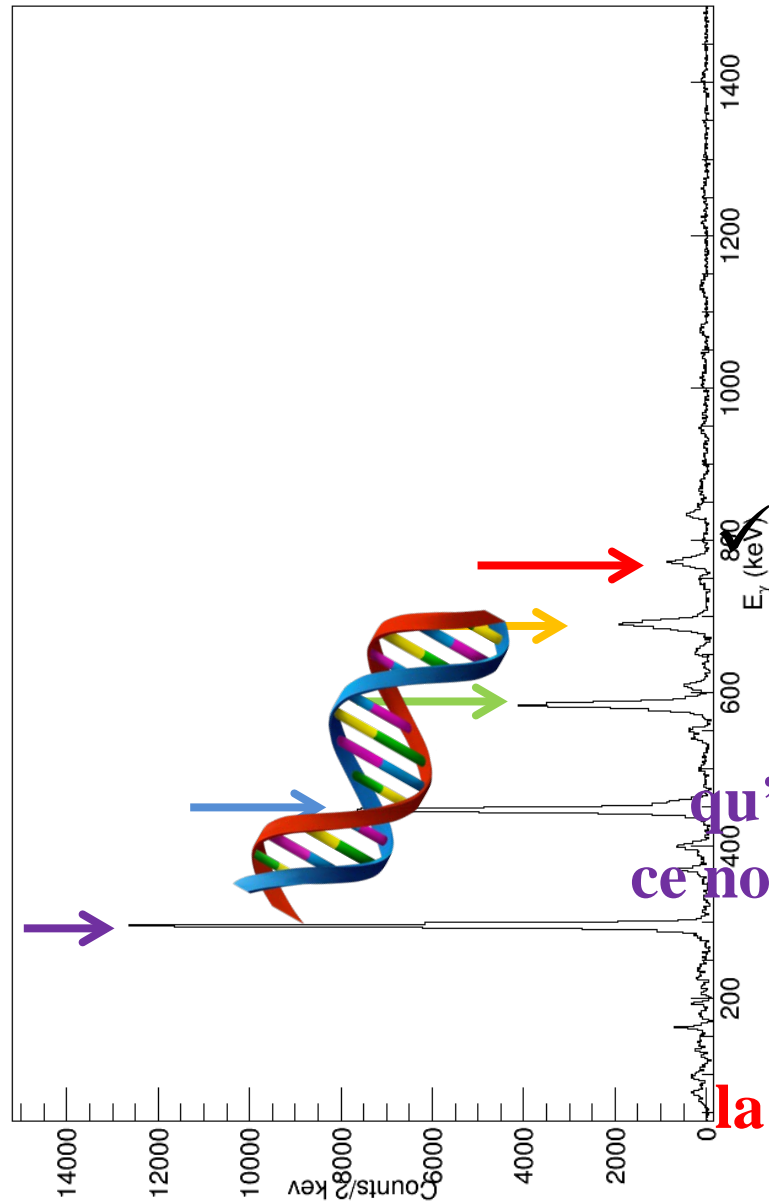
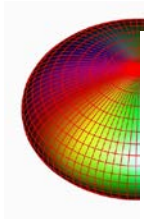




Energie



$^{102}\text{Mo}_{42}$



Crit
sce

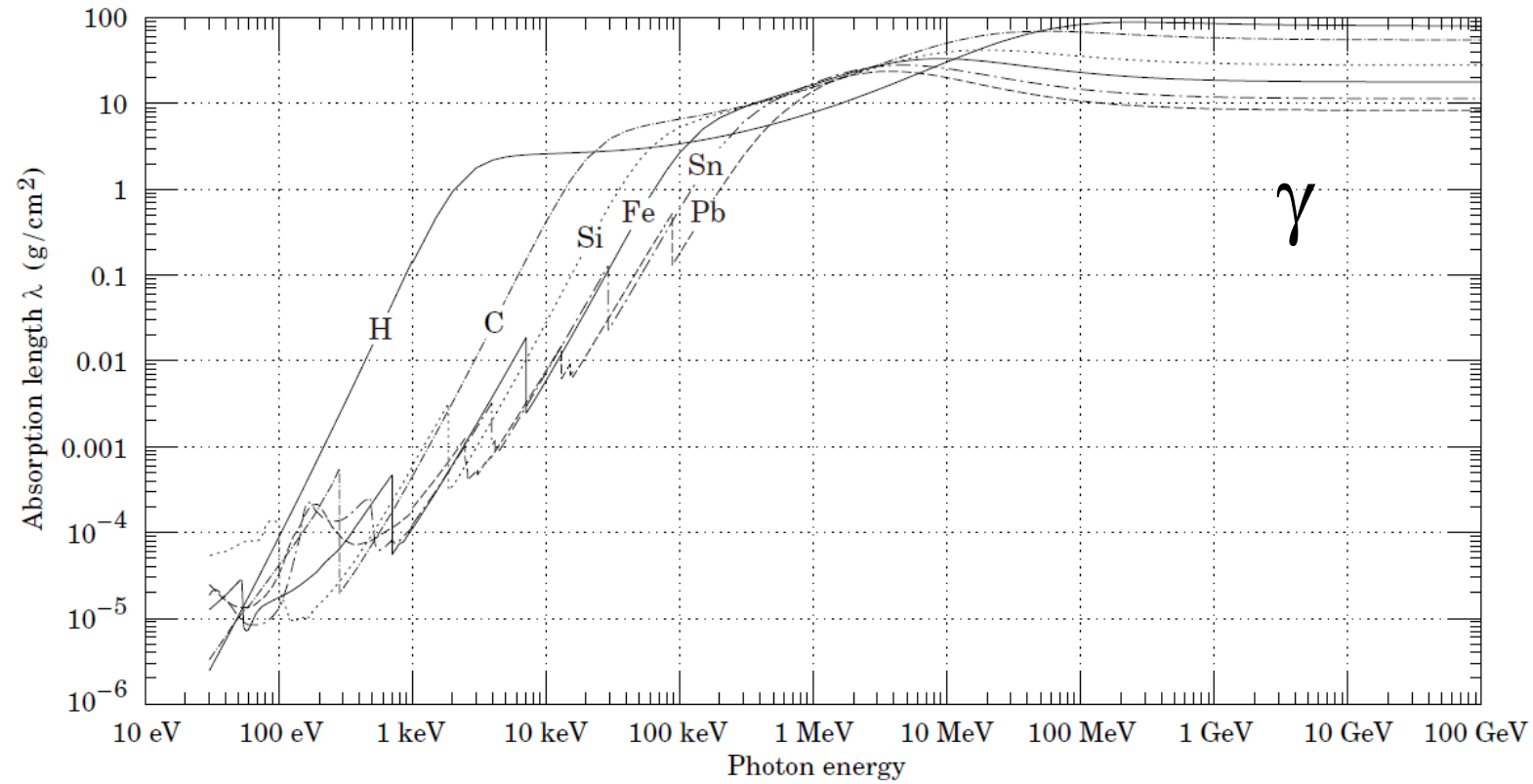
Théorie
Identification

✓ Profil

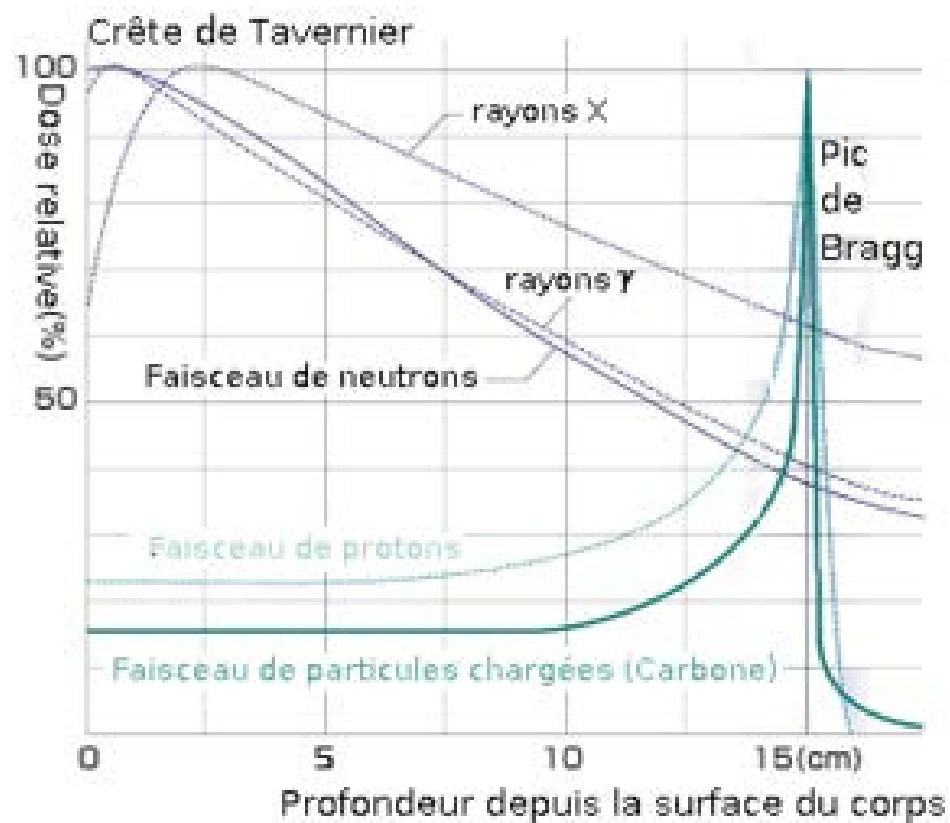
qu'est ce qui a incité
ce noyau à se déformer ?

Comprendre
la force nucléaire !



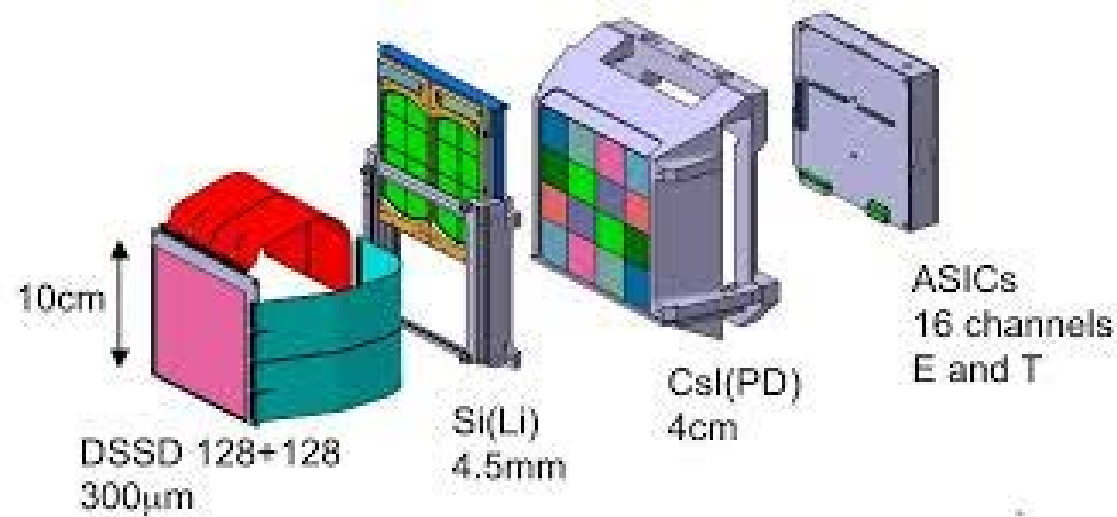


Distribution de la dose versus la profondeur pour différents types de radiations dans un corps vivant

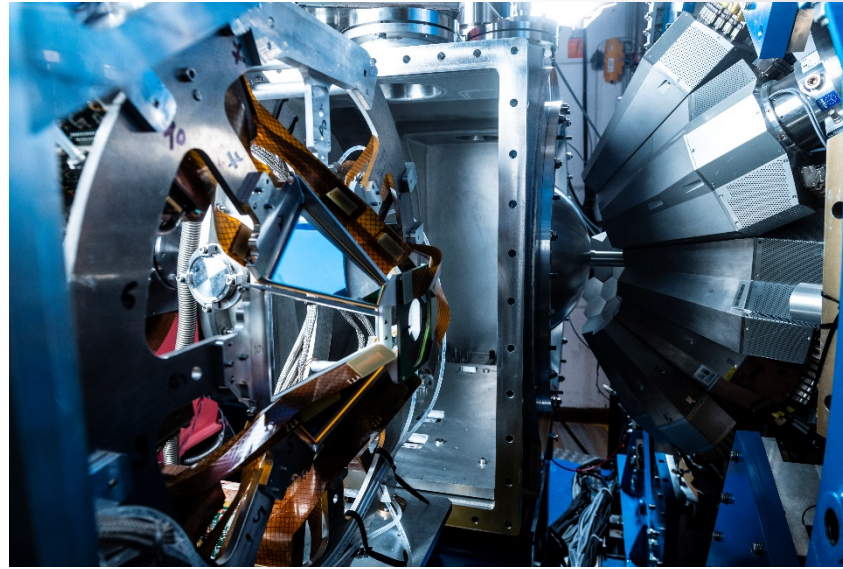
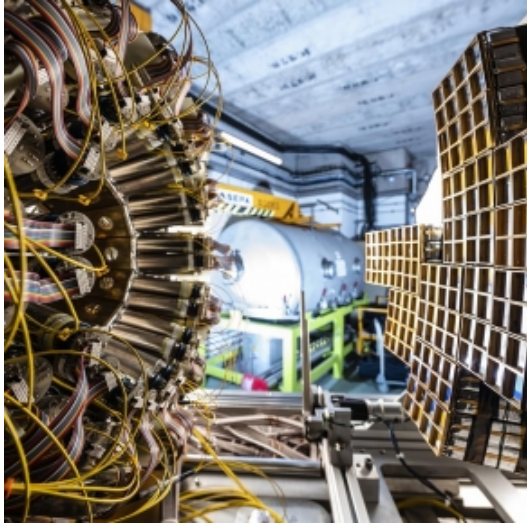


Un H, He ou Li ont globalement le même libre parcours moyen dans un Si. (20 μm à 1 MeV, 700 μm à 10 MeV)

La discrimination se faisait habituellement dans un DE-E
Mais cela coûte de l'absorption dans la matière (MUST2)

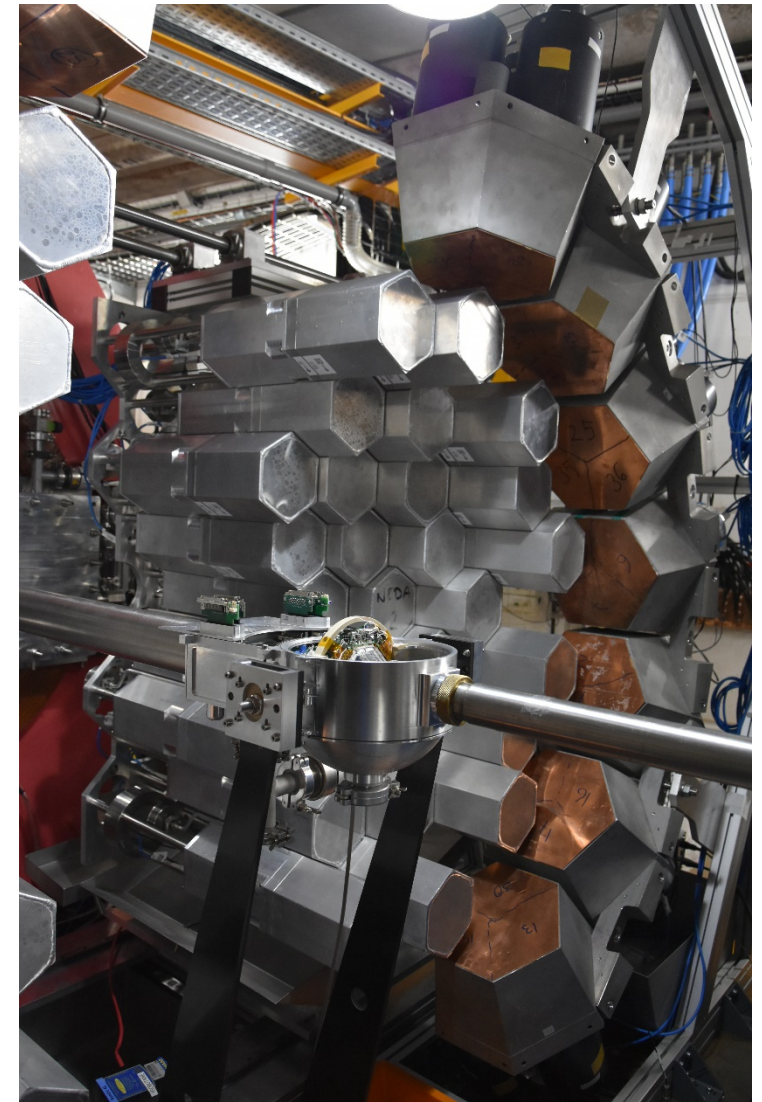
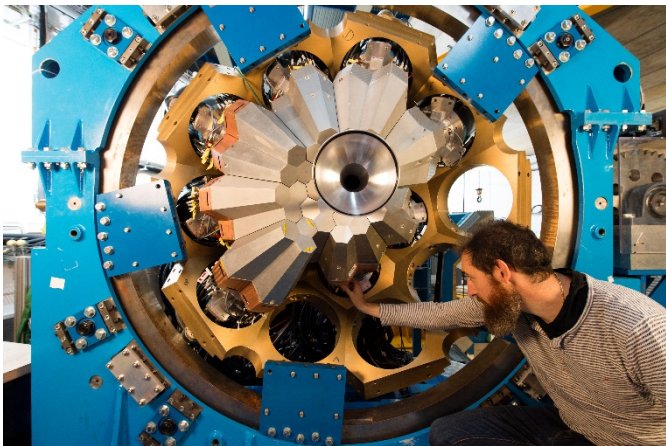


FAZIA



MUGAST

AGATA

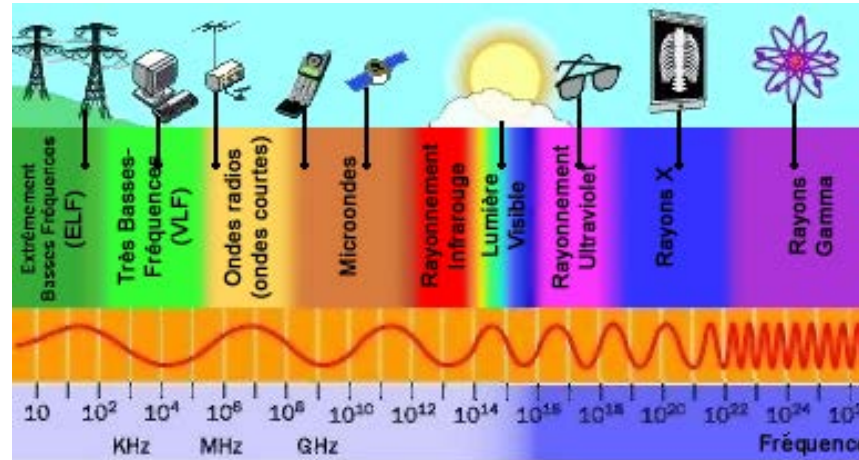


NEDA

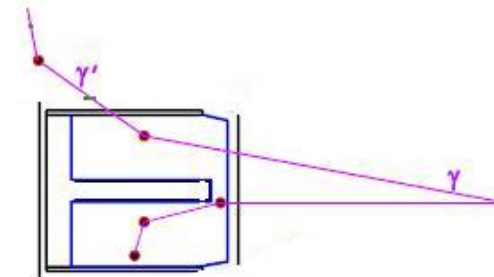
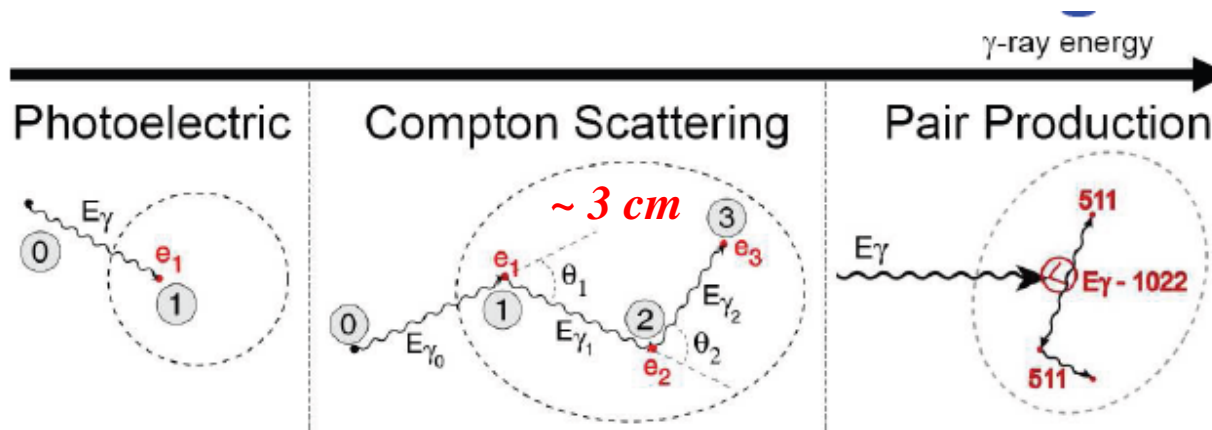
AGATA Position sensitive

