



« De la Physique au Détecteur »

Informatique, Simulation et Analyse

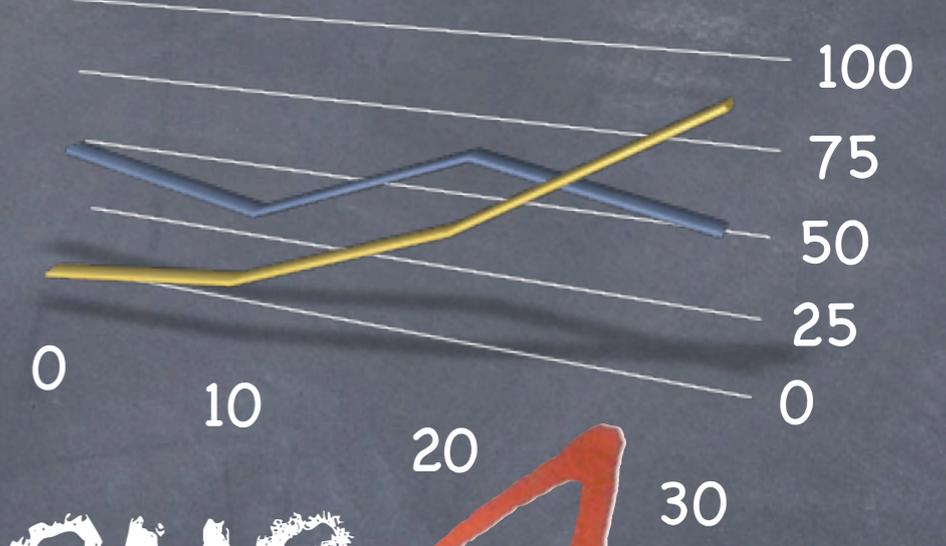
Q. Stężowski



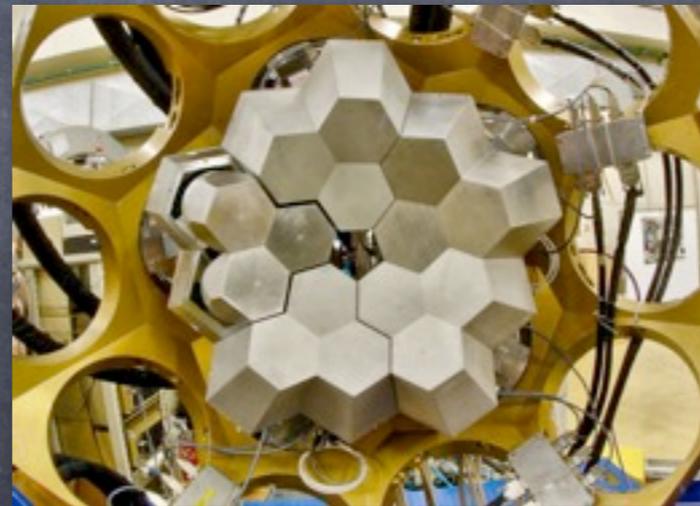
Fréjus 17-25 Novembre 2010

Informatique, Simulation et Analyse

... à la physique



Informatique, Simulation et Analyse

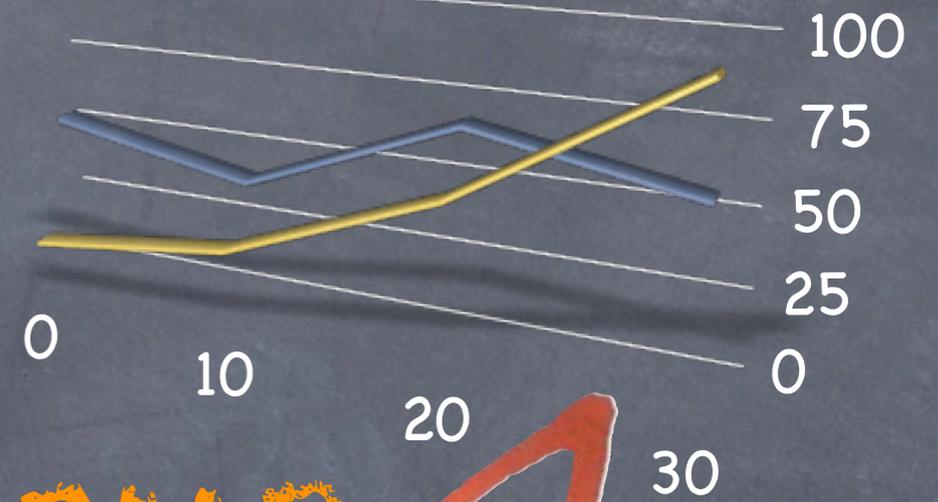


du détecteur ...



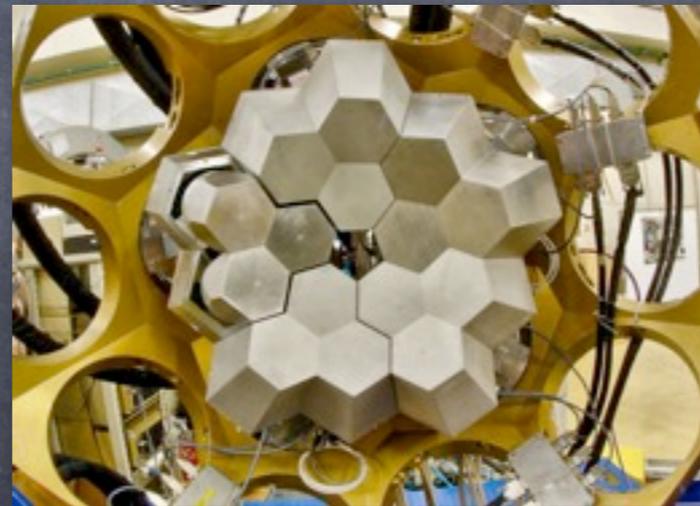


... à la physique



Informatique

Simulation et Analyse

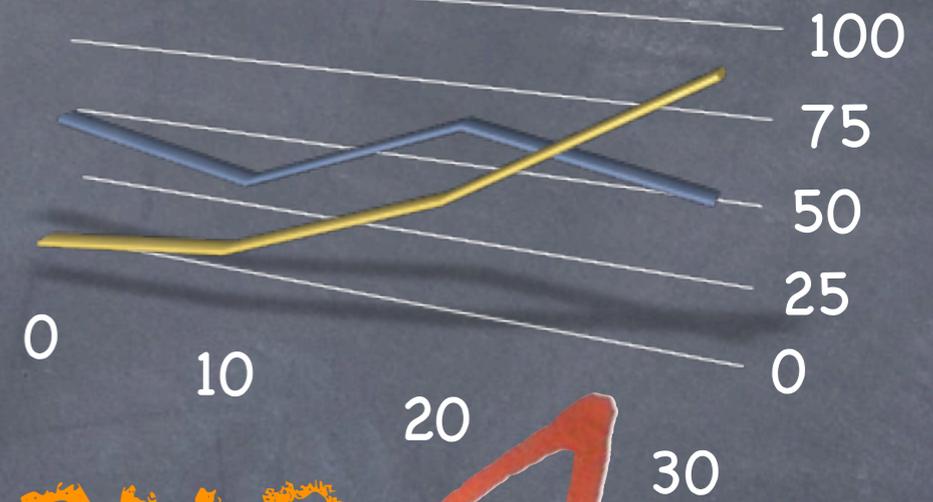


du détecteur ...





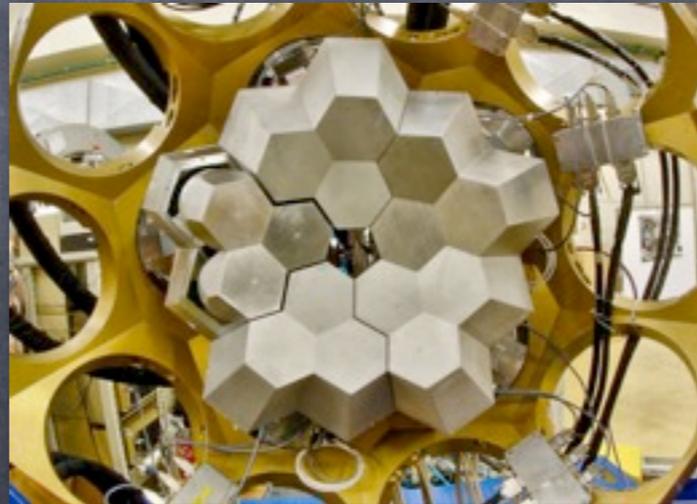
... à la physique



Informatique

Simulation et Analyse

???



du détecteur ...

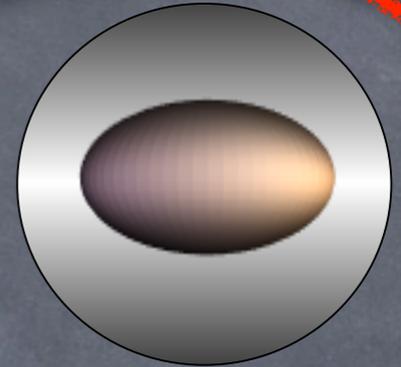


« De la Physique au Détecteur ... »

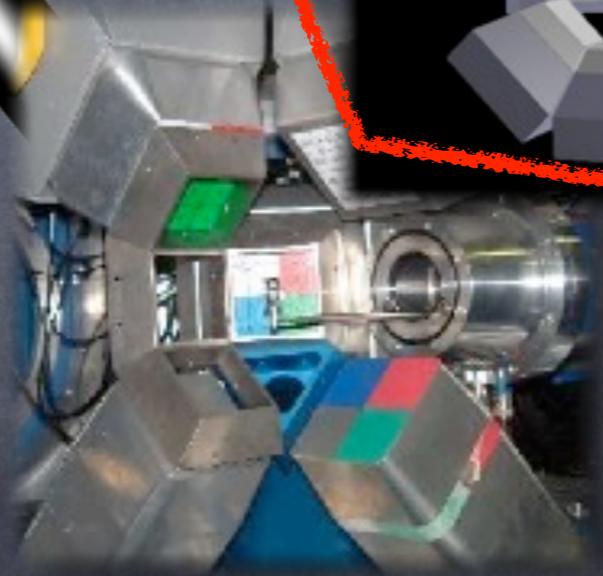
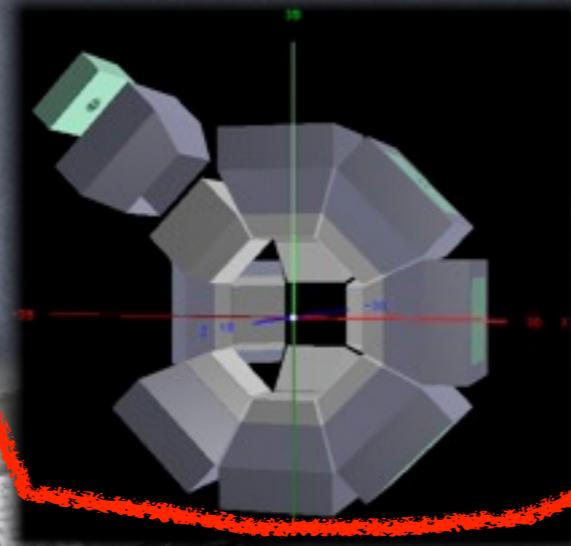
Structure Nucléaire



Simulation !!!

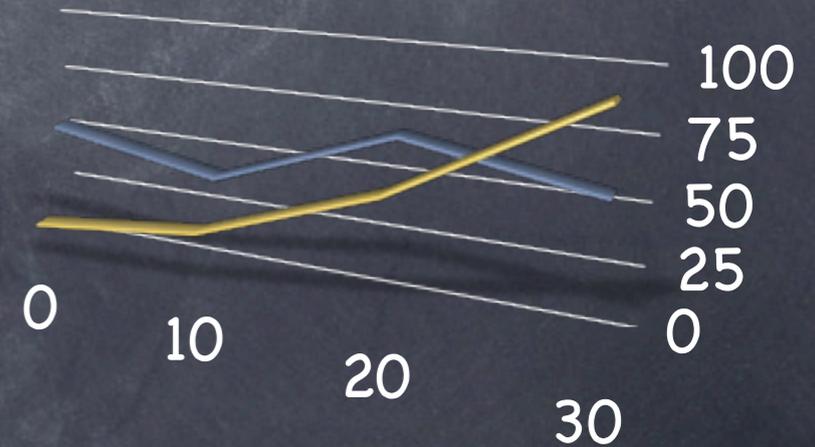


Modèle
Structure Nucléaire



EXOGAM

analyse



« ... Du Détecteur à la Mesure ? »

Généralités

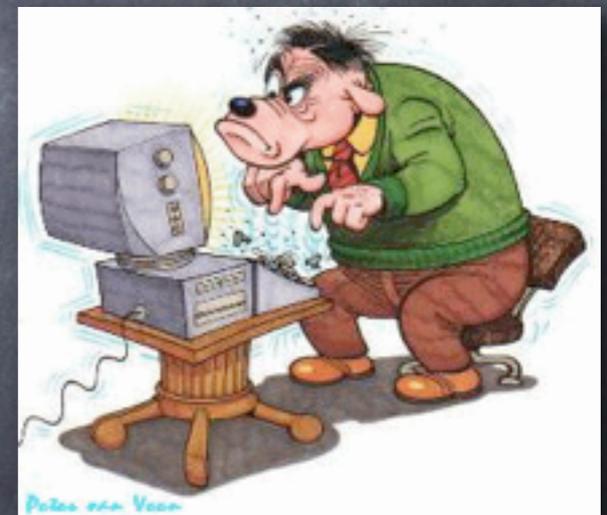
Analyse : extraire une mesure d'intérêt

→ dépend beaucoup de la physique !

Cette école : ... → physique des particules* → structure nucléaire → ...
(mais pas seulement)

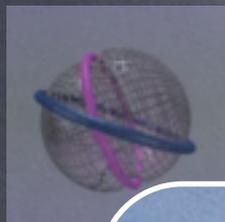
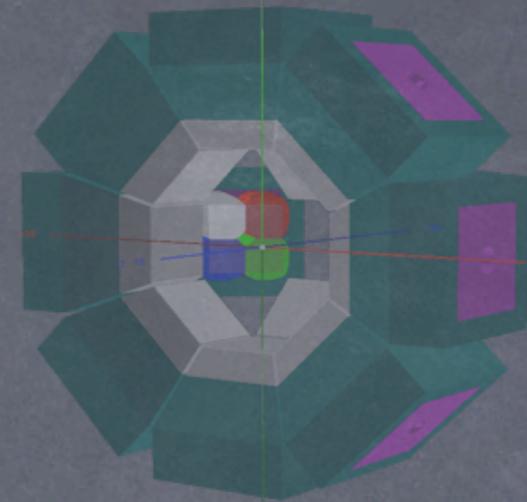
Mais, des points communs [outils/méthodes] :

- ① tenir compte des effets du détecteur
- ① la sélection des signaux (bruit de fond)
- ① établir les limites des mesures :
statistiques, systématiques, ajustements
- ① ...

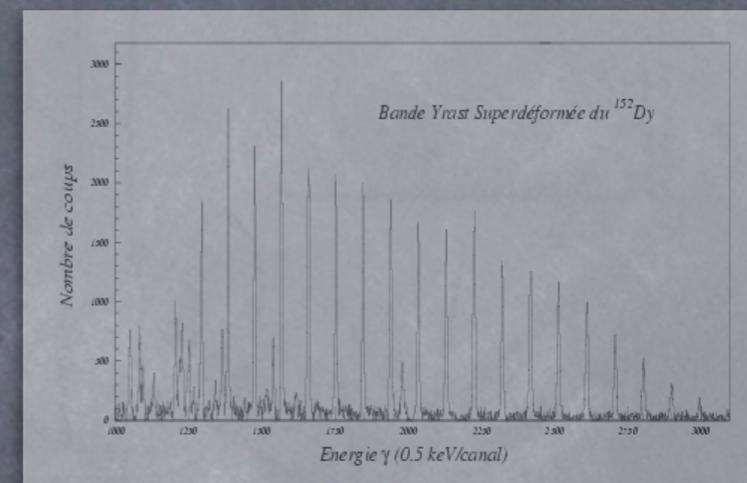
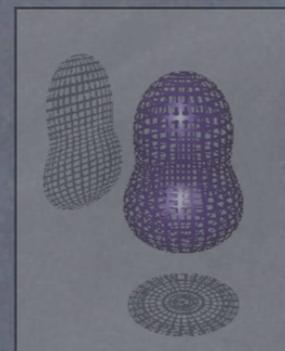


* <http://www.in2p3.fr/actions/formation/PhyAuDet08/verderi.ppt>

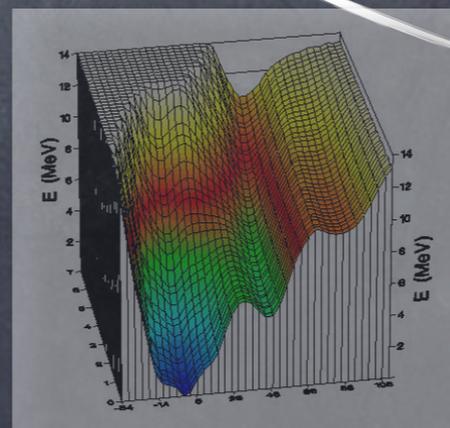
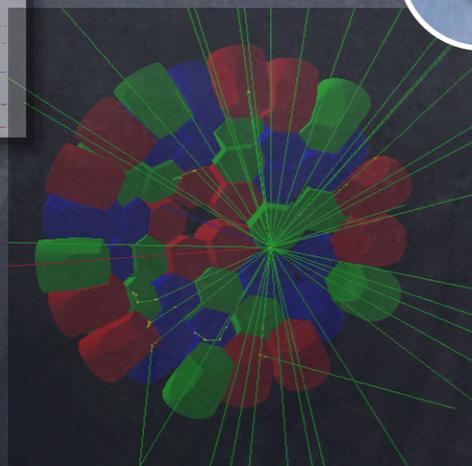
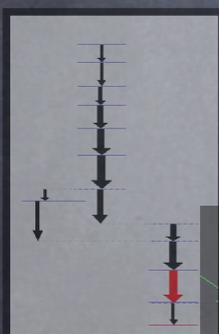
Plan de L'exposé



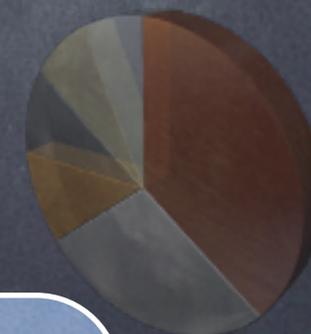
Structure Nucléaire



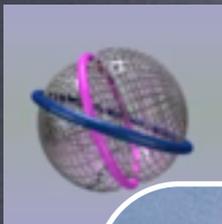
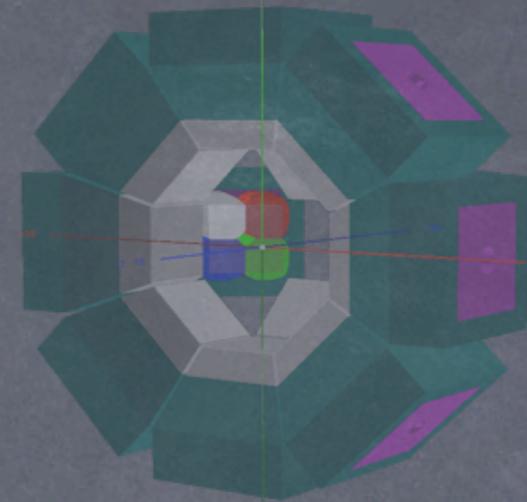
Monté Carlo



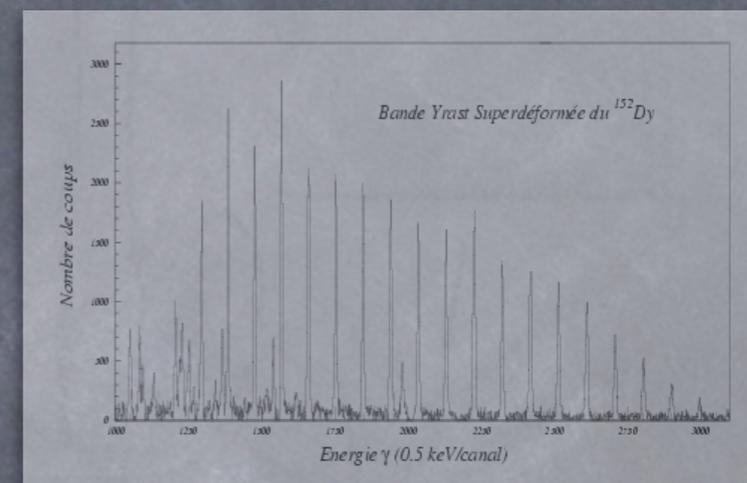
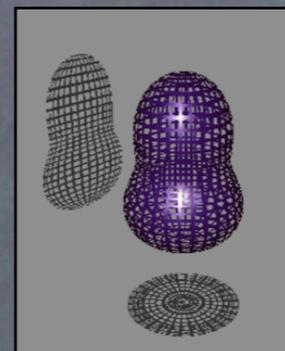
Analyse



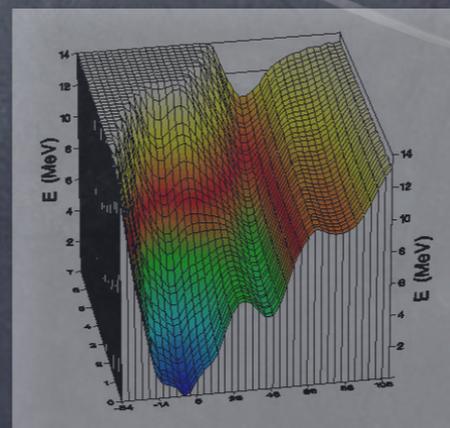
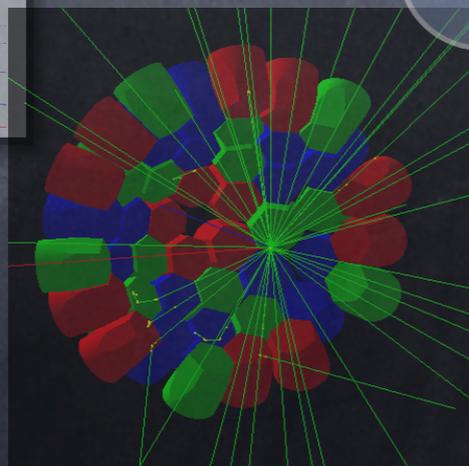
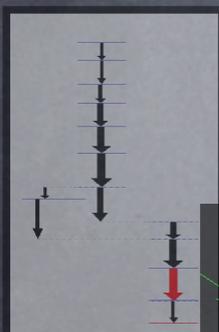
Plan de L'exposé



Structure Nucléaire



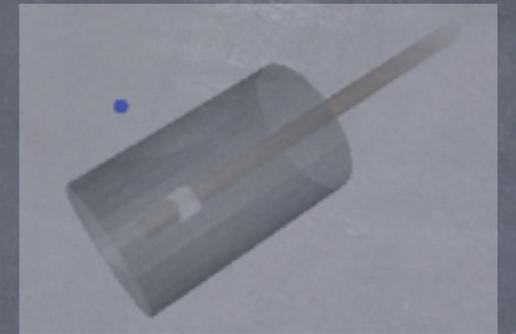
Monté Carlo



Analyse



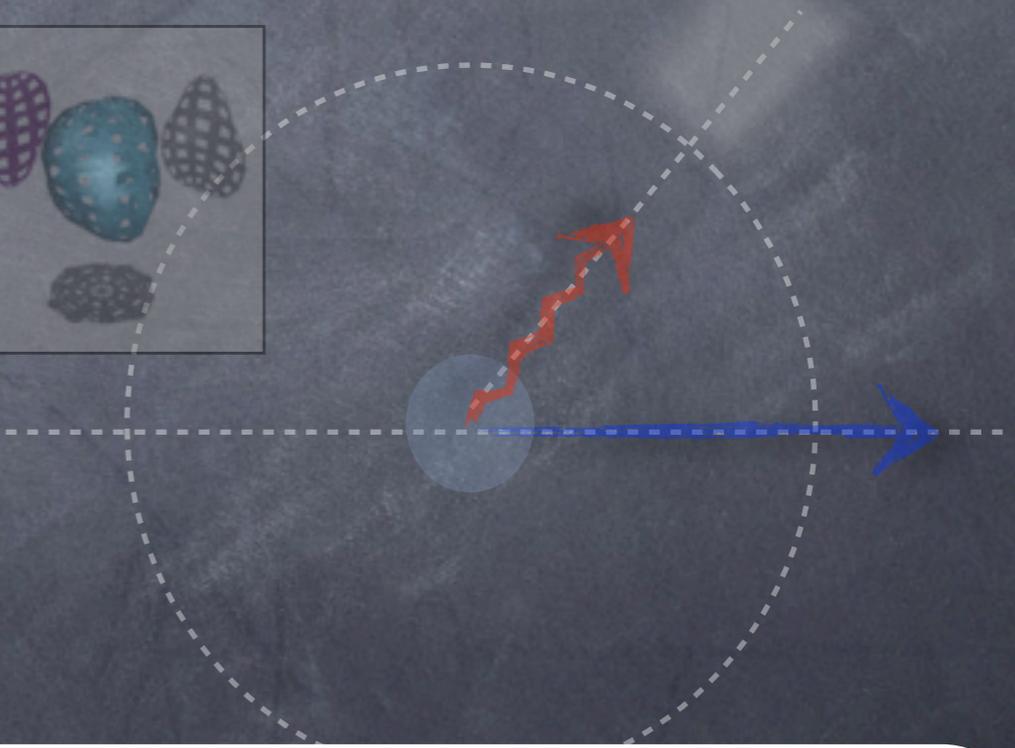
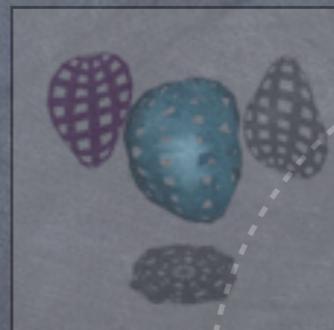
Plan de L'exposé



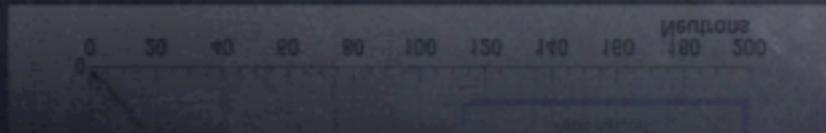
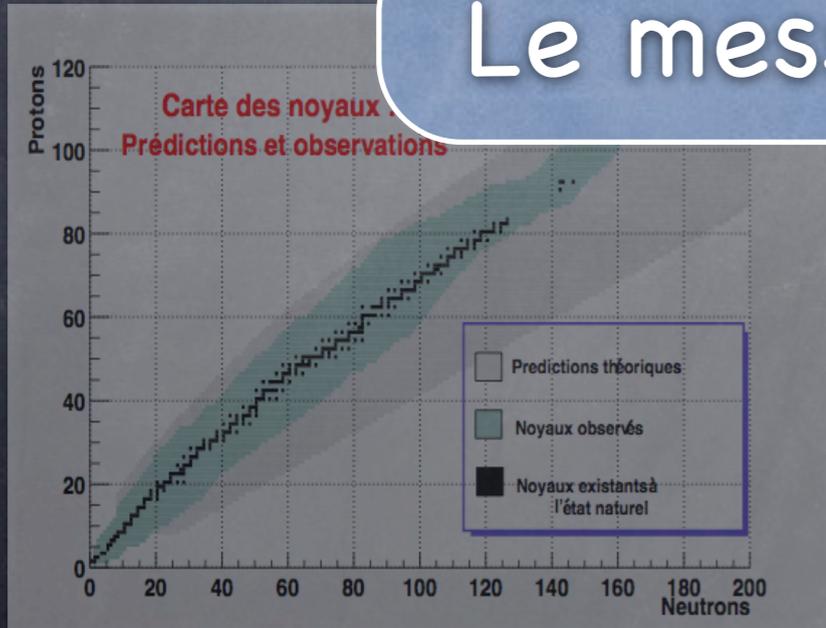
Réactions

Structure Nucléaire

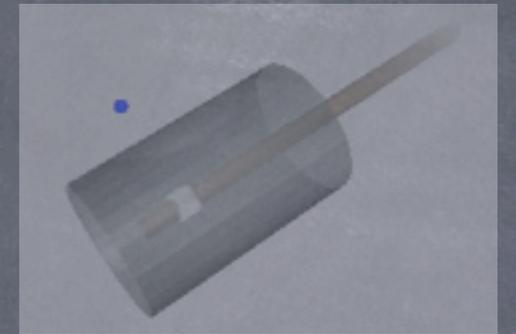
Le messenger: γ



Les contraintes

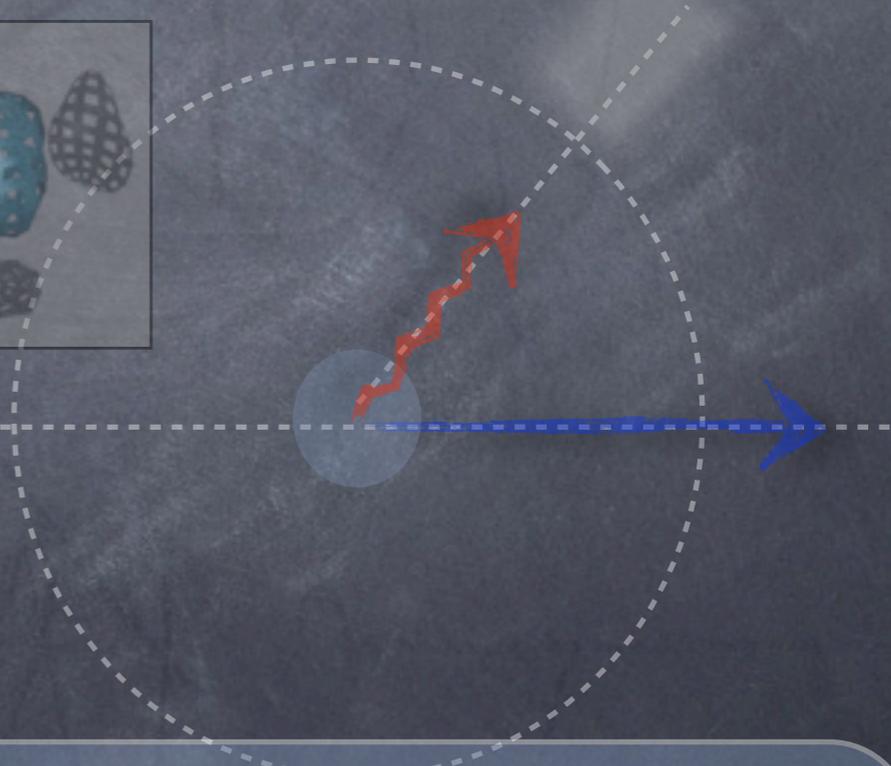
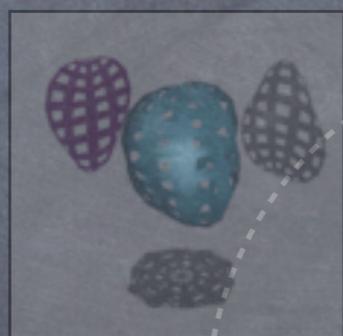


Plan de L'exposé



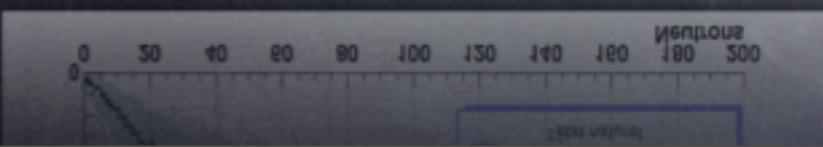
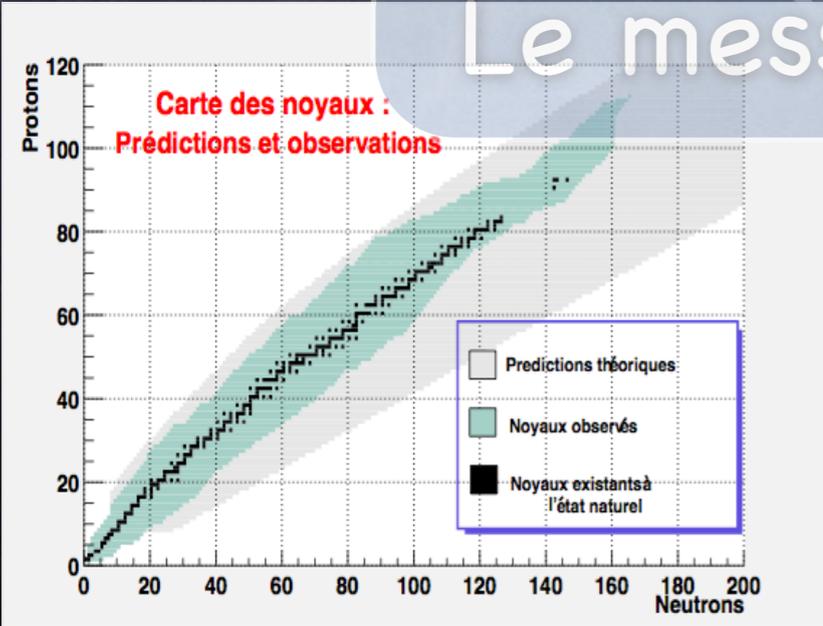
Réactions

Structure Nucléaire



Le messenger: γ

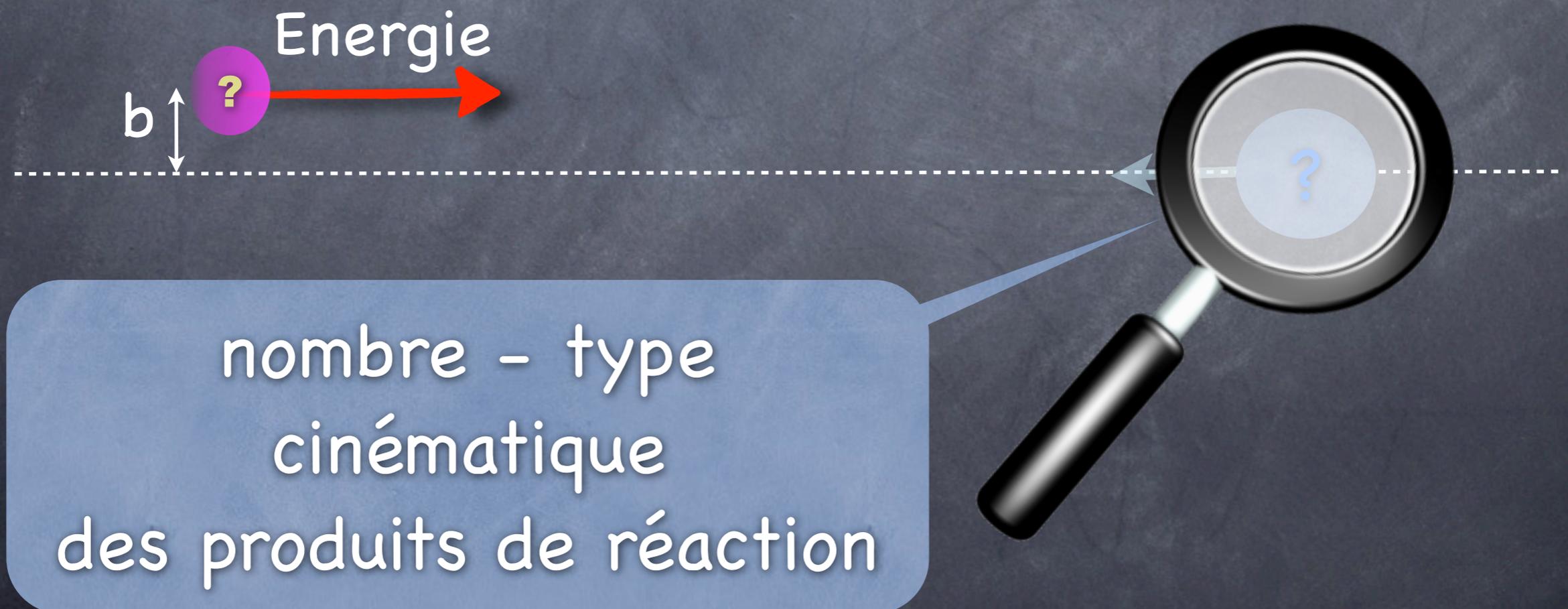
Les contraintes



Accélérateurs / collisions

Pb : Observer l'infiniment petit ?

↳ collisions particules / noyaux



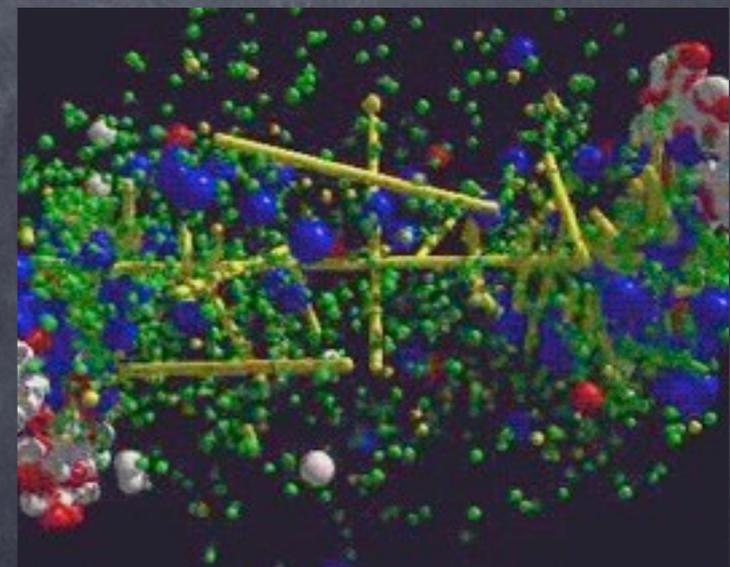
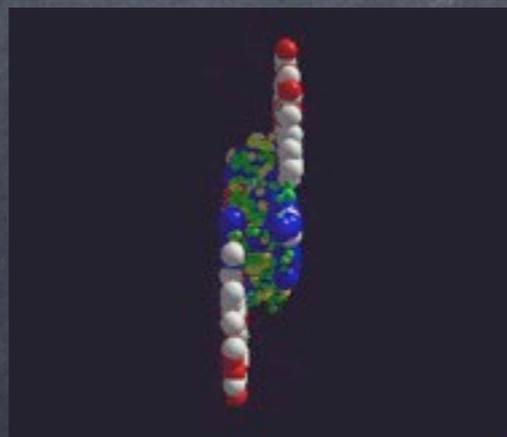
nombre - type
cinématique
des produits de réaction

Accélérateurs / collisions

Les premières ?

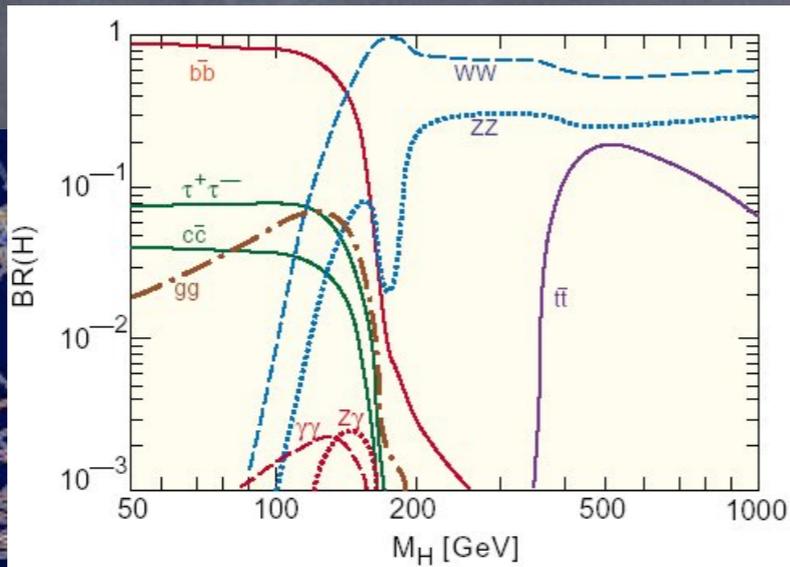


Alice : (plasma quarks-gluons) $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$

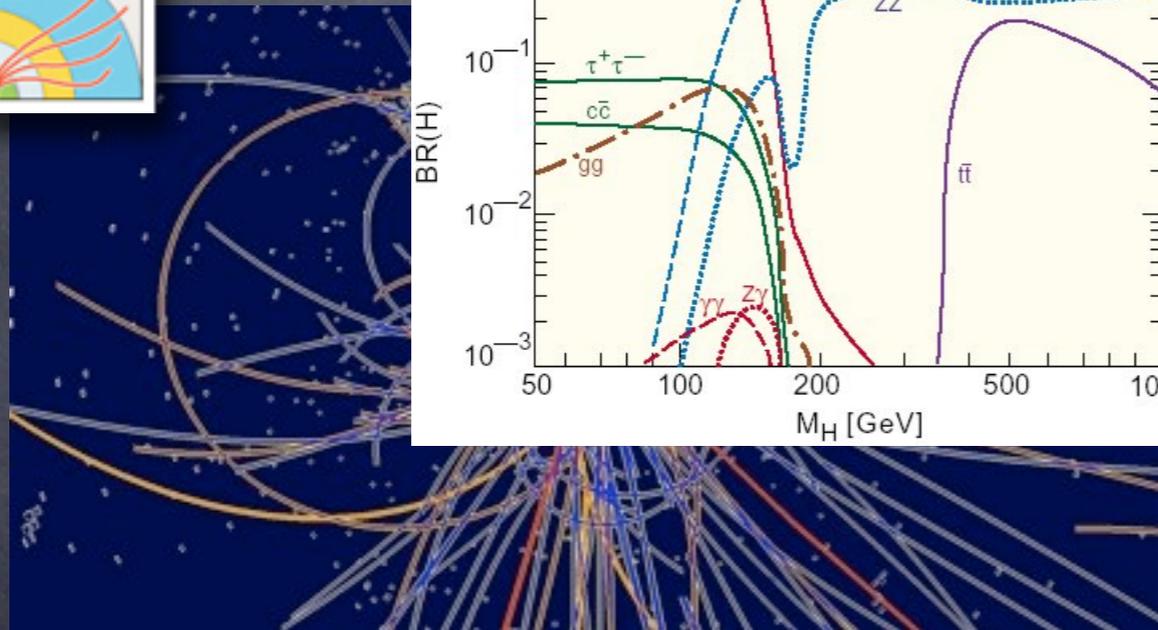


Accélérateurs / collisions

CMS : collisions proton - proton



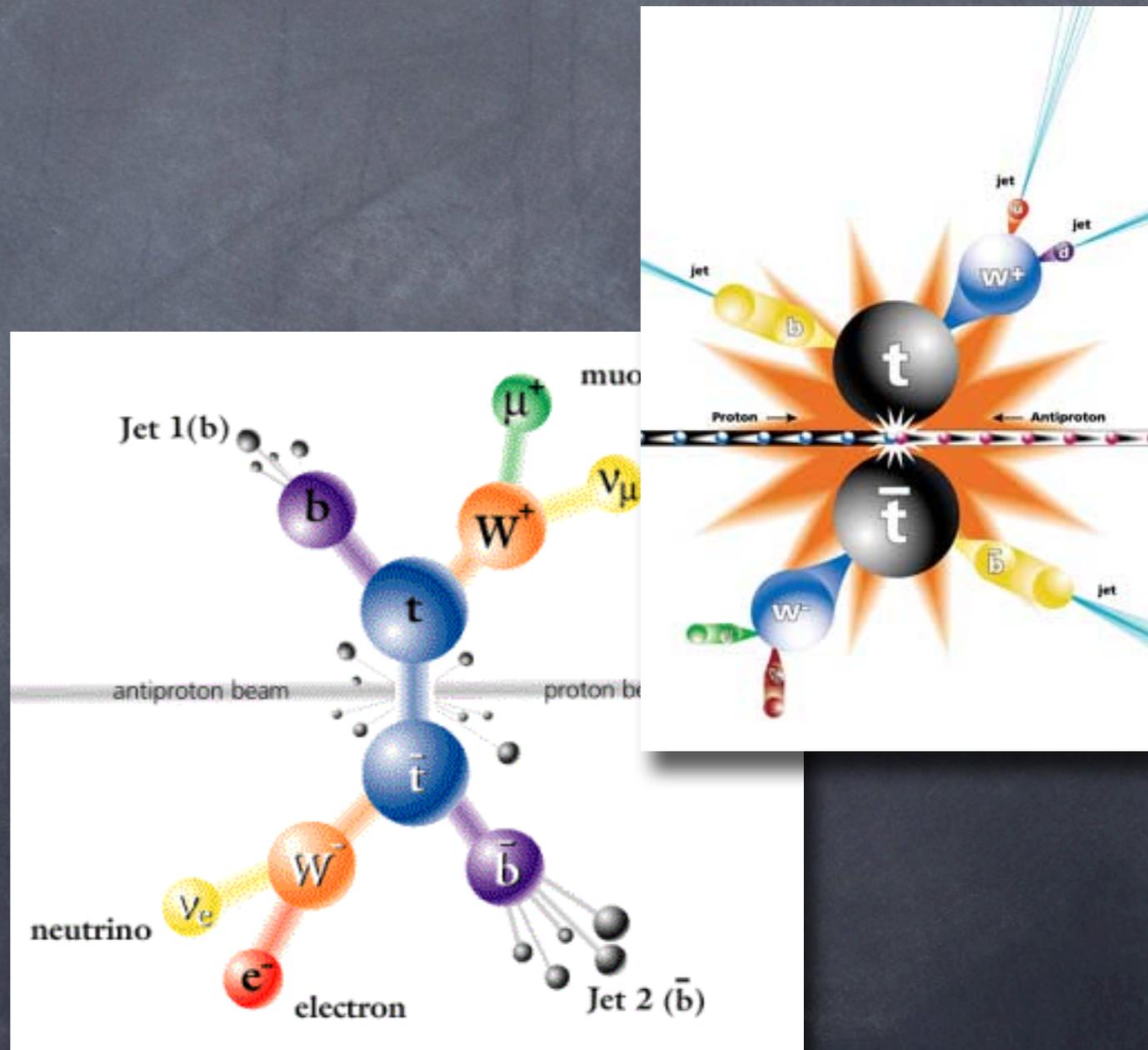
autour du top : jets



Le Higgs : $gg \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$

Canal 'propre'
mais

section efficace faible



Accélérateurs / collisions

Pour la Physique, Structure Nucléaire

→ collisions noyau / noyau, cible fixe

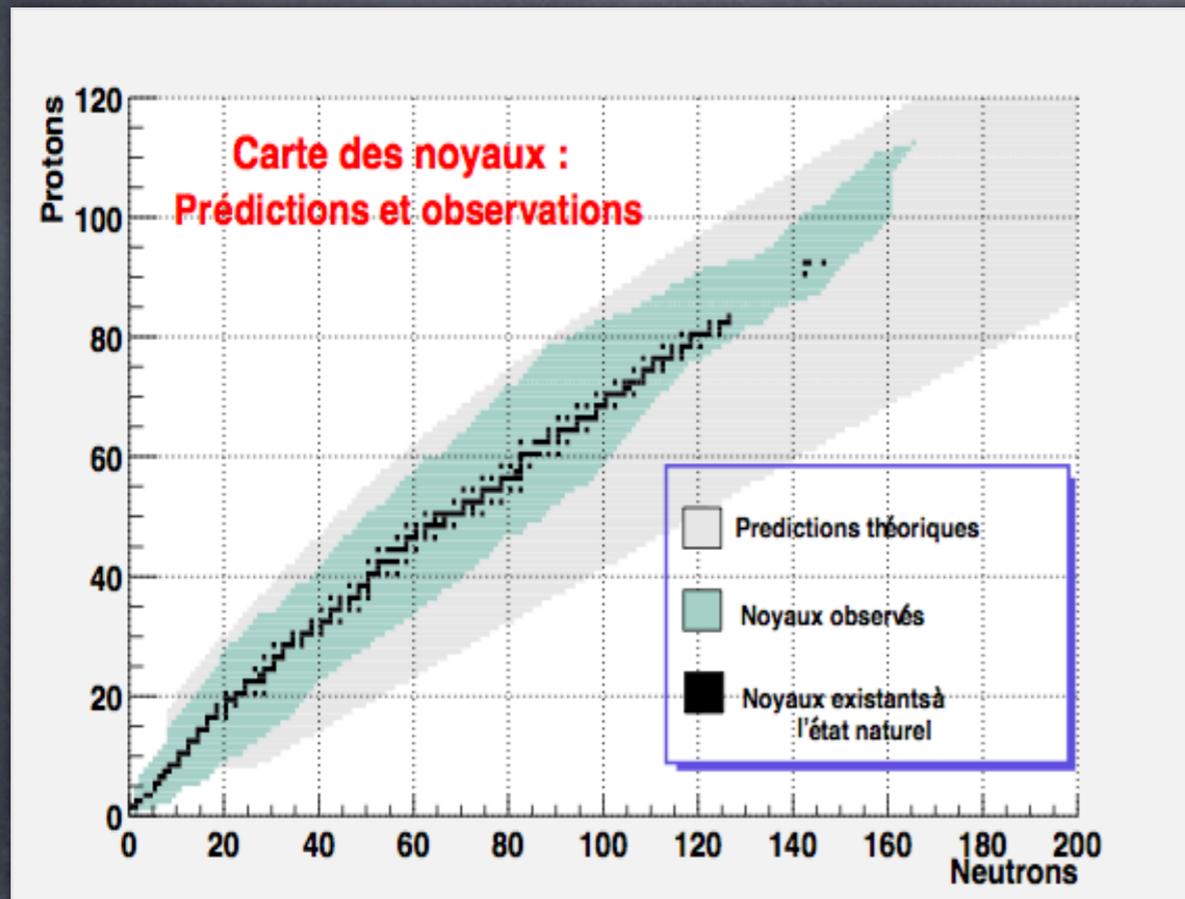


< 100 - γ , n, p, α , ions
~ MeV



Faisceaux stables / radioactifs

La variété des couples cible/faisceau est recherchée !!



Faisceaux stables :

~ 300 → 2000

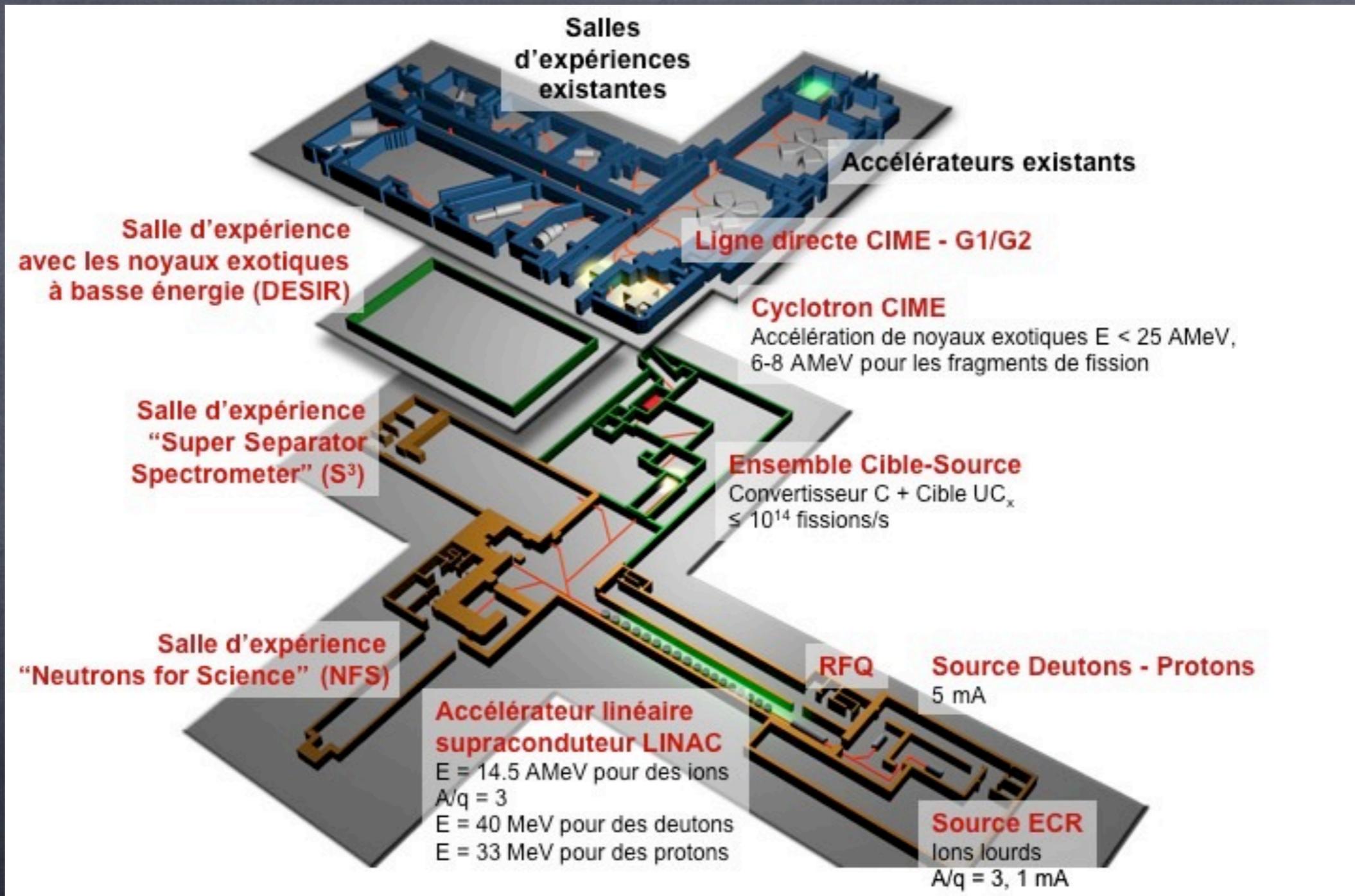
Faisceaux radioactifs :

~ 2000 → vers 5000



SPIRAL2 à GANIL

Systeme de Production d'Ions Radioactifs en Ligne de 2^{ème} génération



<http://www.ganil-spiral2.eu/>

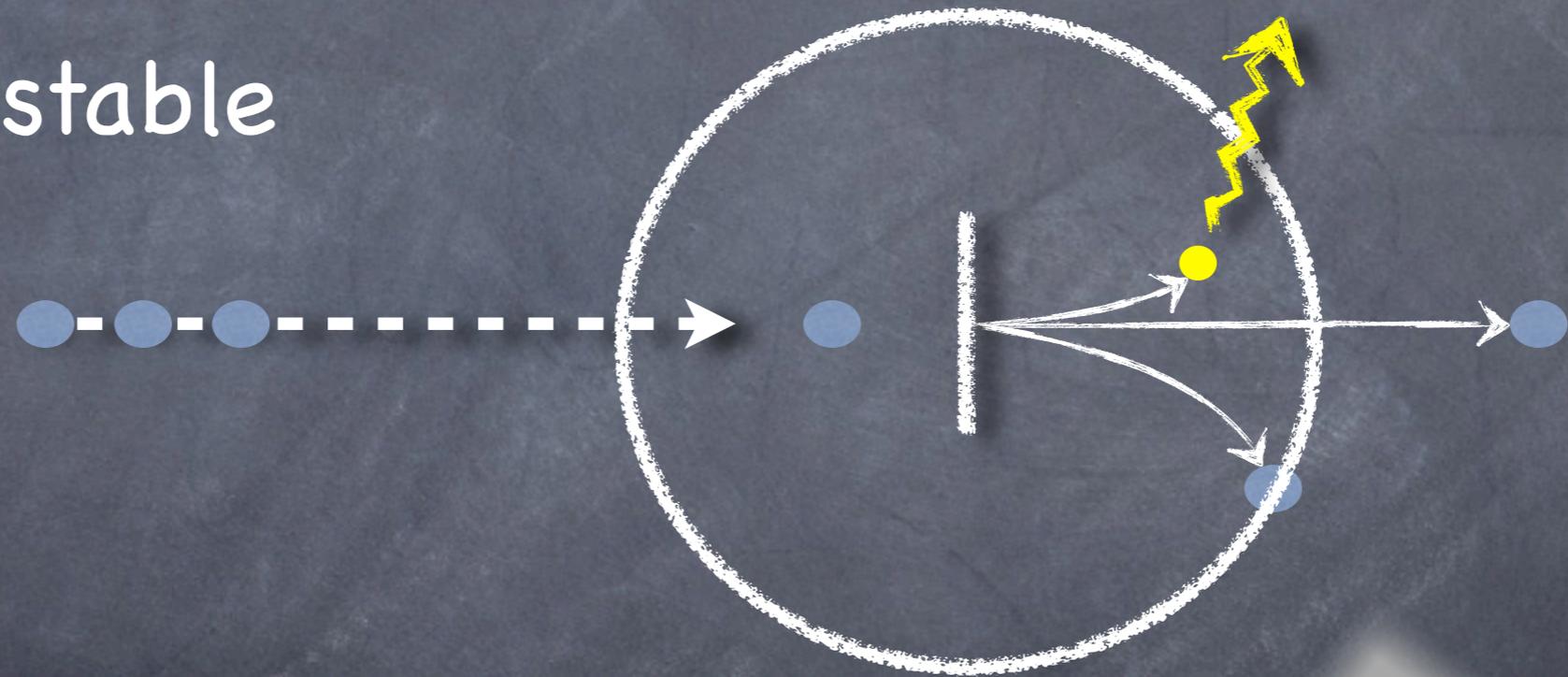
SPIRAL2 à GANIL



Faisceaux stables / radioactifs ...

Quel rapport avec l'Analyse ?

Faisceau stable

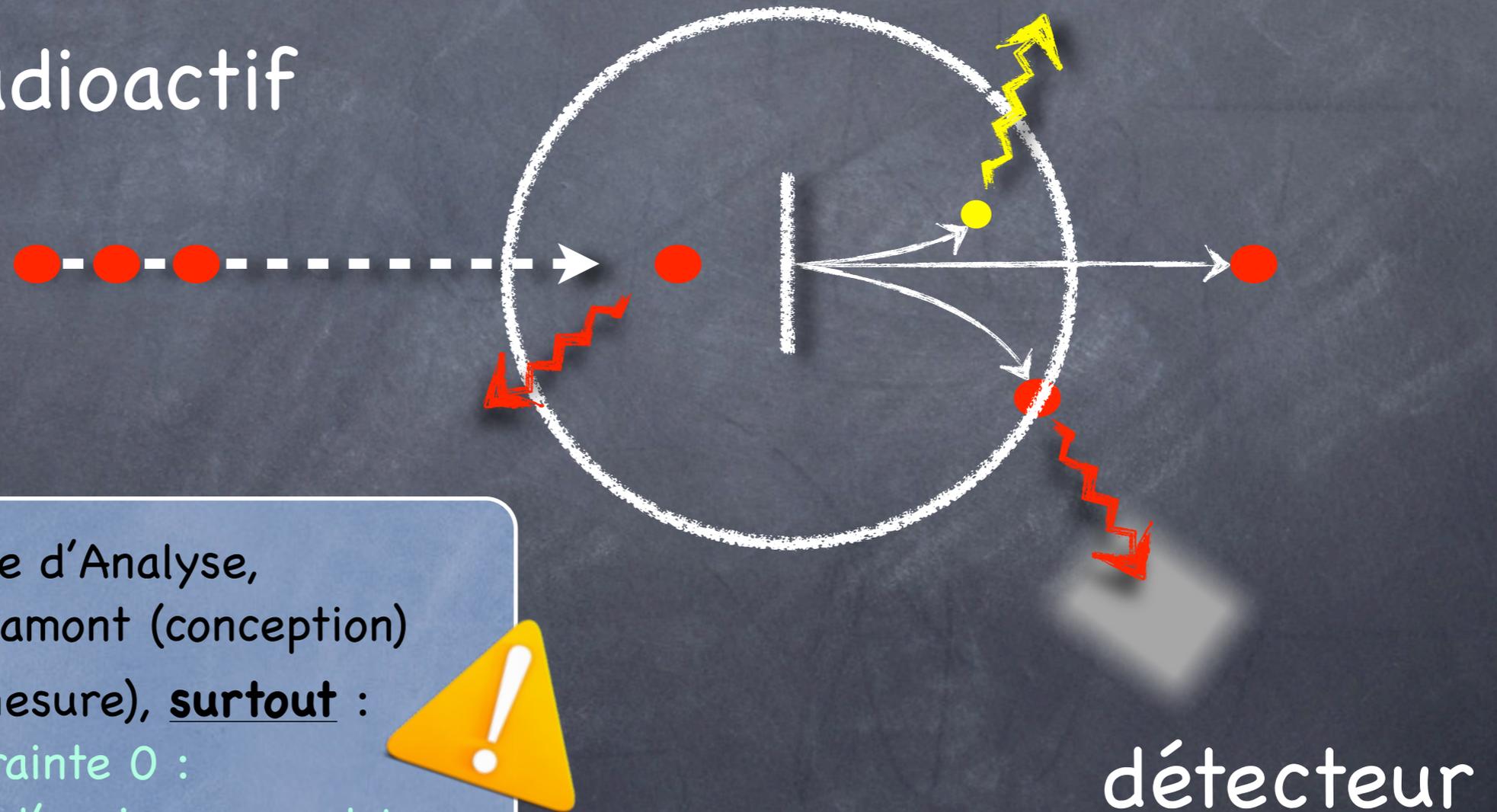


détecteur

Faisceaux stables / radioactifs ...

Quel rapport avec l'Analyse ?

Faisceau radioactif



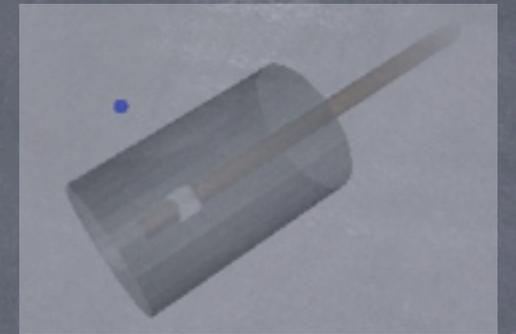
En terme d'Analyse,
que ce soit en amont (conception)
ou en aval (mesure), **surtout** :

Contrainte 0 :
ne pas oublier l'environnement !



détecteur

Plan de L'exposé

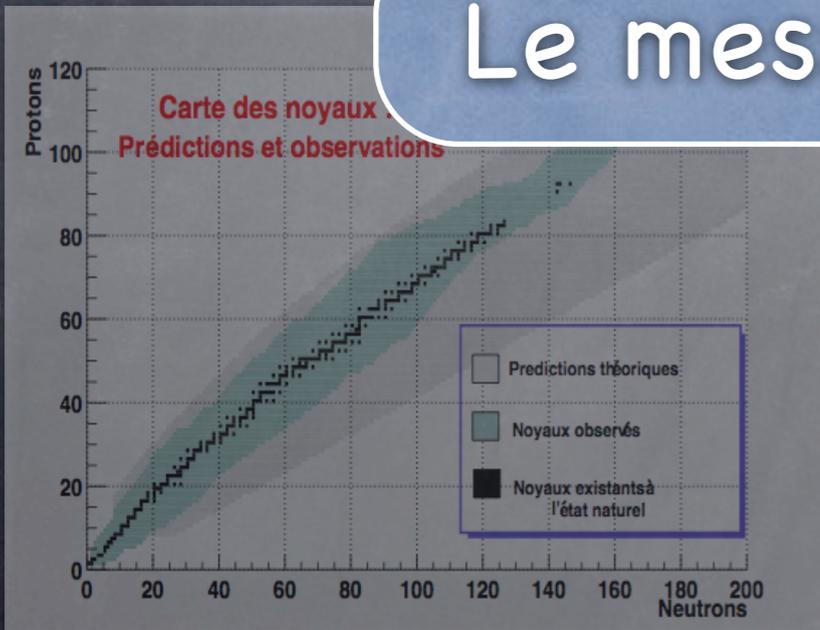
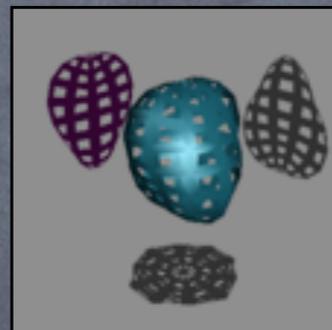


Réactions

Structure Nucléaire



Le messenger: γ

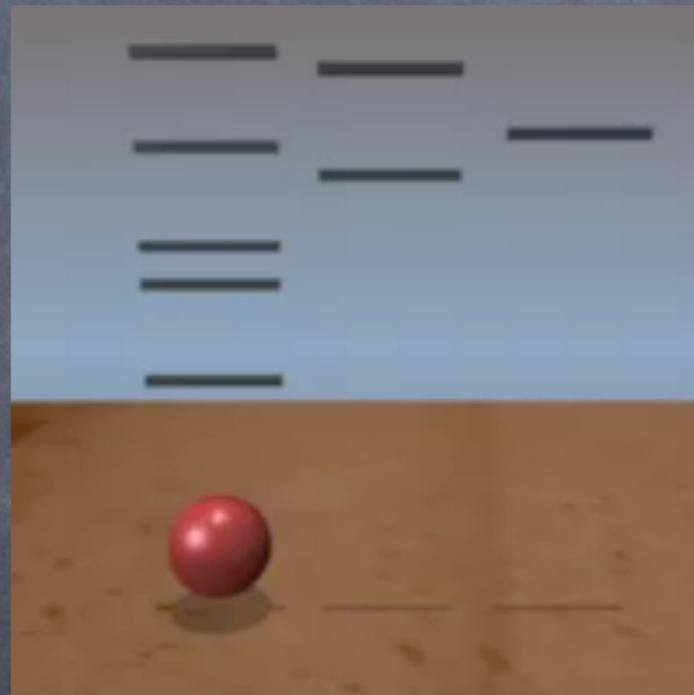
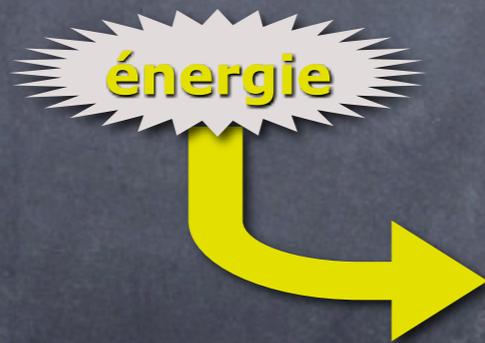


Les contraintes

Le messenger :

Quel information porte-t'il ?
Pour quelle mesure ?