Back to Basic ... 1/2

Nous mesurons des photons ayant une énergie comprise entre 10 keV to few MeV

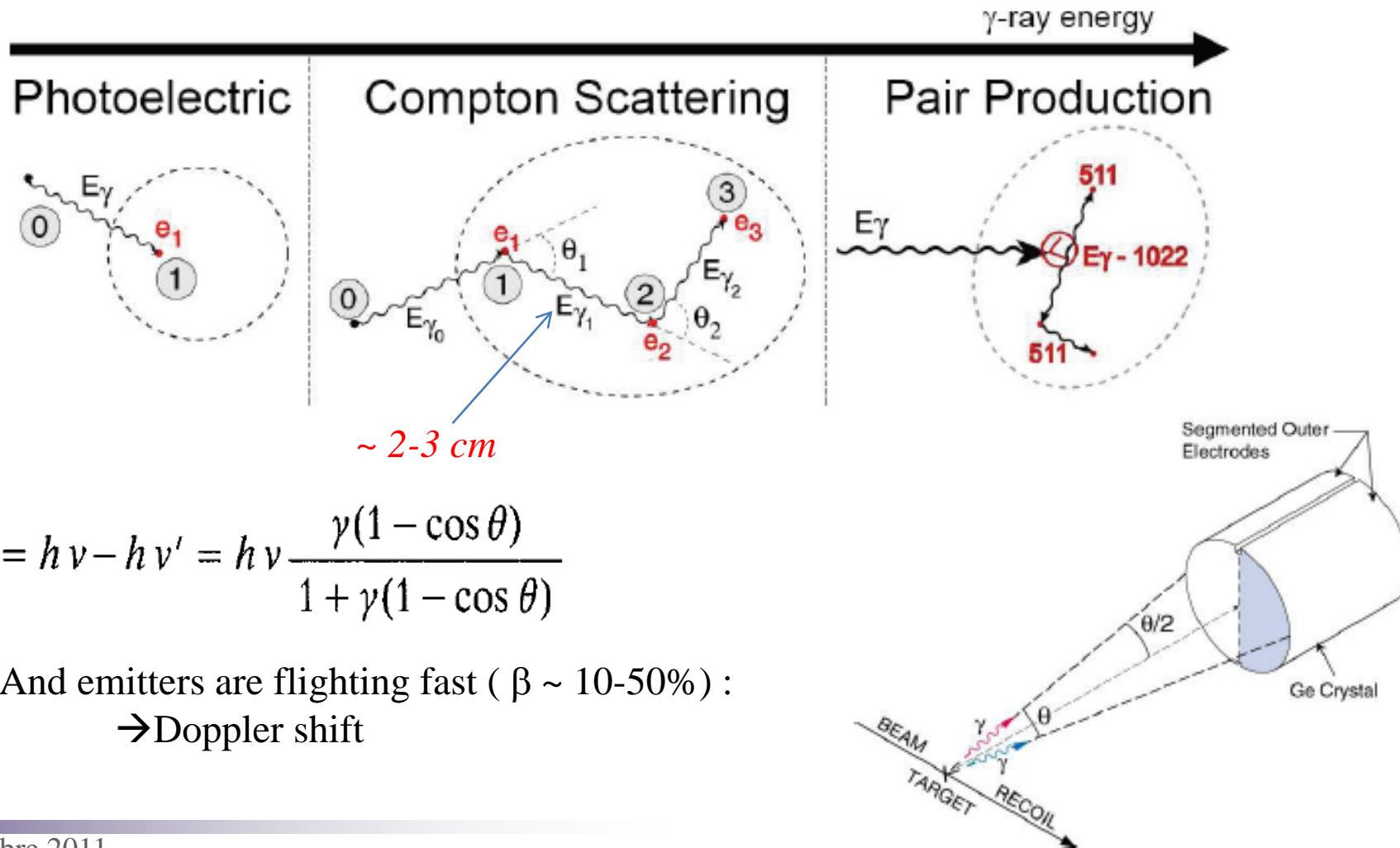


Vert = 2.5 eV



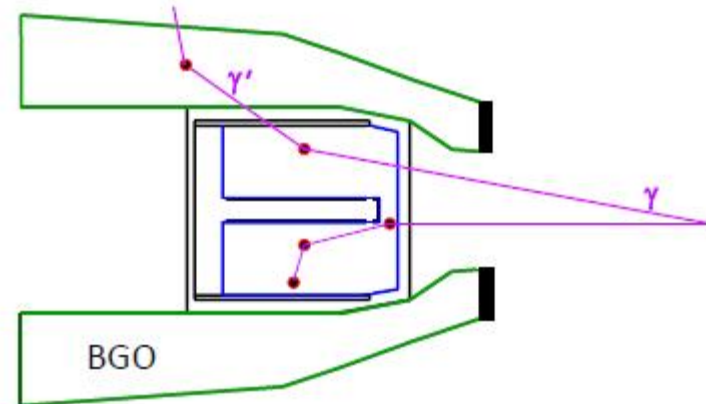
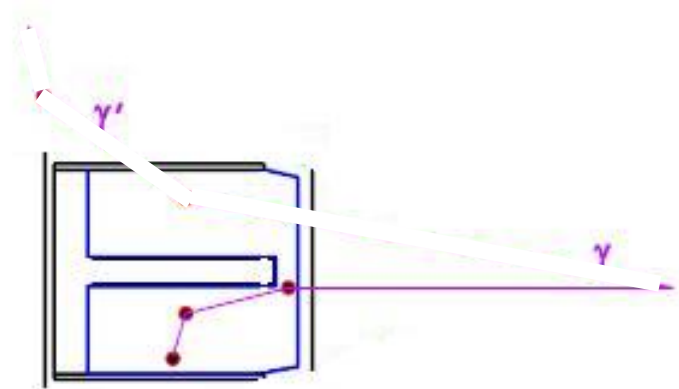
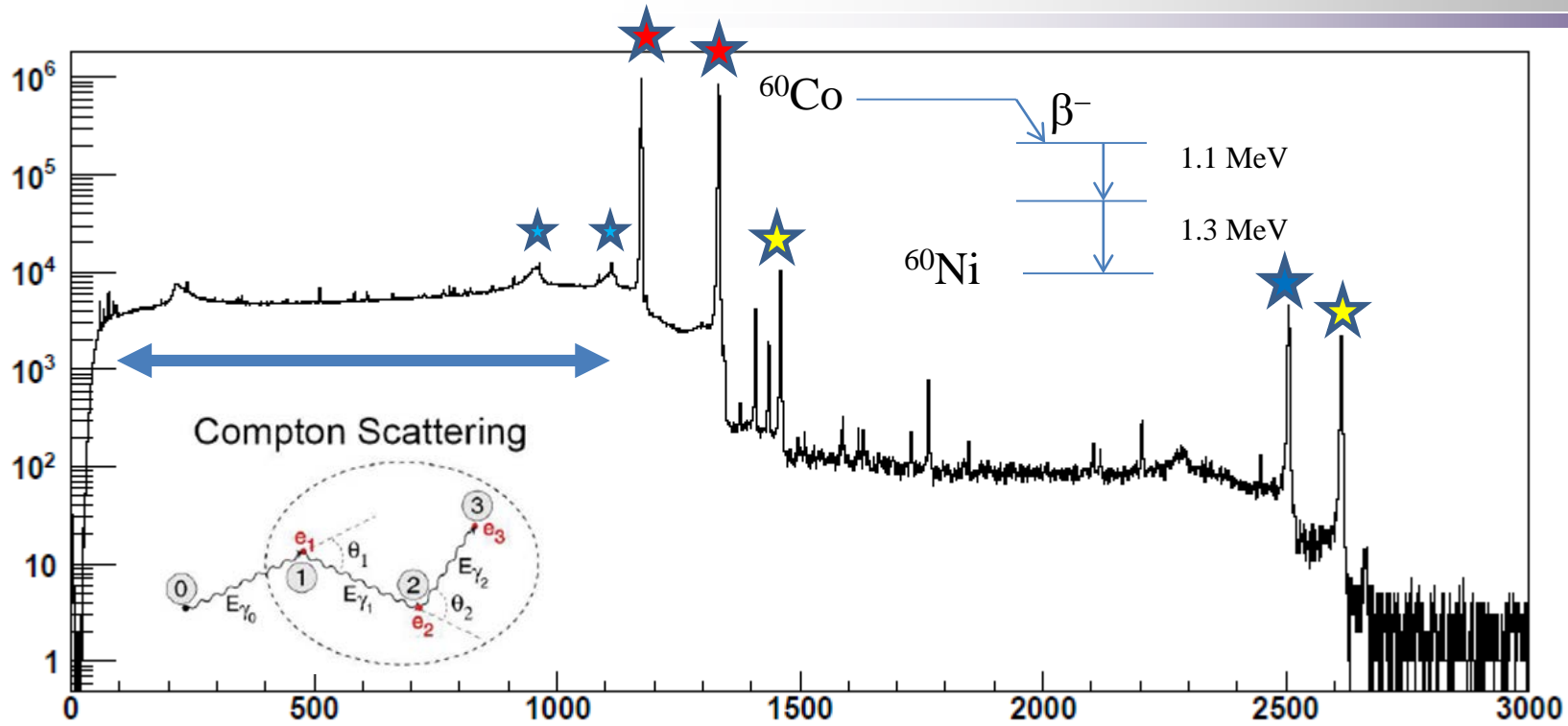
Back to Basic ...

- In nuclear spectroscopy, we aim to detect γ -rays with energies from few 10 keV to few MeV

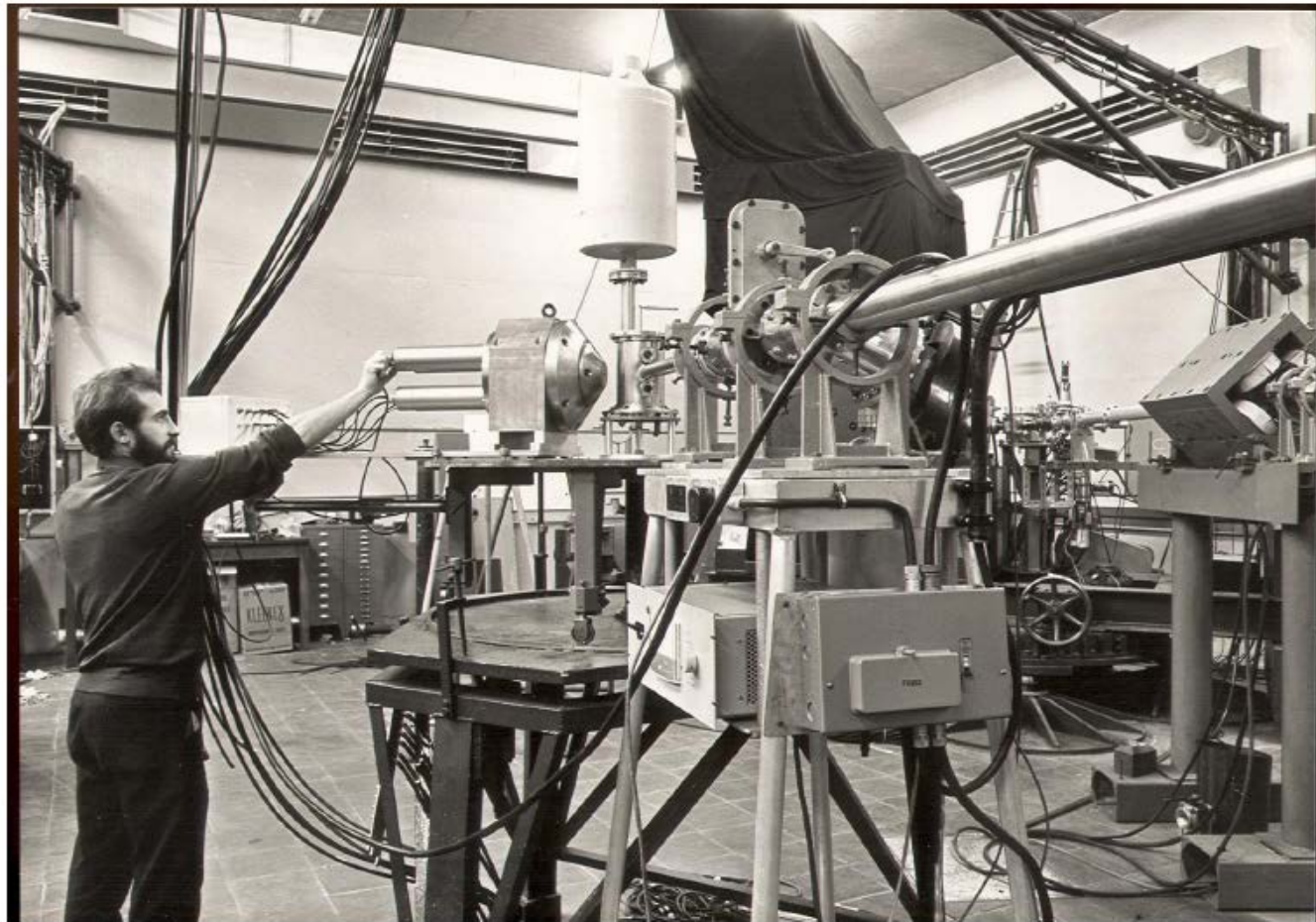


- And emitters are flying fast ($\beta \sim 10-50\%$) :
→ Doppler shift

Back to Basic ...



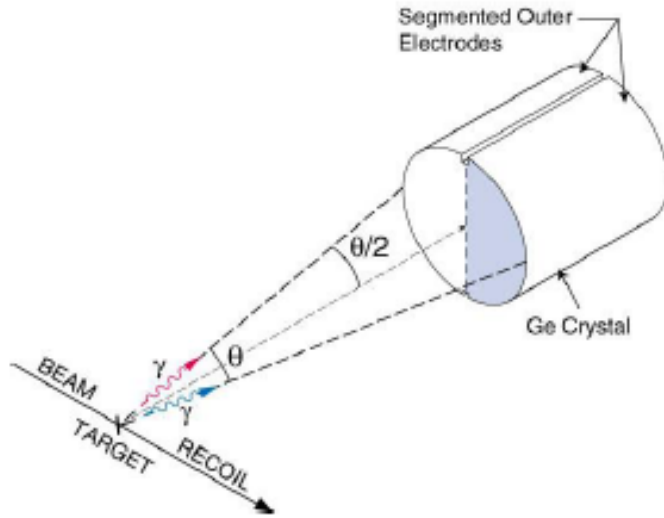
The First Escape Suppressed Spectrometer at Liverpool



John Francis Sharpey-Schafer

1968

What about the Doppler effect ??



$$E_{\text{mes}} = E_0 \times (1 - \beta^2)^{1/2} / (1 - \cos\theta)$$

Where did the γ impact first in the detector ?

$$\left(\frac{\Delta E_{\gamma}^{\text{CM}}}{E_{\gamma}^{\text{CM}}} \right)^2 = \left(\frac{\beta \cdot \sin\theta^{\text{Lab}}}{1 - \beta \cdot \cos\theta^{\text{Lab}}} \right)^2 (\Delta\theta)^2 + \text{Opening}$$

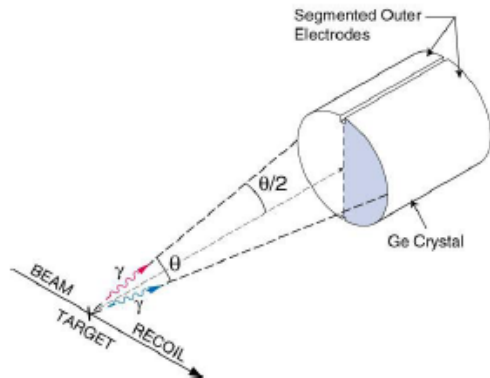
$$\left(\frac{\beta - \cos\theta^{\text{Lab}}}{(1 - \beta^2)(1 - \beta \cdot \cos\theta^{\text{Lab}})} \right)^2 (\Delta\beta)^2 + \text{Recoil}$$

$$\left(\frac{\Delta E_{\gamma}^{\text{Lab}}}{E_{\gamma}^{\text{Lab}}} \right)^2 \text{Intrinsic}$$

Segmentation of detectors

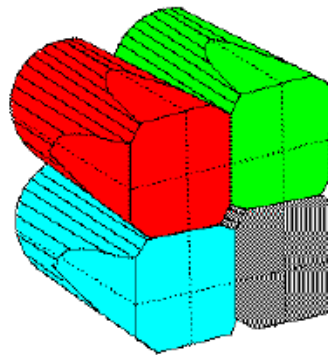
Improve granularity (reduce Doppler broadening)

Gammasphere



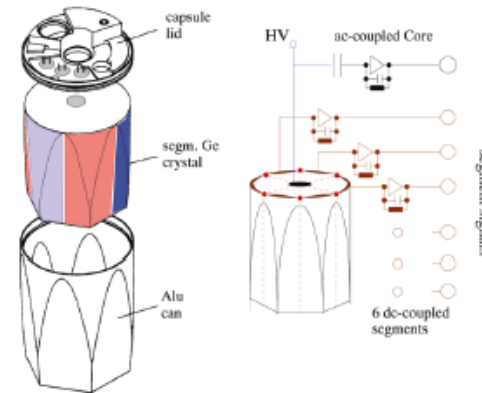
2-fold segmentation
 Single crystal Ge detector

Exogam



4-fold segmentation
 Clover Ge detector

Miniball

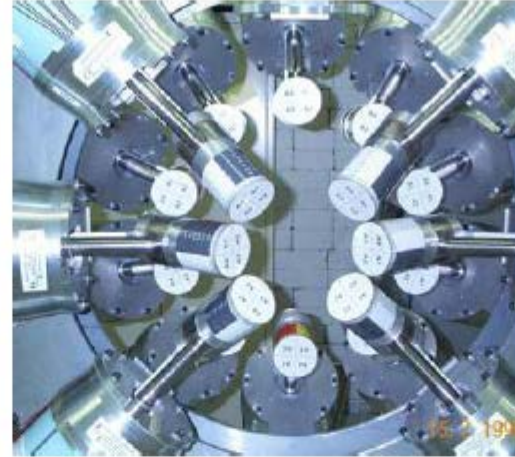


6-fold segmentation
 Encapsulated Ge detector

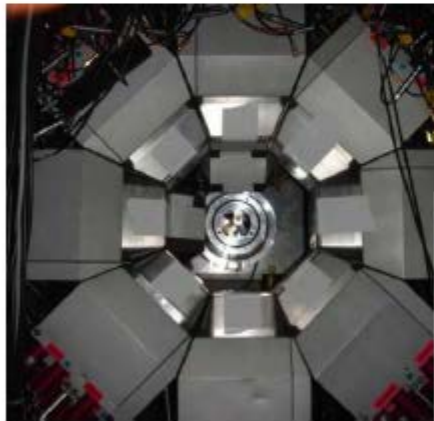
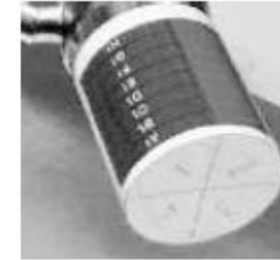
Higher is the granularity, better is the angle measurement but more and more expensive



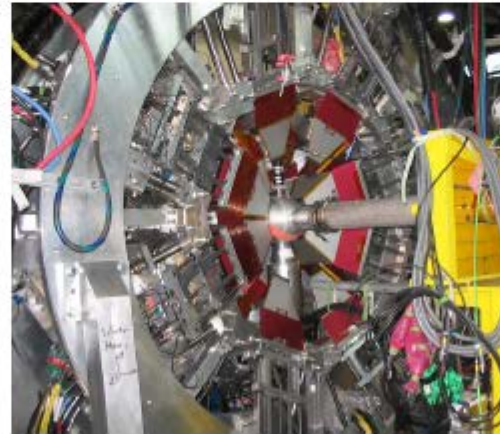
MINIBALL triple-clusters
 with 6 and 12 fold segmentation



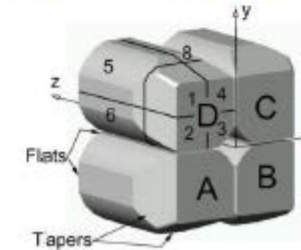
SeGA (Segmented
 Germanium Array at NSCL)
 with 32-fold segmentation



EXOGAM at GANIL
 with 4-fold segmented clovers

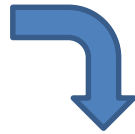


TIGRESS (TRIUMF-ISAC
 Gamma-Ray Escape
 Suppressed Spectrometer)
 with 32 fold segmentation
 (8-fold segmented clovers)



And next ?

Can we do better ?



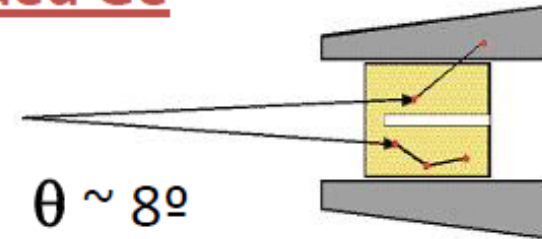
Better angle measurement
Higher efficiency with lower background

Compton Shielded Ge

ϵ_{ph} ~ 10%

N_{det} ~ 100

Ω ~ 40%

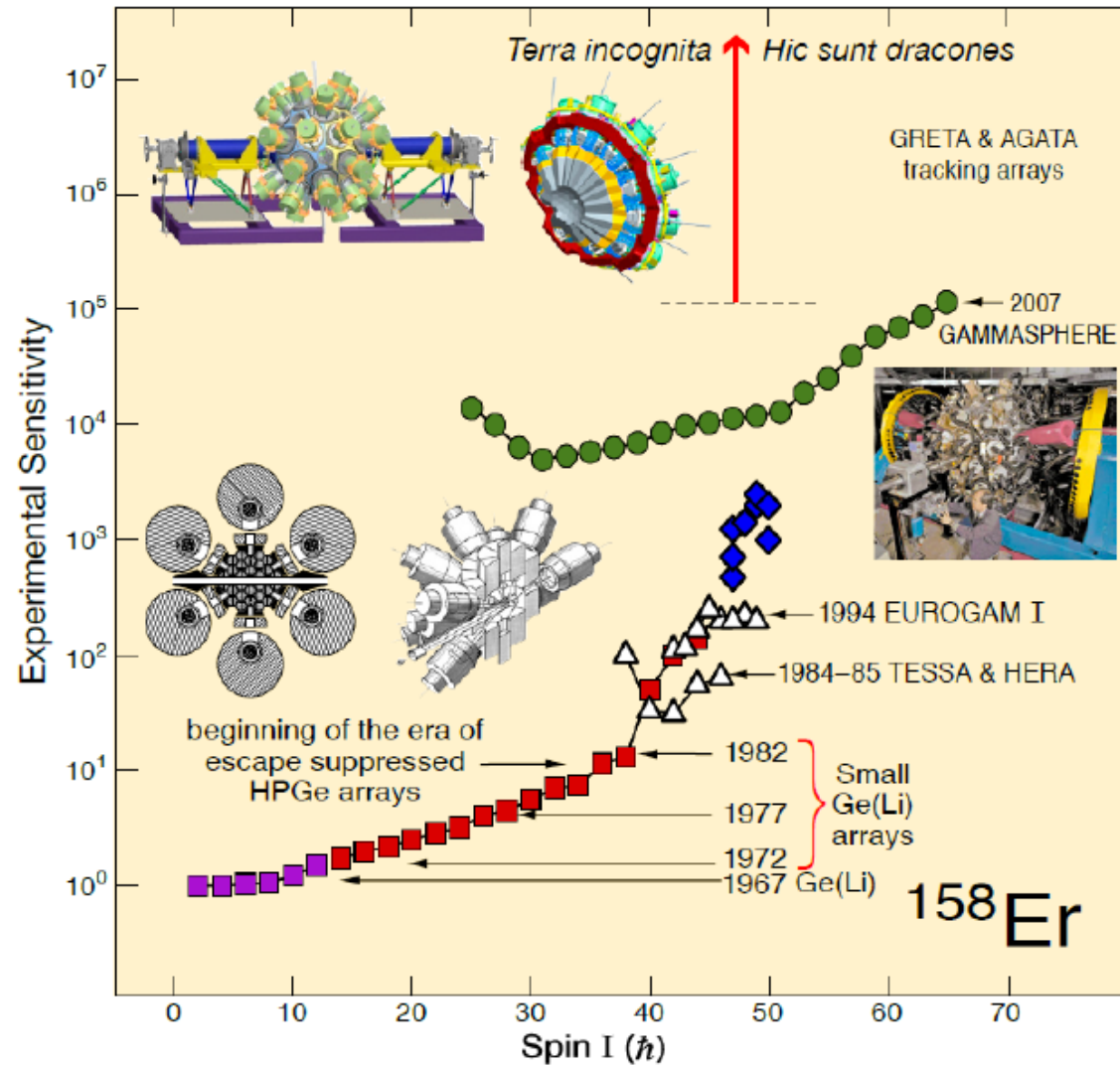


Anti-Compton shields take place !