Réaction :



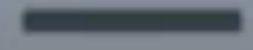
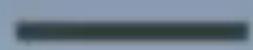
« discret »
Information : γ

- ① Précision énergie !
- ② direction d'émission
[e,t, θ]

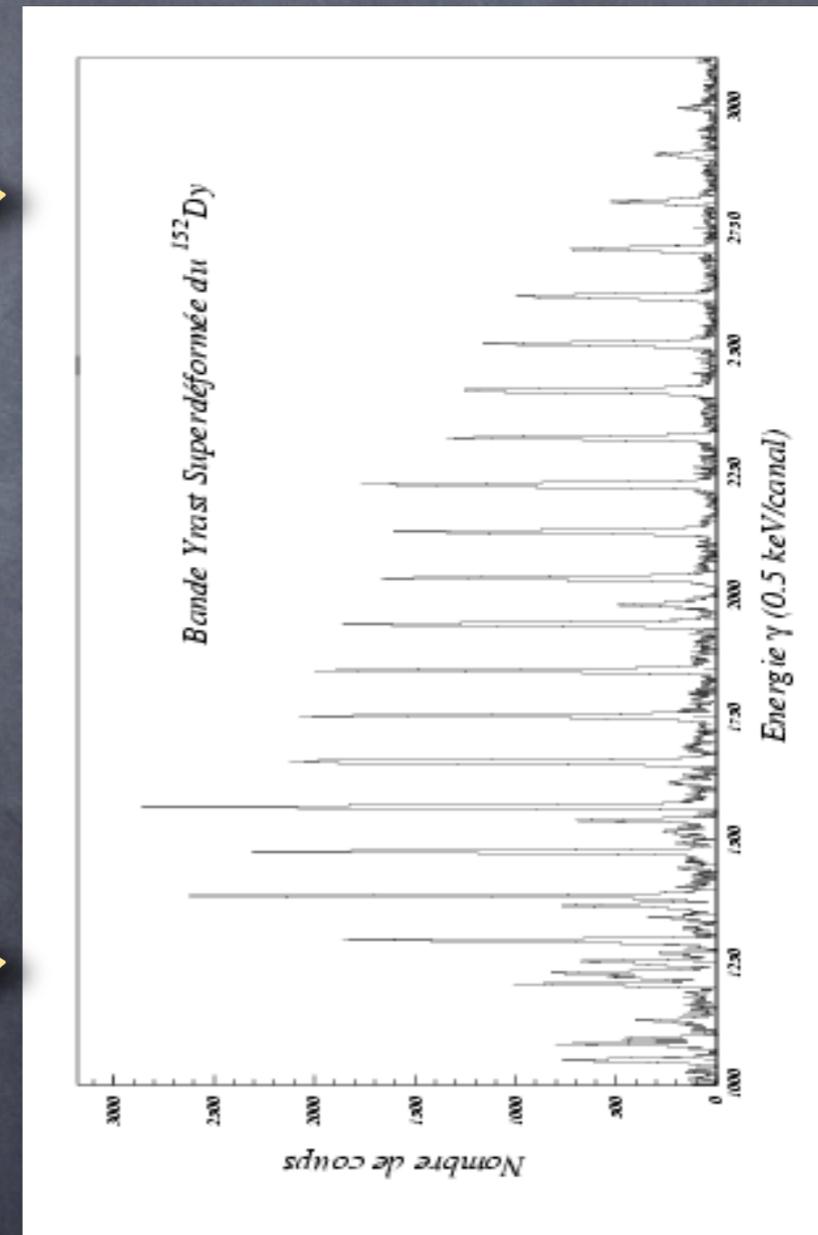
Le messenger :

ex - cascade de rayonnements

E_γ



$E_{\gamma'}$

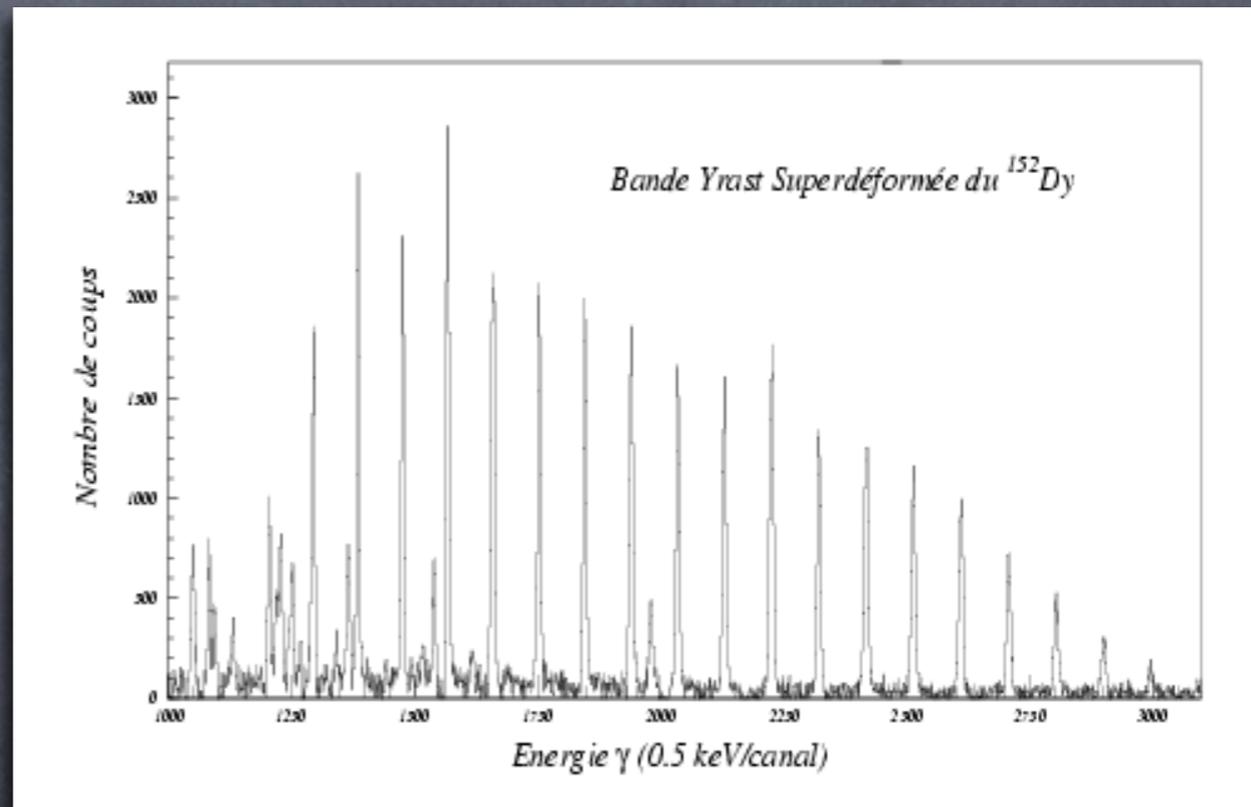


Le messenger : cascade de rayonnements

E_γ



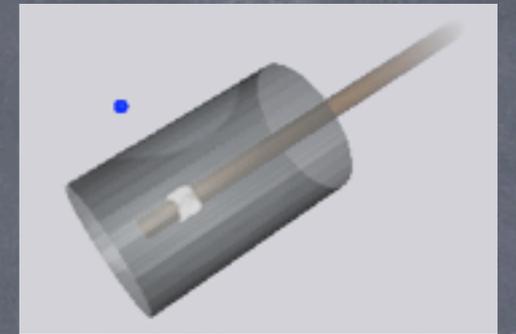
$E_{\gamma'}$



③ ~ 30 en coincidence !
[$e_1, t_1, \theta_1, \dots, e_n, t_n, \theta_n$]

($E_\gamma : 0 \rightarrow 5$ MeV)

Plan de L'exposé

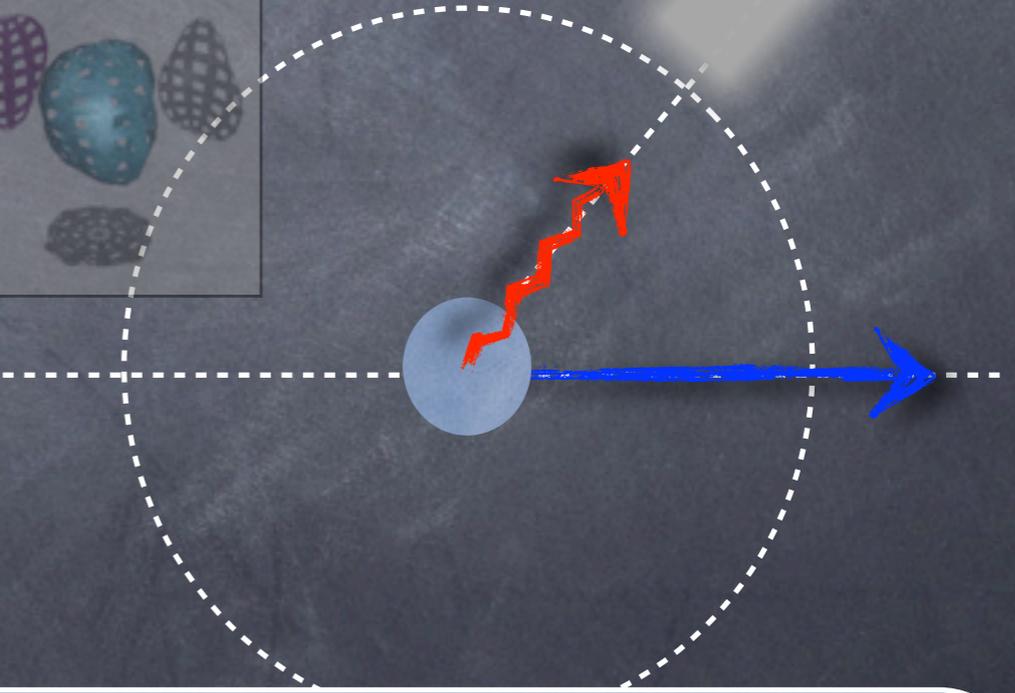
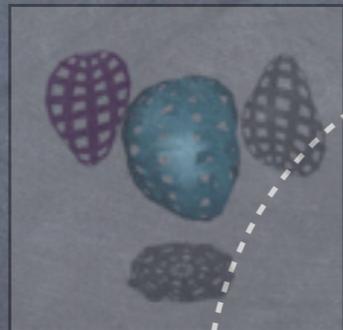


Réactions

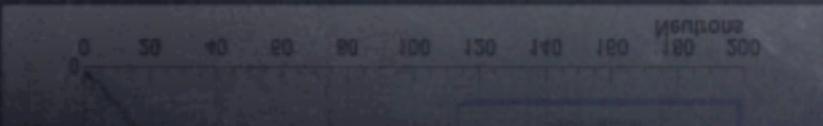
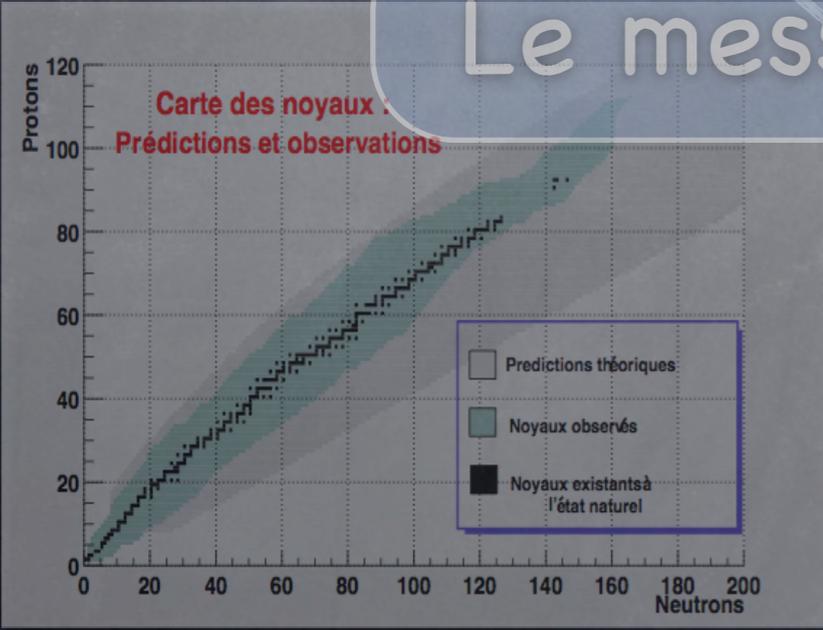
Structure Nucléaire



Le messenger: γ



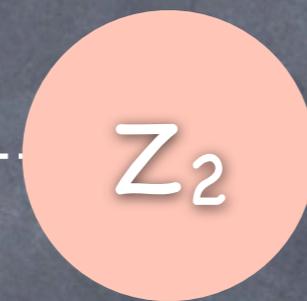
Les contraintes



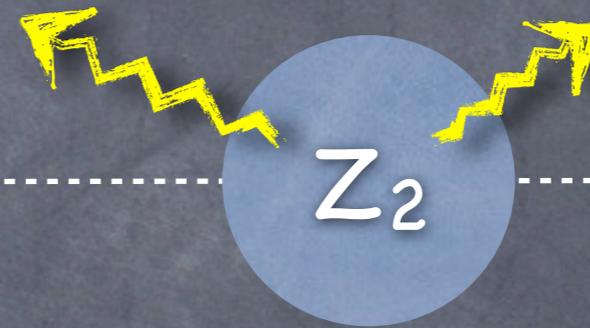
Le messenger : excitation Coulombienne



Le messenger : excitation Coulombienne



Le messenger : excitation Coulombienne

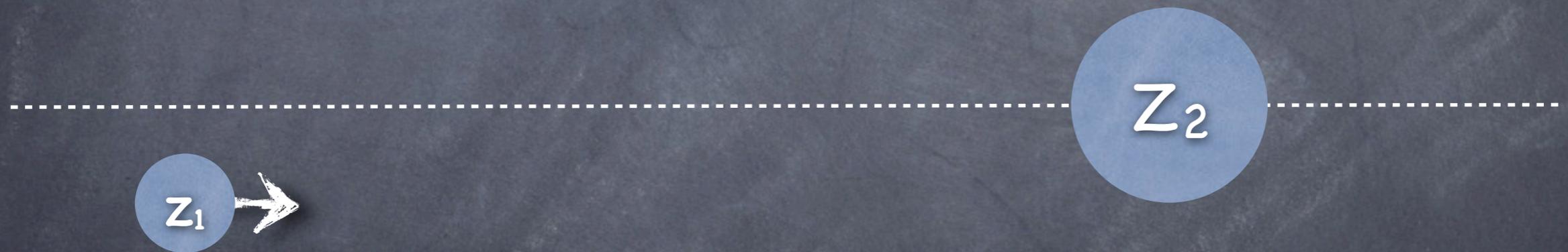


Quelques rayonnements γ



Le messenger :

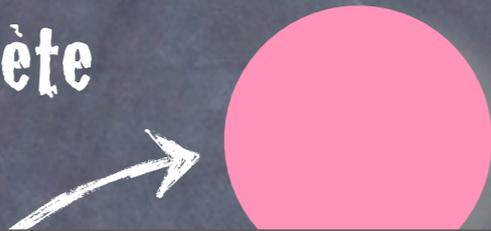
autres réactions ...



Le messenger :

autres réactions (pas exhaustif) ...

fusion incomplète



transfert, deep inelastique

Noyaux de recul

Un événement 'typique' :

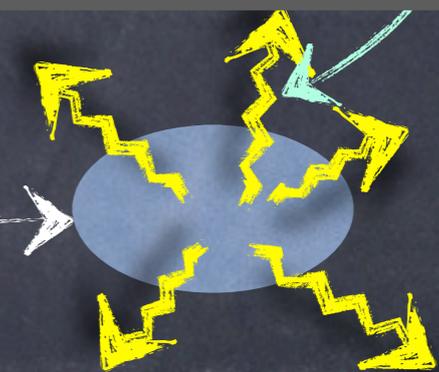
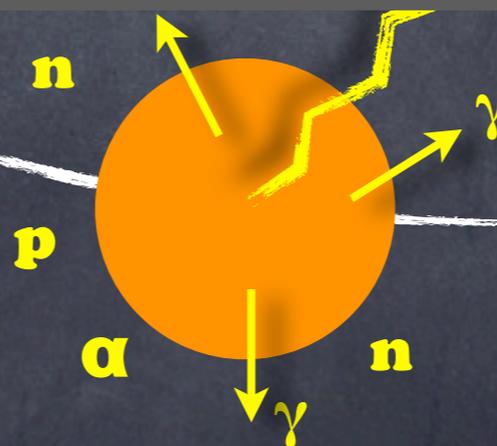
$$[e_1, t_1, \theta_1, \dots, e_n, t_n, \theta_n] + [E_{\text{sum}}, M_\gamma] + [\text{GDR}] + [\text{Vémetteur}, \dots] + \dots$$



fusion complète



fusion-évaporation



Résumé des contraintes

Ou, ce que le[les] messenger[s] impose[ent]

① Précision énergie : Germanium



Effet Doppler 

② Direction d'émission

③ ~ 30 en coïncidence



Segmentation 

④ Bonne efficacité (photopic)



Effet Compton 

⑤

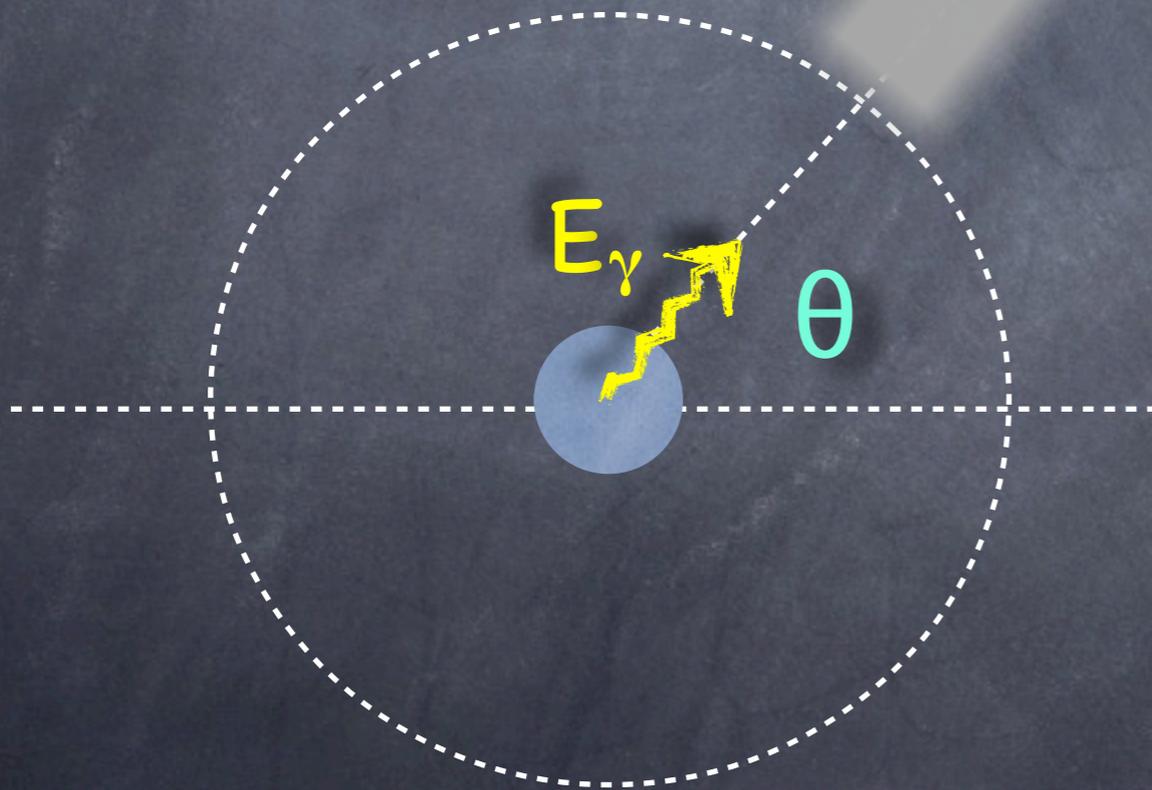
Noyaux de recul
Autres particules
 γ continuum, GDR



Calorimètre : $\Sigma E_\gamma, M_\gamma$
GDR : 10 \rightarrow 50 MeV 

Résumé des contraintes

Effet Doppler

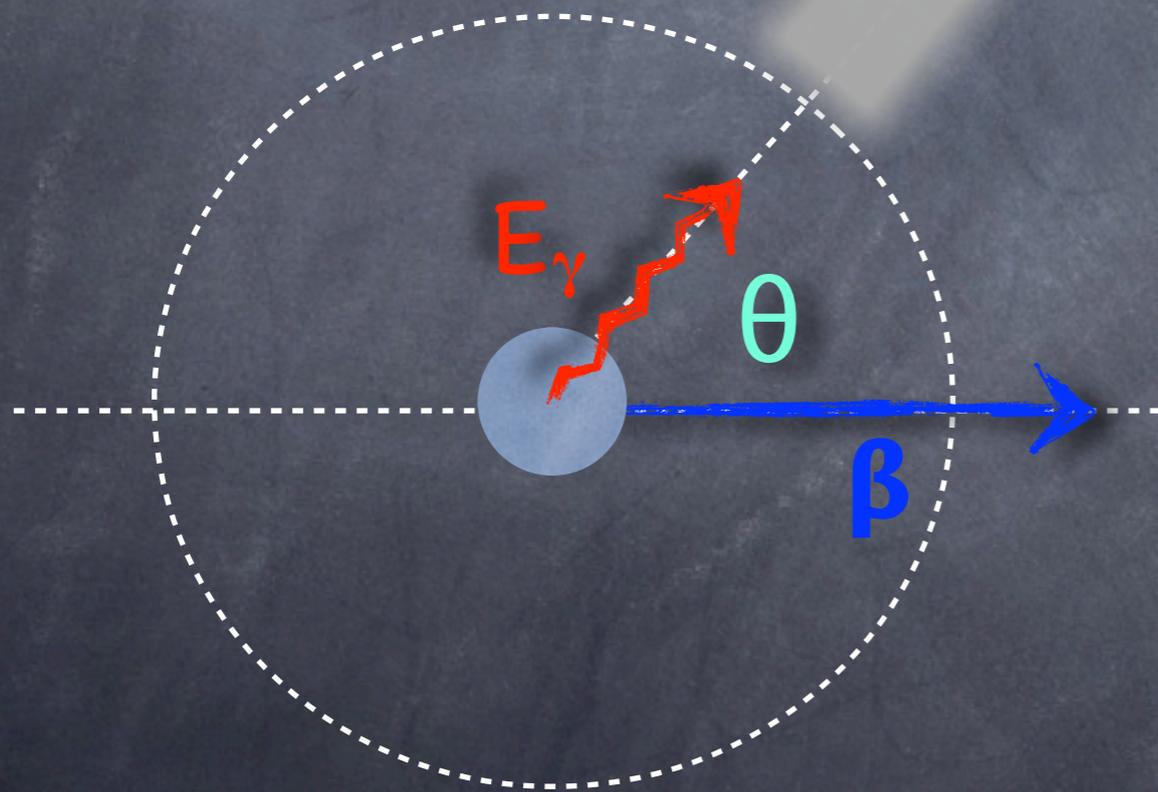


Résumé des contraintes

Effet Doppler

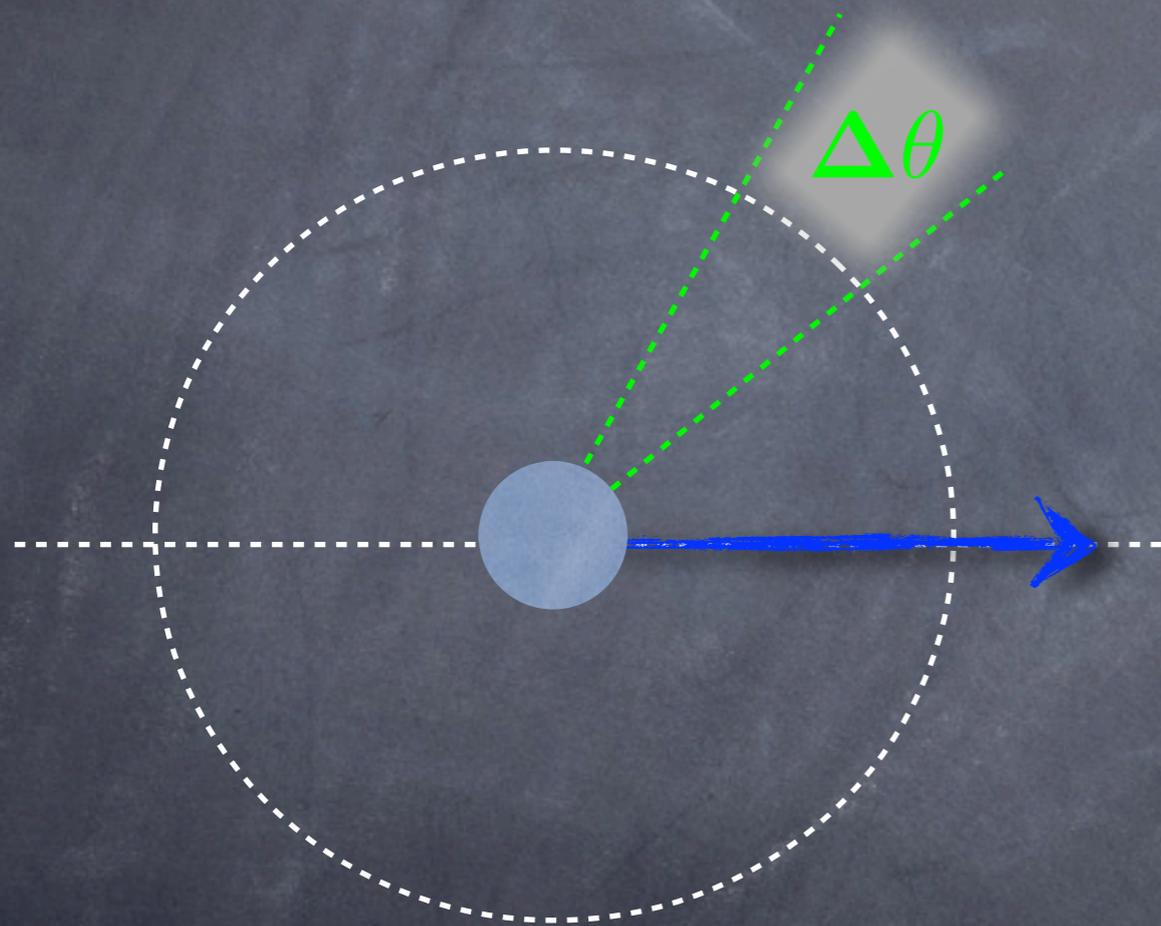
$$E_{\gamma} = E_{\gamma} (1 + \beta \cos(\theta))$$

↳ peut être corrigé ...



Résumé des contraintes

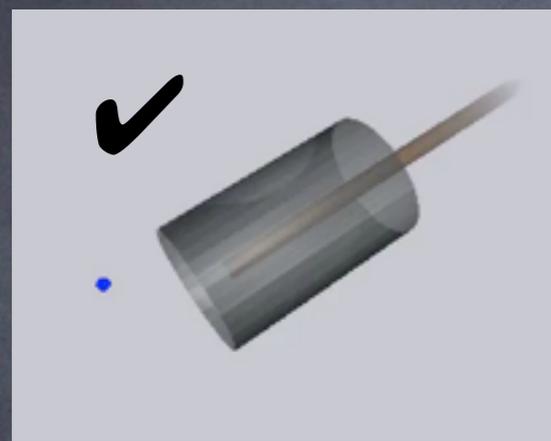
Elargissement Doppler



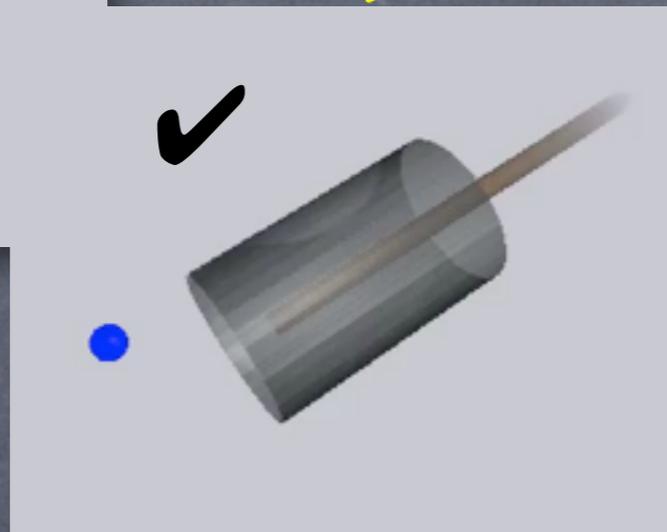
Réduire
ouverture des détecteurs
mais ...

$$\Delta E_{\gamma} = 2E_{\gamma}\beta \sin(\Delta\theta)\sin(\theta)$$

Détection des rayonnements γ



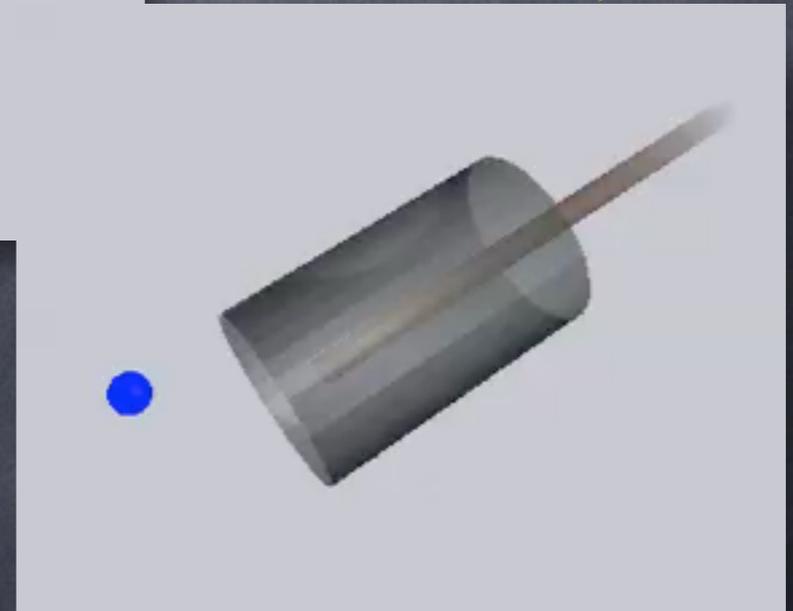
Effet photoélectrique



Effet Compton

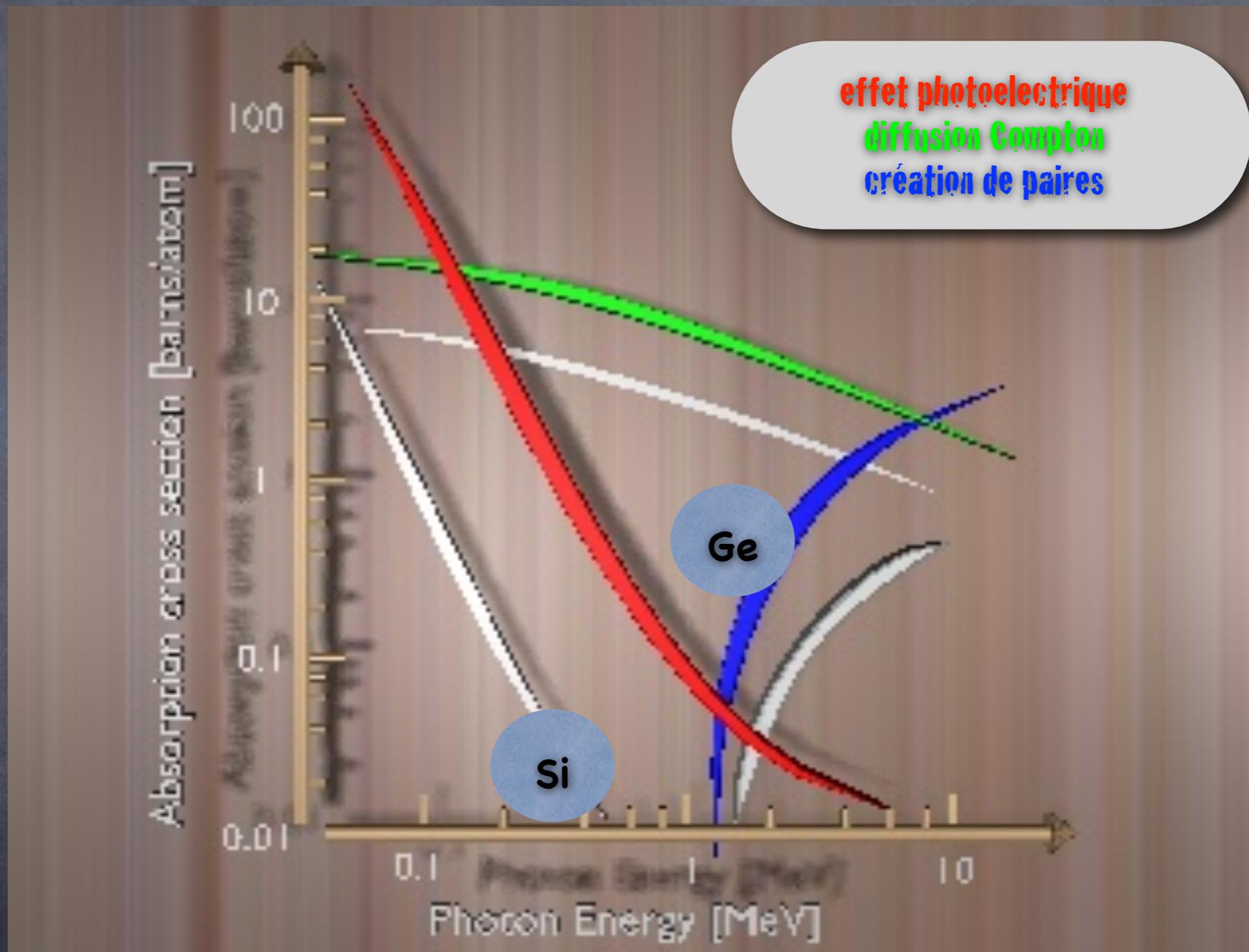


Effet création de paires



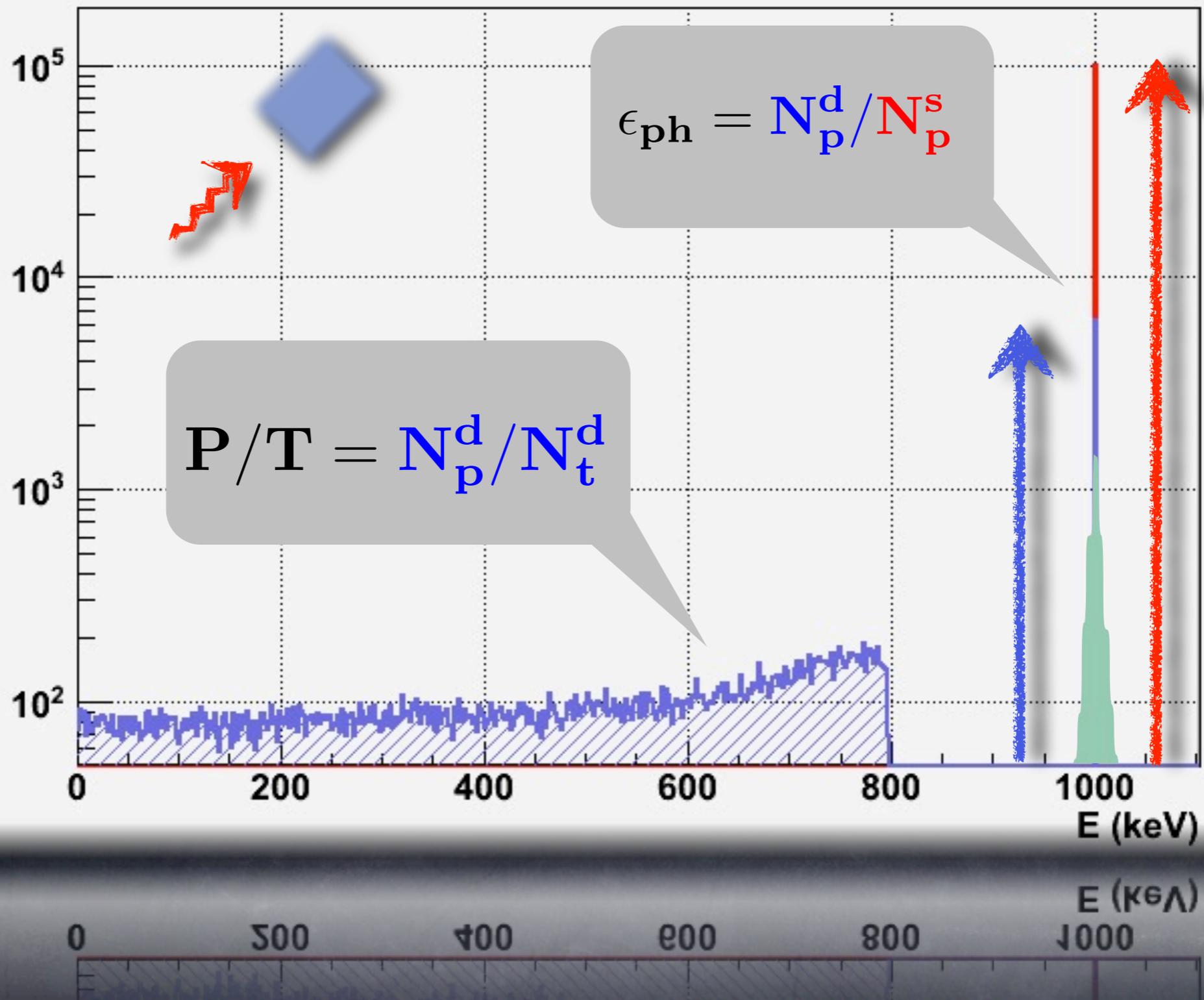
✓ énergie détectée = énergie émise !

Détection des rayonnements γ

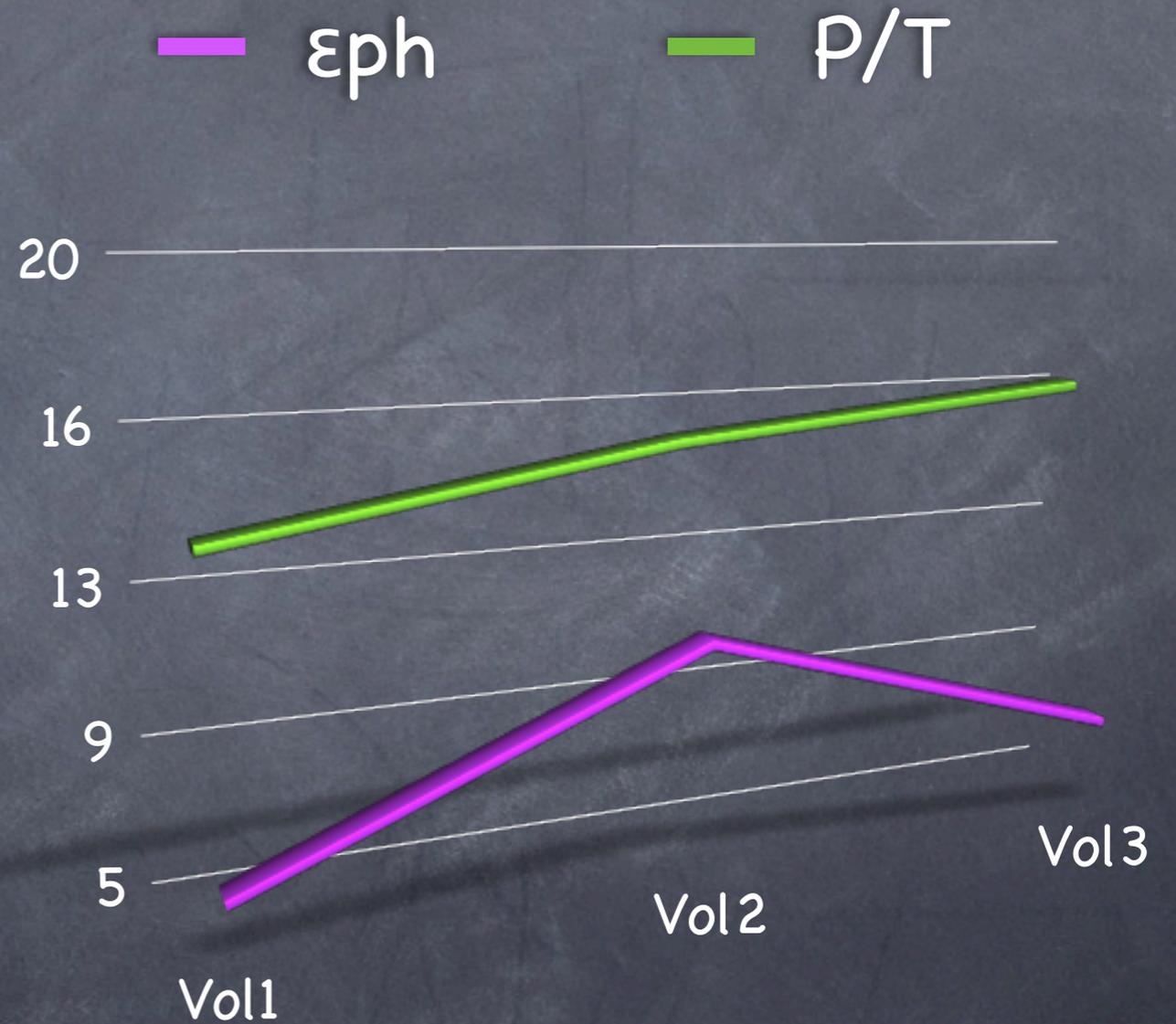
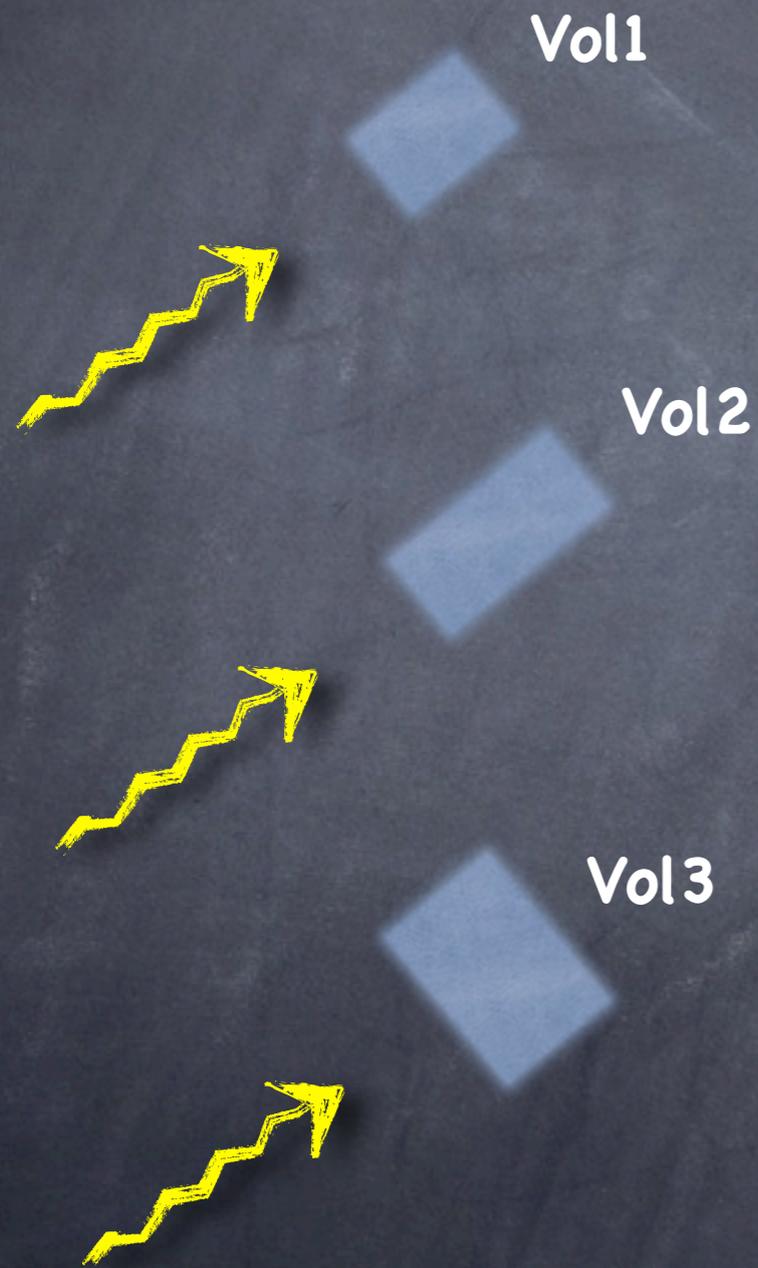


Probabilités des différents effets :
dépend de l'énergie du rayonnement !

Efficacité photopie & Pic / Total



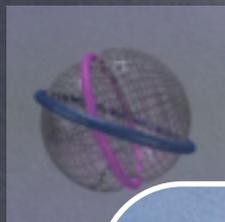
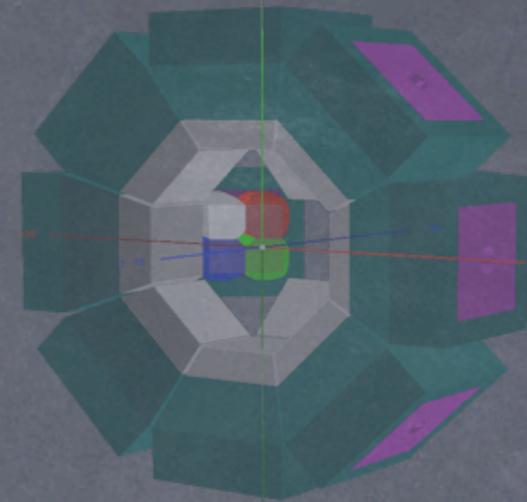
Efficacité photopic & $P_{ic} / Total$



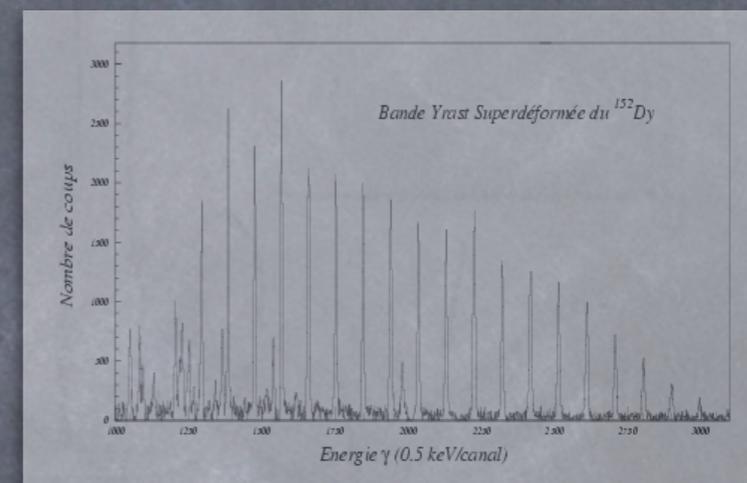
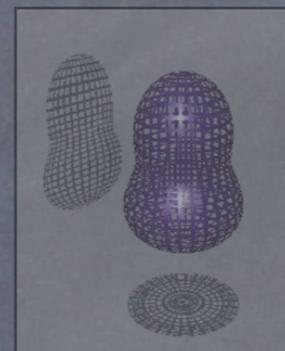
Résumé de la partie I

- L'**analyse** dépend fortement de la physique ... et des traditions ... !
 ➔ **ne pas hésiter à aller voir ailleurs !**
- Ne pas oublier l'environnement, d'autant plus si il est 'contrôlé'
- Une bonne connaissance du **messenger** (création, nature) : ici γ
- La **simulation** est un outil d'importance pour
 - comprendre la physique
 - maîtriser les prismes : le détecteur, l'analyse
 - permet de concevoir, optimiser les futurs détecteurs

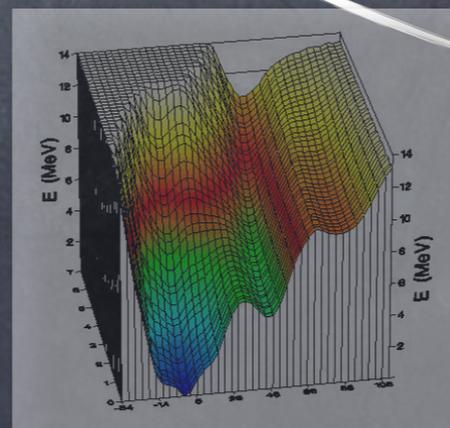
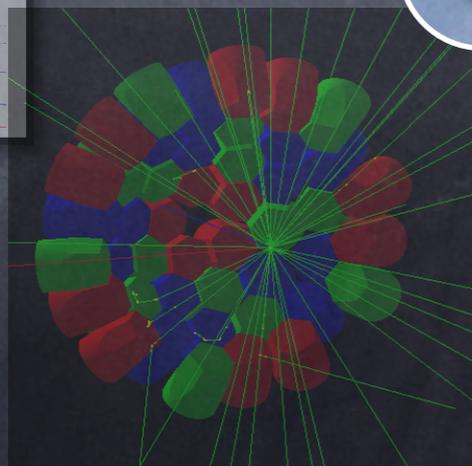
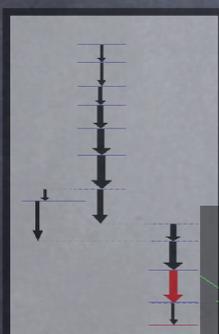
Plan de L'exposé



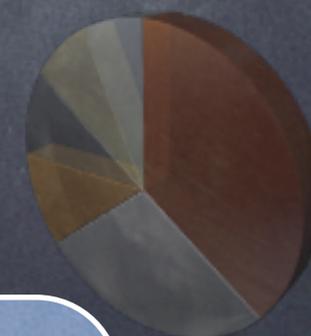
Structure Nucléaire



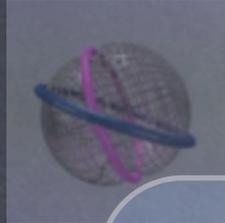
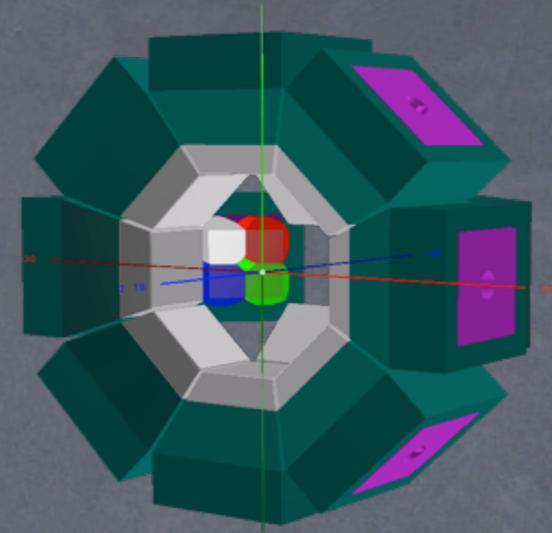
Monté Carlo



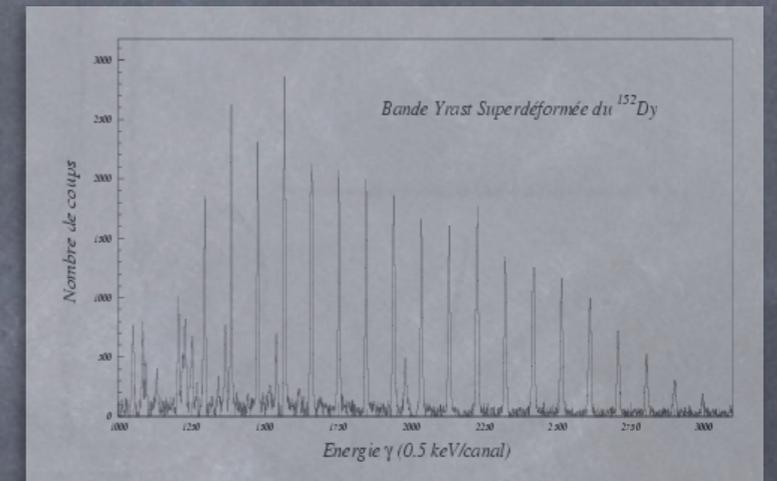
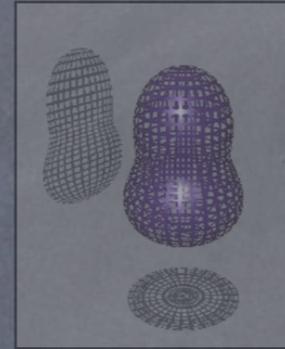
Analyse



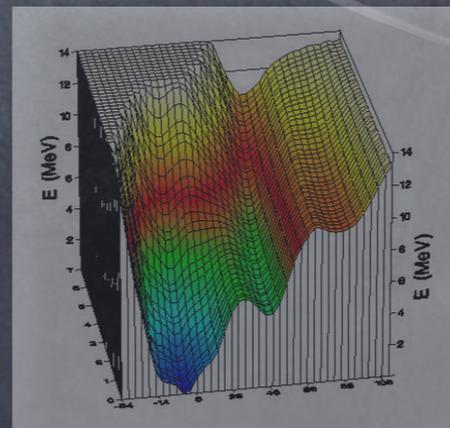
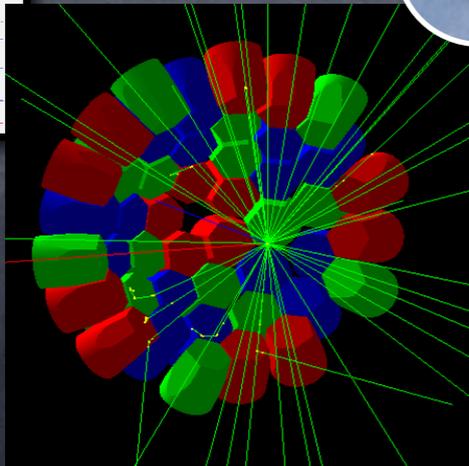
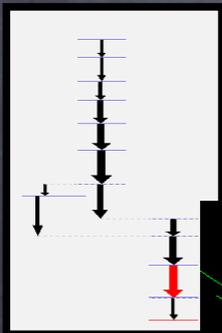
Plan de L'exposé



Structure Nucléaire



Monté Carlo



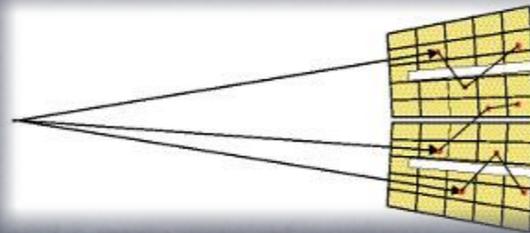
Analyse



Plan de L'exposé



Principe



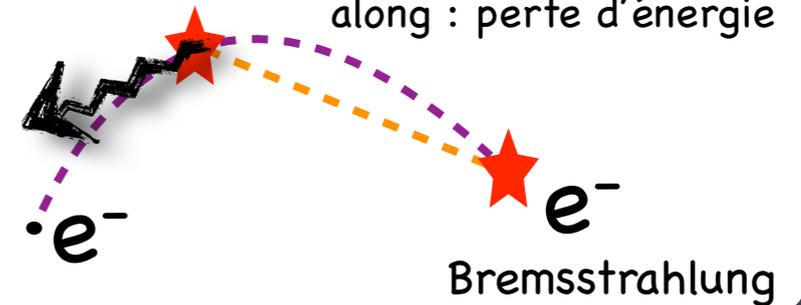
Monté Carlo



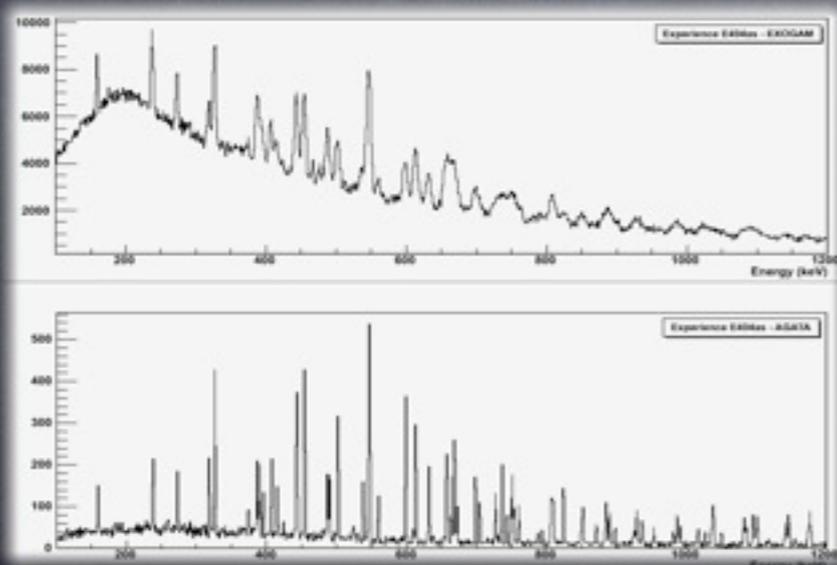
Générateurs

post : émission γ

along : perte d'énergie



La simulation de détecteurs



Pourquoi la simulation ?

- Permet d'étudier un objet réel pour :
 - moins cher
 - plus rapidement ... **quoique** ...
 - moins dangereux
 - ...
- Permet de contrôler tout ce qui se passe :
 - relation cause ➔ effet
 - on inclue de + en + de réalisme/complexité
 - ...

Pourquoi la simulation ?

- Les détecteurs sont :
 - de + en + complexes / pointus
 - chers ...
 - long à concevoir
 - long à mettre en oeuvre
- Les évènements à traiter sont :
 - complexes
 - variés
 - rares pour les plus intéressants (fond !)

Pourquoi la simulation ?

« Avant » le détecteur

- modéliser un concept
- établir les perf. « raw »
- études des « triggers »
- algo. reconstructions
- limites expérimentales
- ...

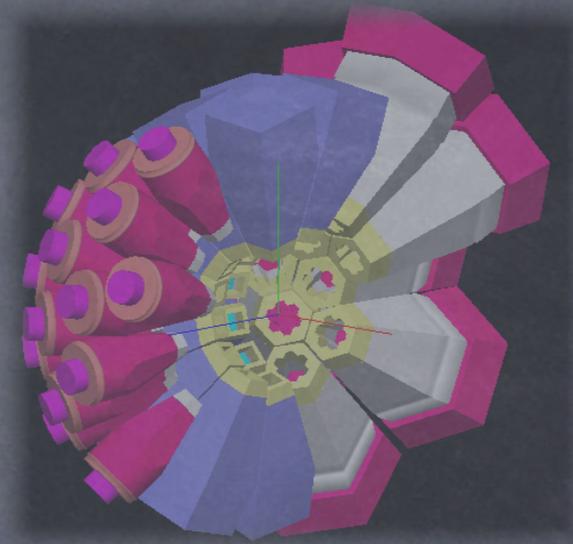
➔ outil de CAO

« Avec » le détecteur

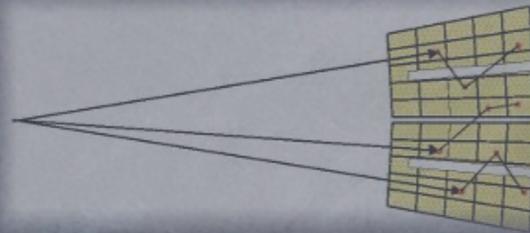
- préparer une expérience
- signal ↗, bruit ↘, sélection
- étudier un pb dans les données
- perte d'efficacité, résolution
- améliorer le rapport signal/bruit
- améliorer le modèle de physique
- ...

➔ aide à l'analyse
➔ à la physique !

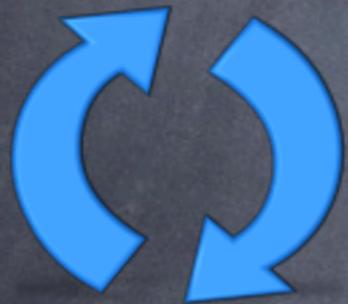
Plan de l'exposé



Principe



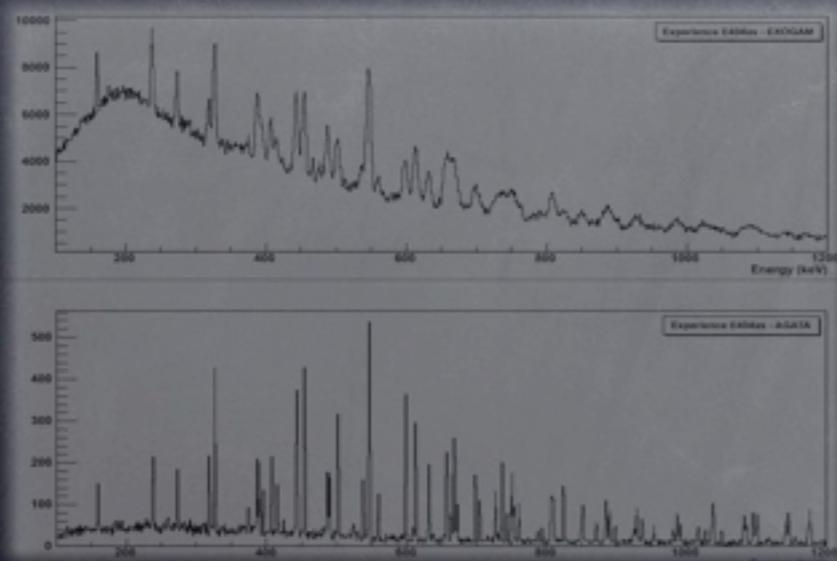
Monté Carlo



Générateurs

post : émission γ

along : perte d'énergie



La simulation de détecteurs

Simulations : quelques principes

- Il faut au moins un générateur aléatoire uniforme [0,1] :



ROOT

<i>TRandom</i>	10^9	34 ns	linear congruential $X_{n+1} = (aX_n + C) \% m$
<i>TRandom1</i>	10^{171}	242 ns	RANLUX
<i>TRandom2</i>	10^{26}	37 ns	Tausworthe de l'Ecuyer
<i>TRandom3</i>	10^{6000}	45 ns	Mersenne Twister

+ initialisation : seed (reproductibilité) !

- On peut, avec celui-ci, en construire de + complexes



<http://root.cern.ch>



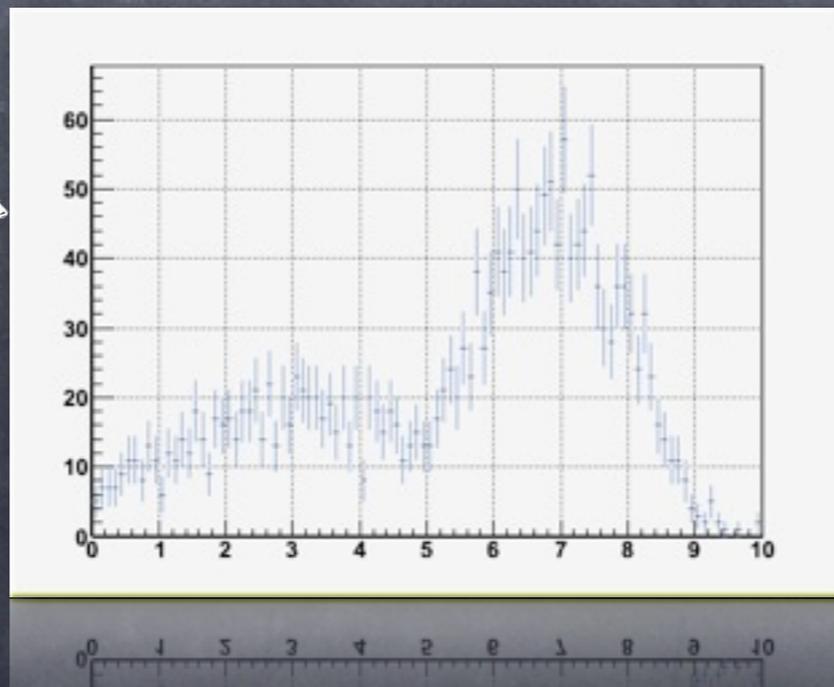
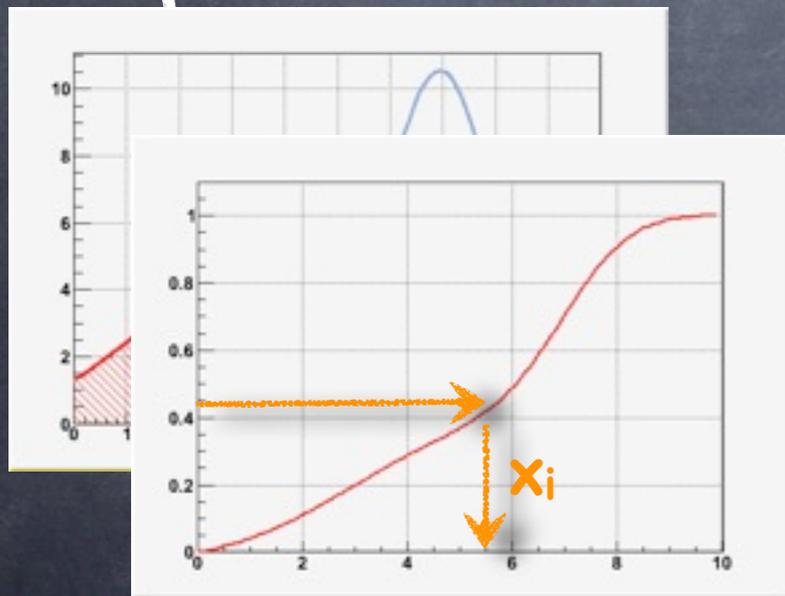
Simulations : quelques principes

- Si $f(x)$ est une densité de probabilité -

Méthode inverse

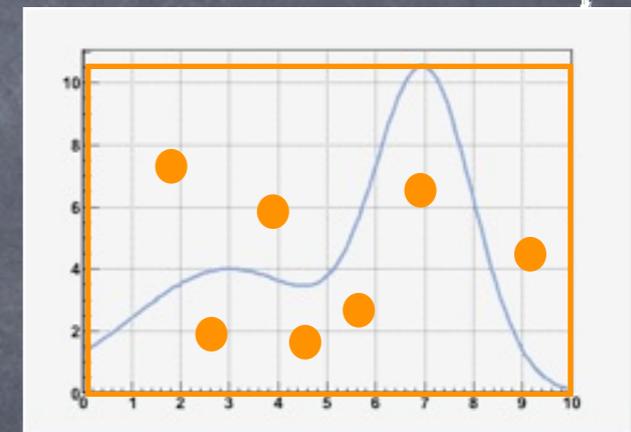
x uniforme $[0,1] \Rightarrow F^{-1}(x)$ est ' $f(x)$ distribué'
 $F^{-1} \leftarrow F$ fonction cumulative

$$F(x) = \frac{\int^x f(u) du}{\int f(u) du}$$



Méthode accepte - rejette

(x_i, y_i) uniforme dans \square



accepte x_i si $y_i < f(x_i)$
 $\rightarrow x_i$ ' $f(x)$ distribué' !

Simulations : Les ingrédients

1.

On parle de générateurs d'événements (primaires)
Il y en a un grand nombre, généraux ou spécifiques !

2. Injection dans un détecteur 'virtuel' :

- propagation des particules
- détermination des dépôts d'énergie (et leur position)
- création de particules secondaires

3.

On obtient des données 'identiques' à l'expérience
... qu'on peut analyser de la même façon !