Summing algorithms in composite detectors has a limit at higher multiplicity and/or higher counting rate or when putting closer the detector to the source

$$T = h\nu - h\nu' = h\nu \frac{\gamma(1 - \cos \theta)}{1 + \gamma(1 - \cos \theta)}$$

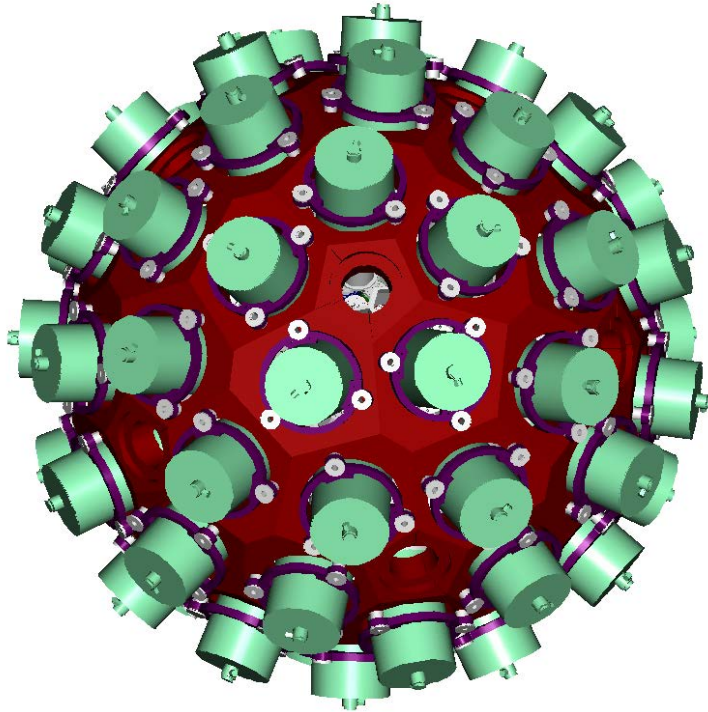
AGATA !



What do we need ?

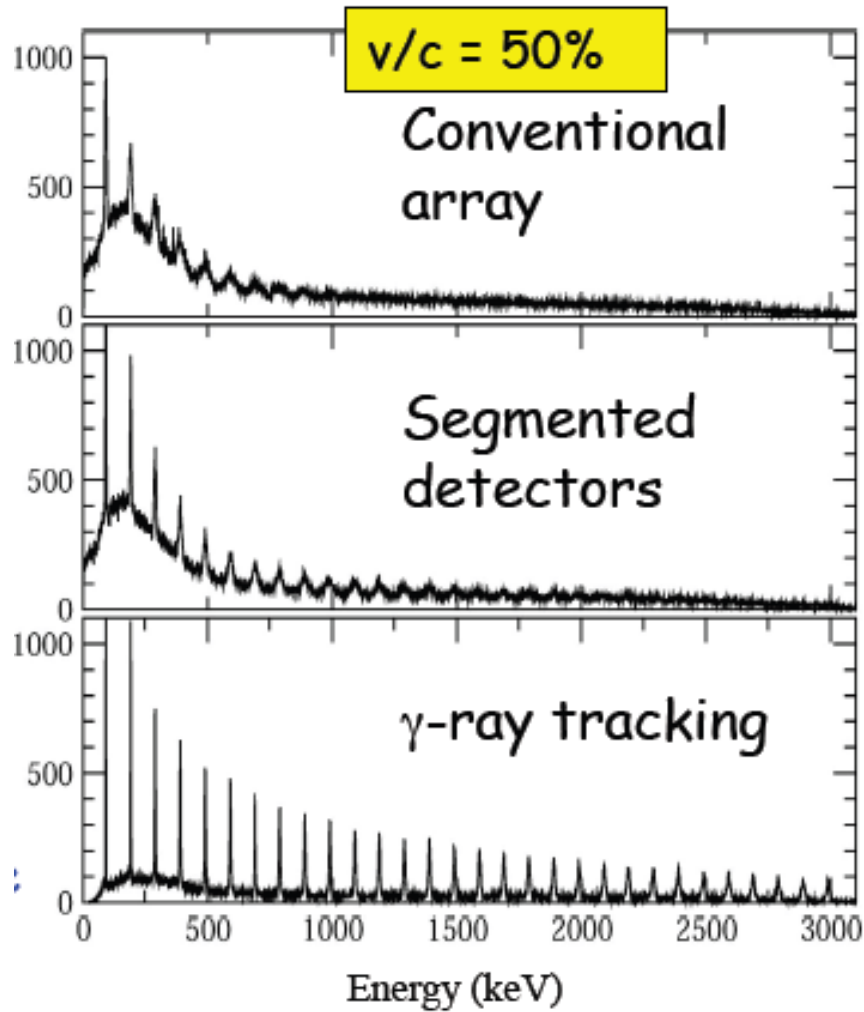
***Reconstructed
gamma-rays***

(Advanced **G**amma **T**racking **A**rray)



The innovative use of detectors (**pulse shape analysis, γ -ray tracking, digital DAQ**) will result in high efficiency ($\sim 40\%$) and excellent energy resolution, making AGATA the ideal instrument for spectroscopic studies of weak channels.

Construction in phases



180 hexagonal crystals	3 shapes
60 triple-clusters	all equal
Inner radius (Ge)	23.5 cm
Amount of germanium	362 kg
Solid angle coverage	82 %
36-fold segmentation	6480 segments
Singles rate	>50 kHz
Efficiency:	43% ($M_\gamma=1$) 28% ($M_\gamma=30$)
Peak/Total:	58% ($M_\gamma=1$) 49% ($M_\gamma=30$)

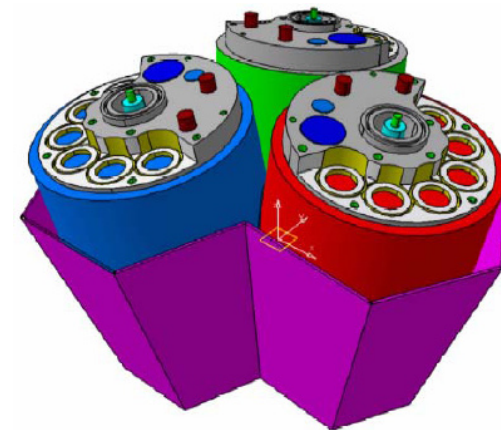
6660 high-resolution digital electronics channels

High throughput DAQ

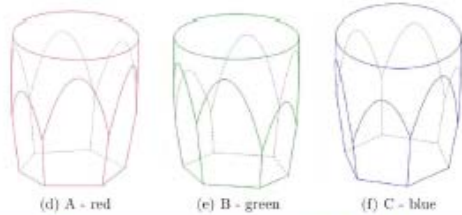
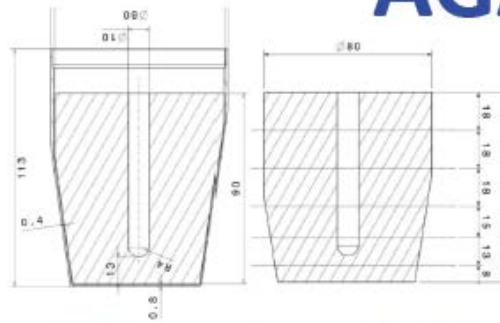
Pulse Shape Analysis \rightarrow position sensitive operation mode

γ -ray tracking algorithms to achieve maximum efficiency

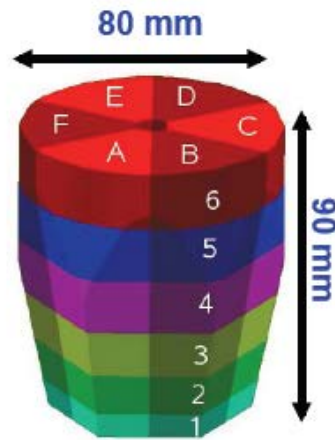
Coupling to complementary detectors for added selectivity



AGATA Detectors



Volume ~370 cc Weight ~2 kg
(shapes are volume-equalized to 1%)



6x6 segmented cathode

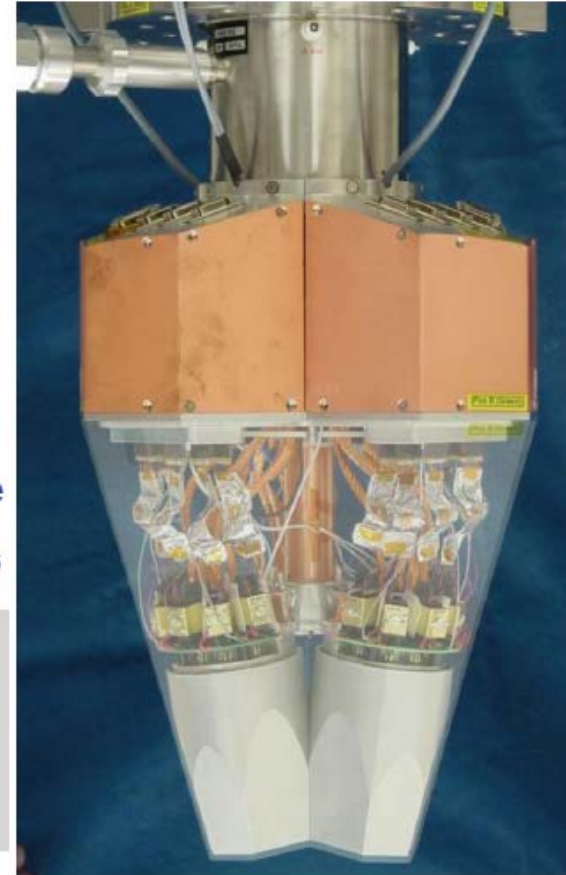
Cold FET for all signals



AGATA Asymmetric Crystals
Manufactured by Canberra France

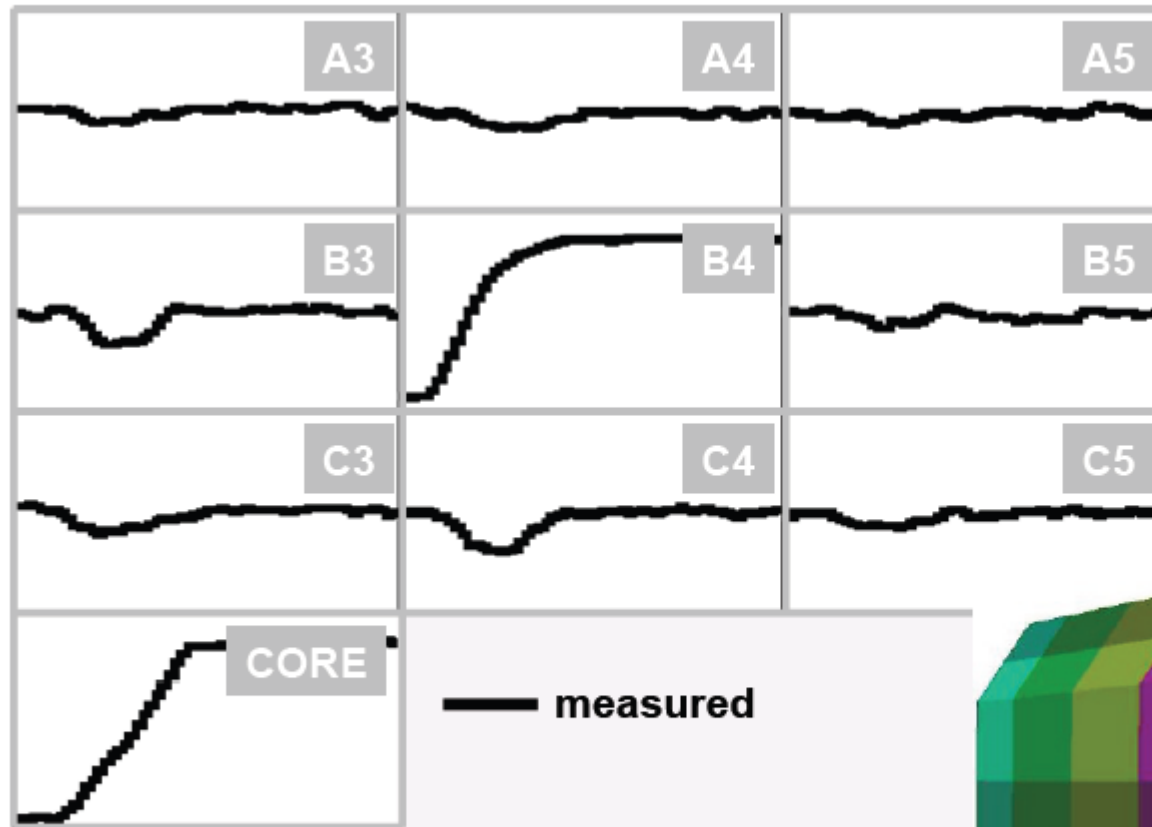
Energy resolution
Core: 2.35 keV
Segments: 2.10 keV
(FWHM @ 1332 keV)

A. Wiens et al. NIM A 618 (2010) 223
D. Lersch et al. NIM A 640(2011) 133

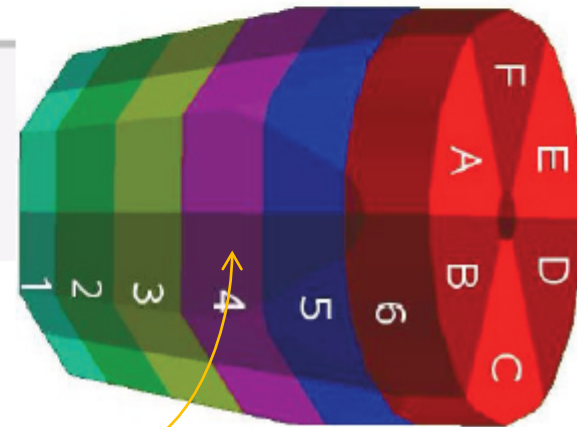


AGATA Asymmetric Triple Cryostat
Manufactured by CTT

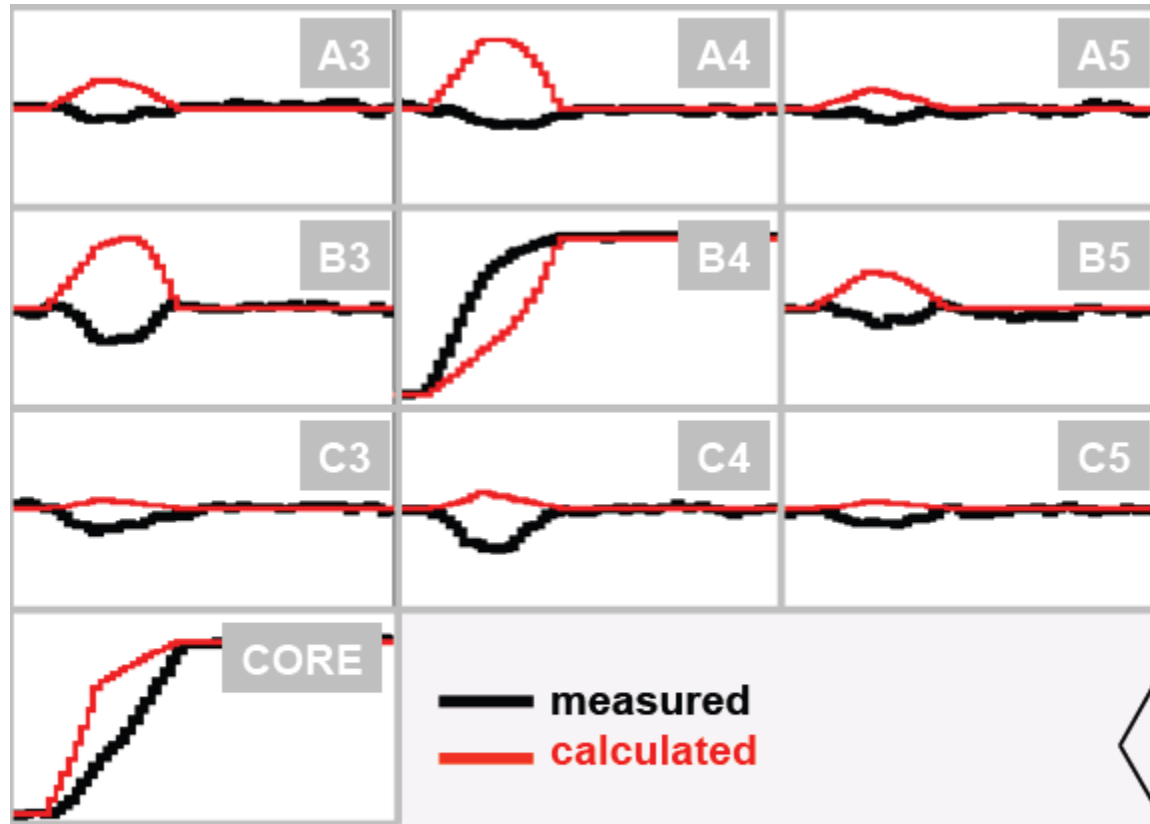
2/ PSA → Interaction point



791 keV deposited in segment B4

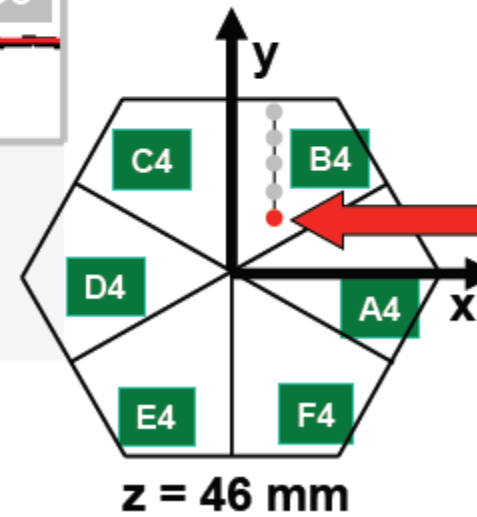


2/ PSA → Interaction point

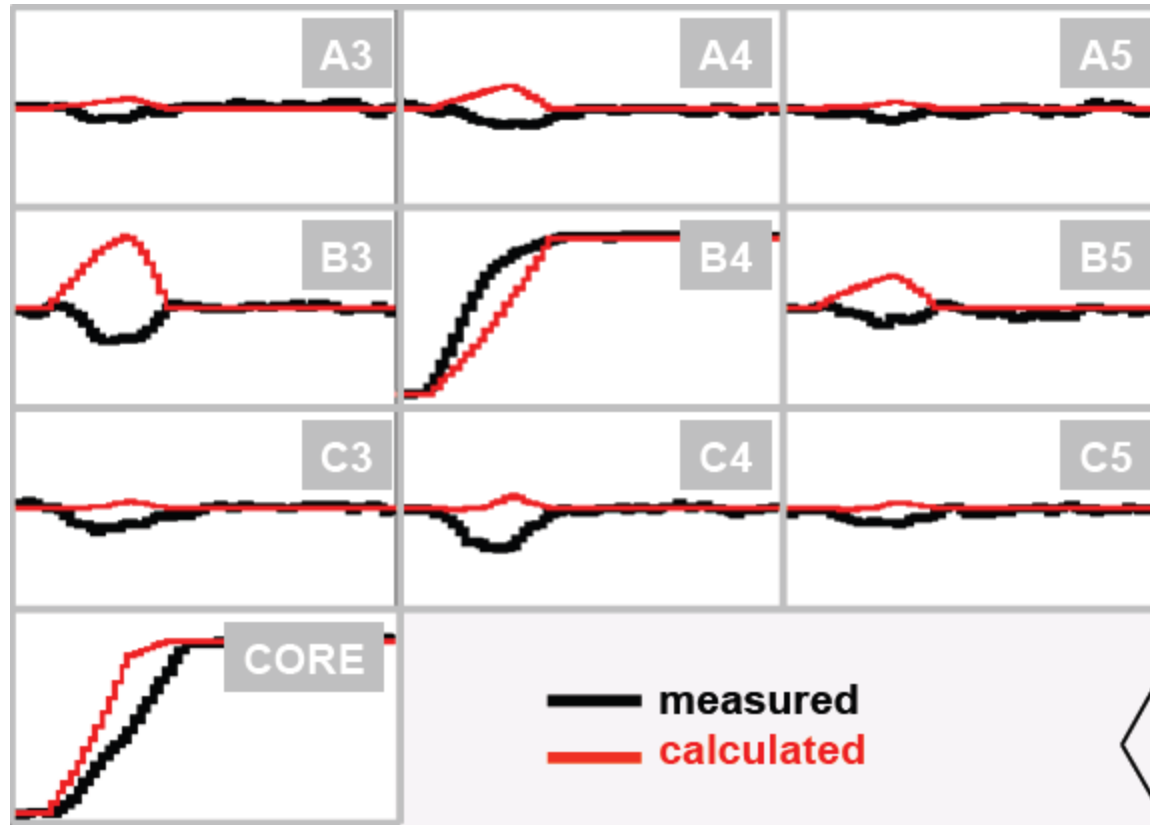


791 keV deposited in segment B4

(10, 10, 46)

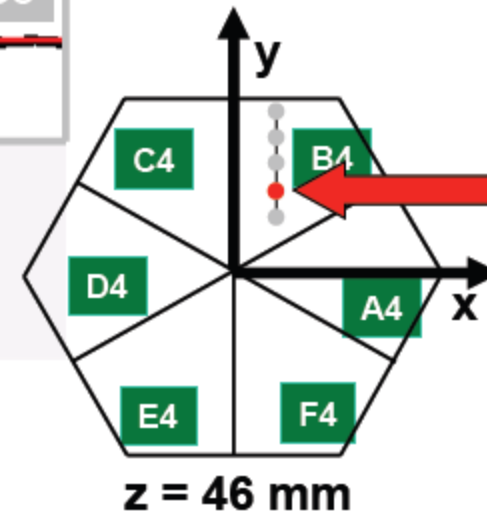


2/ PSA → Interaction point

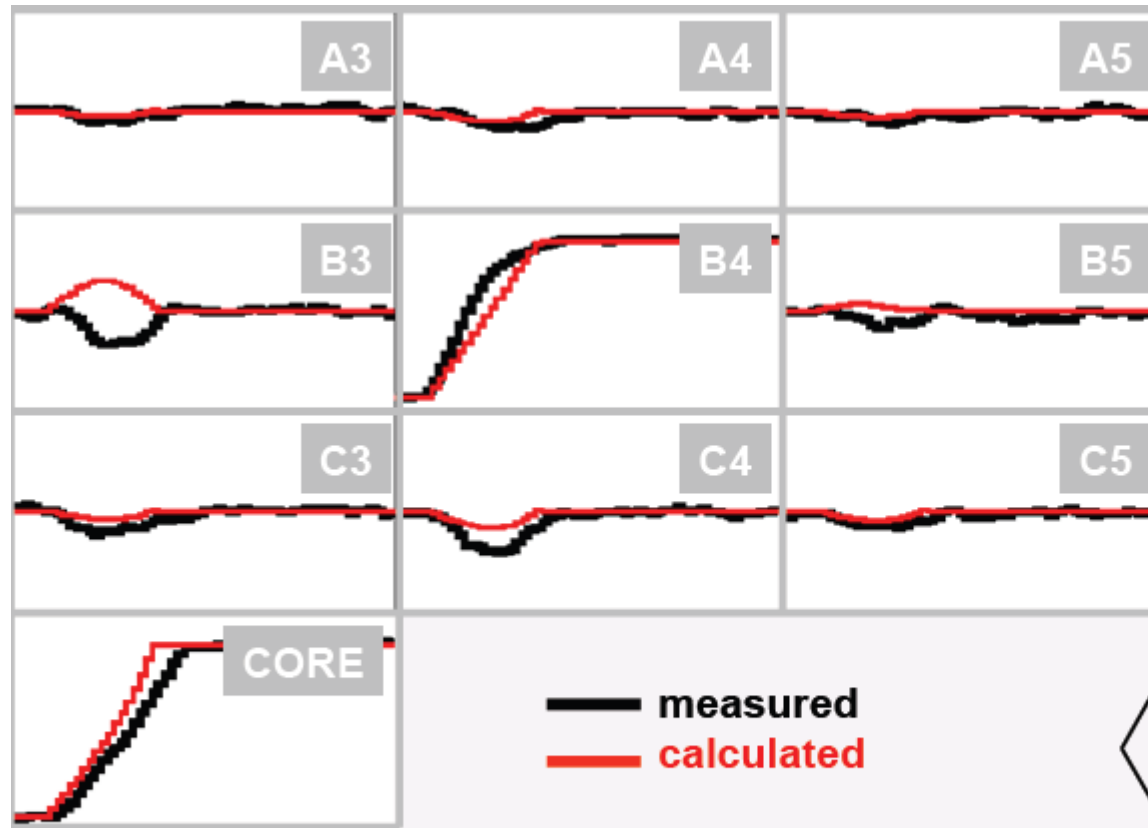


791 keV deposited in segment B4

(10, 15, 46)

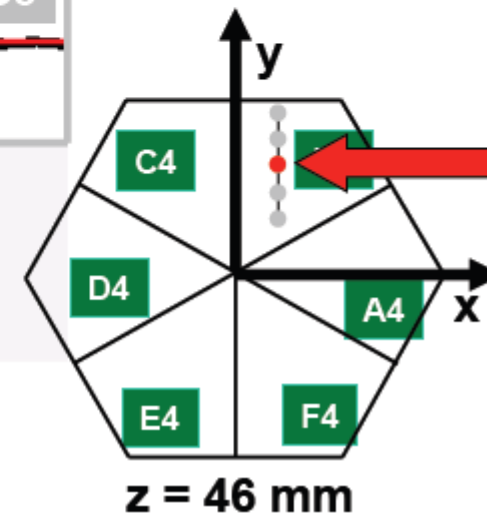


2/ PSA → Interaction point

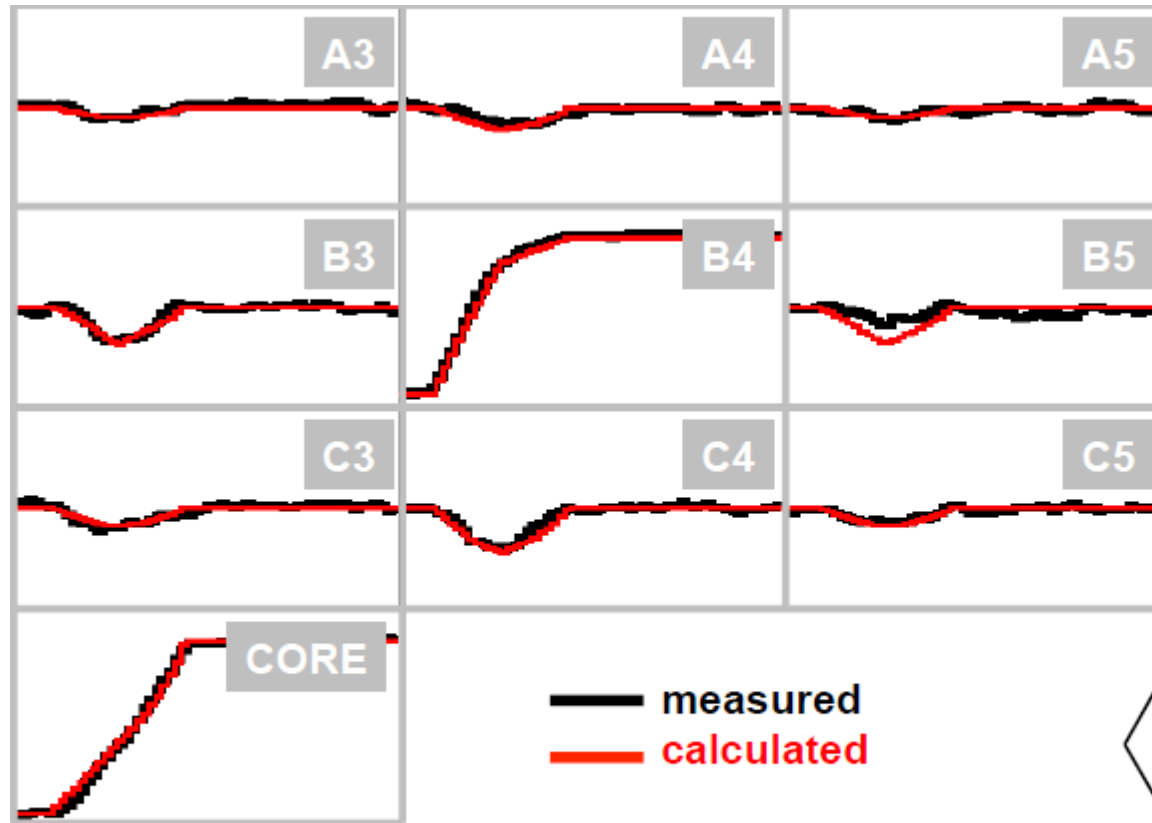


791 keV deposited in segment B4

(10, 20, 46)

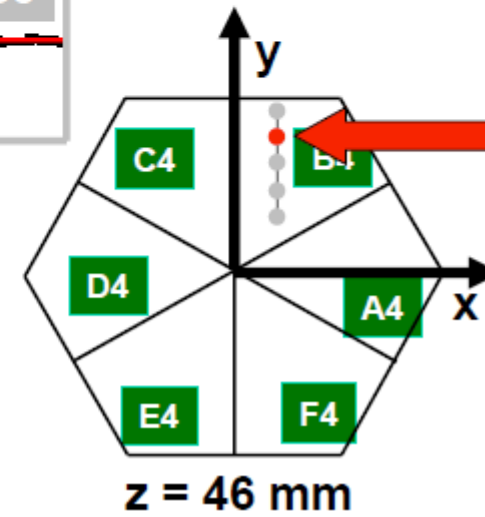


2/ PSA → Interaction point

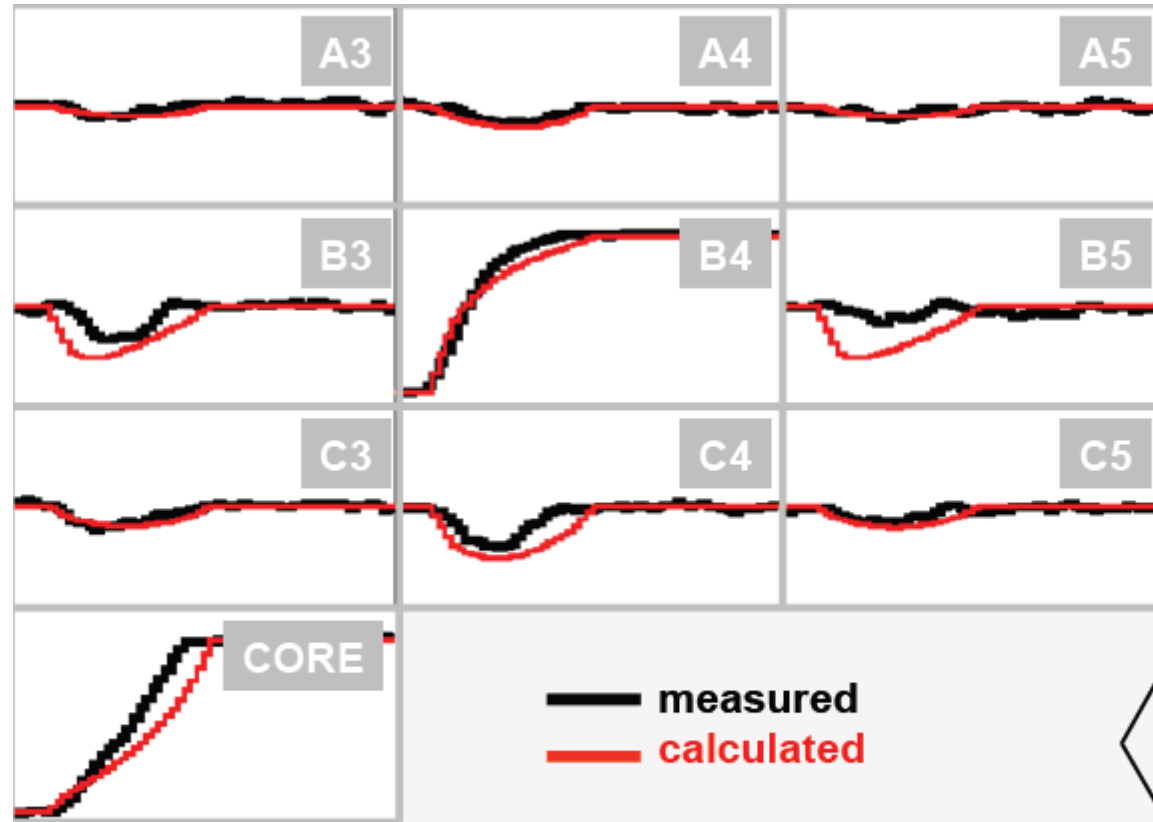


791 keV deposited in segment B4

(10, 25, 46)

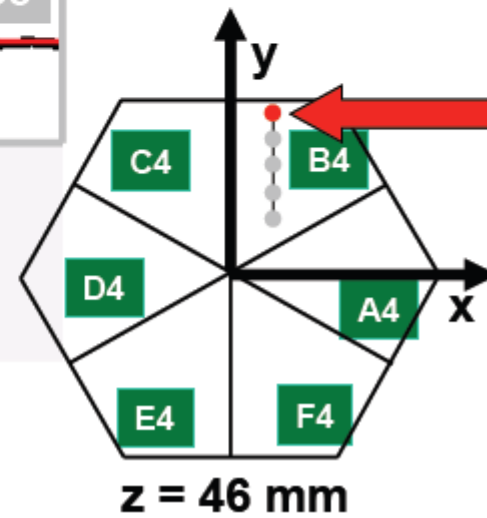


2/ PSA → Interaction point

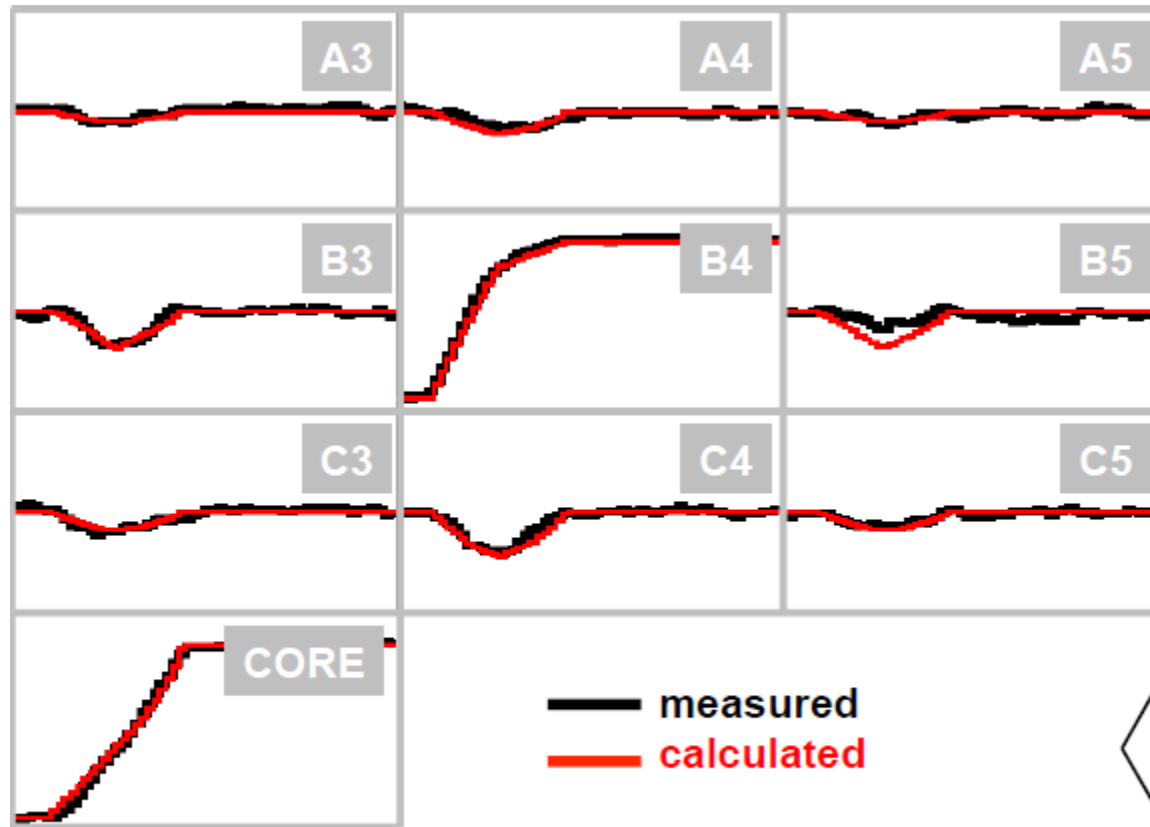


791 keV deposited in segment B4

(10, 30, 46)

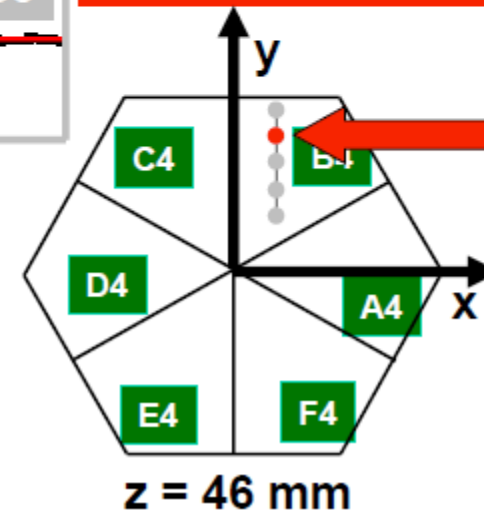


2/ PSA → Interaction point



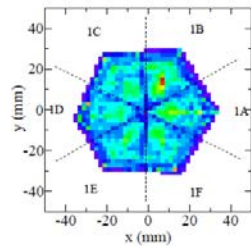
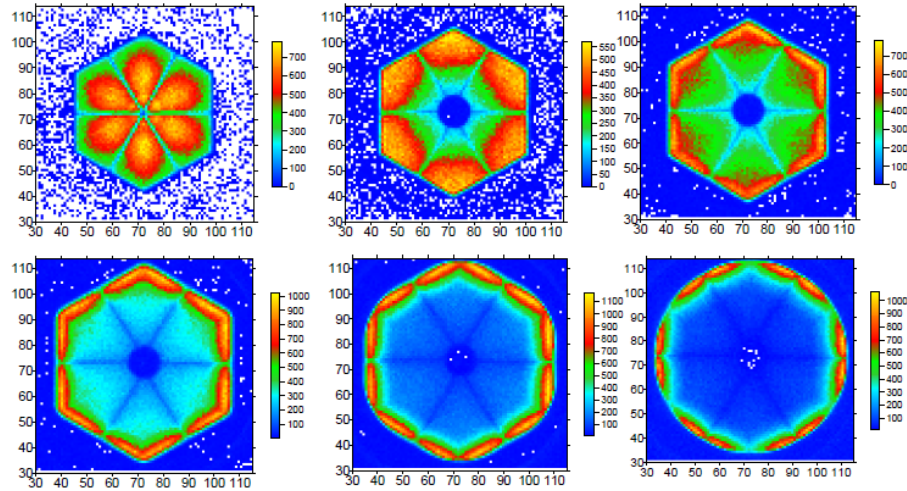
Result of
Grid Search
Algorithm

(10, **25**, 46)

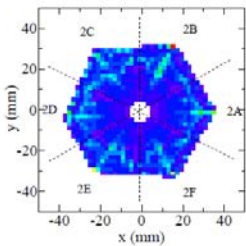


791 keV deposited in segment B4

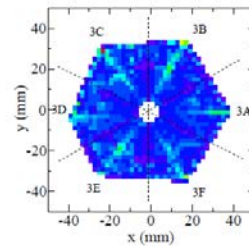
AGATA Scan Setup



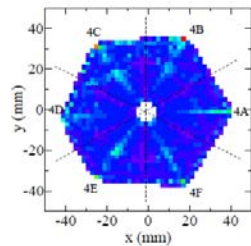
(a) slice 1 ($z=0-8\text{mm}$)



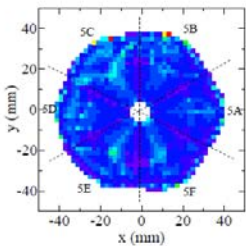
(b) slice 2 ($z=8-21\text{mm}$)



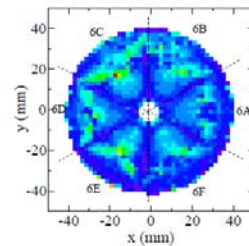
(c) slice 3 ($z=21-36\text{mm}$)



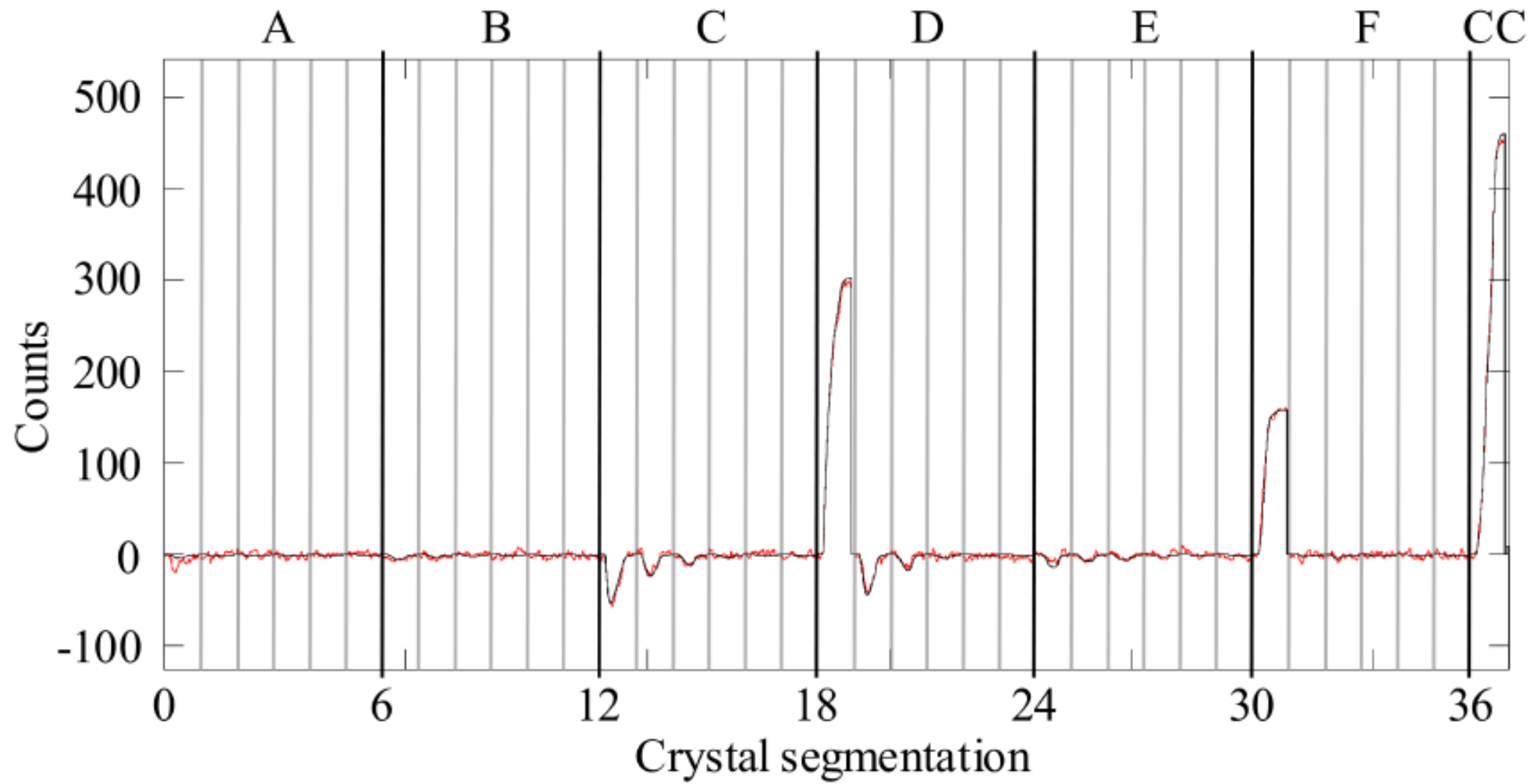
(d) slice 4 ($z=36-54\text{mm}$)



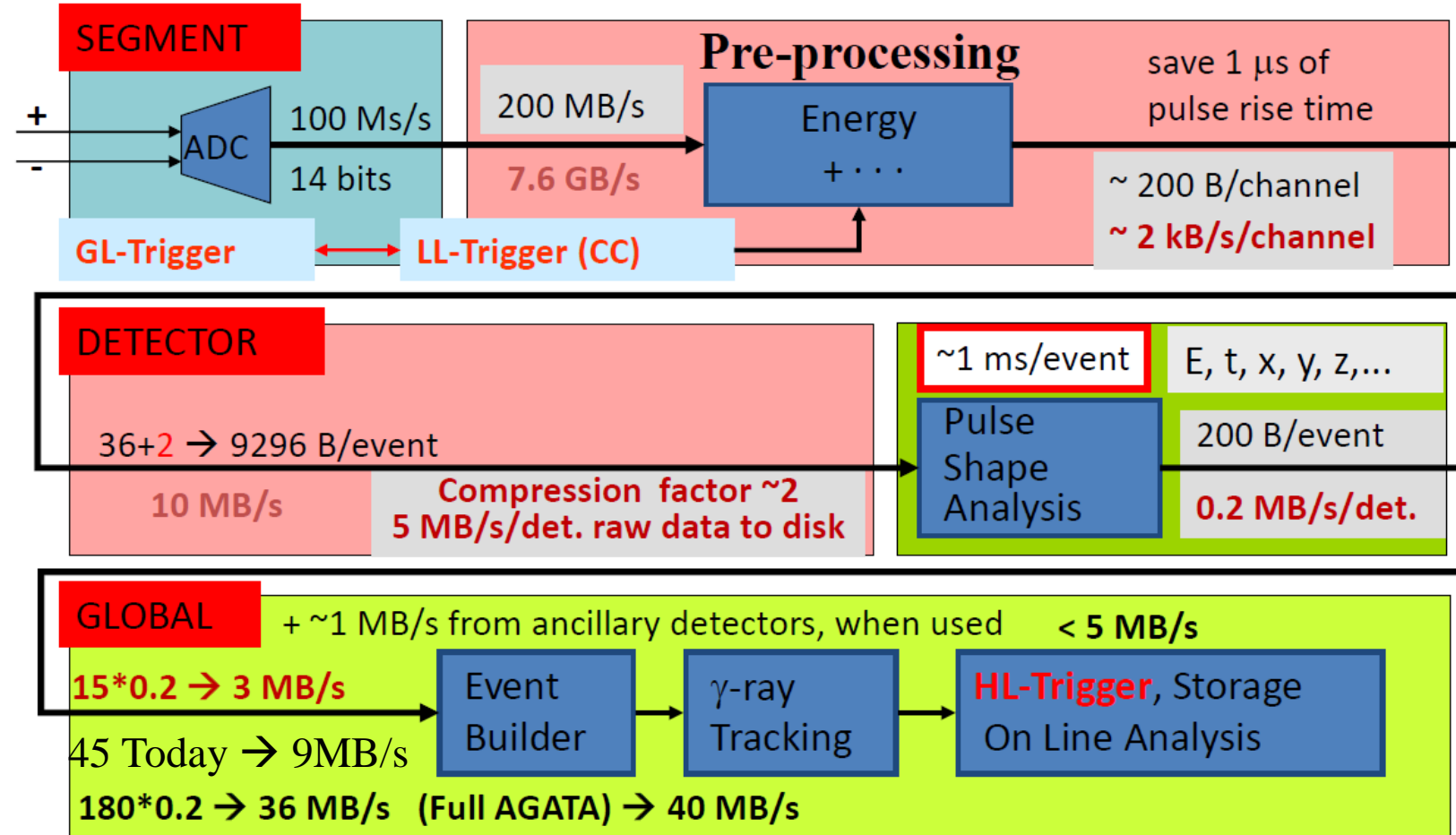
(e) slice 5 ($z=54-72\text{mm}$)