:

Simulations : quelques outils

- **GEANT4 : GEometry ANd Tracking**
vocation généraliste
successeur de GEANT3
est orienté objet [C++]
→ <http://geant4.cern.ch/>
- **FLUKA : FLUKtuierende KAskade**
alternative à Geant
→ <http://www.fluka.org/fluka.php>
- **MCNP(X) : Monte-Carlo N-Particle**
orienté nucléaire (initié Projet Manhattan)
→ <http://mcnp-green.lanl.gov/>

Geant 4



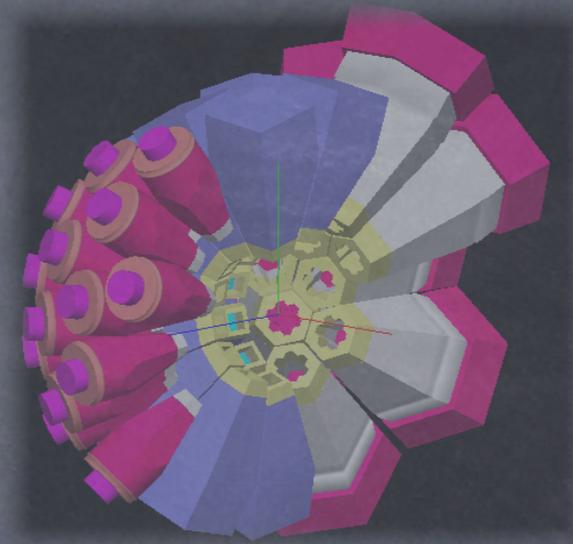
FLUKA



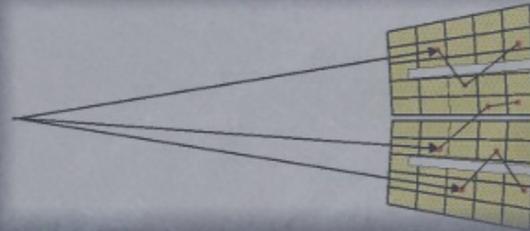
mcnp



Plan de L'exposé



Principe



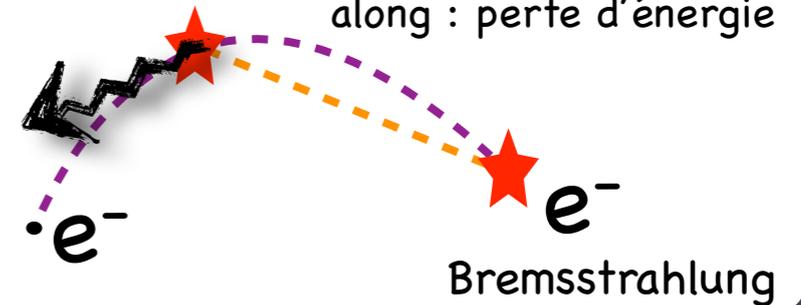
Monté Carlo



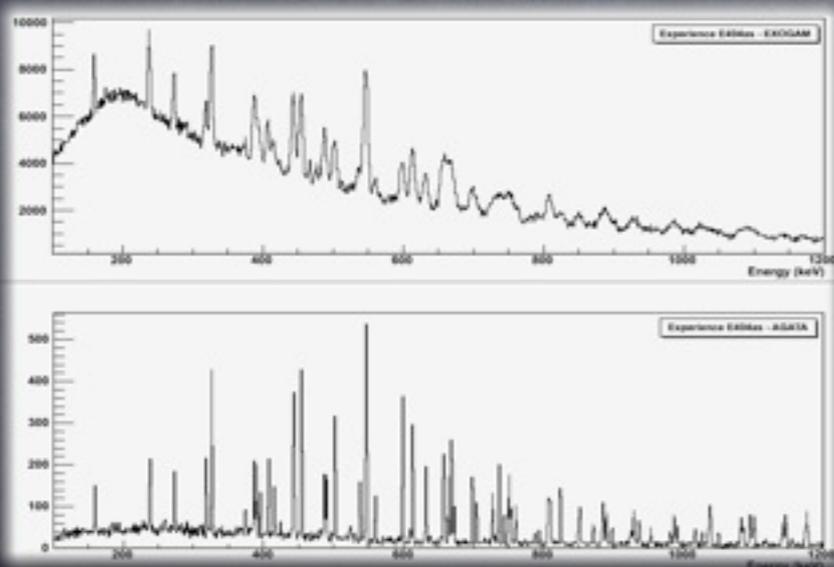
Générateurs

post : émission γ

along : perte d'énergie

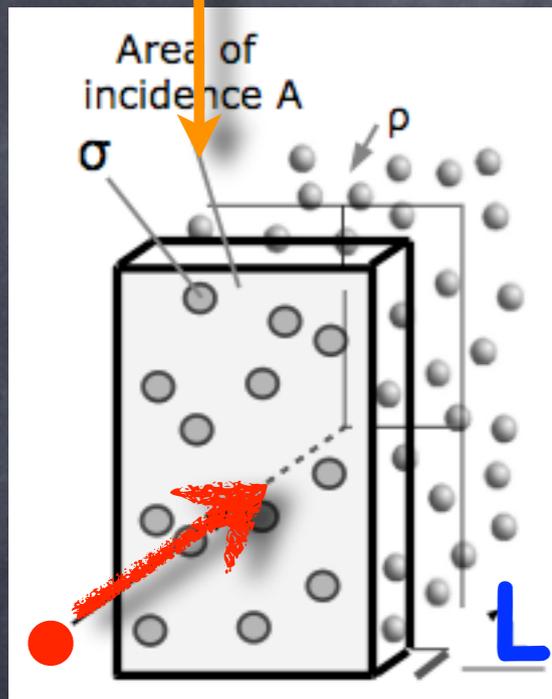


La simulation de détecteurs



Processus et «tracking»

On ne connaît pas la position de tous les noyaux



- ↳ pas faisable ... inefficace
- ↳ méca. quantique: interaction probabiliste !
- ↳ méthode statistiques !

Hypothèse :

distribution uniforme des noyaux

Probabilité pour que la particule voyage jusque L ?

$$I_{\emptyset}(L) = \frac{\text{Nombre de particules arrivant en L sans 'interaction'}}{\text{Nombre de particules lancées}}$$

approche fréquentiste

↳ diffusion
↳ désintégration

Processus et «tracking»

Un peu de calcul $\Rightarrow I_{\circ}(L) = \exp(-\rho.L.\sigma)$

ρ densité de matière

σ section efficace du processus

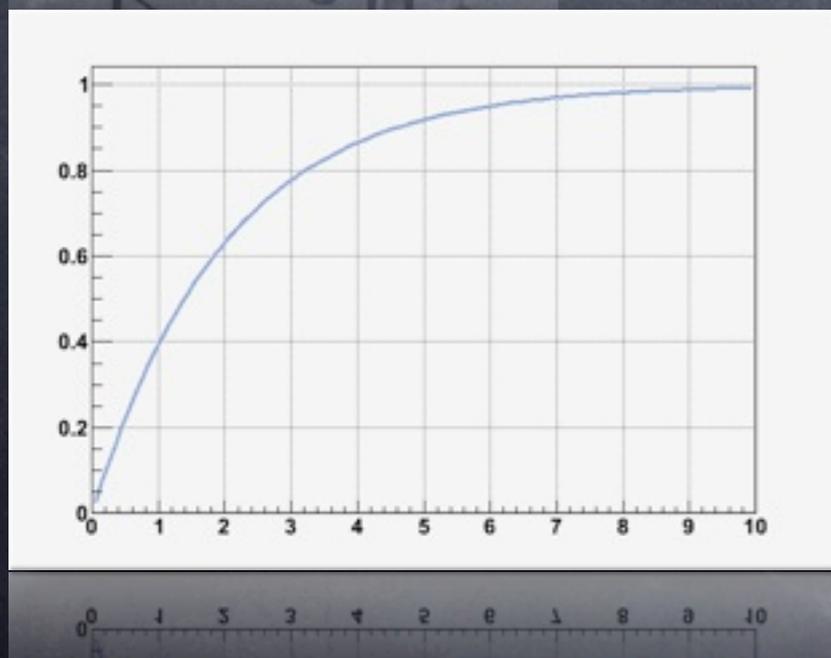
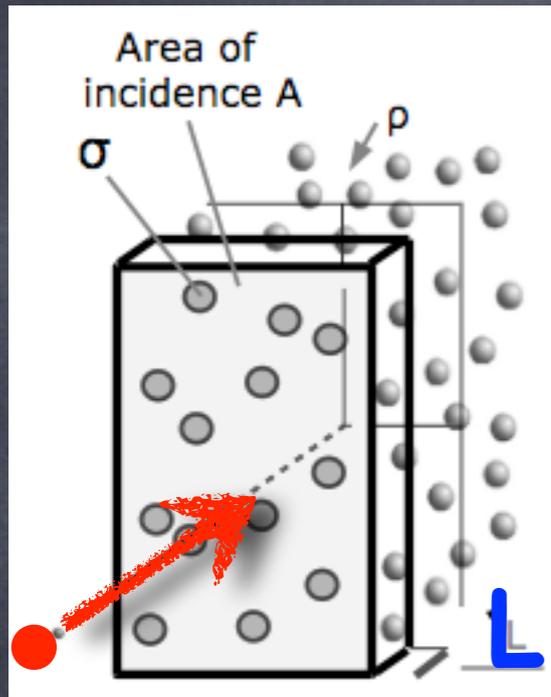
σ (type particule, énergie, ...) - ex : πr^2
 \hookrightarrow modèle, mesures (base de données)

Probabilité d'avoir une interaction à L :

$$\Rightarrow I_{\circ}(L) = 1 - I_{\circ}(L) = 1 - \exp(-L/\lambda)$$

λ (type ...), libre parcours moyen

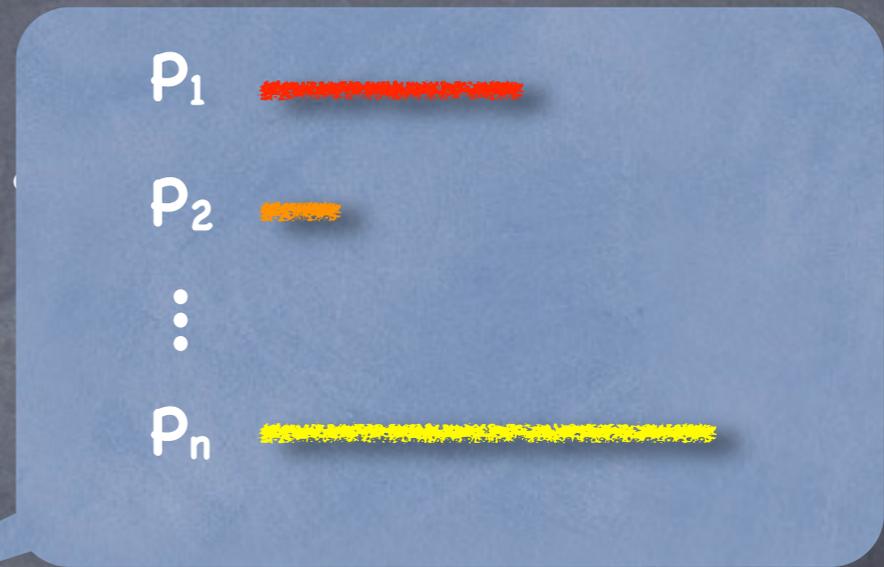
Distribution \rightarrow tirage aléatoire !!



Monté Carlo : principe de base

En général, plusieurs processus P_i en concurrence

- Particule primaire ←
- Collecte des propriétés ρ, σ
- 'random' L_i des P_i (I_i)
- L_i le + petit choisit le P_i
- Particule transportée de L_i
- **Processus** est simulé

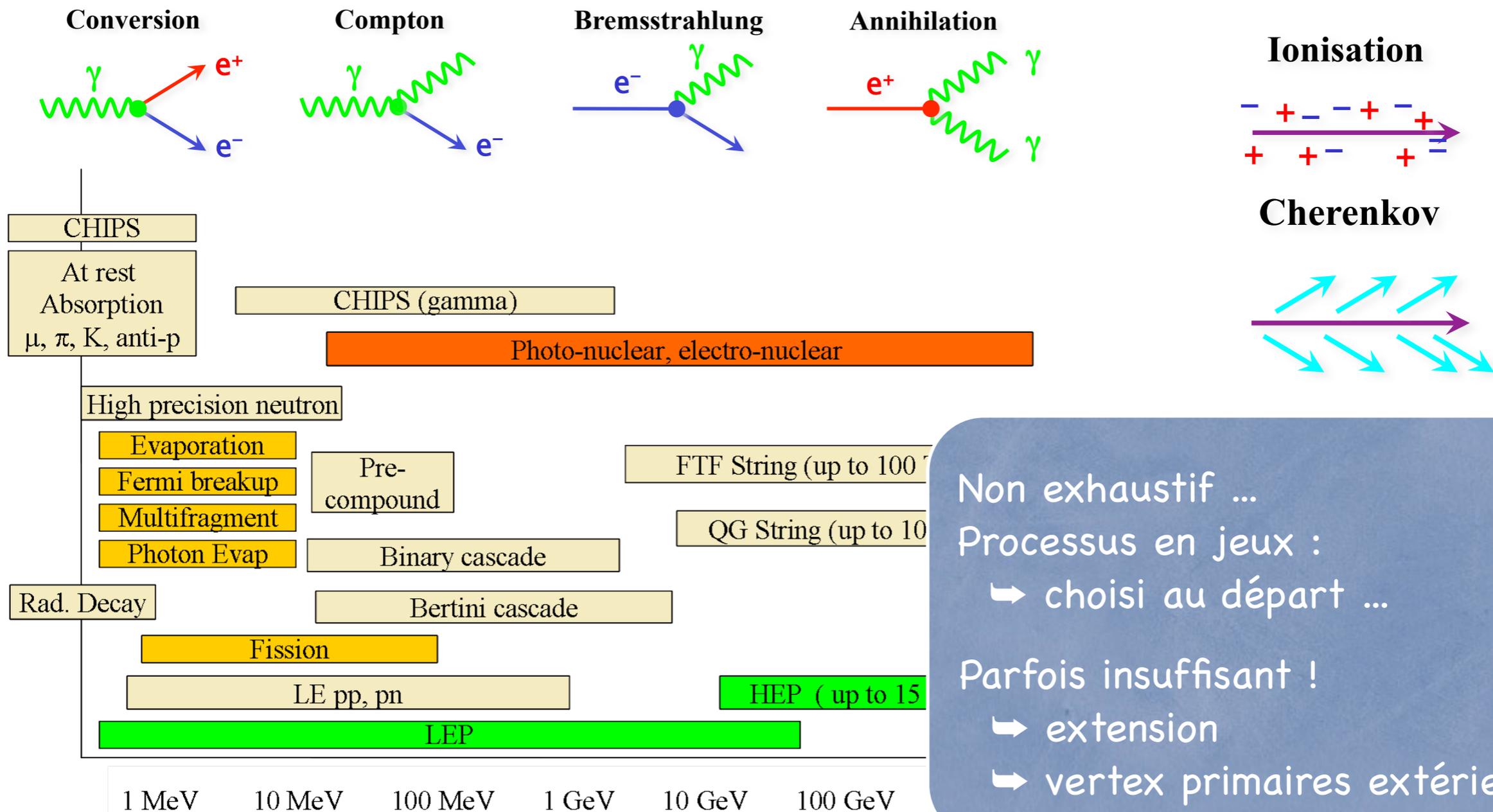


↳ Particules secondaires



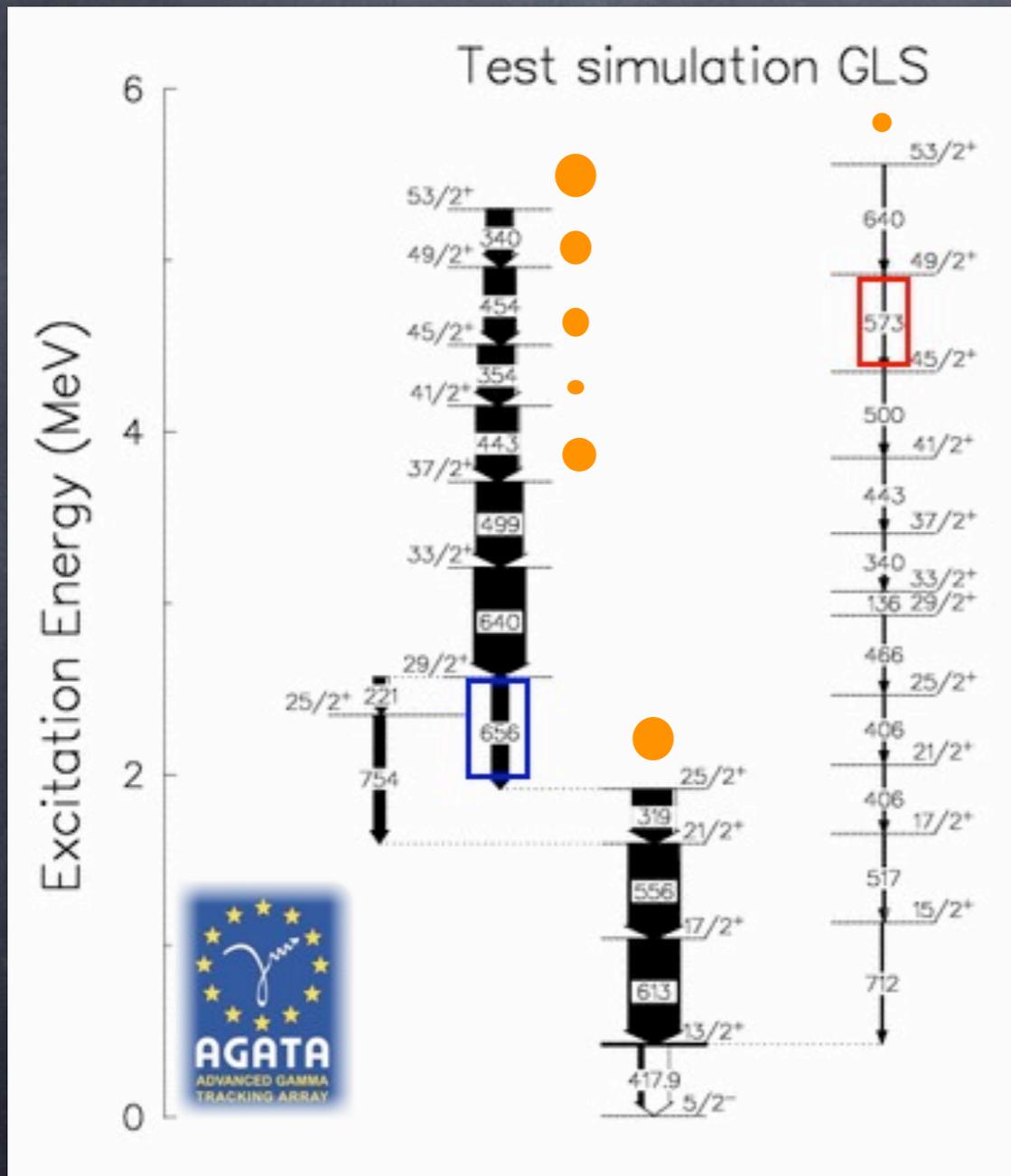
Les processus dans GEANT4

Electromagnétique, hadronique, optique, transport, décroissance ...
(modèles et/ou bases de données, extensible !)



Non exhaustif ...
Processus en jeux :
 ➔ choisi au départ ...
 Parfois insuffisant !
 ➔ extension
 ➔ vertex primaires extérieurs

Événements primaires : γ discrets

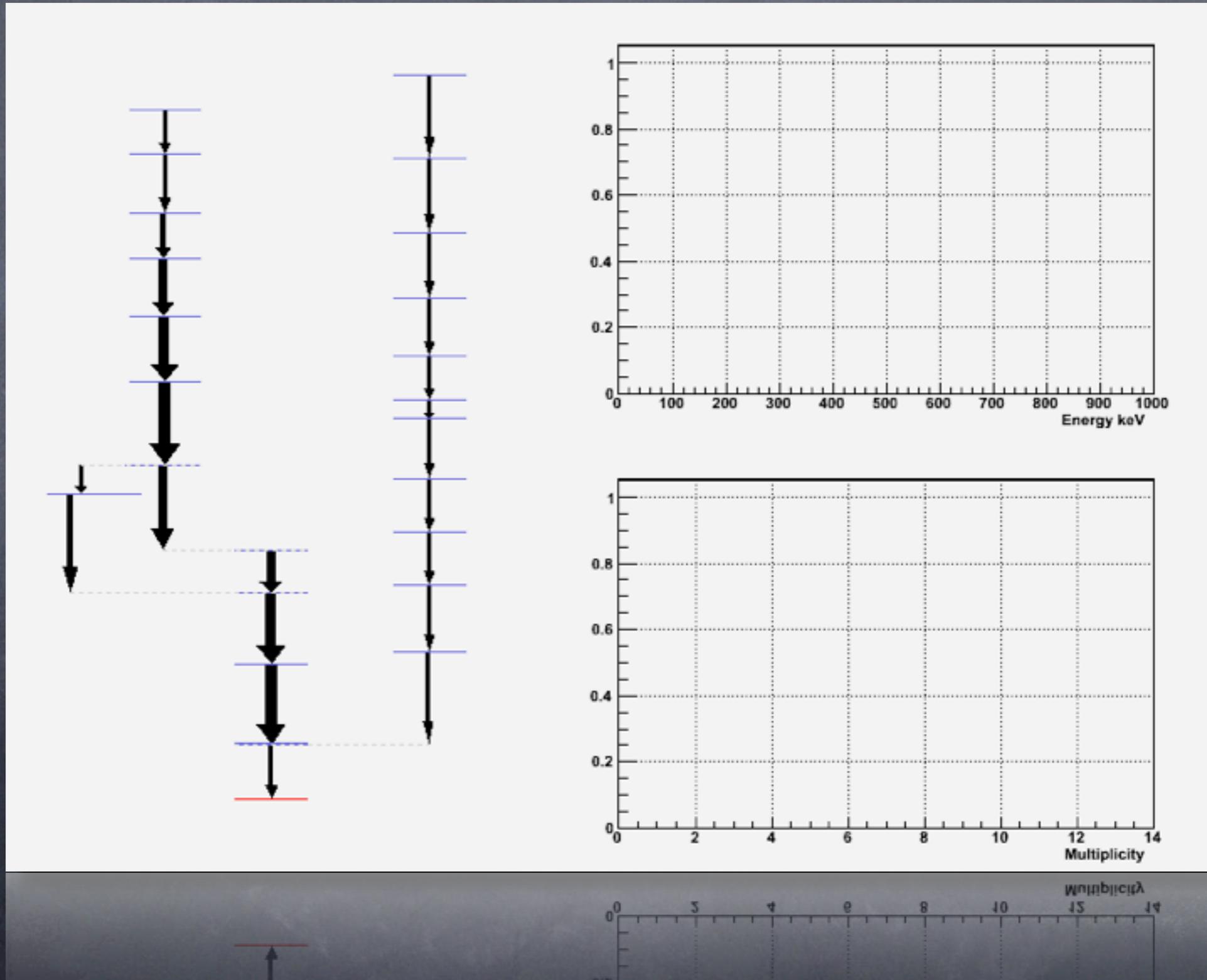


Point de départ :
le schéma de niveaux !

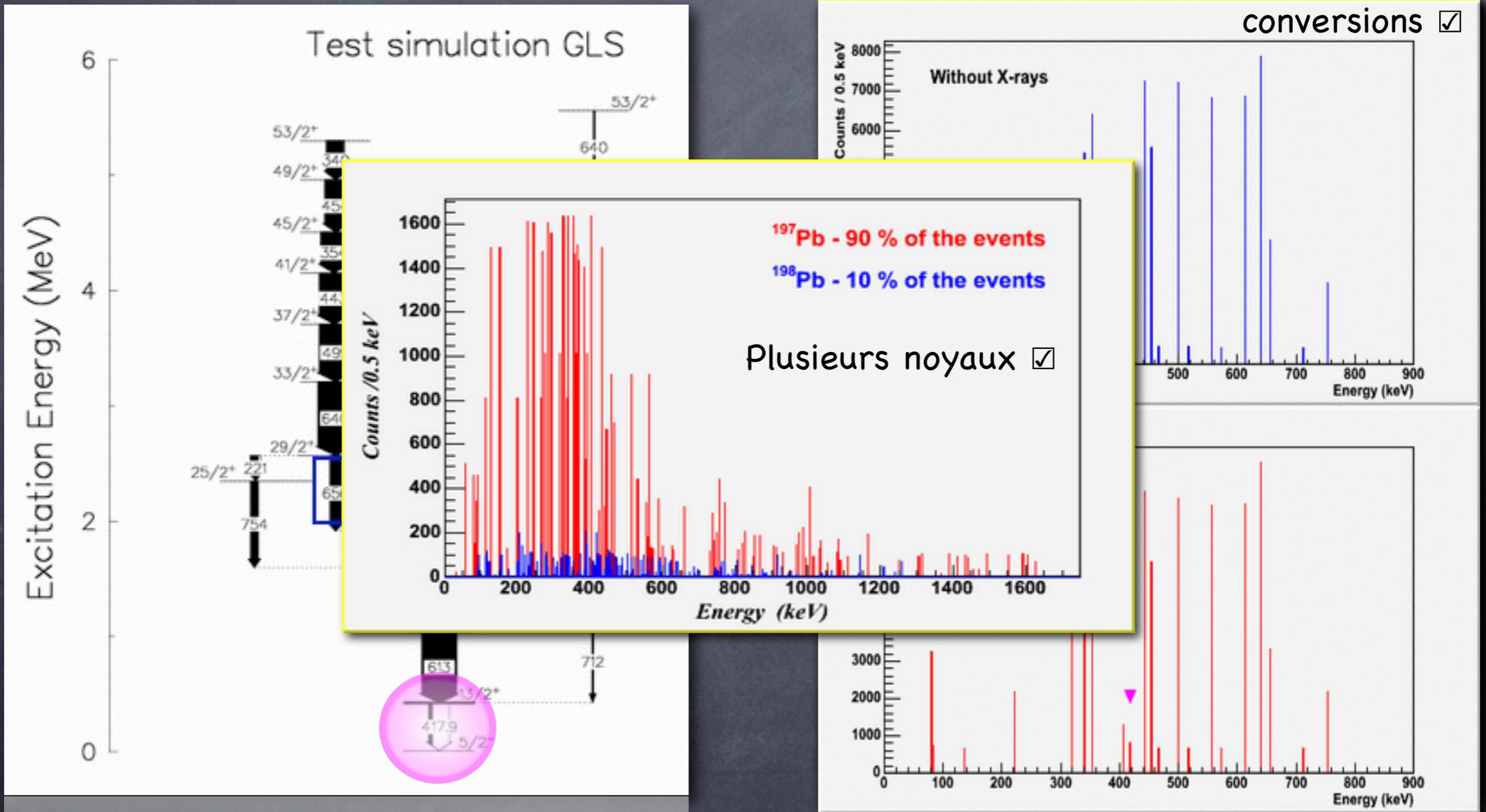
- établir les points d'entrée avec intensités ●
- 'random' choix du point d'entrée
- à chaque niveau, 'random' basé sur les intensités relatives
- arrêt sur le dernier niveau
- cascade de rayonnements gamma

L'information complète du γ : e , τ , multipolarité
On peut générer l'alimentation n,p, γ continuum ...

Événements primaires : γ discrets

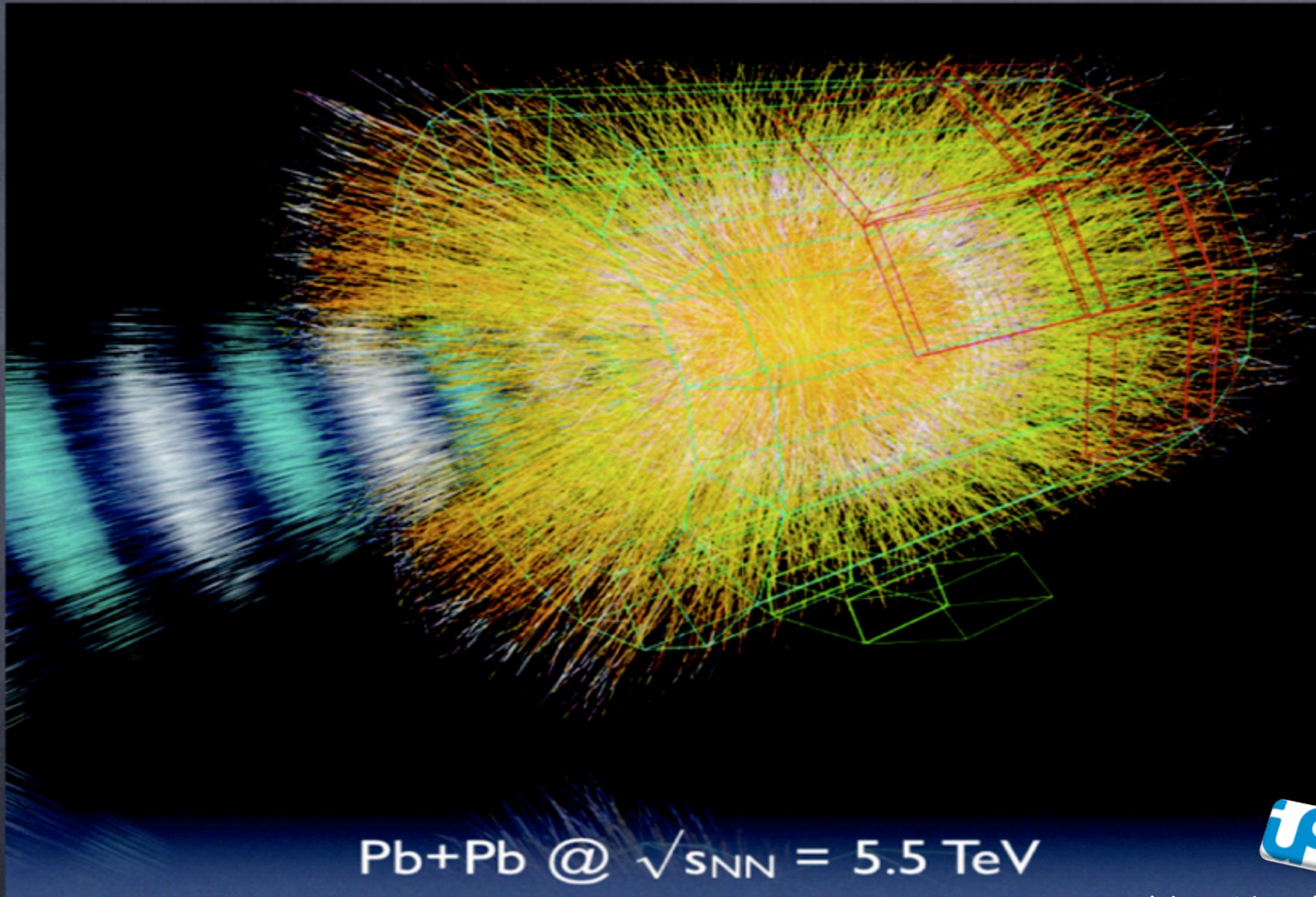


Événements primaires : γ discrets





ALICE : collision Pb/Pb



Pb+Pb @ $\sqrt{s_{NN}} = 5.5 \text{ TeV}$

Pb+Pb @ $\sqrt{s_{NN}} = 2.2 \text{ TeV}$



Fabien Nendaz

Les générateurs : généralités

Il y a des générateurs 'tout terrain' :

- pythia, herwig, hijing en φ des particules
- evapor, fresco, empire en φ nucléaire

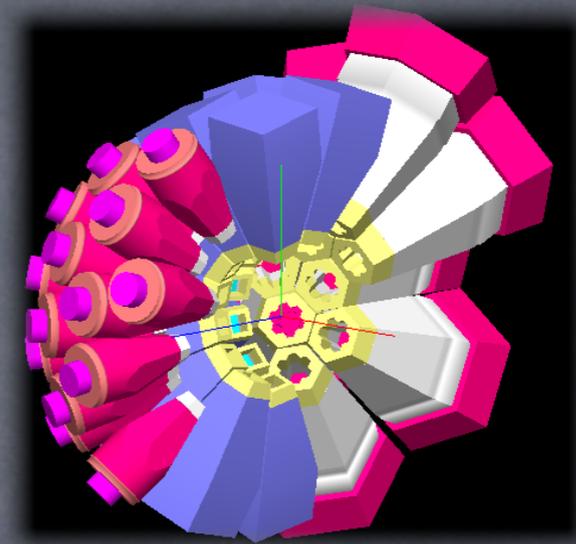
culture différente ... 

Inconvénients :

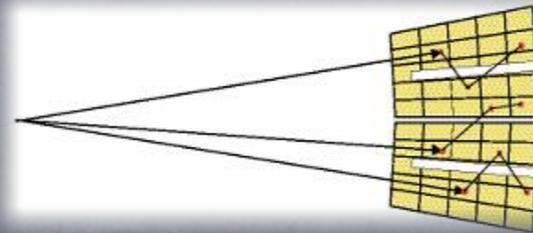
- Trop de physique généré \equiv fond !
 - ↳ temps de calcul \Rightarrow GRILLE !
- Il faut adapter, coupler, spécialiser
 - Ex CMS : + de 30 générateurs pour p+p
- Il faut vérifier que ça colle avec la réalité !

Si processus & 'tracking' intimement liés \Rightarrow dans Geant !