(f) slice 6 ($z=72-90\text{mm}$)



50 kHz singles → 1 kHz triggered



Branch crossing = 11 MHz

45 Detectors

L0 = 1.5 MHz (All GTS inputs)

L1 = 80kHz à 600 kHz (Accepted rate GTS Total)

Readout = L1

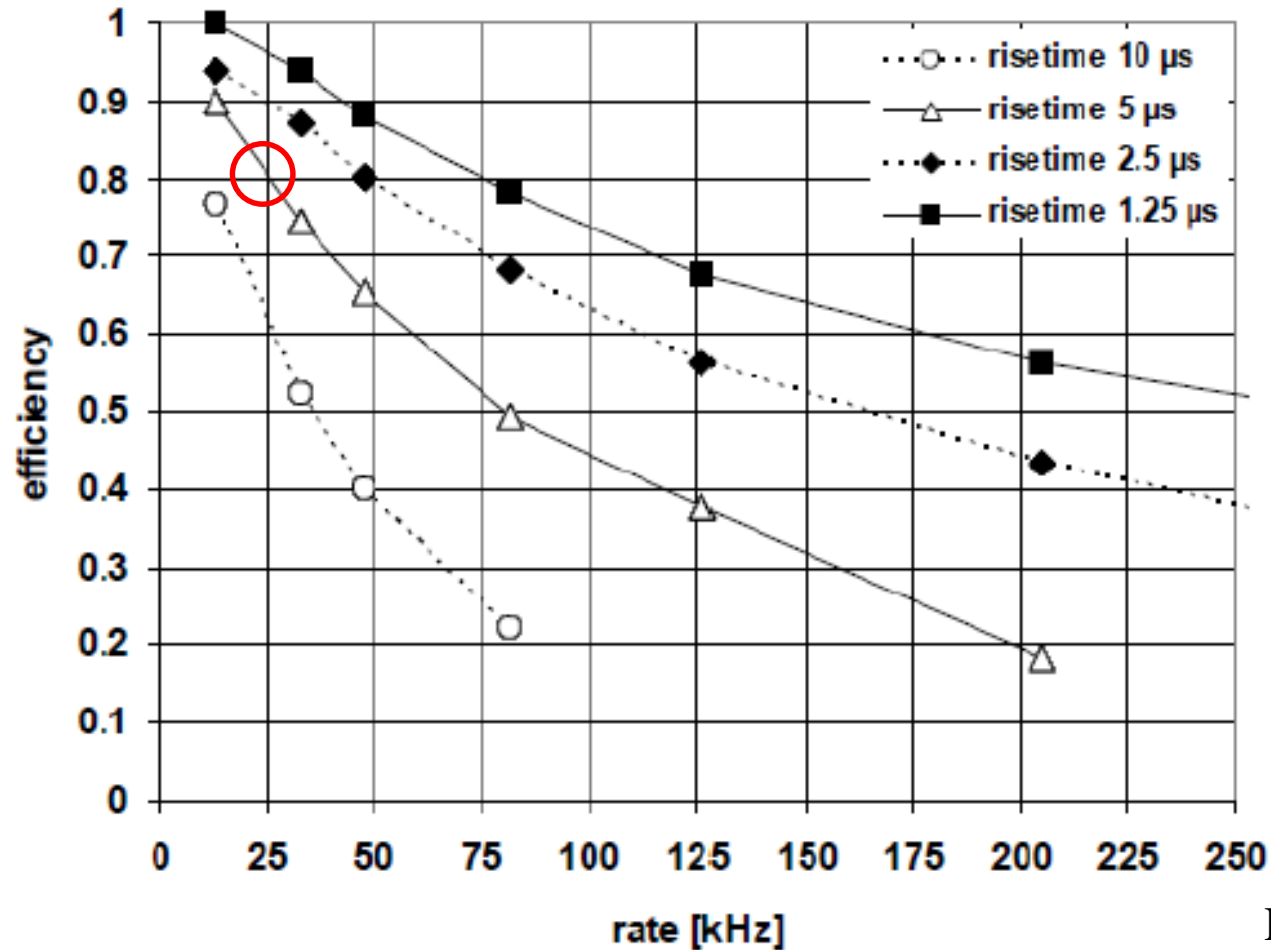
event size = 225 kB

Data storage level 0 = 20-200 MB/sec

0.1 kHz – 1 kHz Trig

Trapezoidale filter paramaters matter !

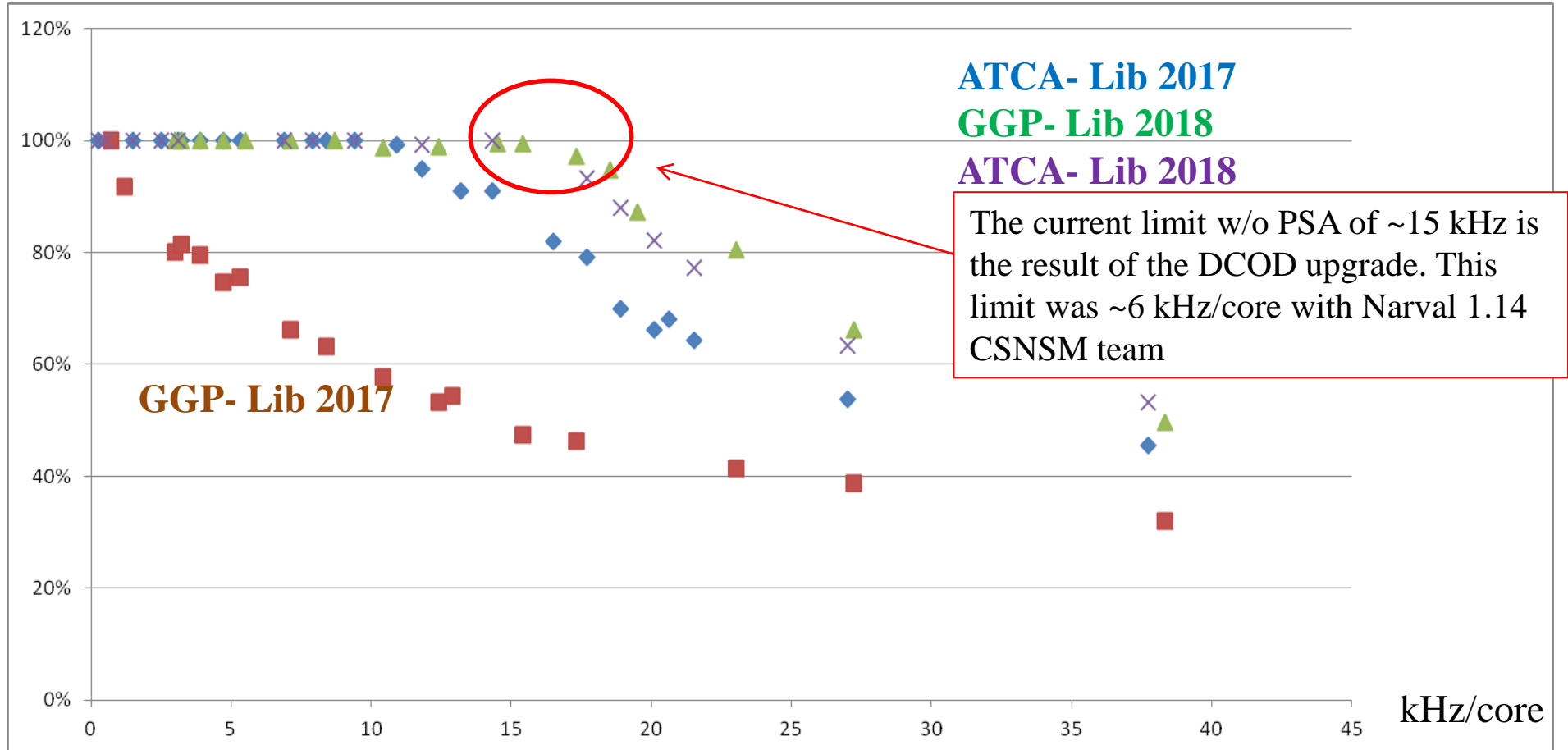
At High rate, pile-rejection reduces a lot the efficiency and quality of the data

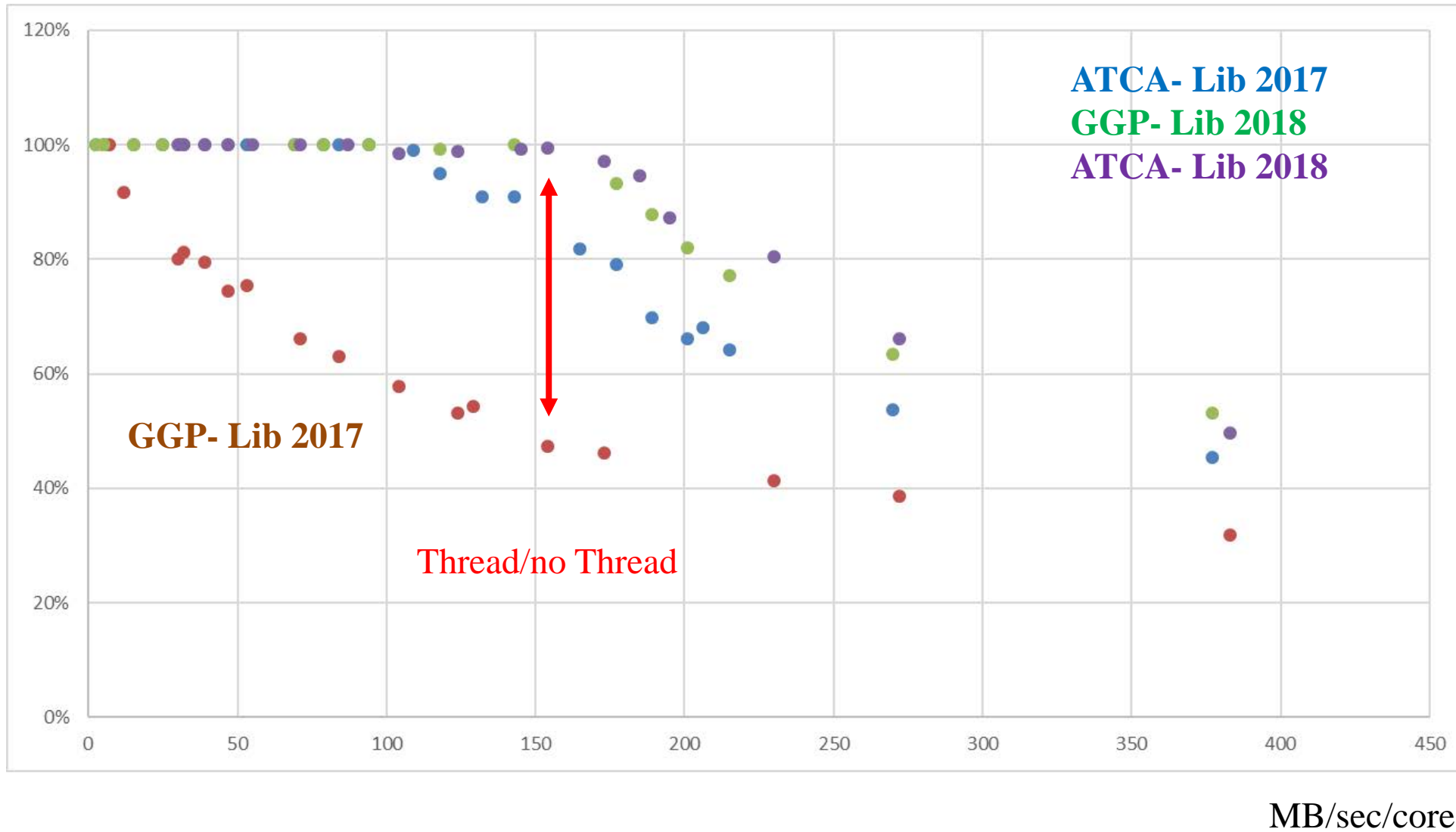


→ at 25kHz/core, a too large risetime (k-parameter) costs 20% of losses (this is known)

F. Recchia et al. LNL report

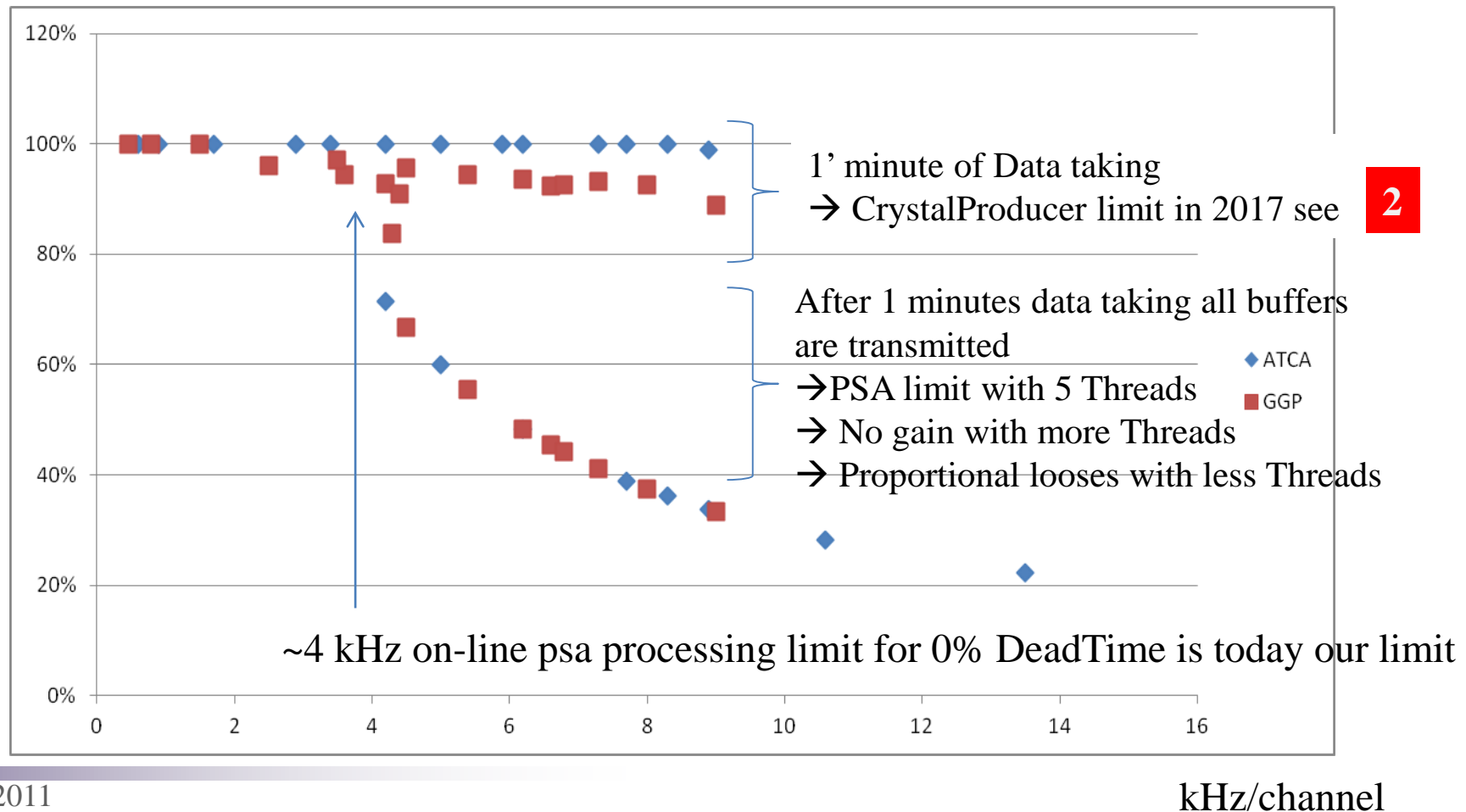
The delicate process of the PCIe readout and buffer management
 → Massive use of Threads in the DMA readout



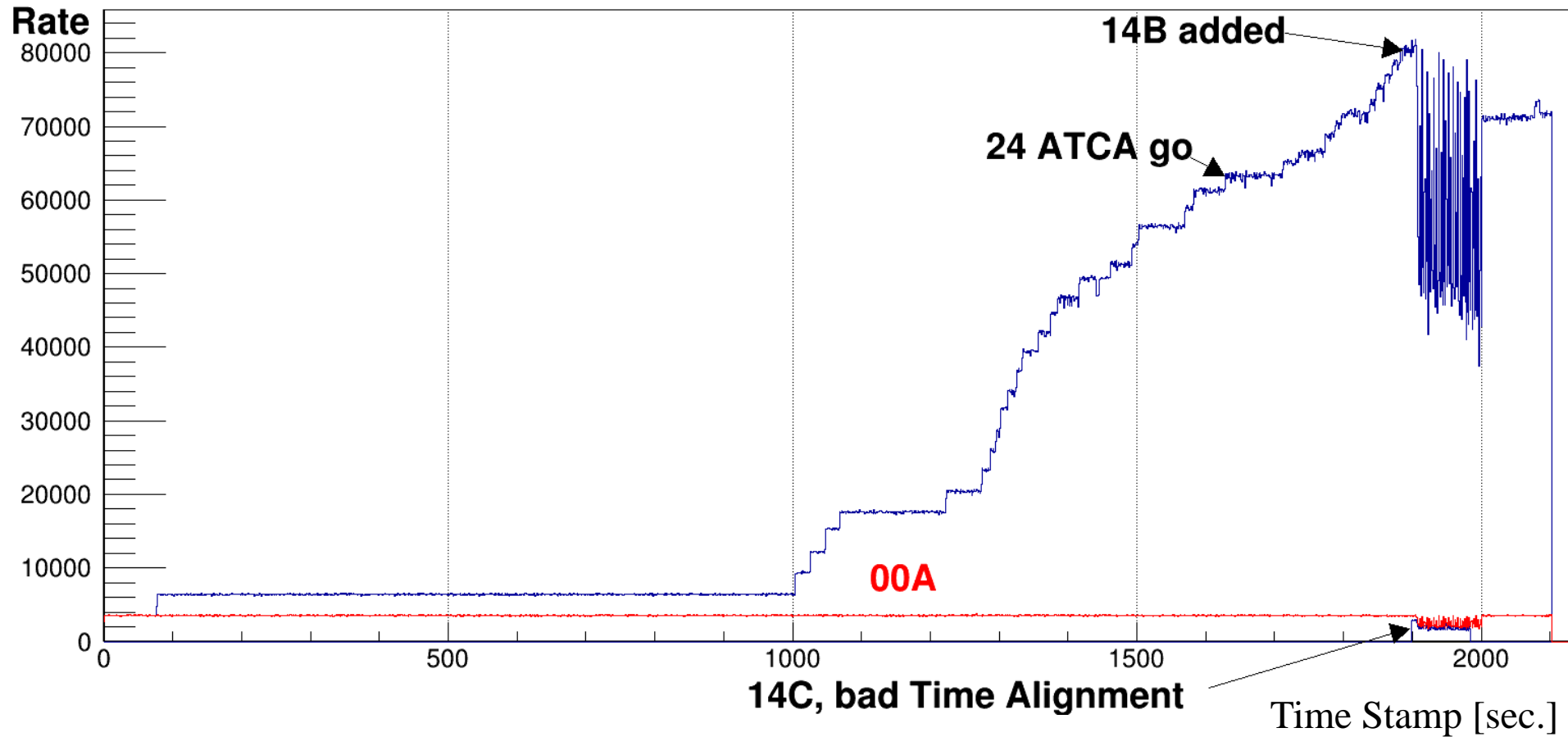


The PSA library runs on-line with Threads. We usually run with a configuration per workstation (managing 1 crystal) having 5 threads of 300 events each. (libboost-dev debian)

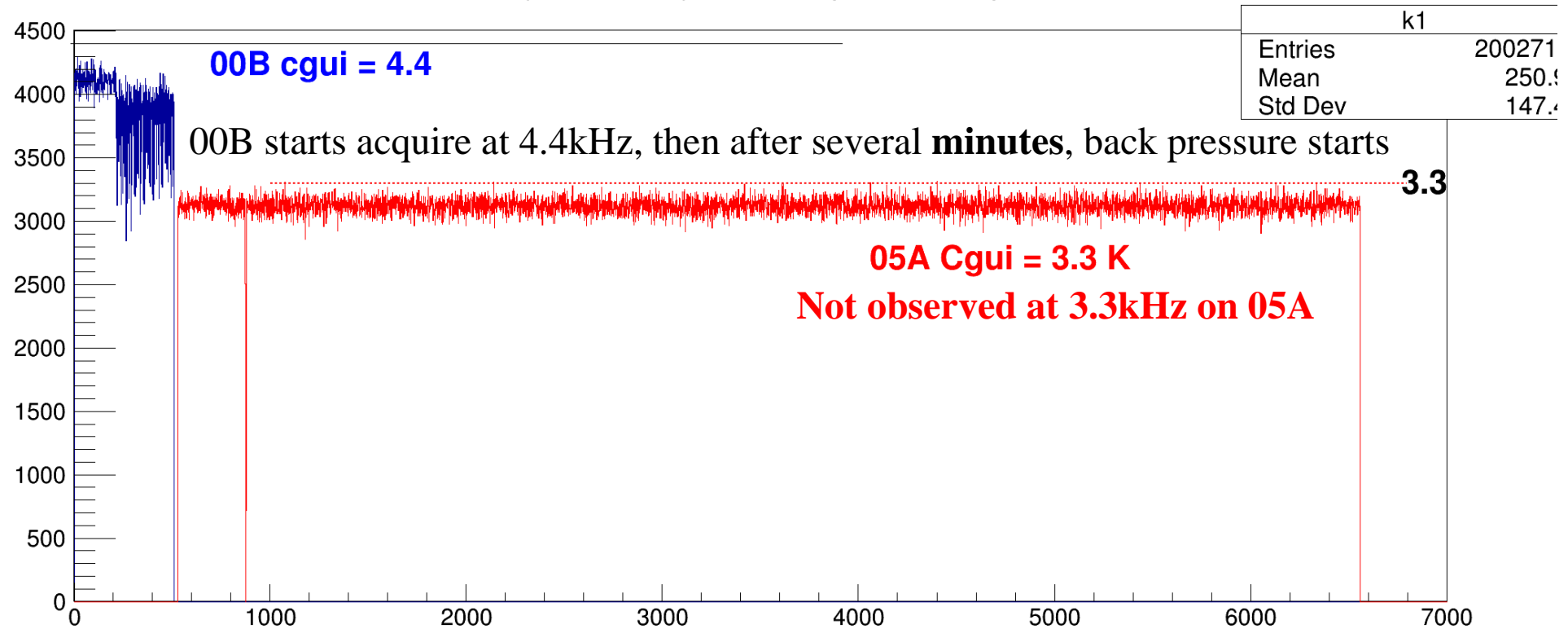
Individual Lifetime



For any reason 14B starts to create backpressure locally which impact all via the common backpressure flag

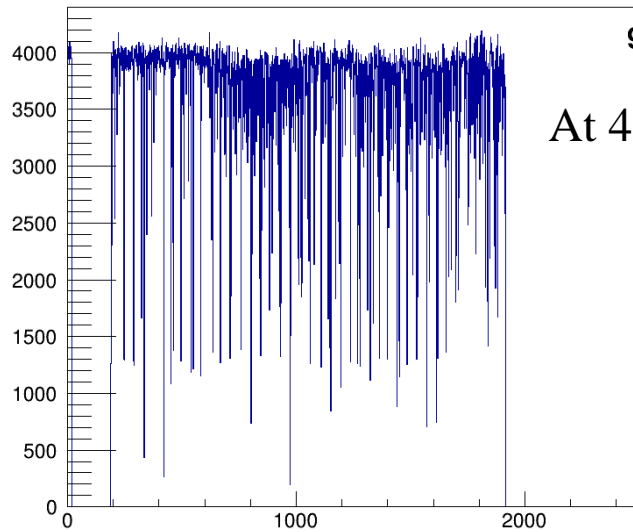


(TSHit/1e8)-409732 {coreId==1}



Stable conditions at 3.3 kHz
4.4 kHz is not a « safe » situation

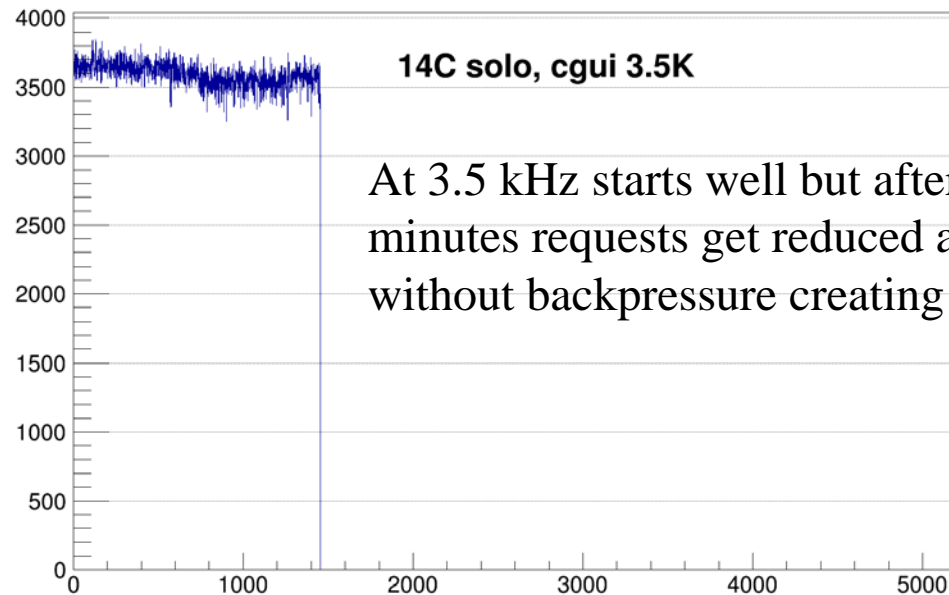
(TSHit/1e8)-420364 {coreId==28}



9B cgui 4.2K

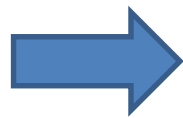
At 4.2kHz immediate back pressure starts

(TSHit/1e8)-418236 {coreId==44}



14C solo, cgui 3.5K

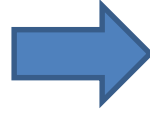
At 3.5 kHz starts well but after few minutes requests get reduced a bit without backpressure creating chaos



Stable conditions at 3.3 kHz, not more

Particles Identification sensitive

DIAMANT and NEDA in full digital system making use of the NUMEXO2 boards and coupled to AGATA with the AGATA GTS system

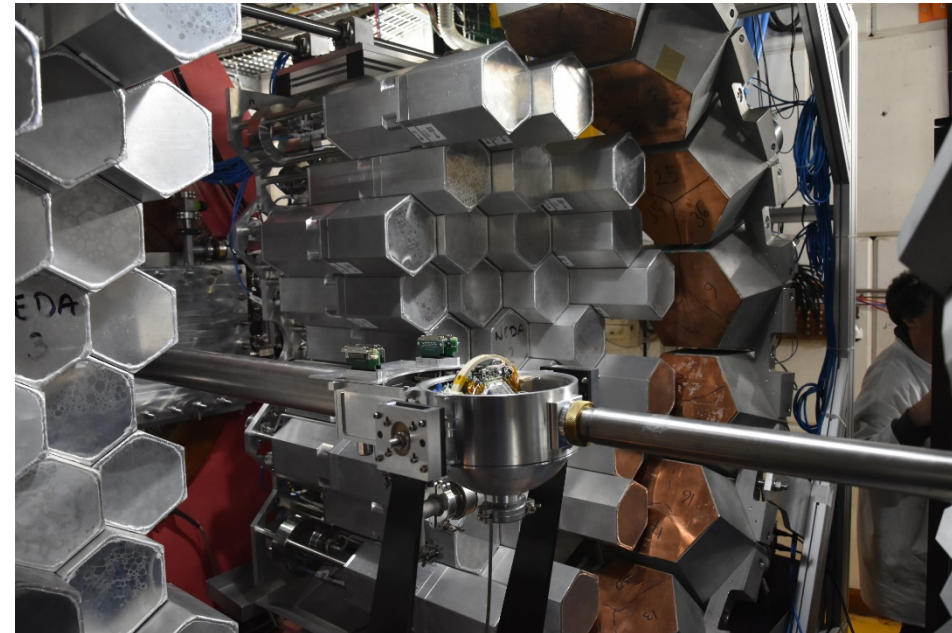
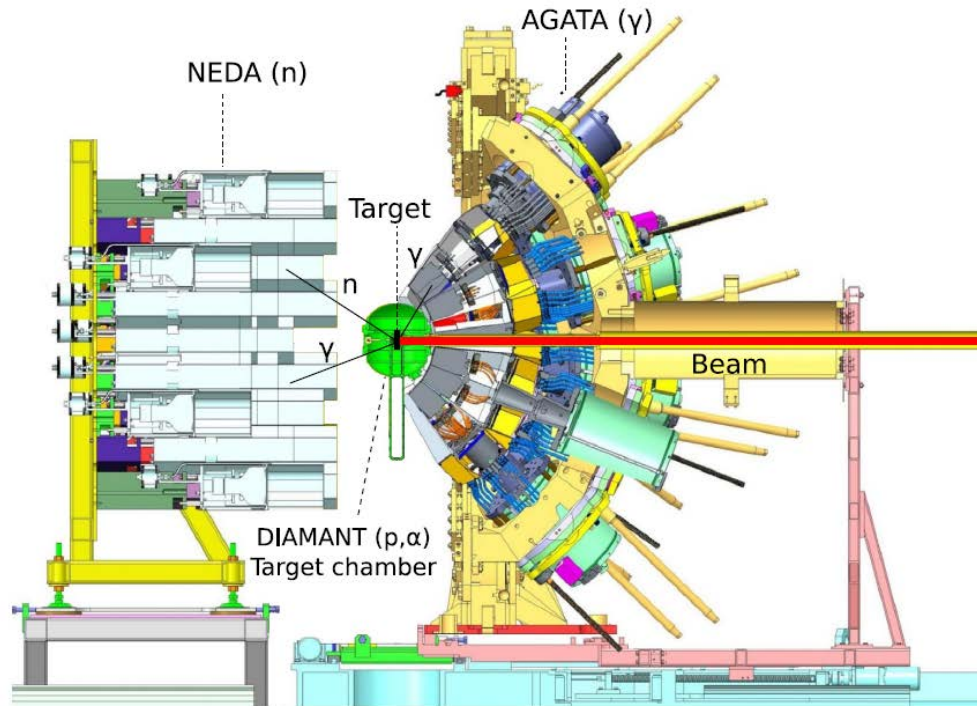


$\times 20$ increase in $(n\gamma^2)$ event rate readout compared to the NWALL-DIAMANT-EXOGRAM system in VME-VXI.

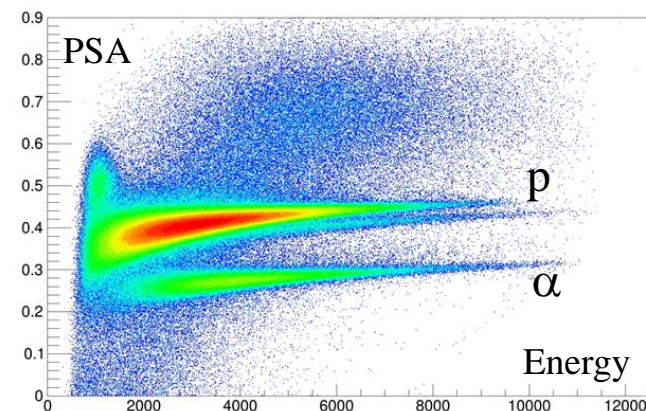
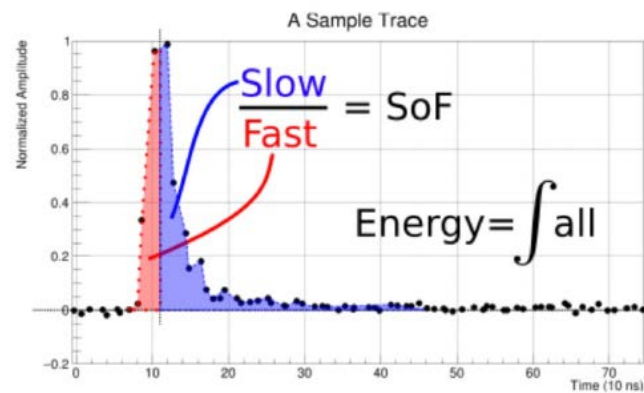
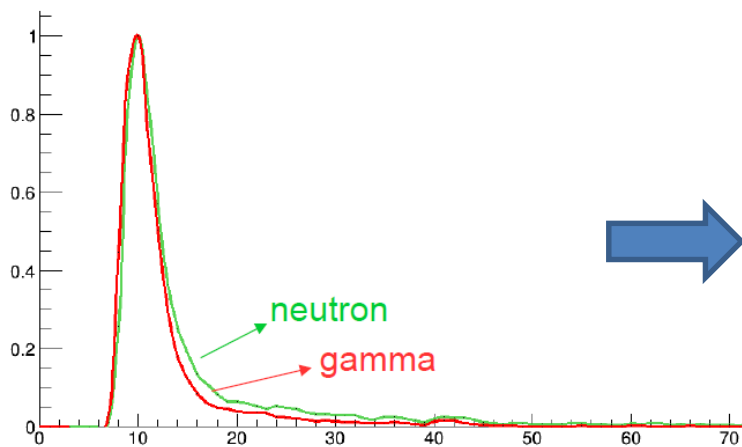
T. Huyuk et al, Eur. Phys. J. A (2016) **52**: 55 Page 5

E. Clément et al., NIMA 855, 1-12 (2017)

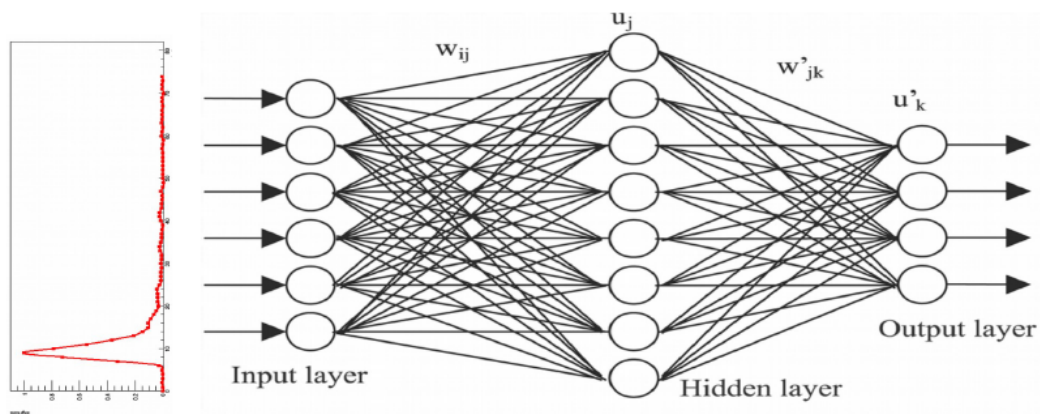
J.J. Valiente-Dobón et al. NIM A 927 (2019) 81



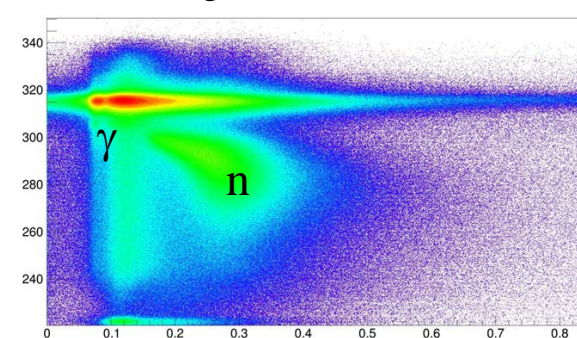
NEDA neutral particle discrimination



First studies by P-A Söderström et al using a Multi Layers Perceptron in Root



Time of flight

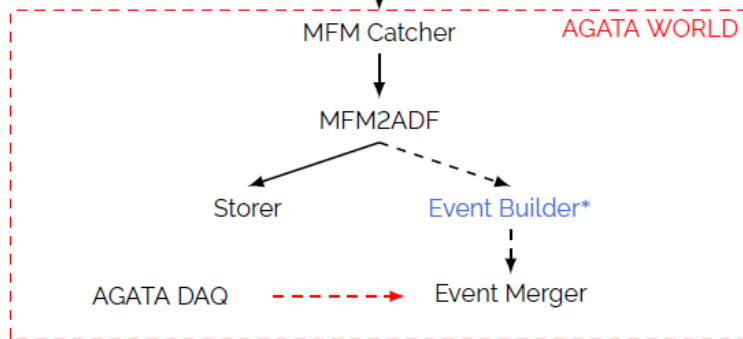
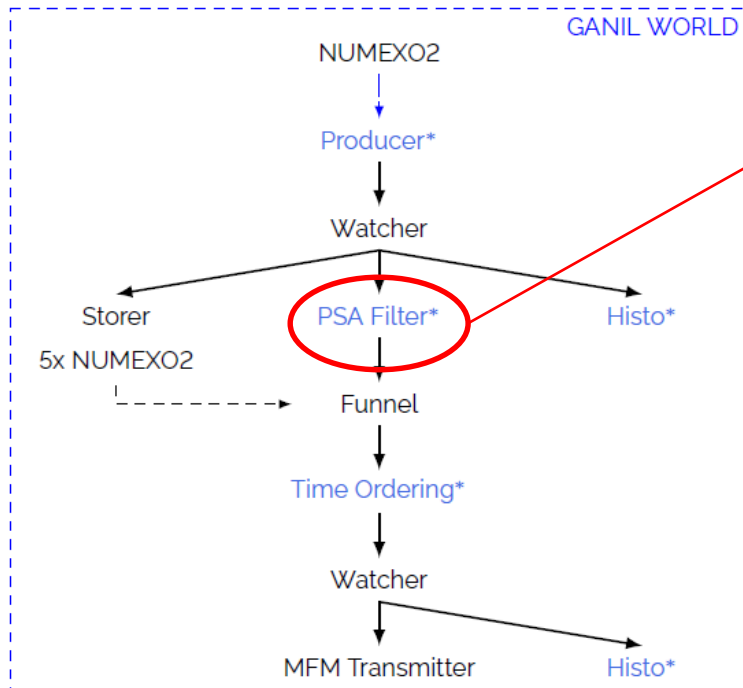


PSA - CC

Interesting results but too slow → Migration to



P.-A. Söderström et al Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 916 (2019) 238–245



Expected rates for the typical experiment:
 $\sim 180 \text{ Hz / detector / 1 pA (1}\gamma\text{-1n trigger)}$
 $\Rightarrow \sim 1.5 \text{ MB/s of traces / board}$

Fast Trigger: 5 kHz / detector

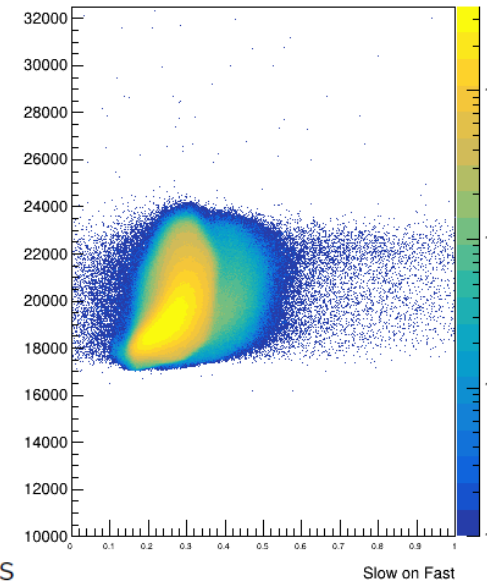
Observed neutron rates for 1 pA:

- 100-200 Hz / NEDA
- 300-400 Hz / NeutronWall

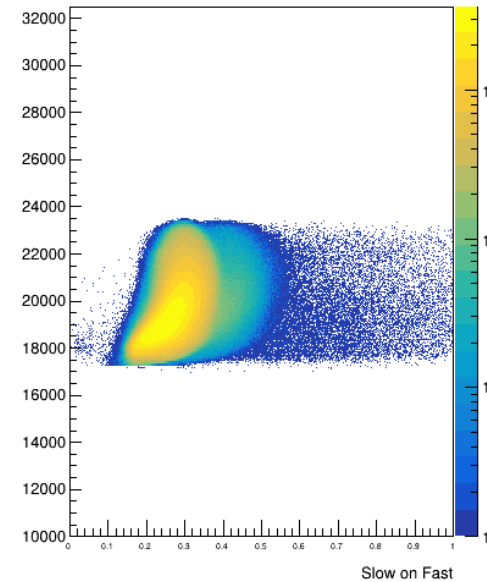
TP Validations: About 50-60 % of the neutrons

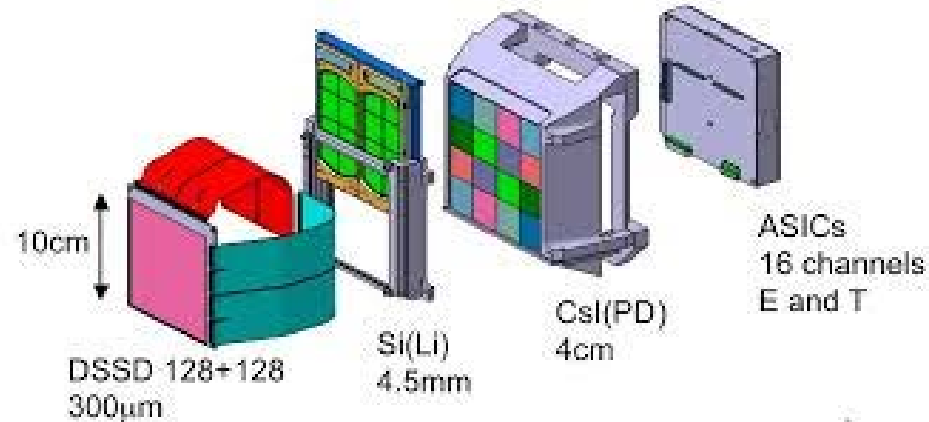
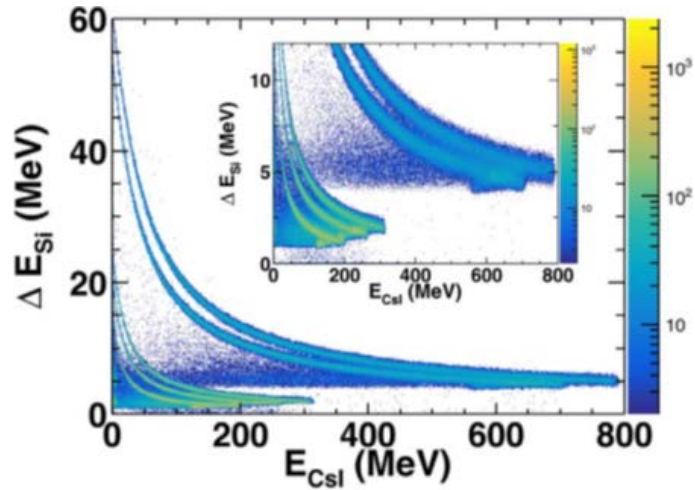
- $\Rightarrow \sim 1.6 \text{ MB/s of traces (/board)}$
- $\Rightarrow \sim 0.15 \text{ MB/s of post-PSA}$
- $\Rightarrow \sim 0.24 \text{ MB/s on ADF Storer}$

MLP



RNN



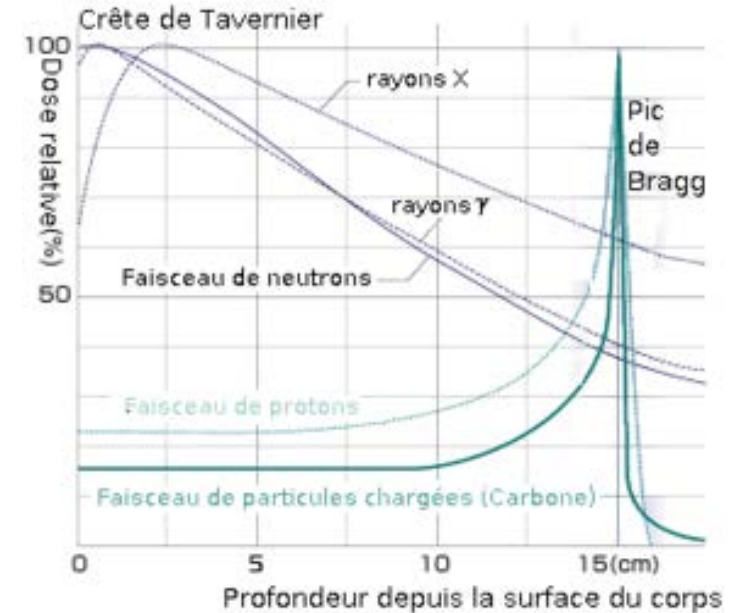
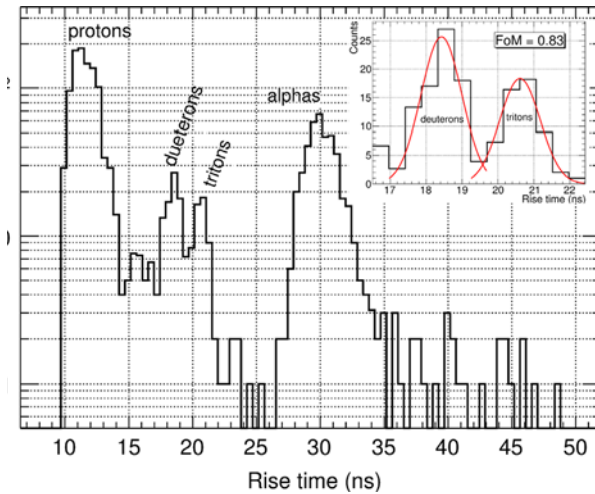
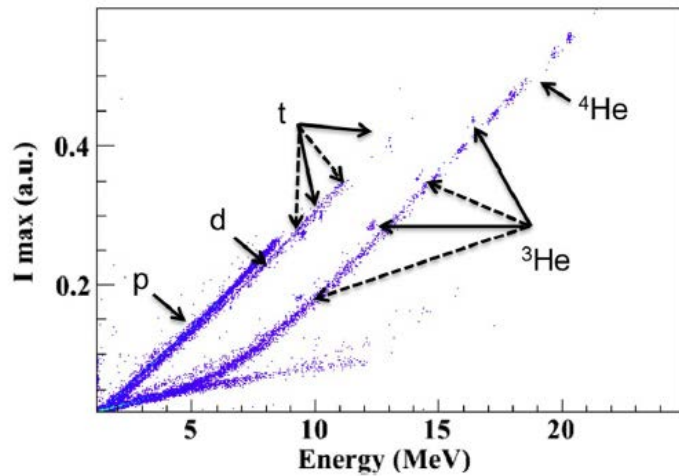