Plan de L'exposé



Principe



Monté Carlo



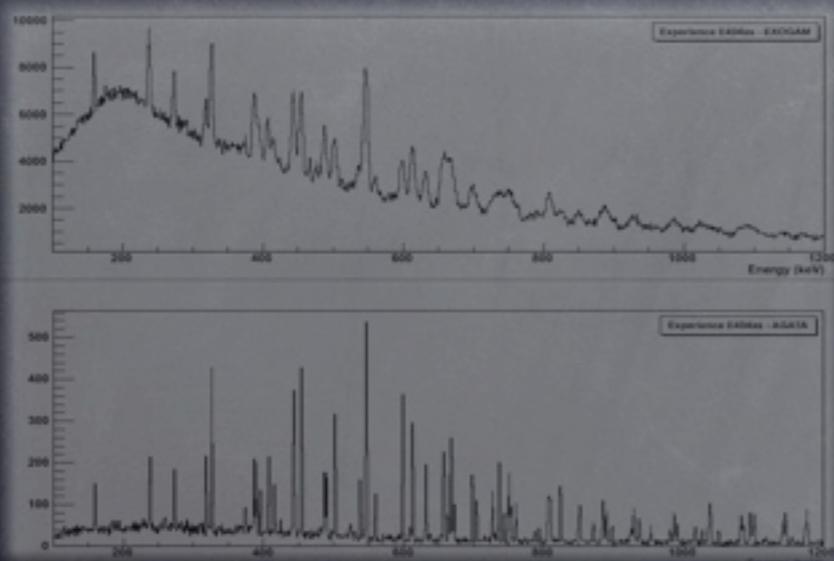
Générateurs

post : émission γ

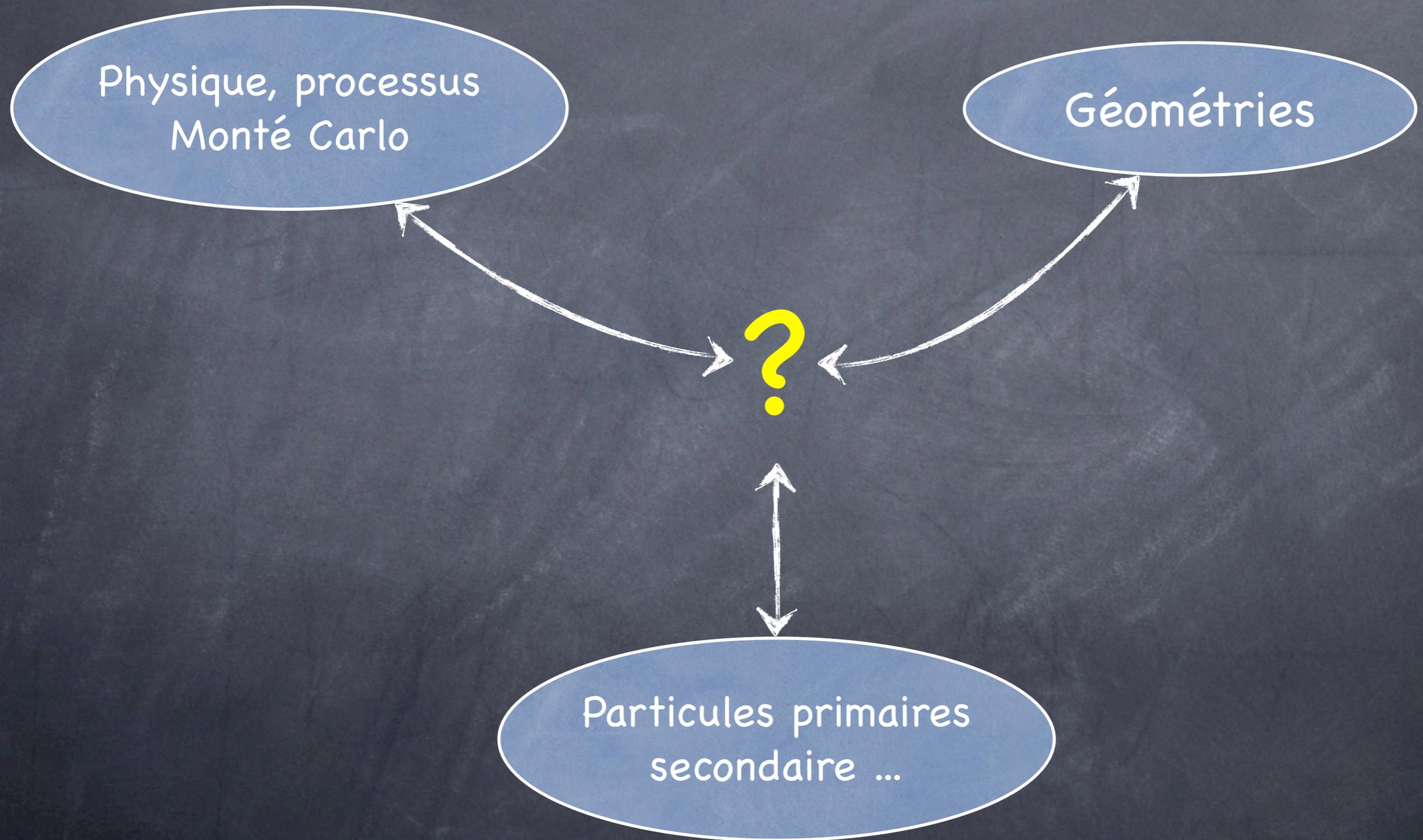
along : perte d'énergie



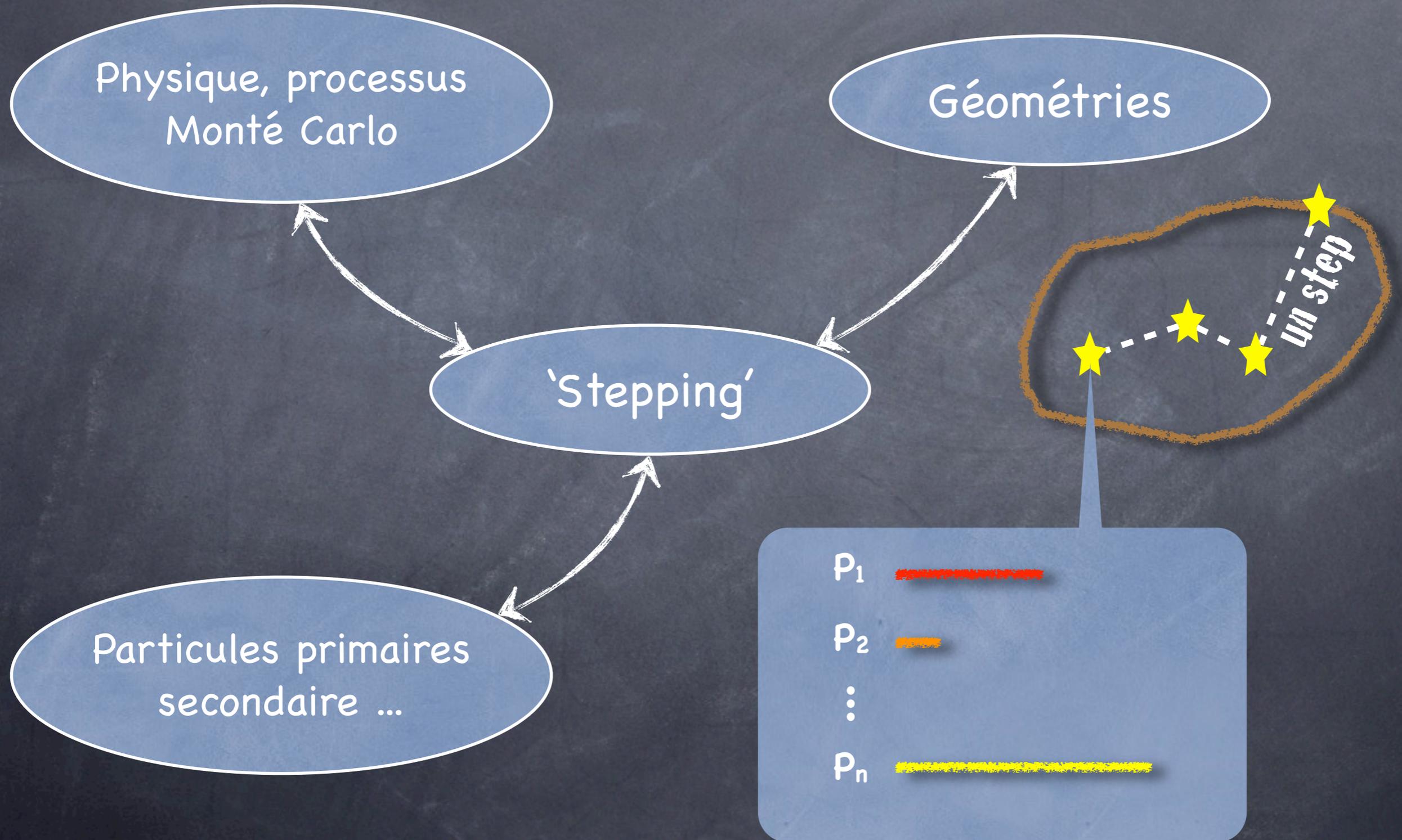
La simulation de détecteurs



Geant4 : Les ingrédients



Geant4 : Les ingrédients



Geant4 : Le design

- Orienté objet [c++] → ABSTRACTION
(héritage)
- pas de polémique sur le choix ...
mais orienté objet est adapté aux gros projets
- les ≠ catégories d'objets ont un ancêtre commun :
ils héritent (implémentent) d'une interface commune
(abstraite, virtuelle)
- Le coeur de la simulation travaille de la même façon
ils héritent (implémentent) d'une interface commune
∇ les implémentations (cas particuliers)
- Permet l'extension : processus, formes, matériaux ...

MAIS, fixe un cadre !

Geant4 : illustration

- le 'stepping', réalisé par **G4Step** qui décrit un 'step'

↳ G4StepPoint pre

↳ G4StepPoint post

G4Step : information Δ

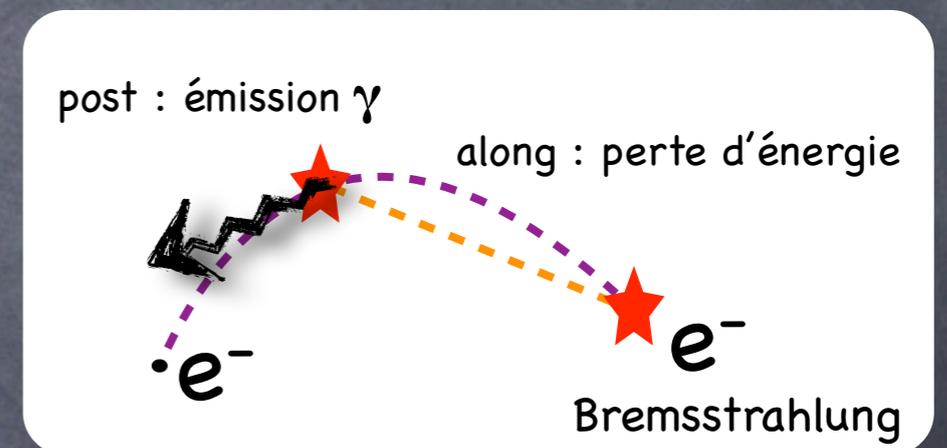
G4StepPoint : tt info. à ce point (particule, cinématique ...)



- les processus héritent de **G4VProcess** et implémentent

PostStep }
AlongStep } GetPhysicalInteractionLength()
AtRest }

PostStep }
AlongStep } DoIt()
AtRest }



- des 'cuts' sont nécessaires (divergence, temps)

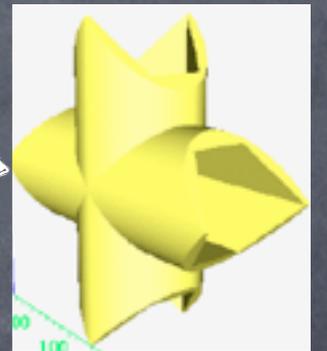
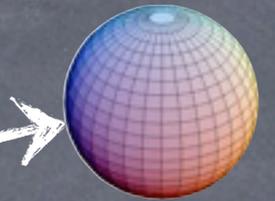
- pour décrire les particules

G4ParticleDefinition (ex: **G4Gamma**)

G4DynamicParticle, **G4PrimaryParticle**, **G4PrimaryVertex**

Geant4 : La géométrie

- **G4LogicalVolume** :
 - G4VSolid
 - G4Material (G4Isotopes)
- forme de base
- union / intersection



+ attributs (couleur, 'sensitive')

- peut contenir d'autres **G4LogicalVolume**
- **G4PhysicalVolume** :
G4LogicalVolume positionné % un autre + identification
- 'top' volume = 'world' de la simulation

La géométrie, du code !

```
G4Box*          solidWorld; // pointer to the solid envelope
G4LogicalVolume* logicWorld; // pointer to the logical envelope
G4VPhysicalVolume* physiWorld; // pointer to the physical envelope
```

```
solidWorld=
    new G4Box("TheWorld",HalfWorldLength,HalfWorldLength,HalfWorldLength);
logicWorld=
    new G4LogicalVolume(solidWorld,my_mat->GetMaterial("Air"), "TheWorld", 0, 0, 0);

logicWorld->SetVisAttributes(G4VisAttributes::Invisible); // hide the world

// Must place the World Physical volume unrotated at (0,0,0).
physiWorld = new G4PVPlacement(0, // no rotation
                              G4ThreeVector(), // at (0,0,0)
                              logicWorld, // its logical volume
                              "TheWorld", // its name
                              0, // its mother volume
                              false, // no boolean operations
                              0); // copy number
```

'Top' volume : le monde

La géométrie, du code !

```
G4Sphere *asolidShell; G4LogicalVolume *alogicShell; G4VPhysicalVolume *aphysiShell;  
G4VisAttributes *visatt;
```

```
asolidShell = new G4Sphere(Name, RMin, RMax, PhiStart, PhiDelta, ThetaStart, ThetaDelta);  
alogicShell = new G4LogicalVolume(asolidShell, my_mat->GetMaterial("LaBr3"), Name, 0, 0, 0);
```

```
visatt = new G4VisAttributes( G4Colour(1.0, 0.0, 0.) );  
visatt->SetVisibility(true);
```

```
alogicShell->SetVisAttributes( visatt );  
aphysiShell = new G4PVPlacement(0, // no rotation  
                                G4ThreeVector(), // at (0,0,0)  
                                alogicShell, // its logical volume  
                                Outer.Name, // its name  
                                logicWorld, // its mother volume  
                                false, // no boolean operations  
                                2); // copy number
```

Une sphère placée dans le monde

G4

```
class ParisShellDetectorConstruction : public G4VUserDetectorConstruction
{
public:
...
    G4VPhysicalVolume* Construct();

class ParisStandardEMPhysicsList: public G4VUserPhysicsList
{
public:
    void ConstructParticle();
    void ConstructProcess();

    void SetCuts();
,

class ParisPrimaryGeneratorAction : public G4VUserPrimaryGeneratorAction
{
public:
    virtual void GeneratePrimaries(G4Event* anEvent);
}
}
```

Phase

- définit
- des pr
- gén

Boucle principale :

/run/BeamOn 10000

- Start run # n : conditions de simulation fixes
- Start event # m
génère les particules primaires et les traque
- Stop event # m
- Stop run# n -



Geant4

- Les autres ingrédients, appelés dans la source -



G4UserXX Action, définies dans la source

Start run # i

Start event # j

Start track # k

Start step # l

Stop step # l

Stop track # k

Stop event # j

Stop run # i

```
class ParisBasicRunAction : public G4UserRunAction
{
public:
    virtual void BeginOfRunAction(const G4Run *therun);
    virtual void EndOfRunAction(const G4Run *therun);
};
```

```
class ParisBasicEventAction : public G4UserEventAction
{
public:
    virtual void BeginOfEventAction(const G4Event *event);
    virtual void EndOfEventAction(const G4Event *event);
};
```

```
class ParisTrackingAction : public G4UserTrackingAction
{
public:
    virtual void PreUserTrackingAction(G4Track *track);
    virtual void PostUserTrackingAction(G4Track *track);
};
```

```
class ParisBasicSteppingAction : public G4UserSteppingAction
{
public:
    virtual void UserSteppingAction(const G4Step *step) ;
};
```

Geant4 : hits, sensitive volumes

```
...  
aLogicShell = new G4LogicalVolume(aSolidShell, LaBr3, Name, 0, 0, 0);  
...  
aLogicShell->SetSensitiveDetector( trackerSD );
```

- Les volumes actifs (détecteurs) doivent être signifiés
- On associe au volume un objet **G4VSensitiveDetector**
- Gère des listes de **G4VHit** (MyHit)
- L'utilisateur conserve l'info. dont il a besoin - Ex:
'tracker' : on garde dépôt d'énergie et positions
'calorimètre' : on garde que les dépôts d'énergie

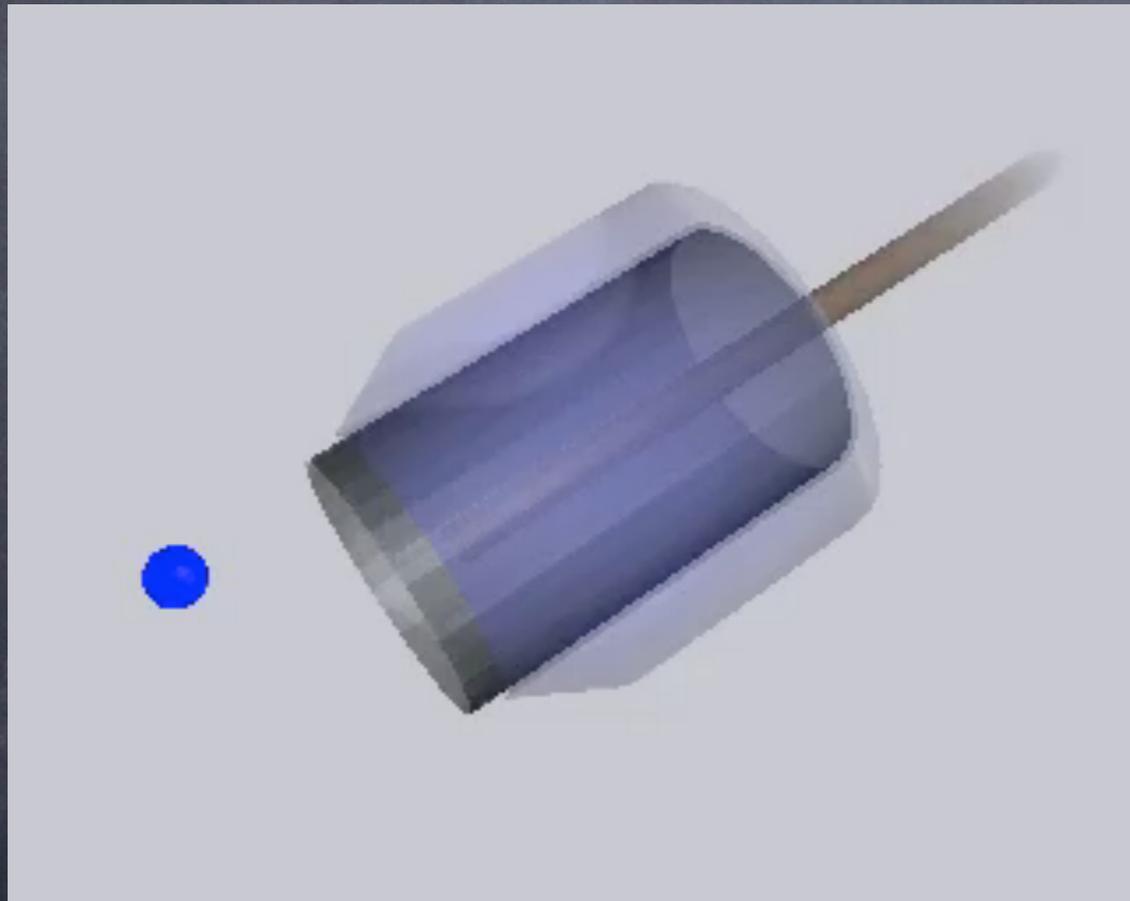
```
c class ParisCaloSD : public G4VSensitiveDetector  
{  
{  
public:  
void Initialize(G4HCofThisEvent *HCE);  
G4bool ProcessHits(G4Step *aStep, G4TouchableHistory *RHist);  
void EndOfEvent(G4HCofThisEvent *HCE);  
} }  
}
```

appelé à chaque step
on remplit la liste de MyHit

ex calorimètre :
on calcule les moyennes

Multidétecteur de rayonnements γ

Avec bouclier Anti-Compton : Génération 'actuelle'



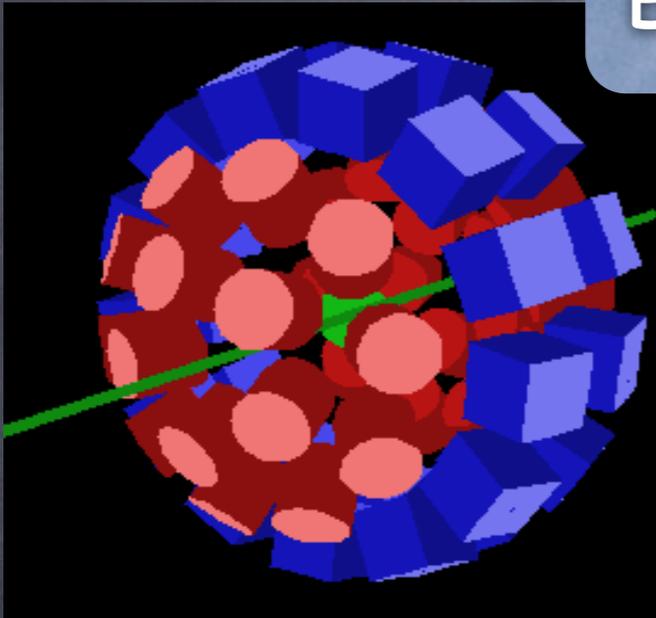
L'évènement est marqué
 \Rightarrow réjection !

Enceinte BGO :
efficace / résolution pauvre

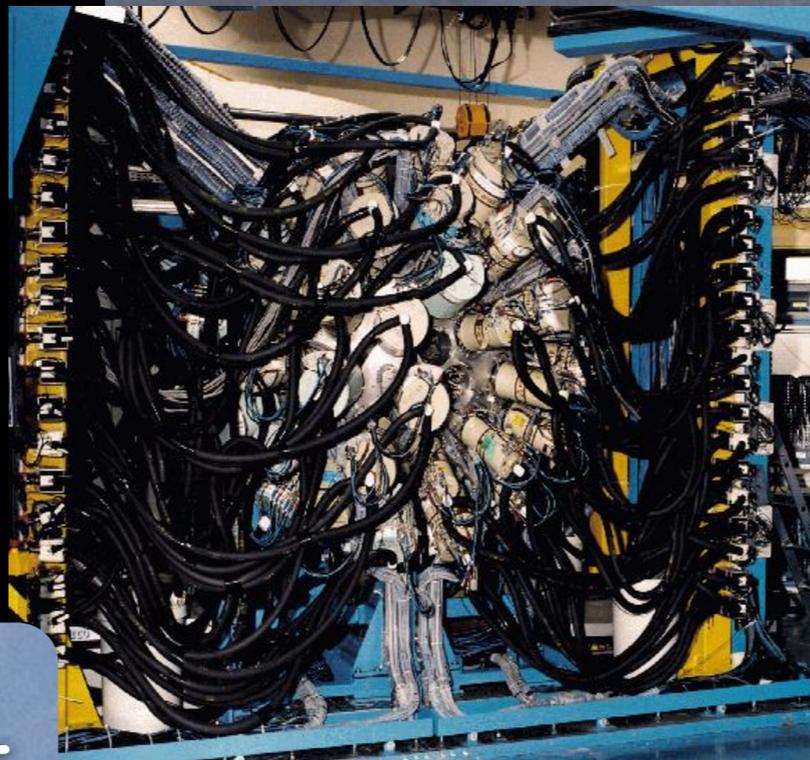
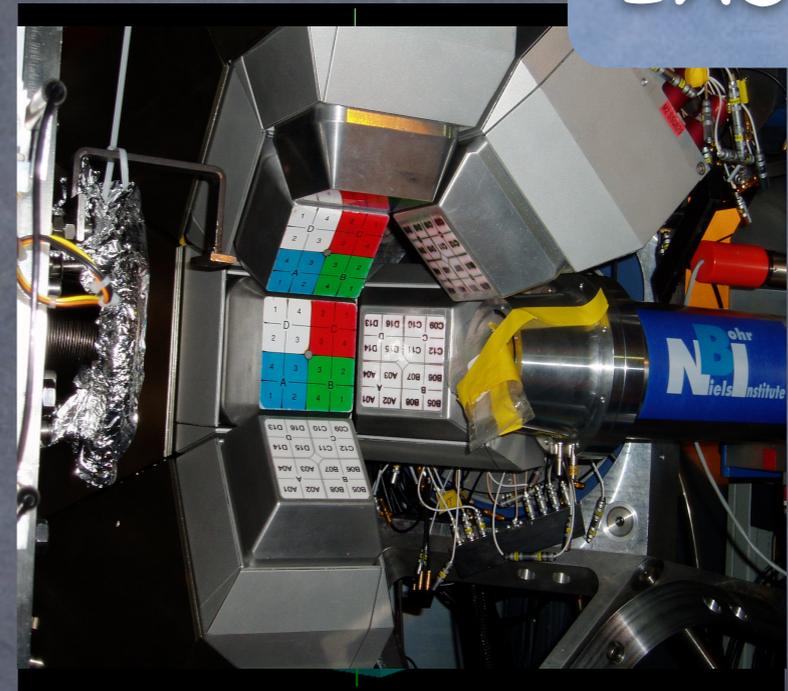
$P/T = 0.5$ Une énergie détectée sur 2 fausse

Multidétecteur de rayonnements γ basés sur bouclier Anti-Compton

EUROGAM



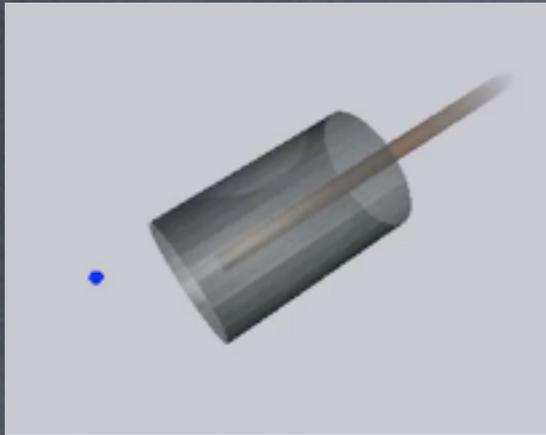
EXOGRAM



EUROBALL

+ Segmentation physique/électrique

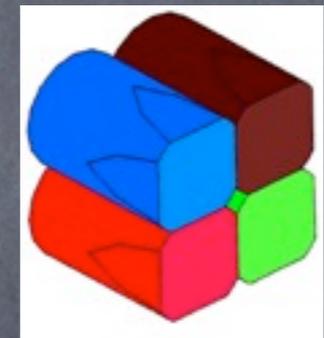
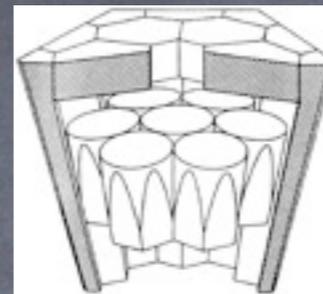
Retour sur la détection des γ



semi-conducteur Ge
(FWHM pour mille)
azote liquide, polarisé
e \Rightarrow centre, trou \Rightarrow surface

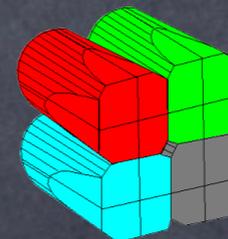
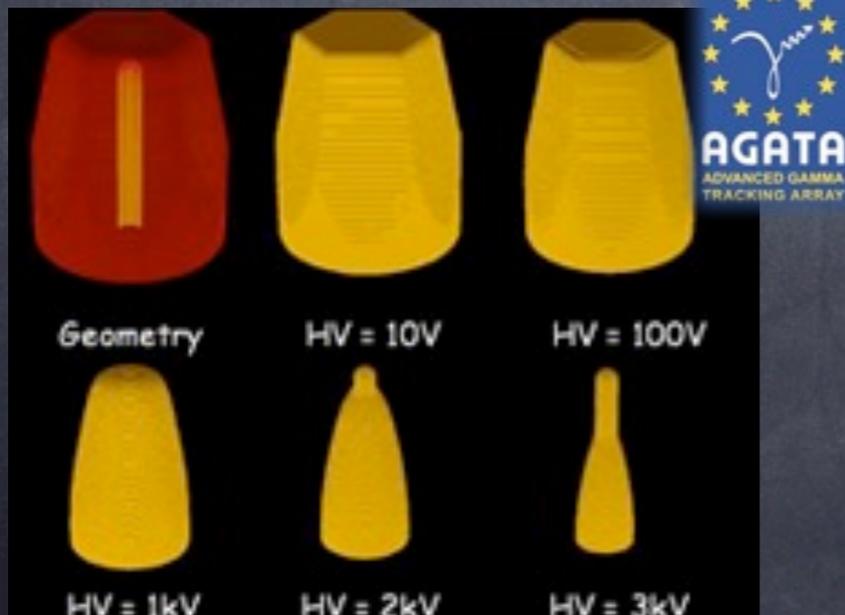
Segmentation **physique**

assemblage de cristaux dans un Anti-Compton commun



Segmentation **électrique**

mosaïque d'électrodes sur la surface externe
découpage volumes virtuelles du détecteur



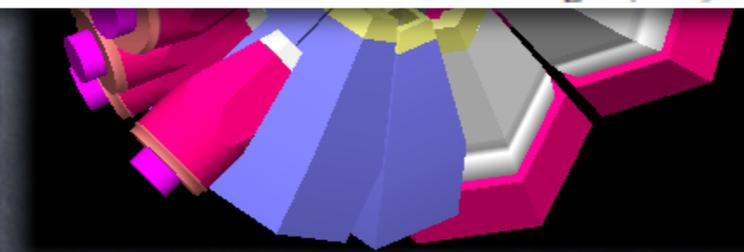
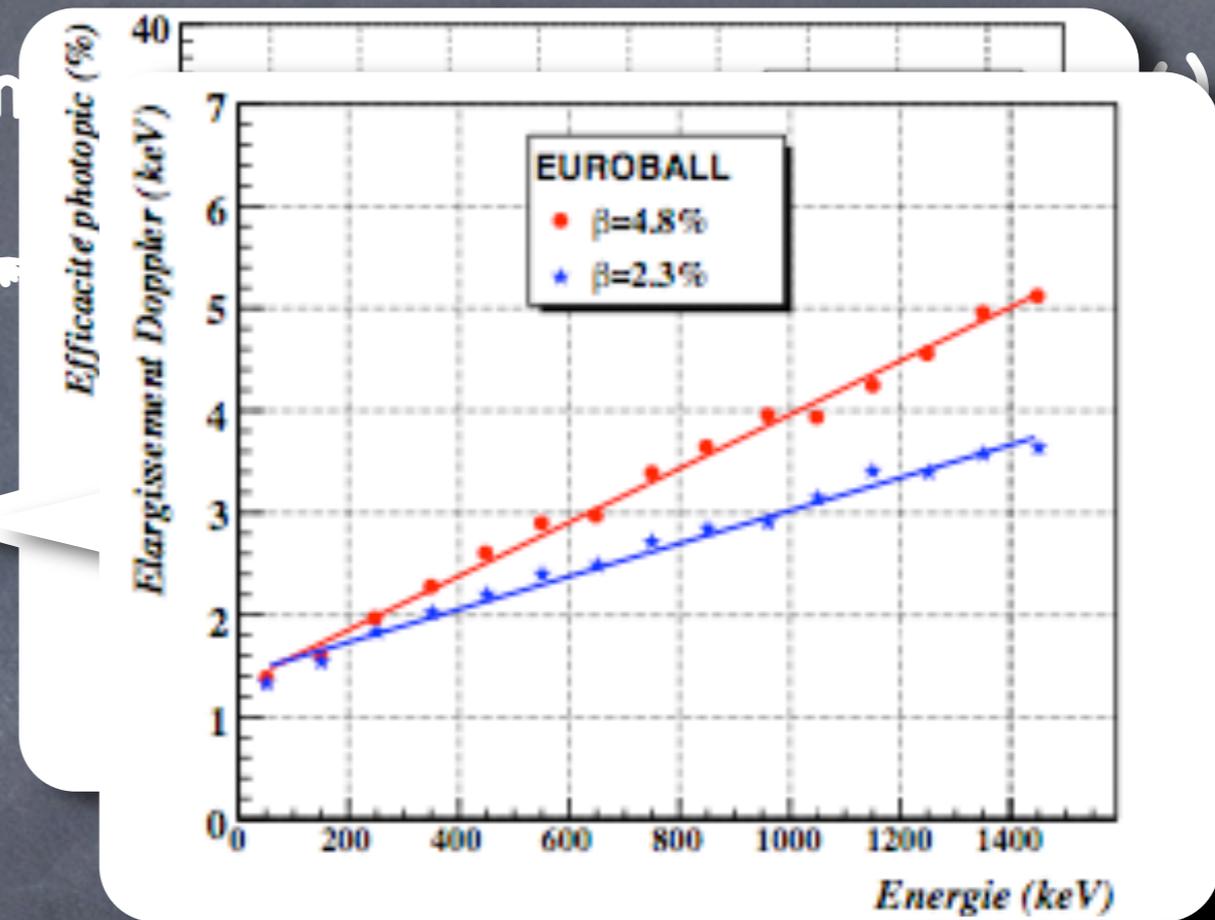
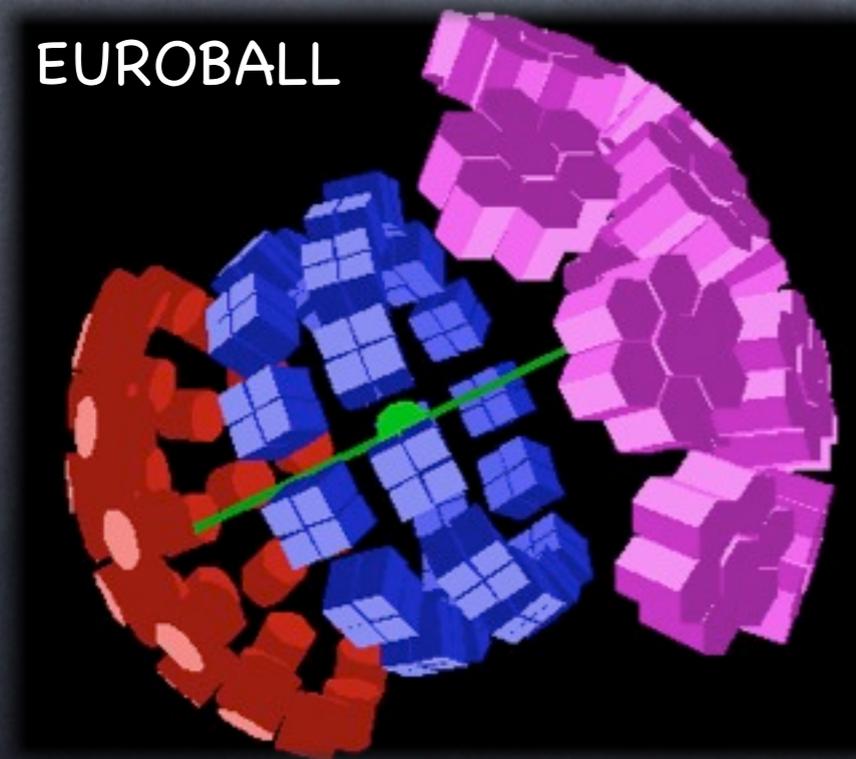
Clover EXOGAM

4 x 4

Multidétecteur de rayonnements γ basés sur bouclier Anti-Compton

→ fonction de réponse optimale :

- ★ EUROGAM, EUROBALL
- ★ EXOGAM → Efficacité
- ★ Sources 'simples' ...



+ BGO, absorbeurs ...

Multidétecteur de rayonnements γ basés sur bouclier Anti-Compton

Inconvénients

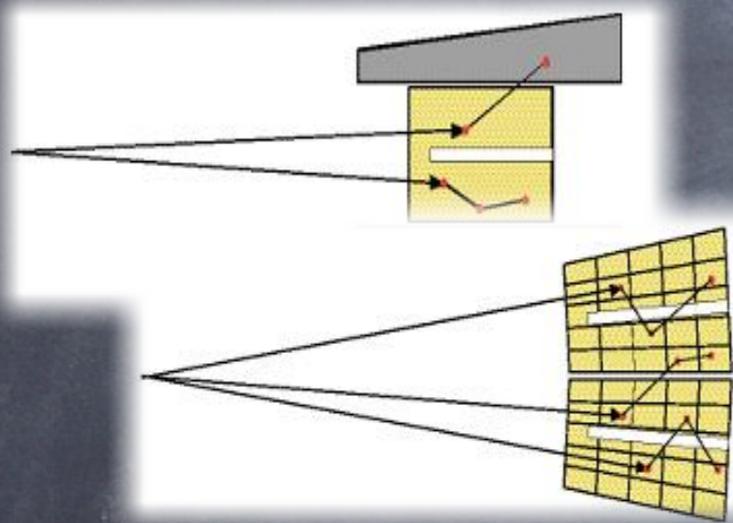
- ❌ Bouclier anti-Compton prennent de l'espace
- ❌ Réjection \rightarrow perte d'efficacité !
- ❌ Ouverture angulaire ...