Total absorption

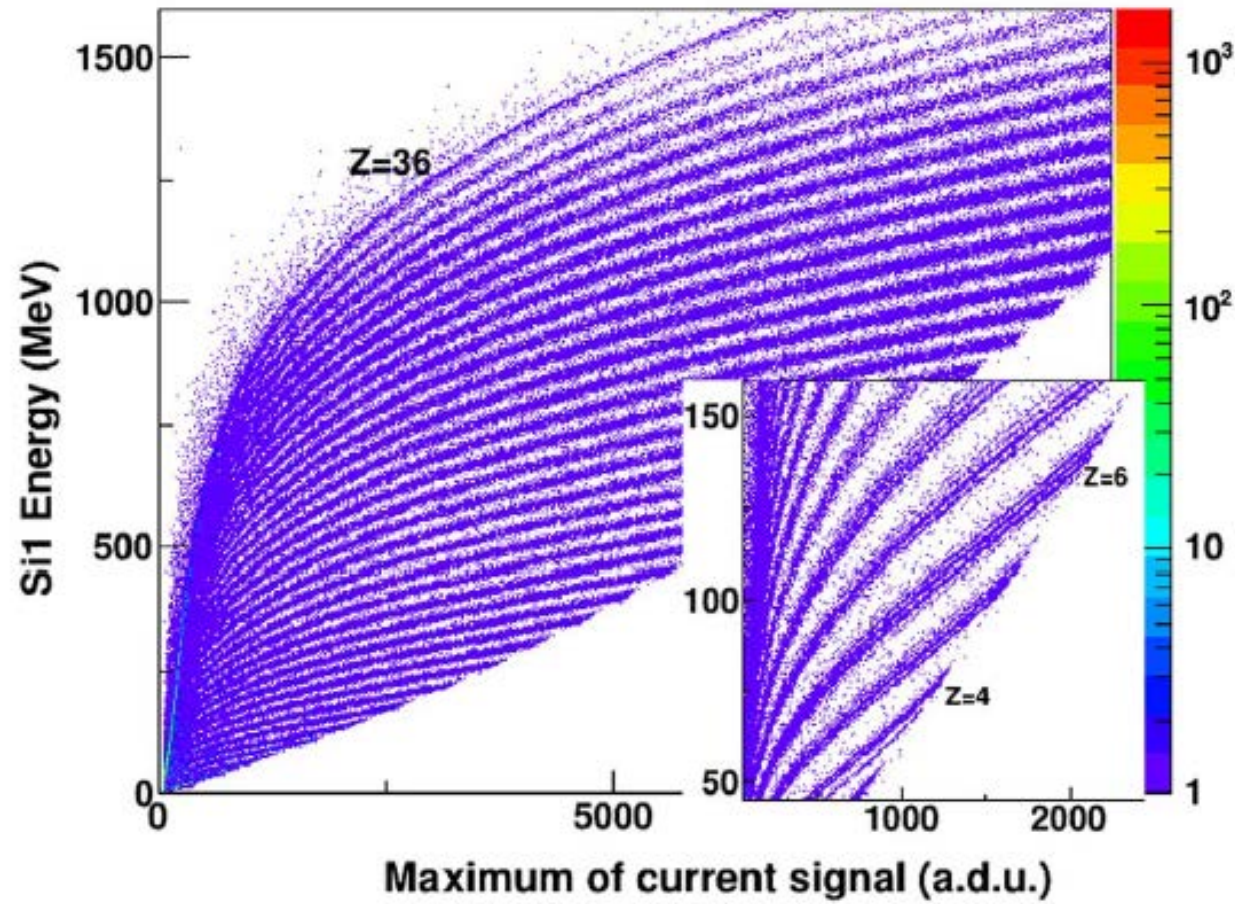
(mais aussi des γ qui doivent les traverser)

En transmission

Distribution de la dose versus la profondeur pour différents types de radiations dans un corps vivant



Ions lourds Total absorption



K. Auranen et al, Phys Rev Lett 121, 182501 (2018)

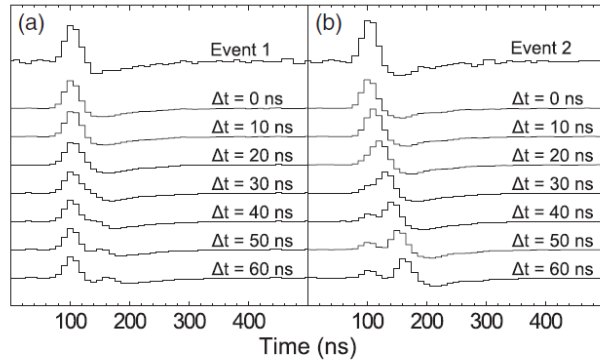
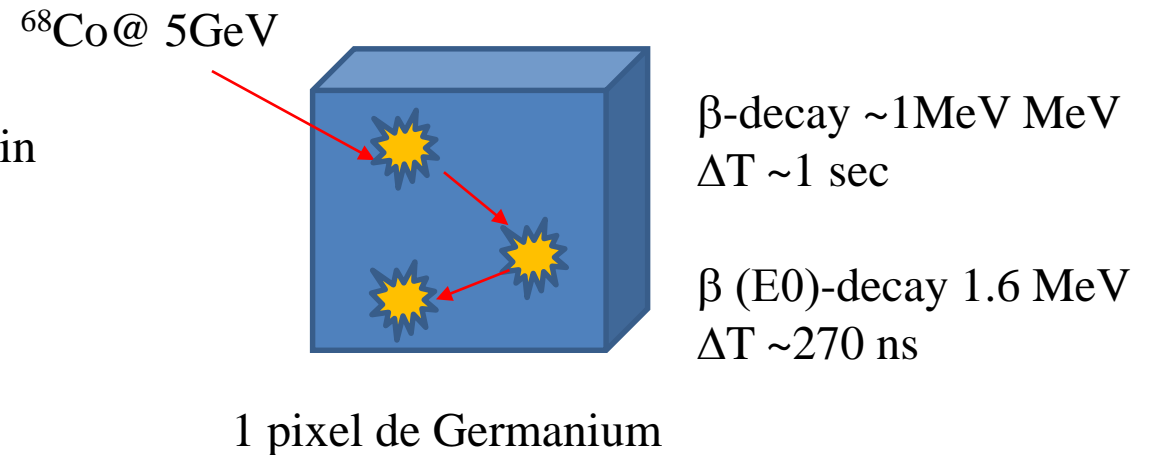
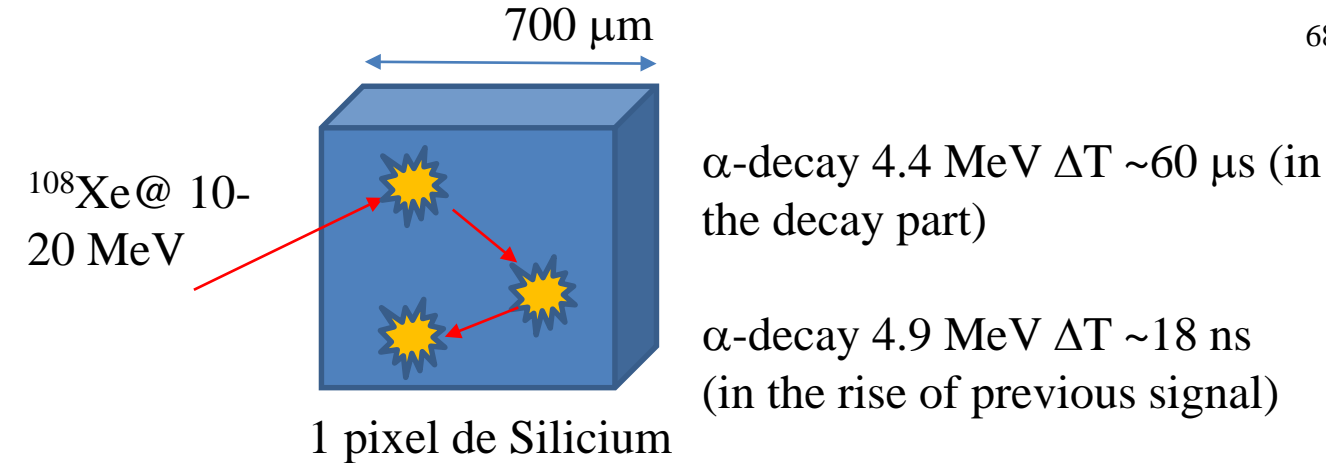
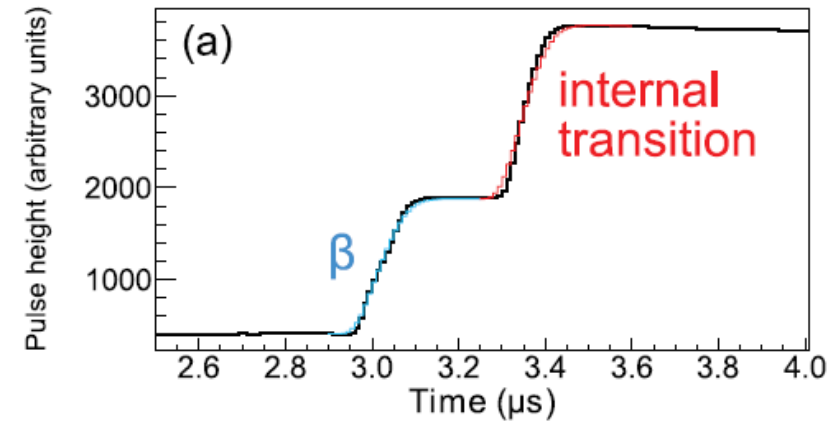
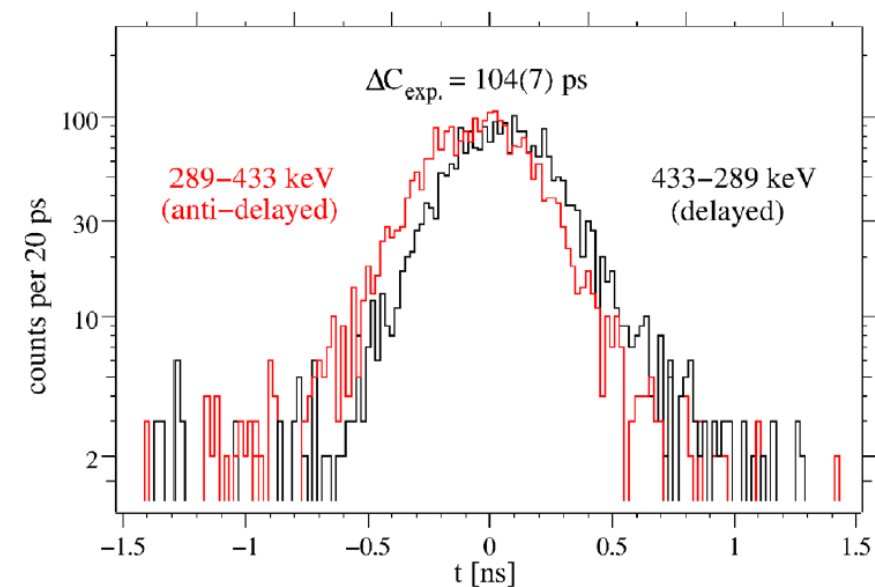
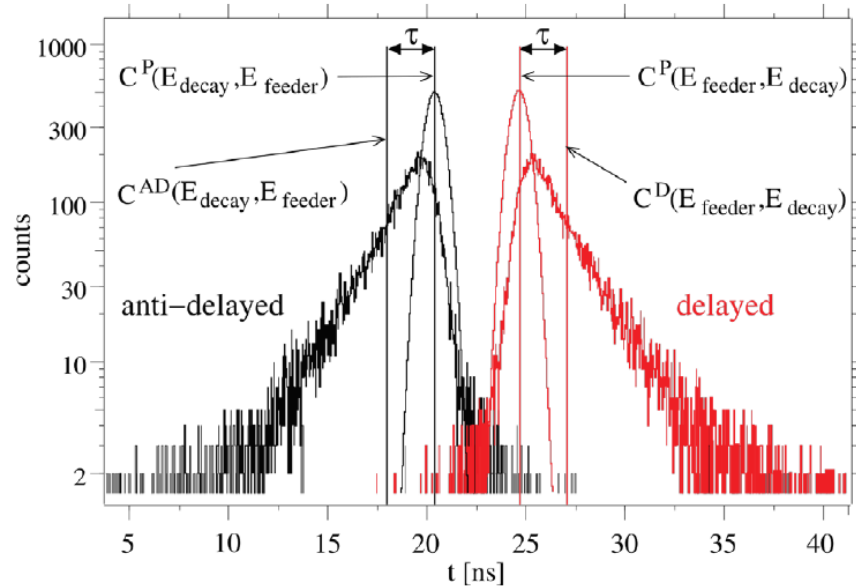


FIG. 3. The second derivative of the DSSD traces of events (a) 1 and (b) 2 compared to the second derivative of a reference double-decay trace (see text for details) with a time delay from 0 to 60 ns between the consecutive decays. The reference decay events with lower amplitude are escape events.

Double dérivée de la montée du Signal

S. Suchyta et al. Phys. Rev. C 89, 021301(R) (2014)





En physique nucléaire on mesure des temps de la 100 ps à la ms

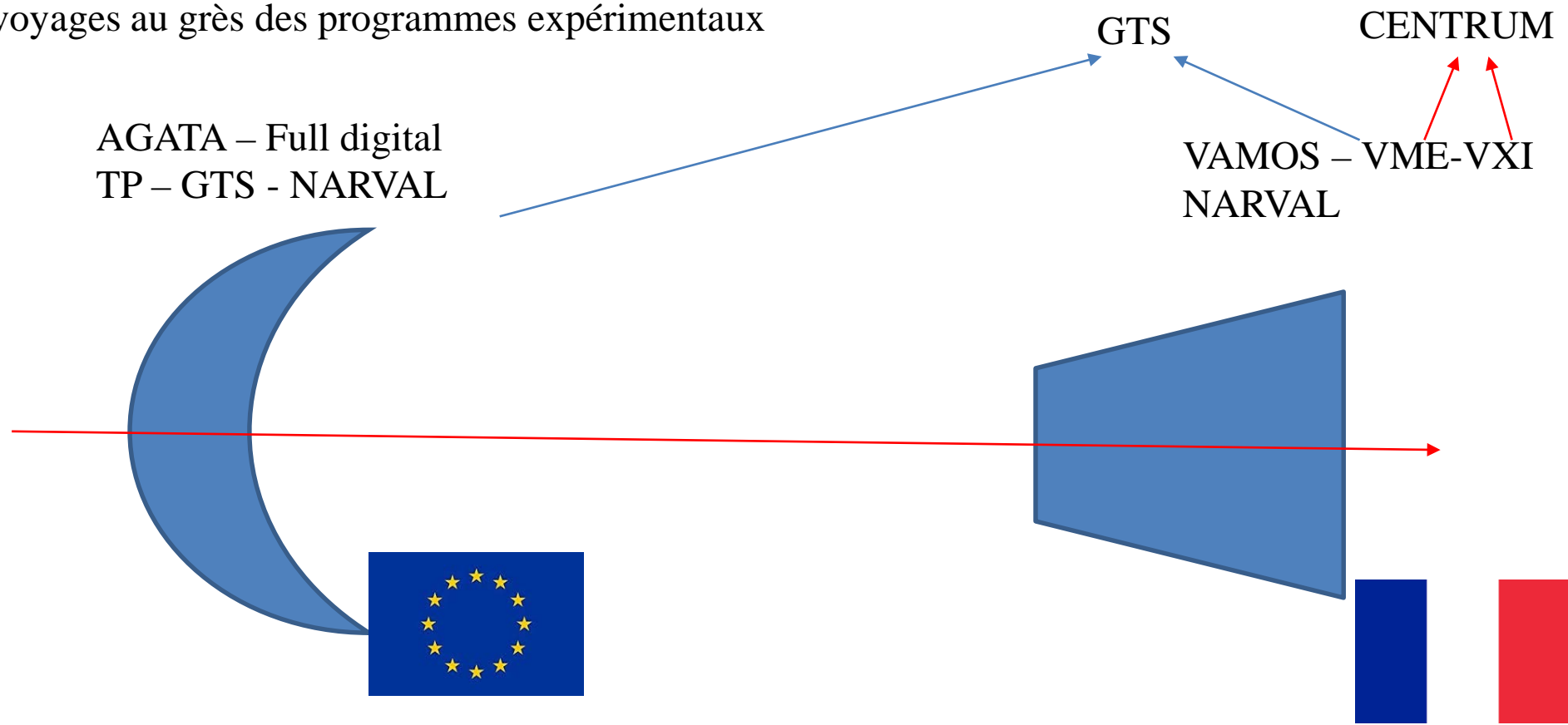
- Temps de vol de particule
- Temps de vie nucléaire (alpha, proton, gamma)

Les TAC analogiques + discriminateur à fraction constante ont été remplacé par des CFD numérique sur interpolation des traces + la prise en compte d'effet lié a la fonction de réponse des matériaux selon la position de la collection de charge.

Les instruments de la physique nucléaire sont construits par des collaborations indépendantes.

Une campagne de mesure voit le mariage temporaire d'instruments développés dans des cadres parfois très différents et qui évolue

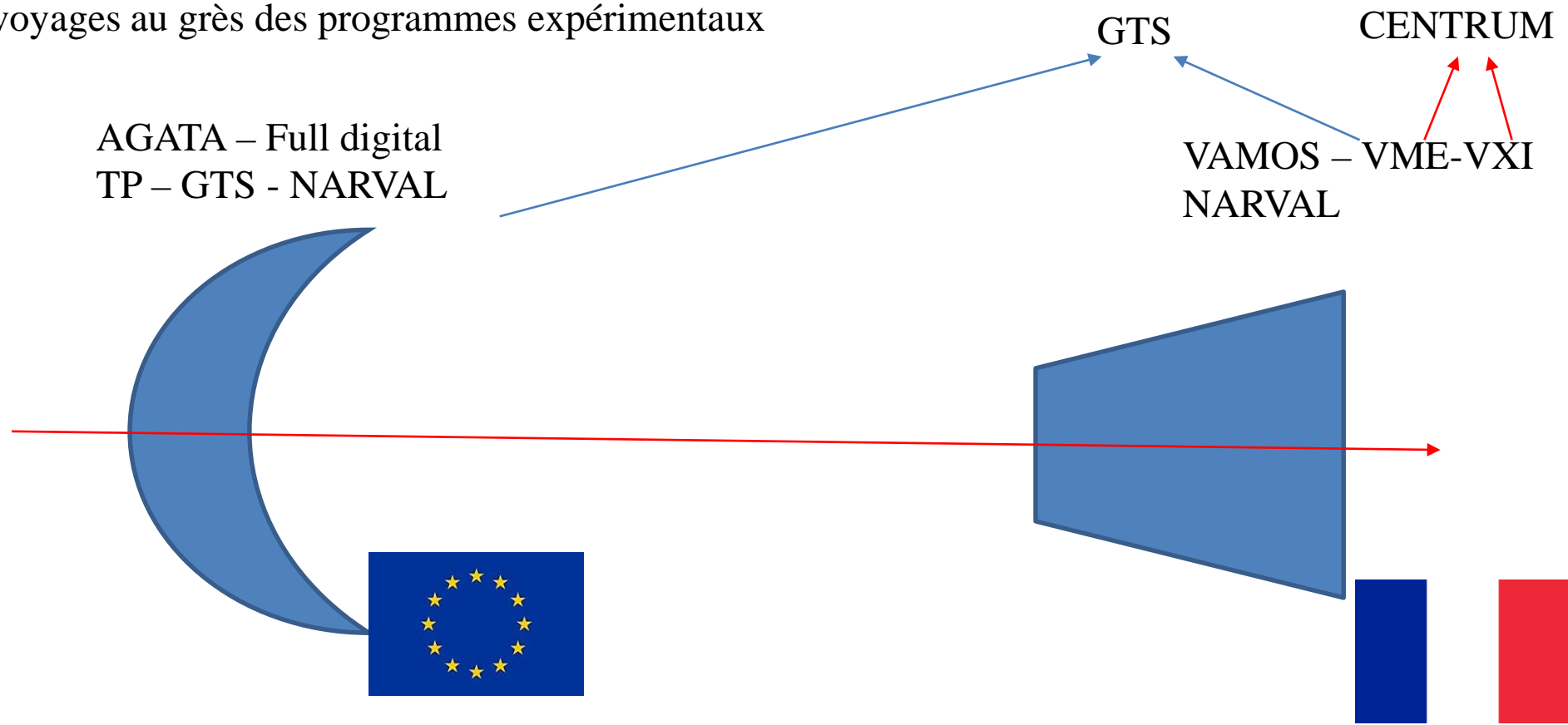
Les instruments voyagent au grès des programmes expérimentaux



Les instruments de la physique nucléaire sont construits par des collaborations indépendantes.

Une campagne de mesure voit le mariage temporaire d'instruments développés dans des cadres parfois très différents et qui évolue

Les instruments voyagent au grès des programmes expérimentaux

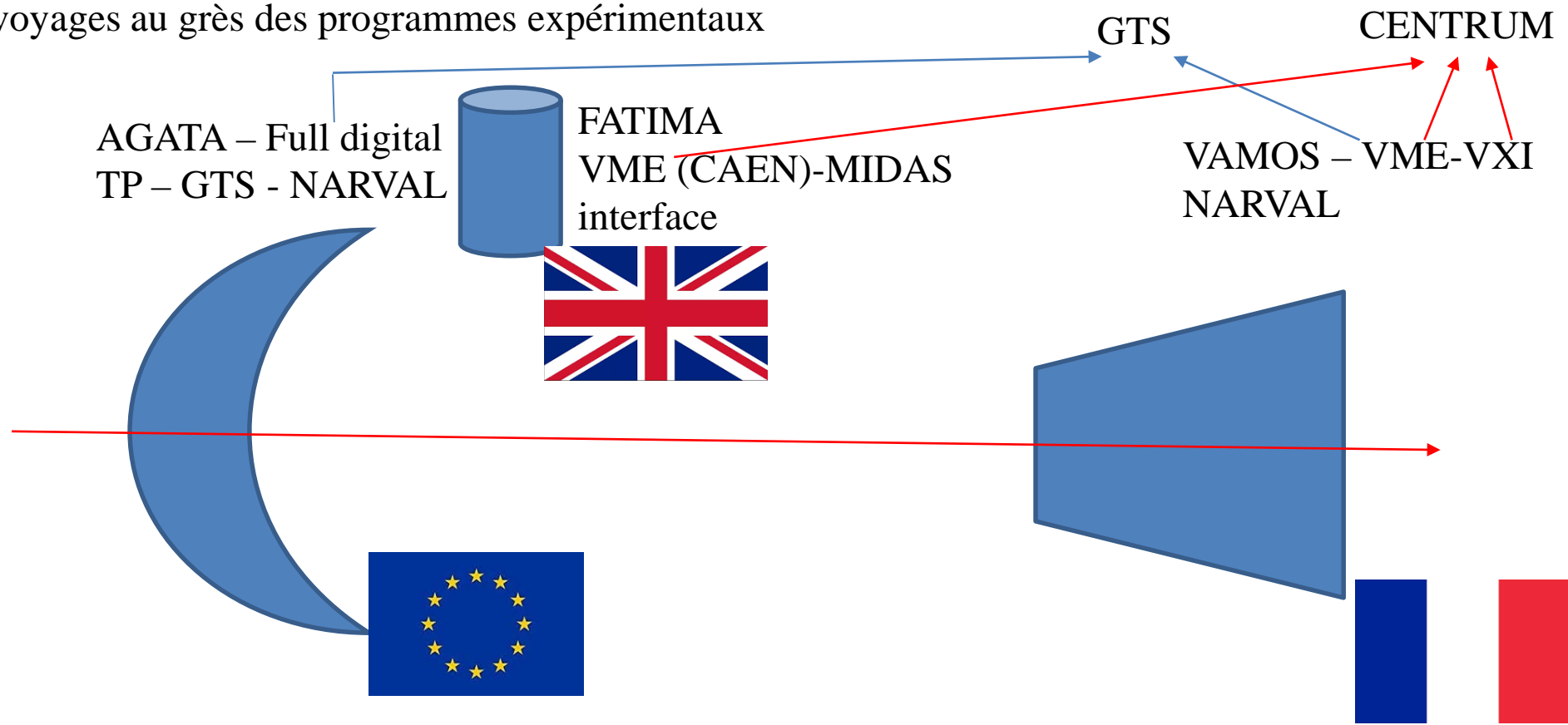


2016

Les instruments de la physique nucléaire sont construits par des collaborations indépendantes.

Une campagne de mesure voit le mariage temporaire d'instruments développés dans des cadres parfois très différents et qui évolue

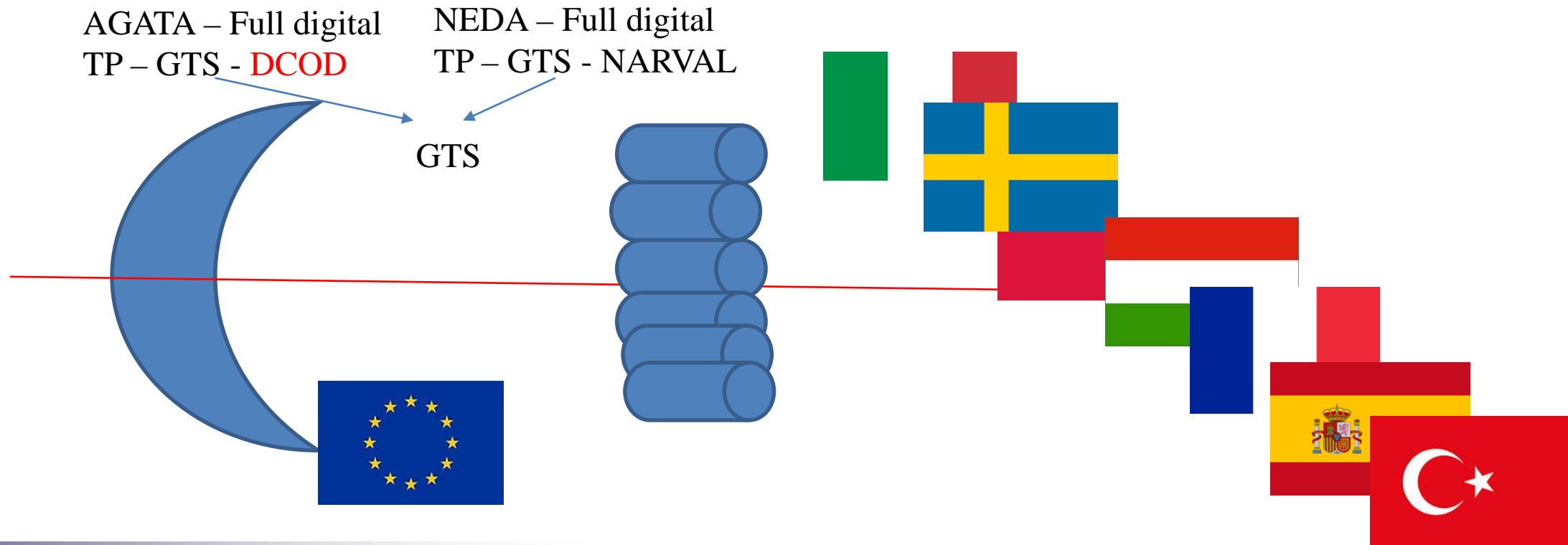
Les instruments voyagent au grès des programmes expérimentaux



Les instruments de la physique nucléaire sont construits par des collaborations indépendantes.

Une campagne de mesure voit le mariage temporaire d'instruments développés dans des cadres parfois très différent et qui évolue

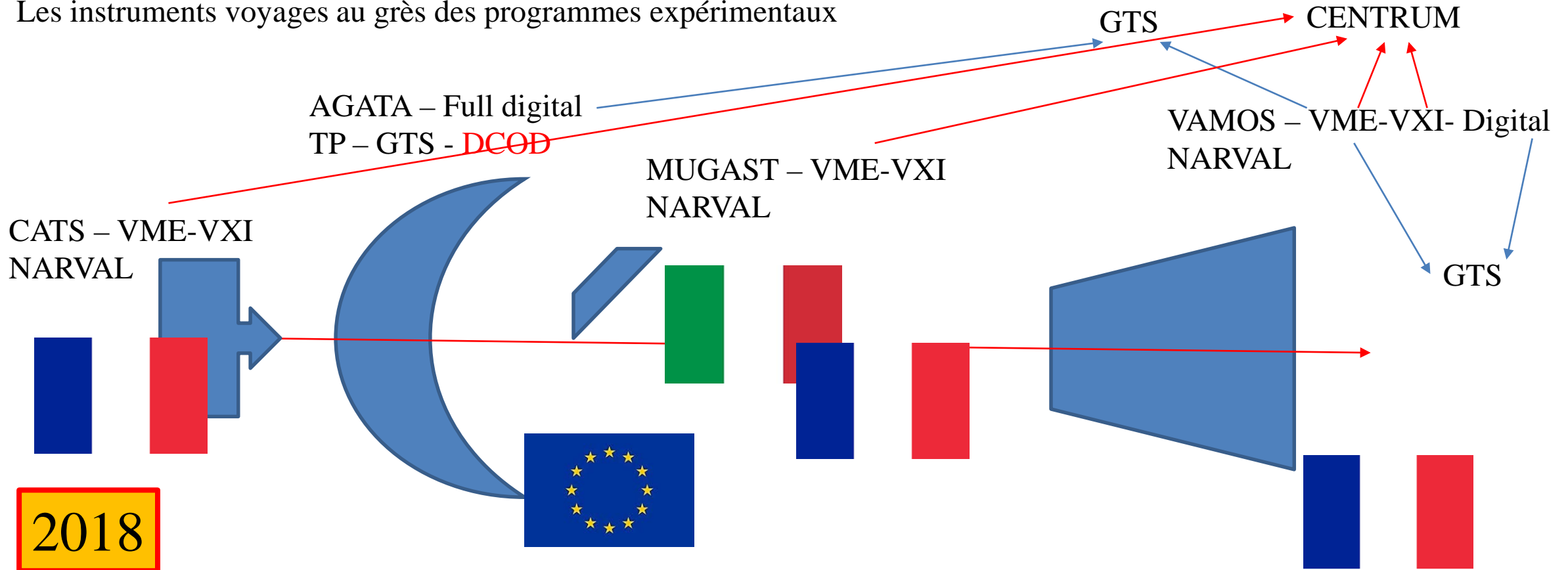
Les instruments voyagent au grès des programmes expérimentaux



Les instruments de la physique nucléaire sont construits par des collaborations indépendantes.

Une campagne de mesure voit le mariage temporaire d'instruments développés dans des cadres parfois très différent et qui évolue

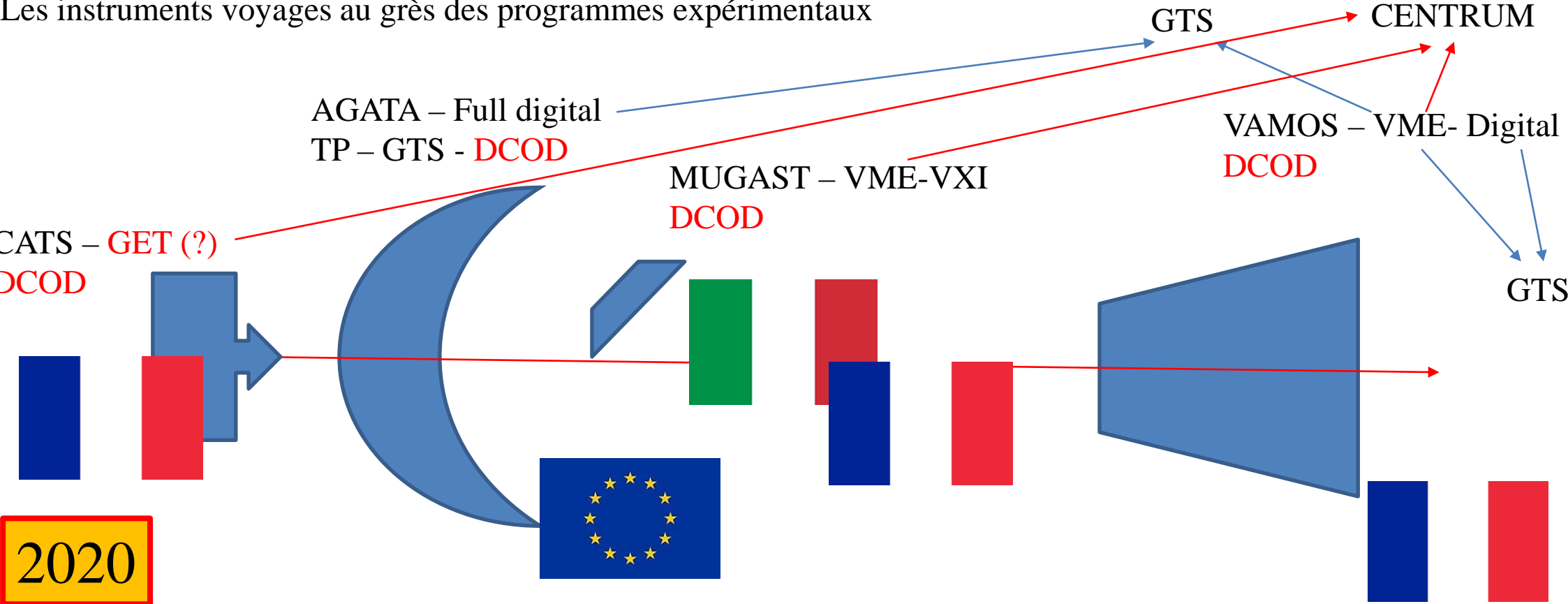
Les instruments voyagent au grès des programmes expérimentaux



Les instruments de la physique nucléaires sont construits par des collaborations indépendantes.

Une campagne de mesure voit le mariage temporaire d'instruments développés dans des cadres parfois très différent et qui évolue

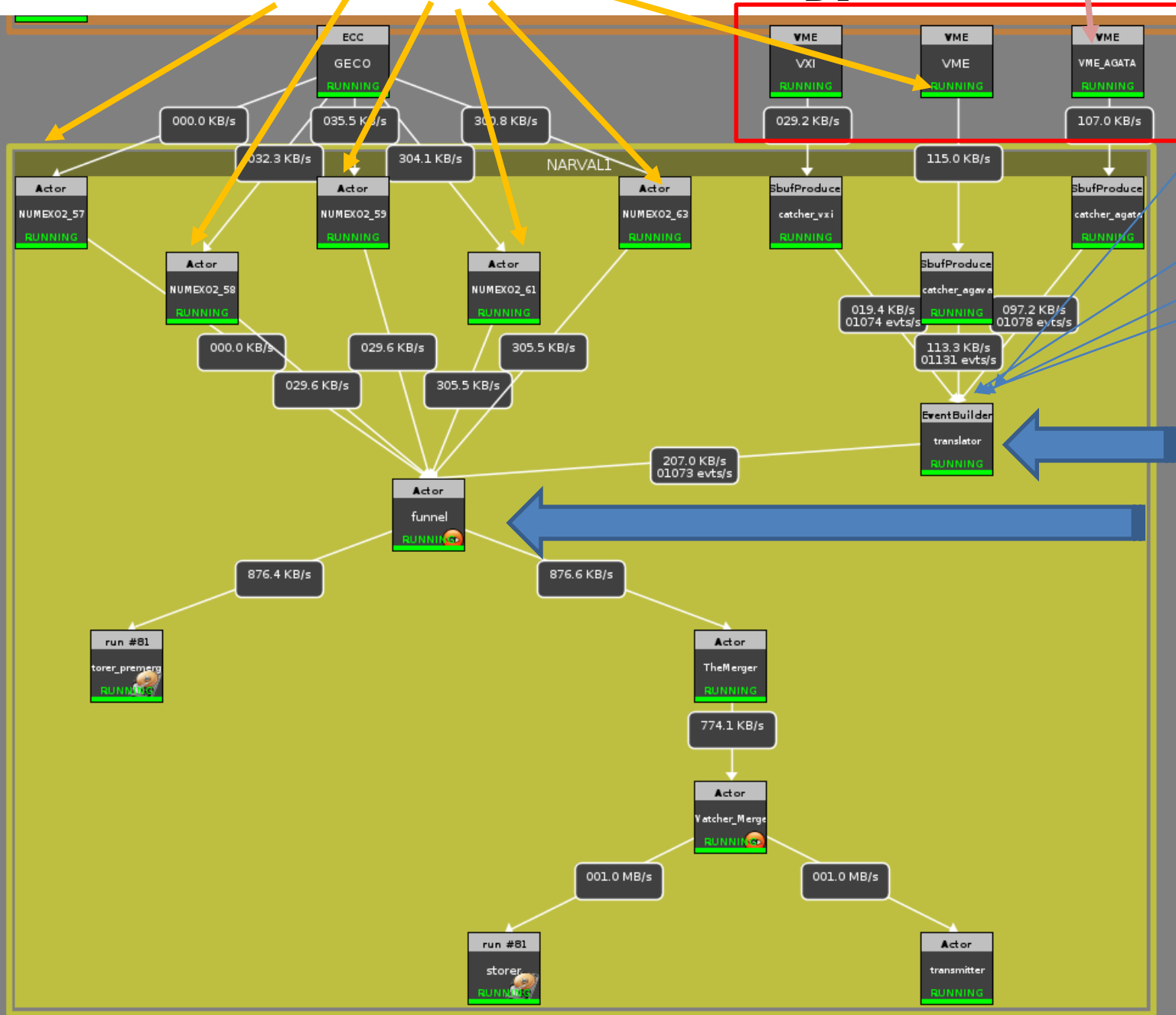
Les instruments voyages au grès des programmes expérimentaux



GTS Time Stamp « GANIL »

GTS Time Stamp « AGATA »

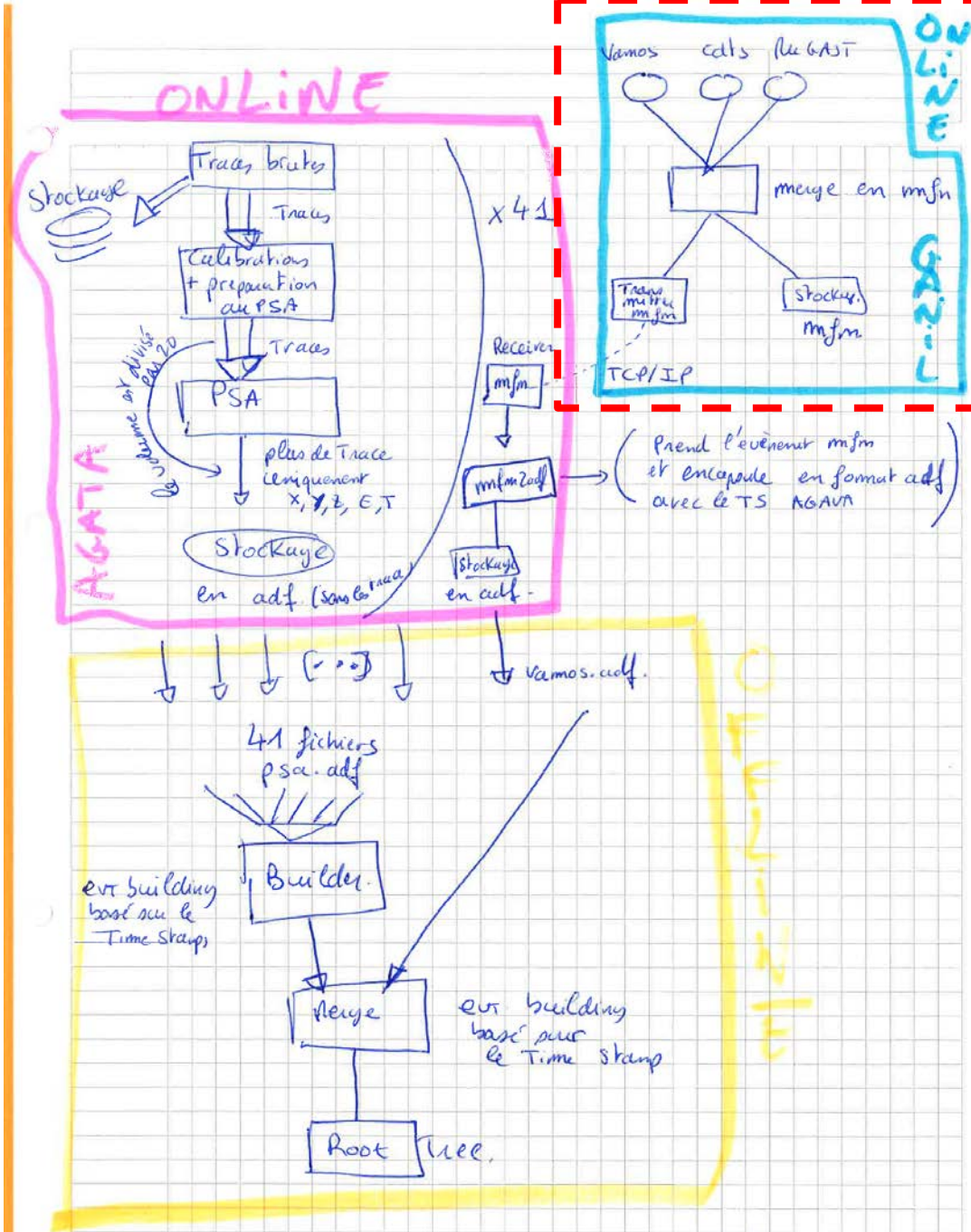
DT



VXI MUGAST + CATS

Merge sur le numero d'evt CENTRUM

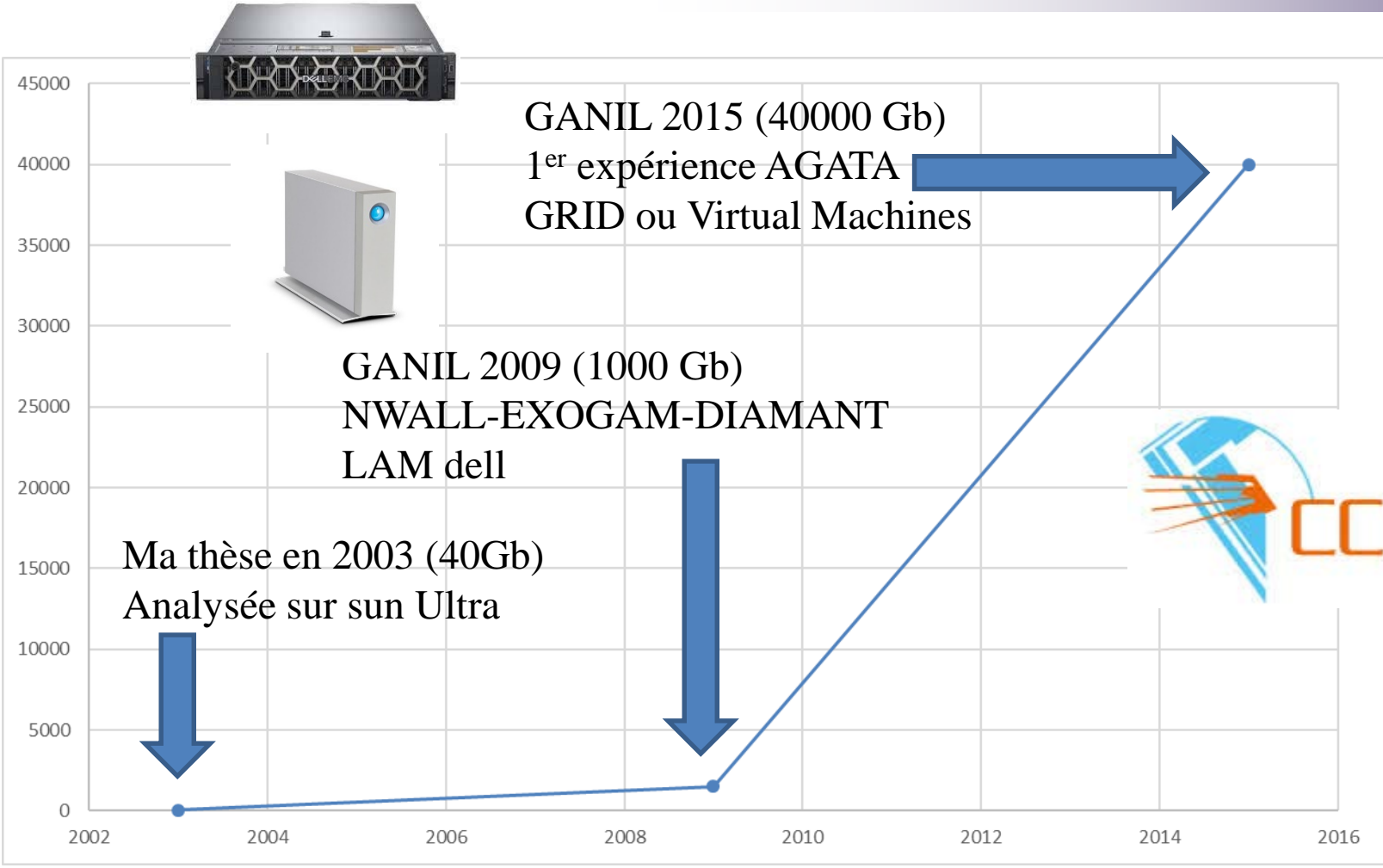
En entrée, chaque branche a dans le header le TS GTS « GANIL »
Merge sur le Time Stamp GTS « GANIL »



Previous slide

En sortie, le frame composite à le TS GTS « AGATA » extrait des données de la carte AGAVA dans le VME_AGATA

Le « big » data



Prédire le futur ?



L'information de haute résolution est dans le traitement de la trace

- La cadence d'échantillonnage doit augmenter : plus de point → plus d'information → beaucoup plus de débit
- Jusqu'où peut-on approcher la numérisation du signal
- L'interface Ip de sortie et lecture des data vers le data flow est critique (c'est plus quelques Ko d'une cpu VME) → c'est aujourd'hui totalement sous estimé.
- C'est de la haute résolution, le Jordanov doit évoluer
- Les instruments continueront de se déplacer et les couplages seront variés
- Il y a une clair divergence entre les temps de R&D, construction et fiabilisation et la durée de vie des composants et des technologies. (Certains projets sont obsolètes avant même d'être mis en opération)
- Les diagnostics ...
- Le calcul dans la data flow va devenir massif (trigger, IA, NN, parallélisme, virtual machine, large scale distributions des jobs etc ...)
- Fiabilisation car l'accès aux salles va se restreindre



Trace = Analyse en formes du signal
pour déterminer la position
pour identifier les particules
pour mesurer un temps et une energie