Solutions : $\sim 4\pi$ Ge

- ✅ Pas d'anti-Compton mais diffusion !
- ✅ Précision sur la direction d'émission ...

\rightarrow TRACKING des rayonnements γ !

Multidétecteur de rayonnements γ basés sur le « tracking »

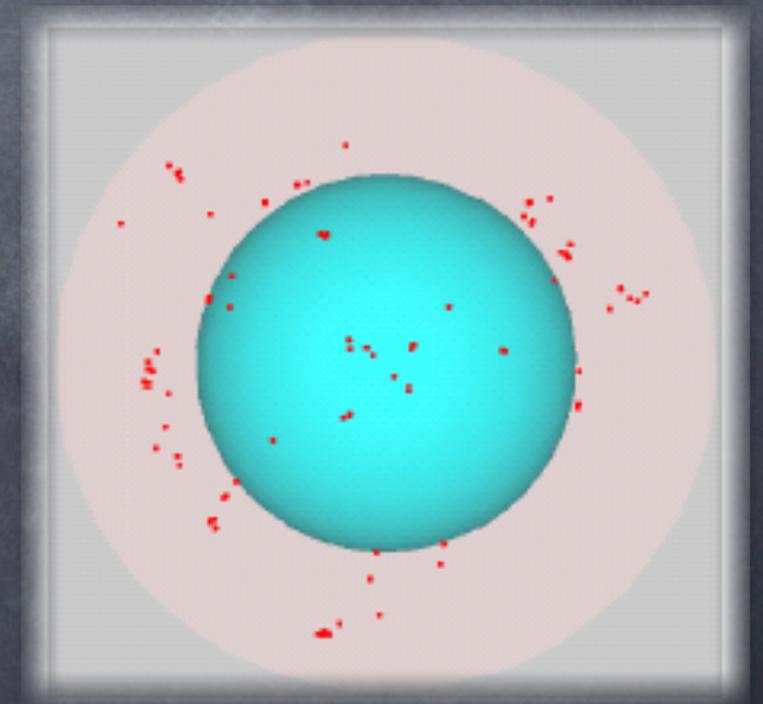


$$N \sim 100 : \epsilon_{ph} \sim 10\%, \theta \sim 8^\circ, \Omega \sim 40\%$$

$$N \sim 100 : \epsilon_{ph} \sim 50\%, \theta \sim 1^\circ, \Omega \sim 80\%$$

- Précision sur les points d'interaction ?
- influence sur le tracking efficacité, P/T ?
- nature probabiliste de l'interaction !

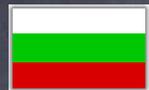
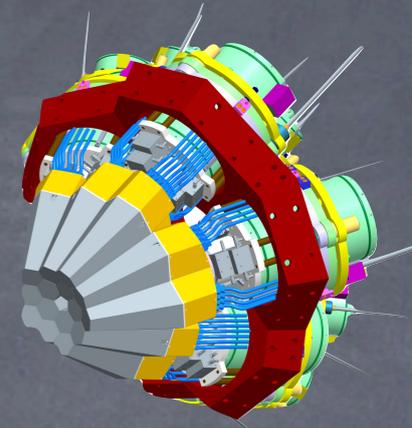
➔ Les simulations sont indispensables !!





La collaboration AGATA

Advanced Gamma Tracking Array



Bulgaria: Univ. Sofia



Denmark: NBI Copenhagen



Finland: Univ. Jyväskylä



France: GANIL Caen, IPN Lyon, CSNSM Orsay, IPN Orsay, CEA-DSM-DAPNIA Saclay, IreS Strasbourg



Germany: GSI Darmstadt, TU Darmstadt, Univ. zu Köln, LMU München, TU München



Hungary: Debrecen



Italy: INFN and Univ. Firenze, INFN and Univ. Genova, INFN Legnaro, INFN and Univ. Napoli, INFN and Univ. Padova, INFN and Univ. Milano, INFN Perugia and Univ. Camerino



Poland: IFJ PAN Krakow, SINS Swierk, HIL & IEP Warsaw



Romania: NIPNE & PU Bucharest



Sweden: Chalmers Univ. of Technology Göteborg, Lund Univ., Royal Institute of Technology Stockholm, Uppsala Univ.



UK: Univ. Brighton, STFC Daresbury, Univ. Edinburgh, Univ. Liverpool, Univ. Manchester, Univ. Paisley, Univ. Surrey, Univ. York



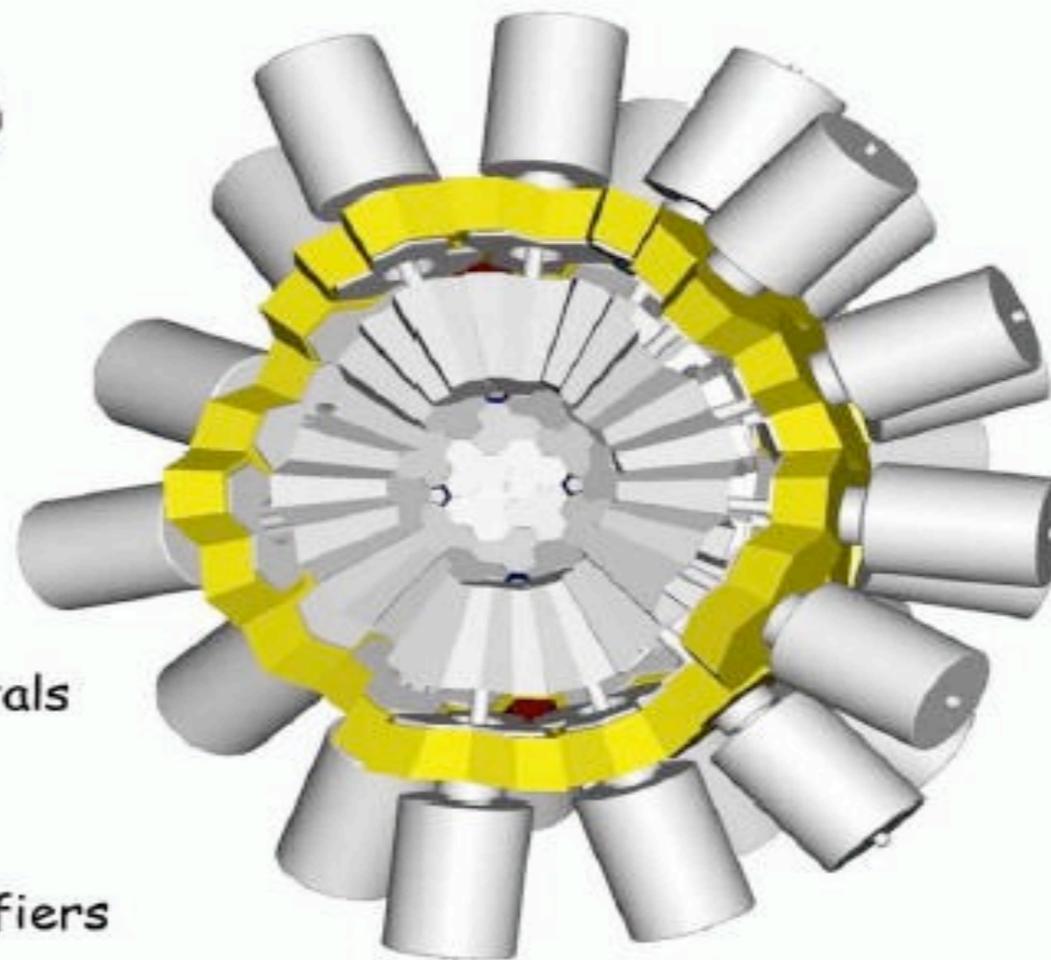
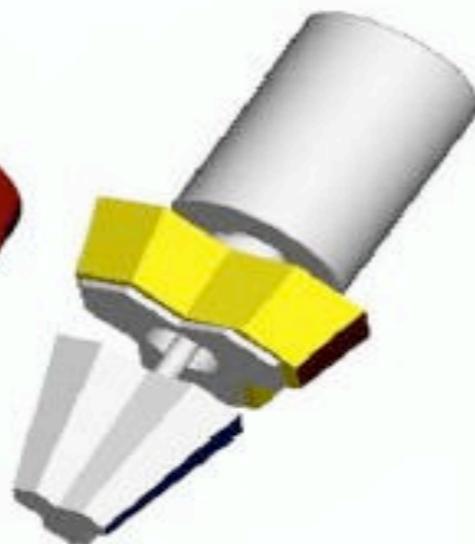
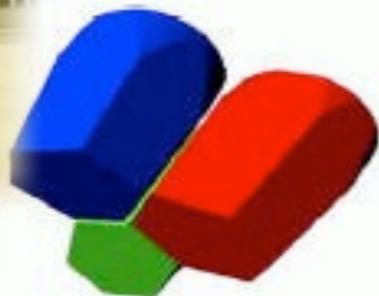
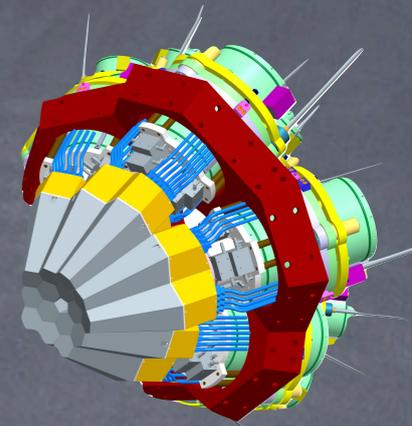
Turkey: Univ. of Ankara, Istanbul University

Collaboration Européenne



La collaboration AGATA

Advanced Gamma Tracking Array



Ge crystals:
Hexaconical shape
90-100 mm long
80 mm max diameter
36 segments
Al encapsulation:
0.6 mm spacing
0.8 mm thickness

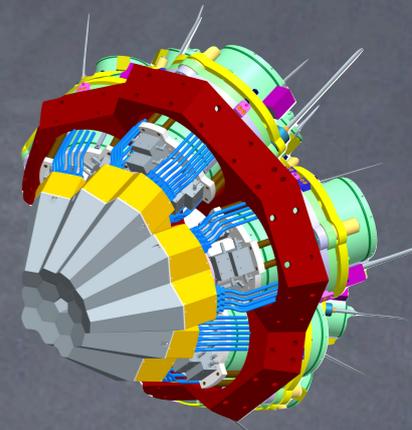
Triple clusters:
3 encapsulated crystals
Al end-cap:
1.5 mm spacing
1.5 mm thickness
111 cold FET preamplifiers

Distance between faces of crystals:
in same cluster ~3 mm
in adjacent clusters ~9 mm

Total weight of the 60 clusters of the AGATA-180 configuration ~2.5 tons
Mounted on a self-supporting structure

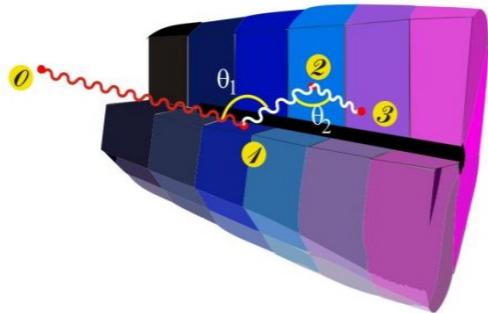
La collaboration AGATA

Advanced Gamma Tracking Array



Les ingrédients !

Highly segmented
HPGe detectors



Digital electronics
to record and
process segment
signals

36 + 1 signaux

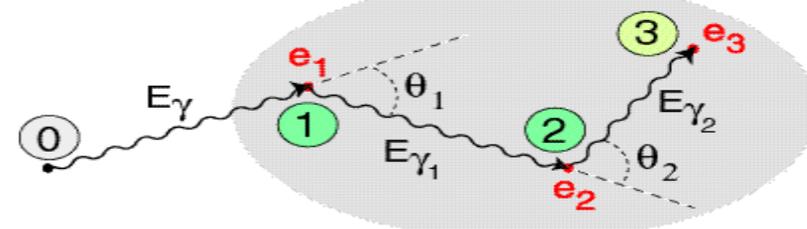
Identified
interaction

$(x, y, z, E, t)_i$

Pulse Shape Analysis
to decompose
recorded waves



Reconstruction of tracks
e.g. by evaluation of
permutations
of interaction points

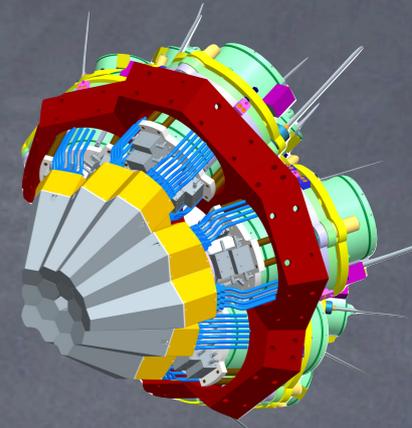


reconstructed γ -rays



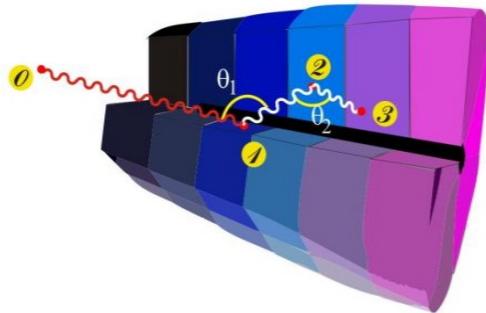
La collaboration AGATA

Advanced Gamma Tracking Array



Les ingrédients !

Highly segmented
HPGe detectors

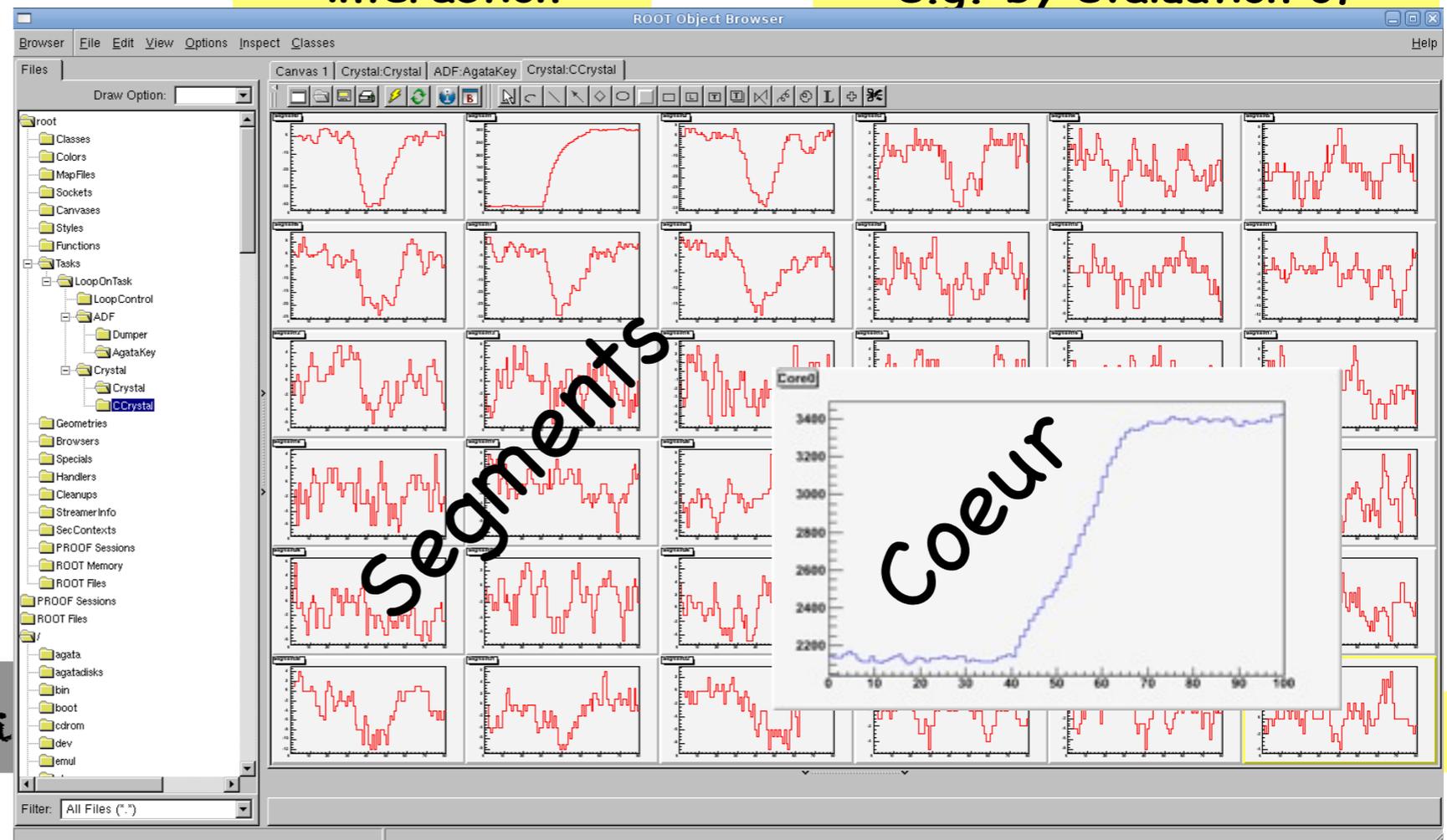


Digital electronics
to record and
process segment
signals

36 + 1 si

Identified
interaction

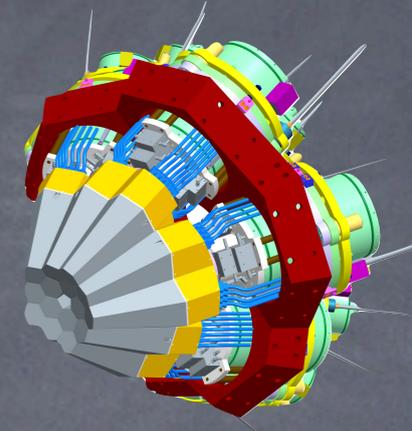
Reconstruction of tracks
e.g. by evaluation of





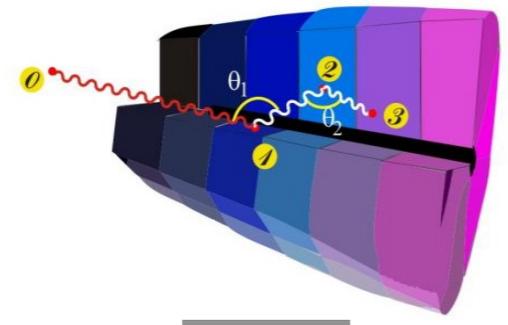
La collaboration AGATA

Advanced Gamma Tracking Array



Les ingrédients !

Highly segmented HPGe detectors



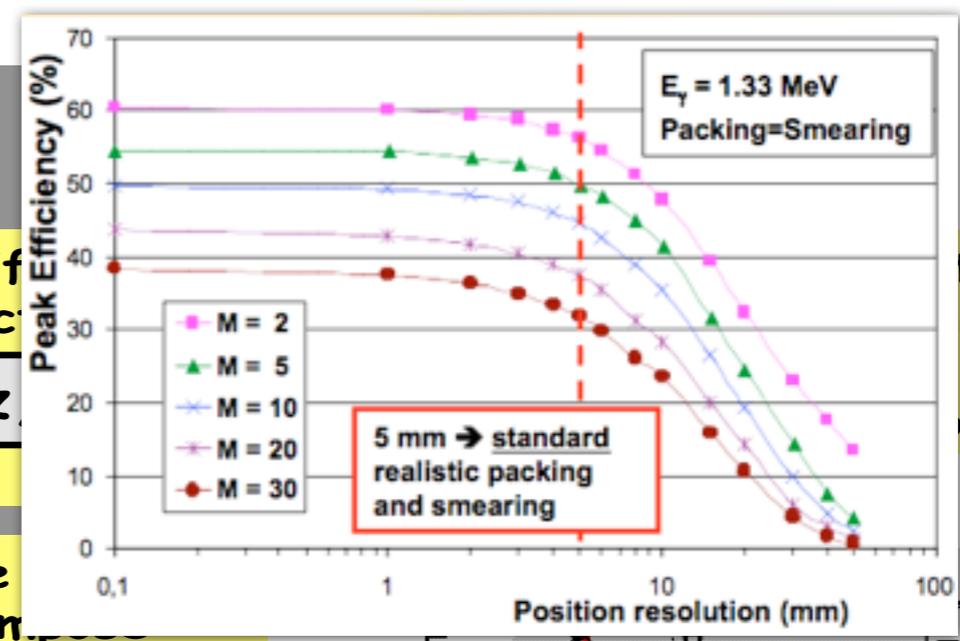
Digital electronics to record and process segment signals

36 + 1 signaux

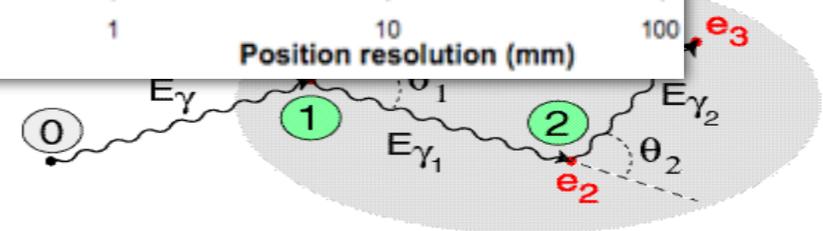
Identify interactions

(x, y, z)

Pulse Shape to decompose recorded waves



tracks
n of
ints

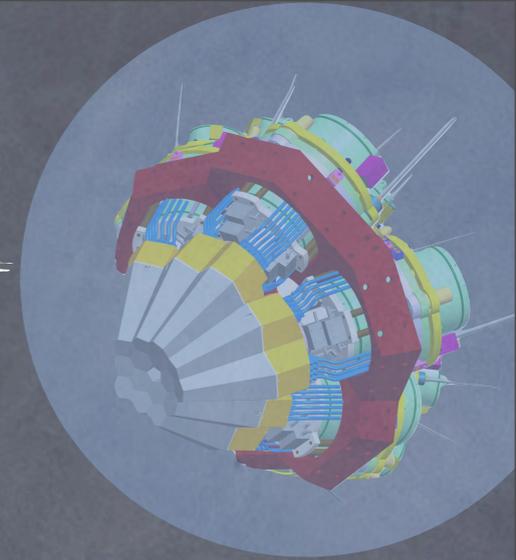


reconstructed γ -rays



La collaboration ~~AGATA~~

Advanced Gamma Tracking Array



■ Construction par phases :

- ① Démonstrateur, Legnaro février 2010 ➔ fin 2011
- ② GSI - 2011 ➔ fin 2012-2013
- ③ GANIL - 2012-2013

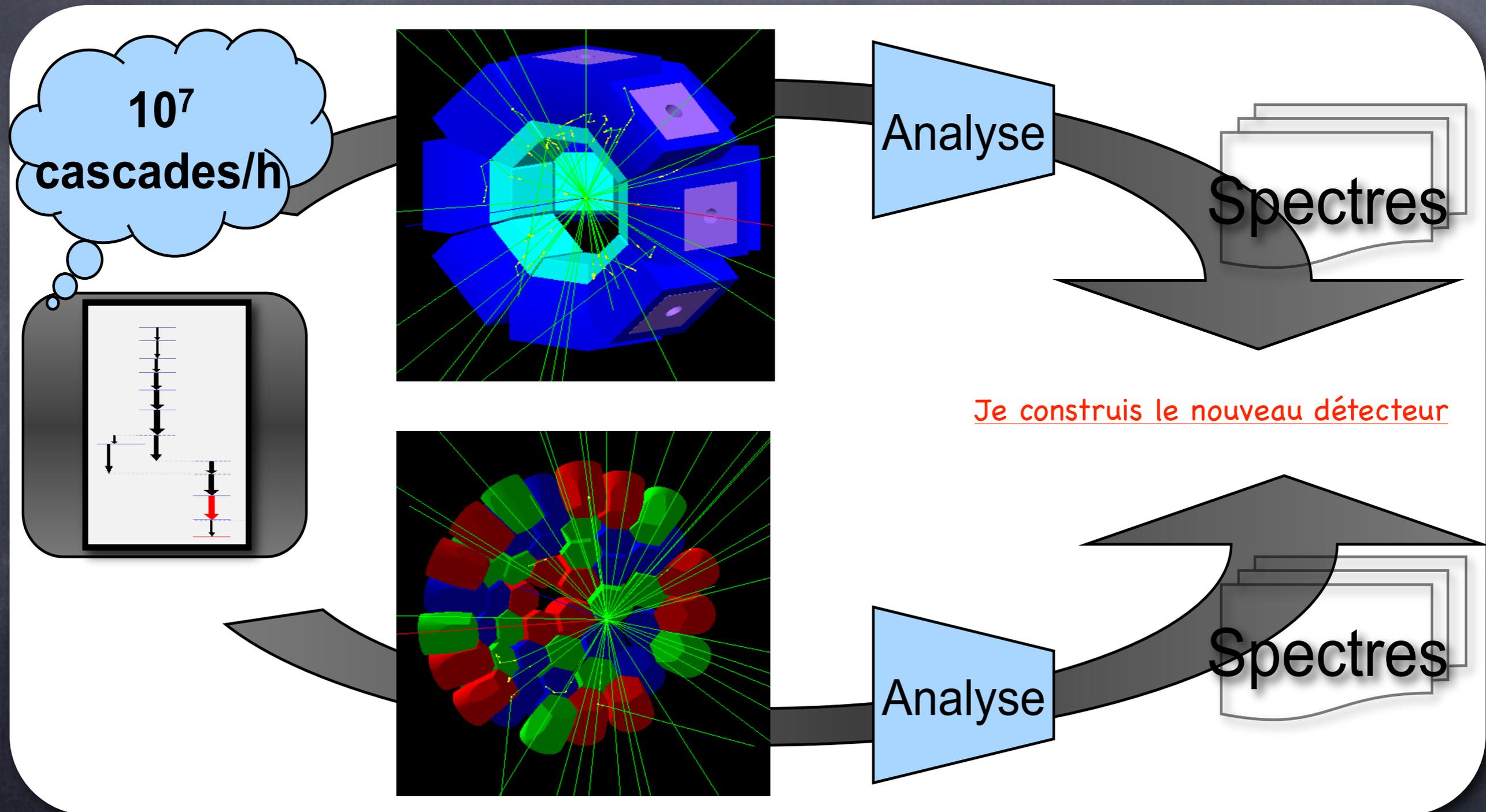
- A chaque étape, ajout de détecteurs
- Le détecteur doit être mobile !
- Le détecteur peut être modulaire ...
- La physique est très différente

faisceaux :

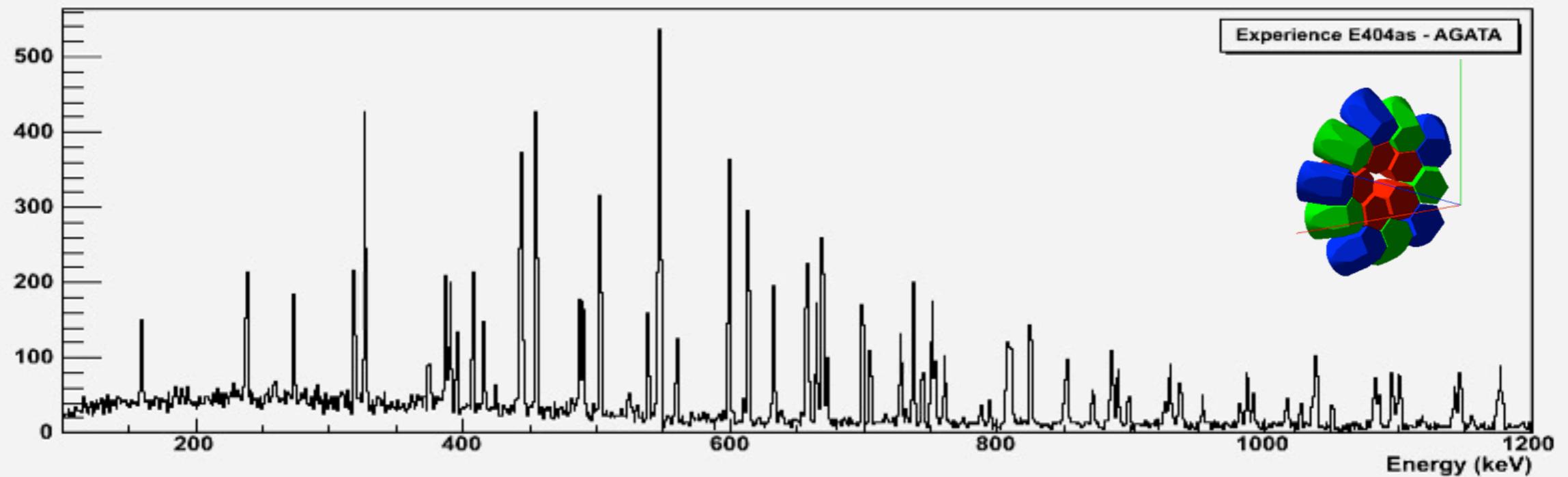
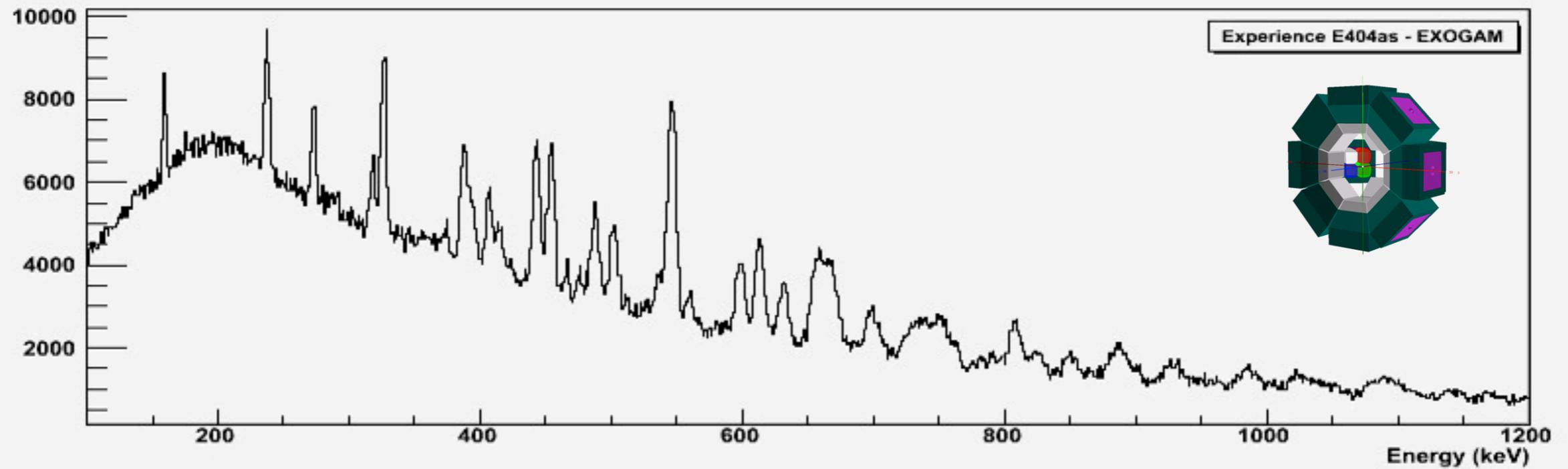
- ① stables
- ② relativistes
- ③ radioactifs

Simulations : AGATA - EXOGAM

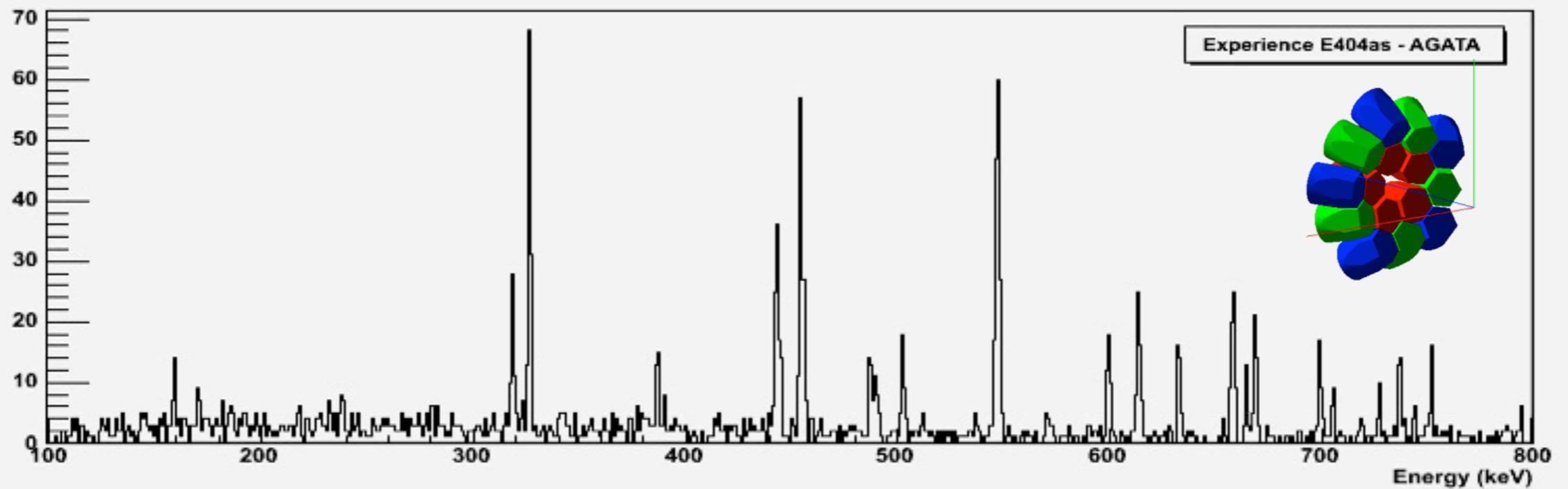
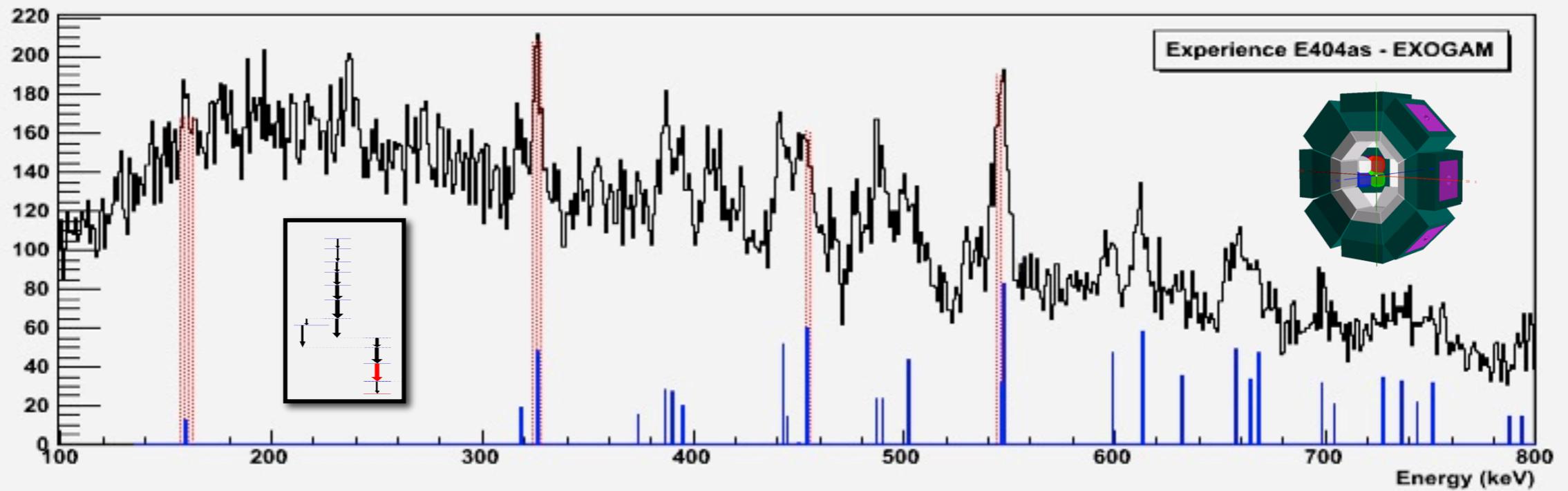
Générateur \Rightarrow Geant4 \Rightarrow Analyse



Simulations : AGATA - EXOGAM



Simulations : AGATA - EXOGAM



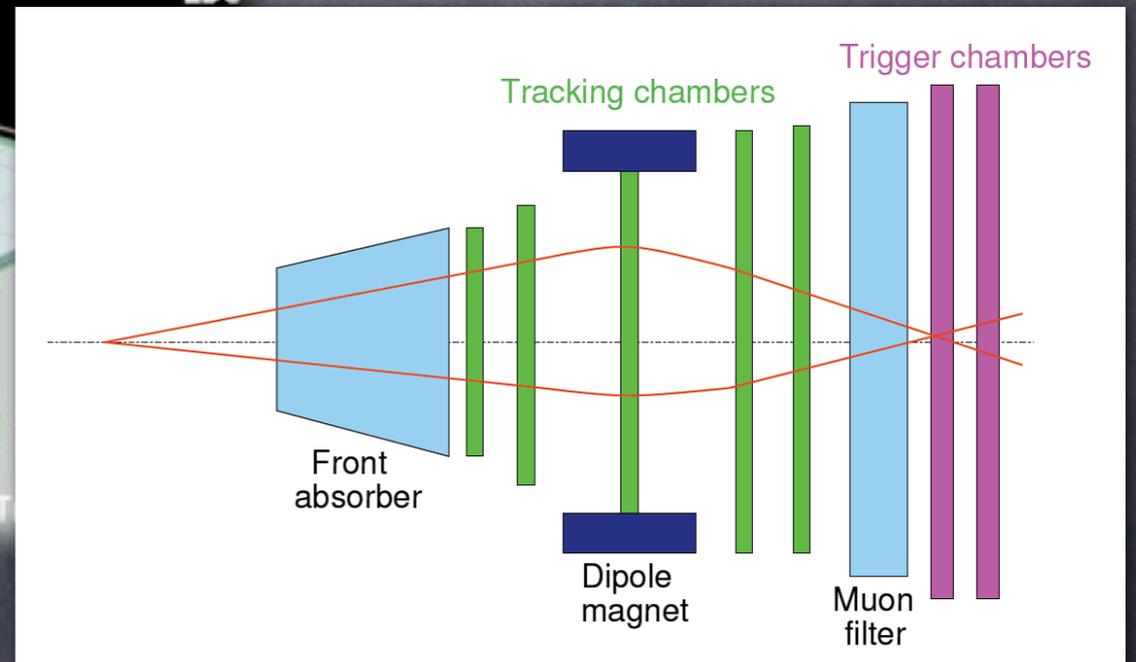
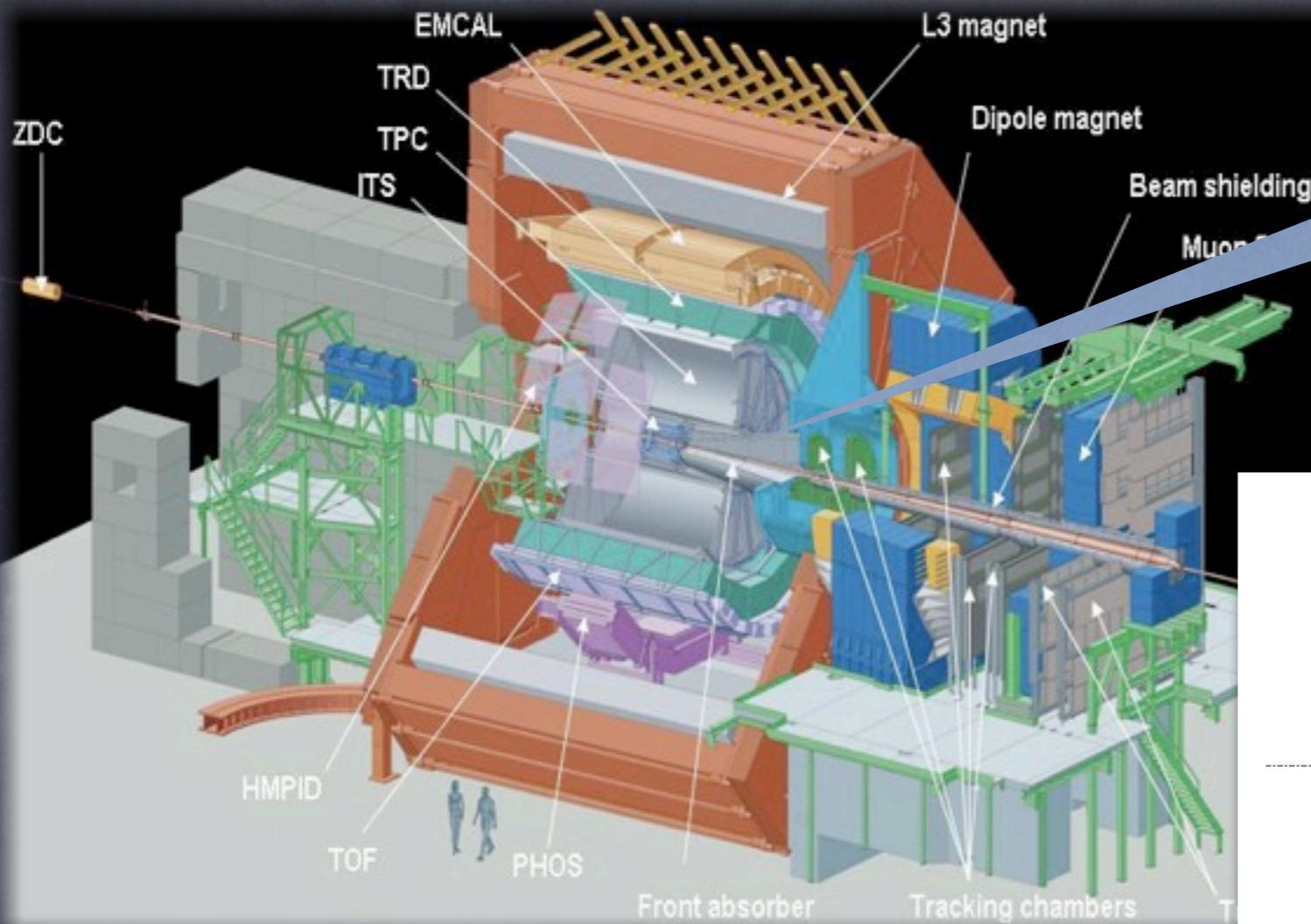


Le détecteur ALICE



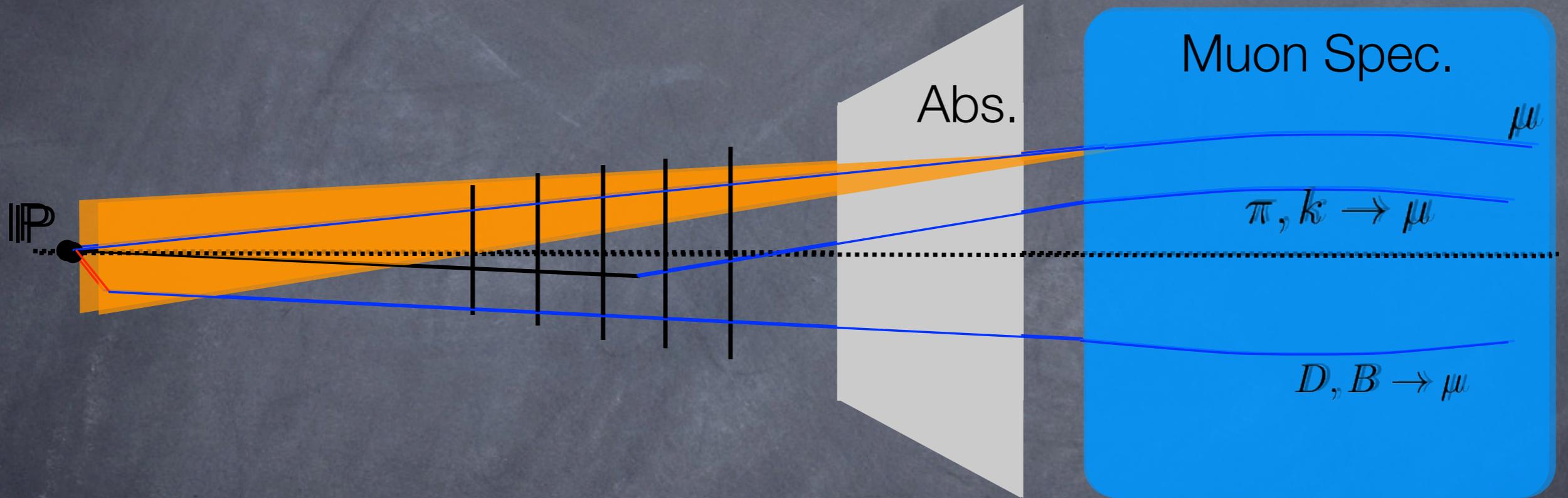
Le spectromètre à muons : am

Problème de reconstruction !





Le détecteur ALICE



➔ Solution : instrumentaliser devant l'absorbeur



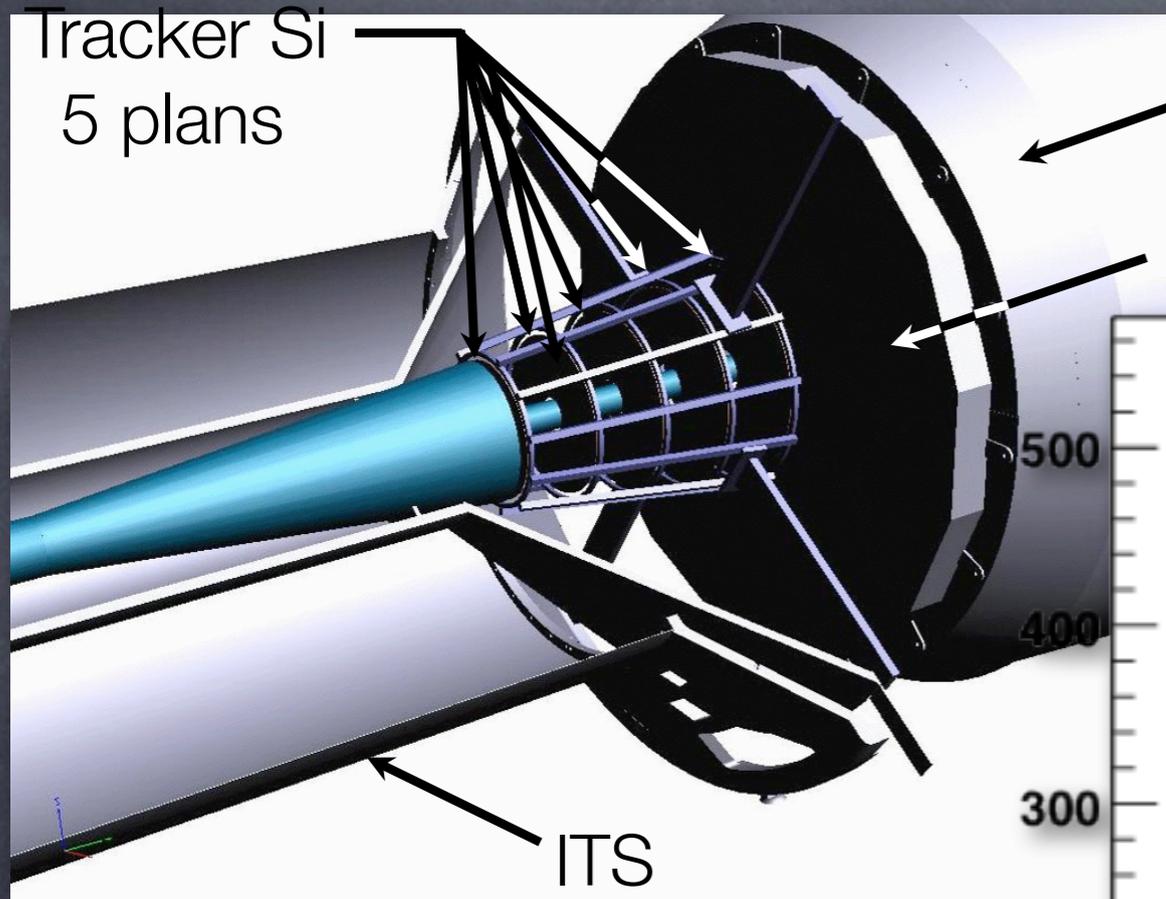
L.Massacrier, L.Ducroux, R.Tieulent



Le détecteur ALICE



Performances attendues

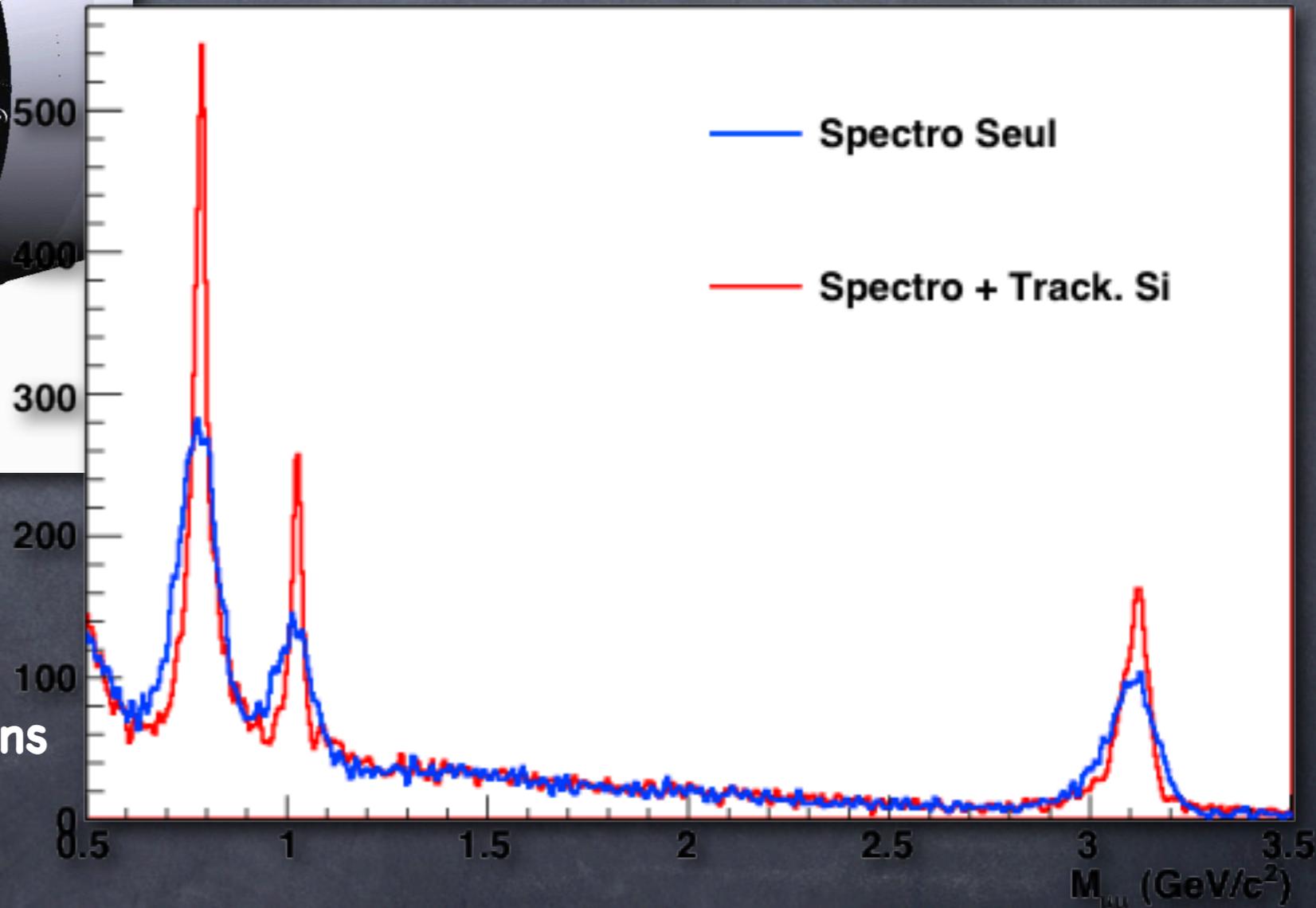


Absorbeur

VOC

ITS

L.Massacrier, L.Ducroux, R.Tieulent



σ masse invariante :

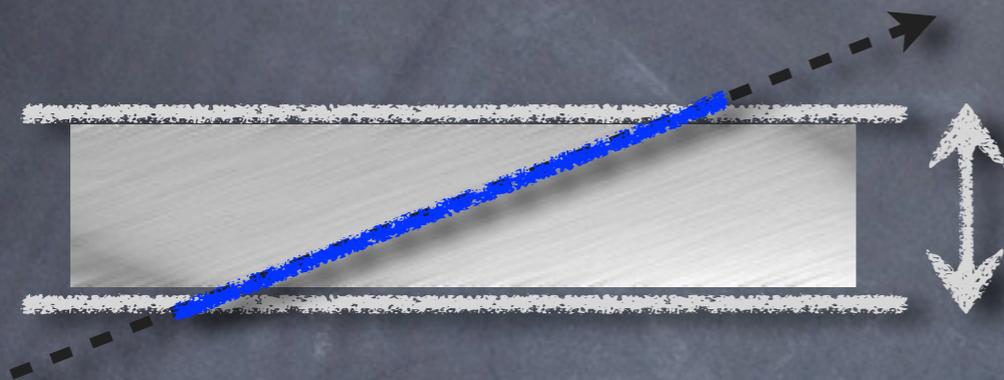
dépend de l'angle entre les 2 muons



Le détecteur ALICE



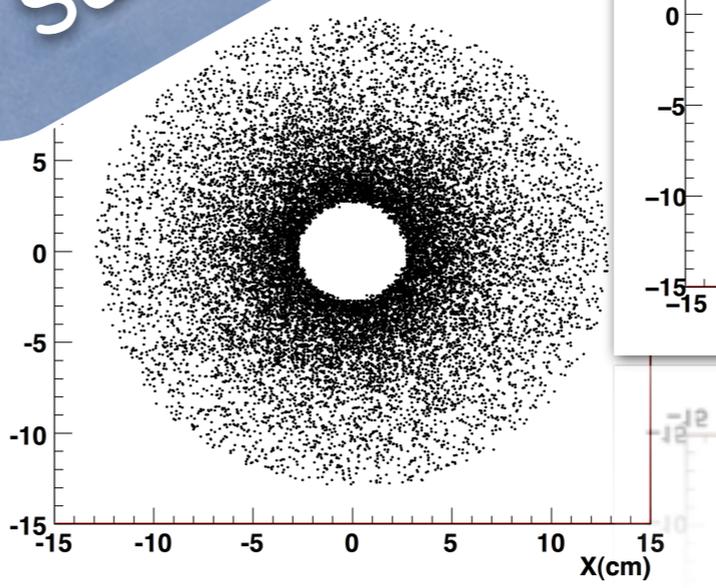
Il faut tenir compte du «beam pipe» !



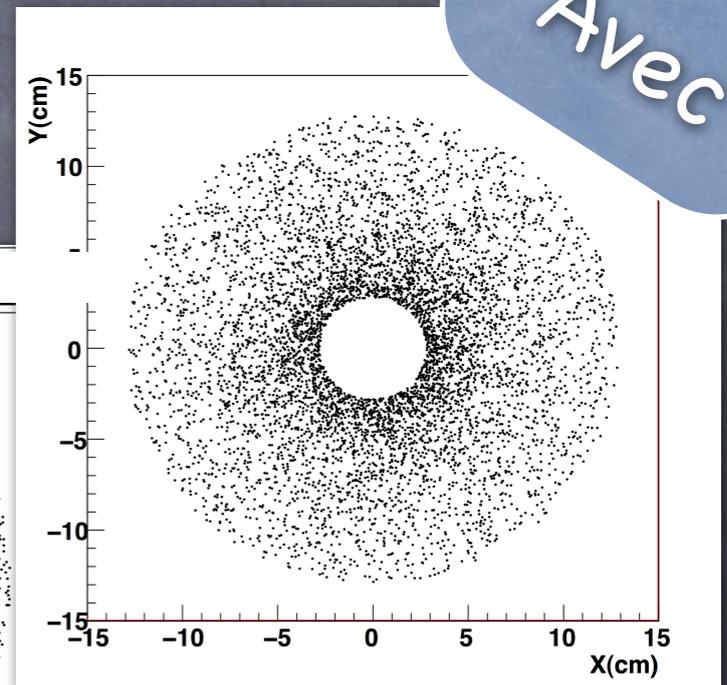
0.8 mm \rightarrow 23mm traversé à faible angle



Sans



Avec



L.Massacrier, L.Ducroux, R.Tieulent

Calorimètre du 'futur' ...

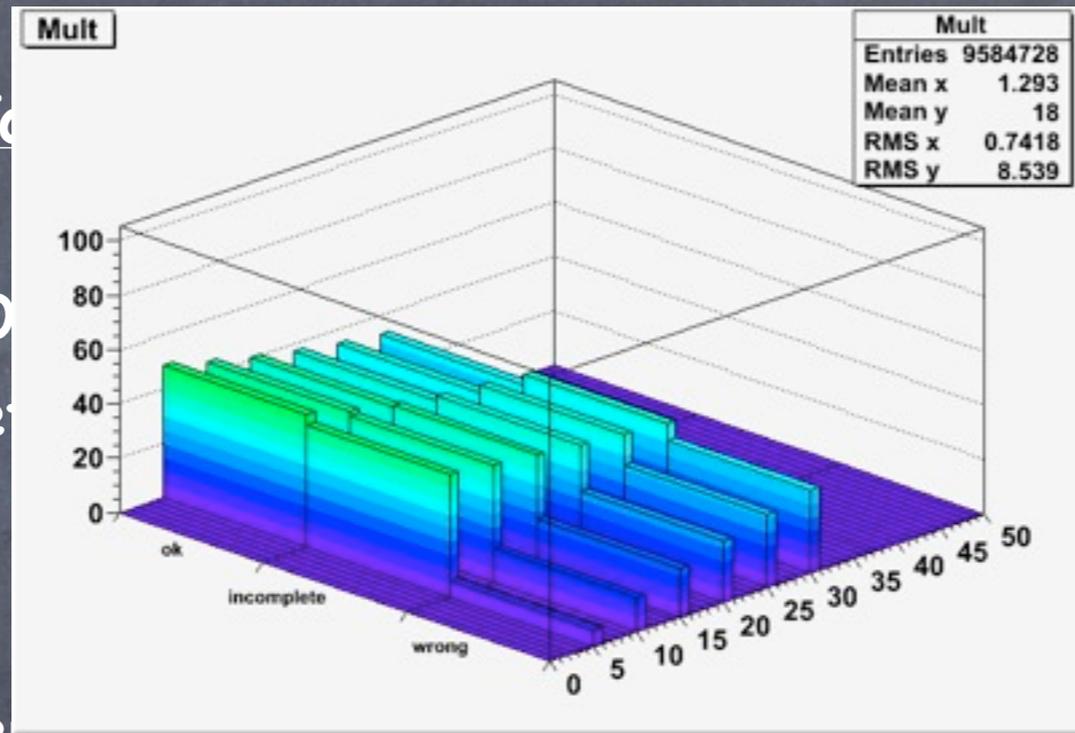
PARIS : Photon Array for studies with **R**adioactives **I**ons and **S**tables beams

contraintes for

- $\Sigma E_\gamma, M_\gamma$
- GDR [10]
- γ discrete

résolution

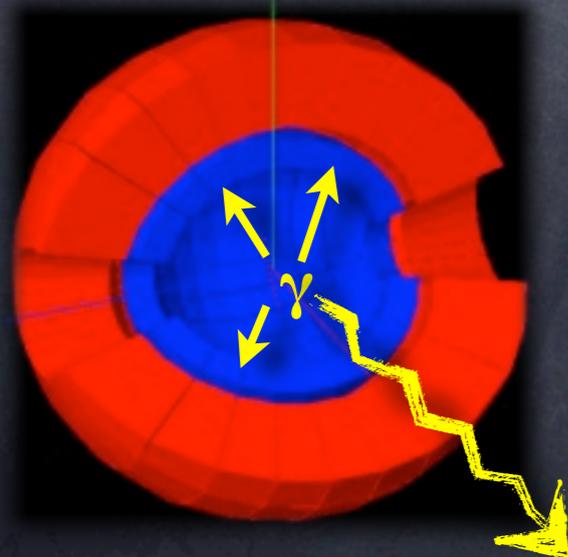
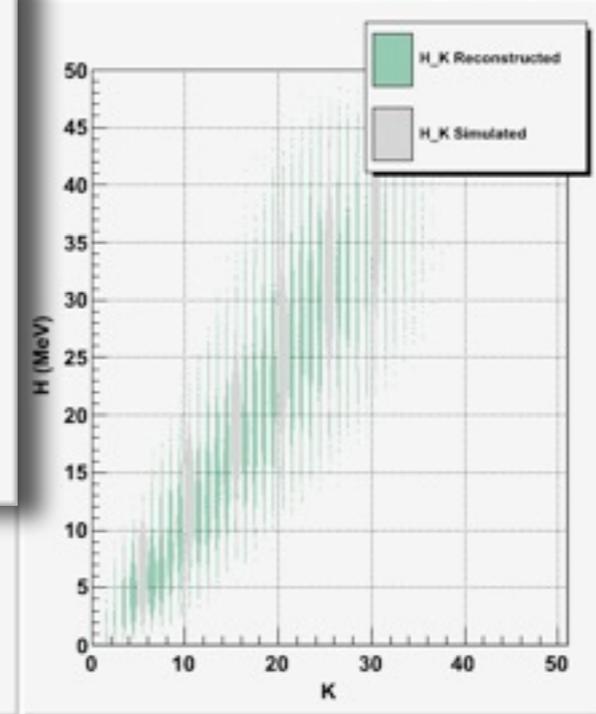
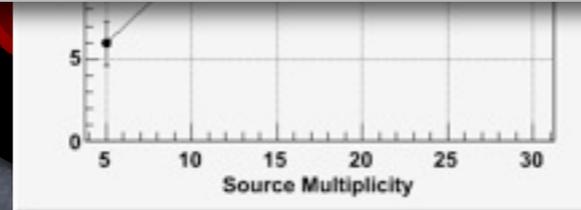
segmentation :



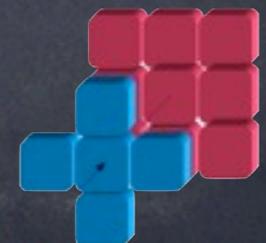
+ lumière \Rightarrow résolution

3 : nouveau scintillateur ... cher !

I valide ? ✓



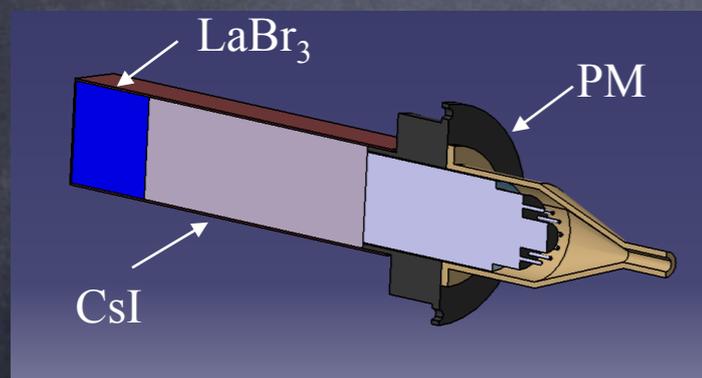
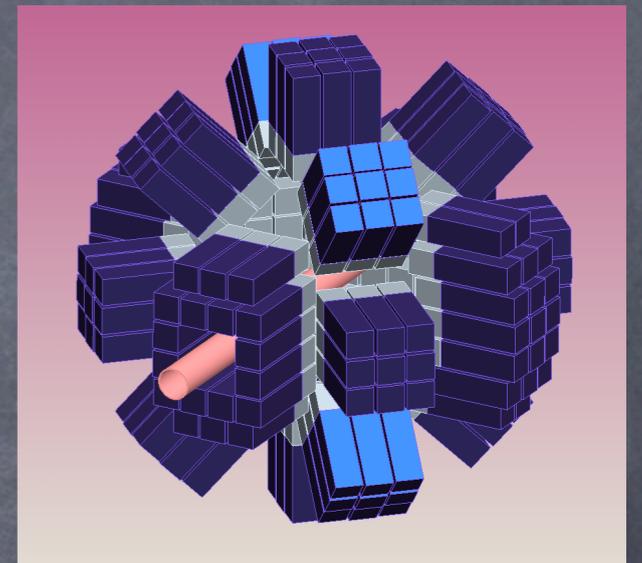
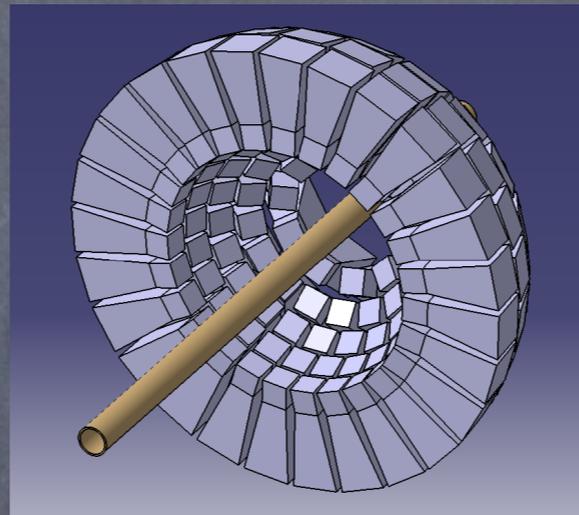
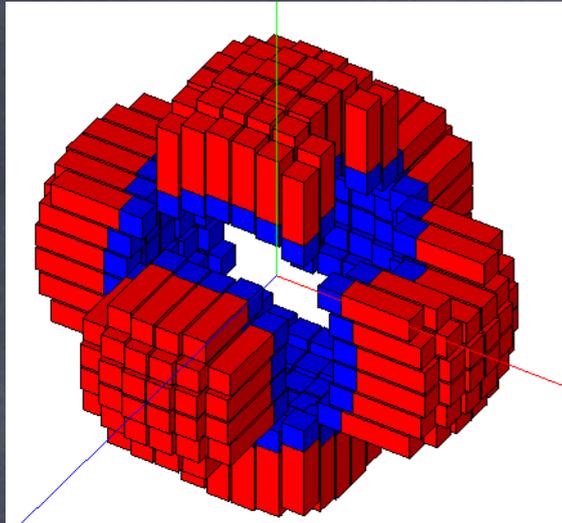
\rightarrow 'cluster' haute granularité !





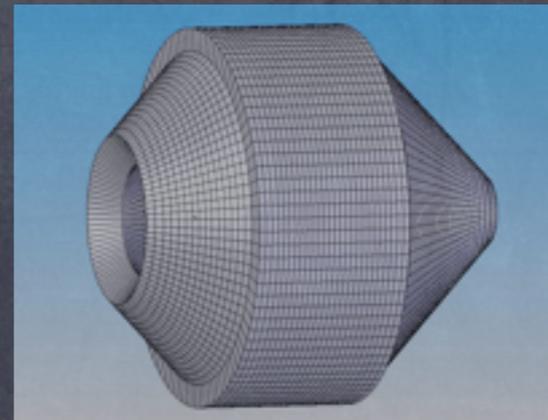
PHOTON ARRAY FOR STUDIES WITH RADIOACTIVE ION AND STABLE BEAMS

Etude des configurations possibles
(calorimètres courants ≈ 30 \rightarrow ≈ 300 pour PARIS)



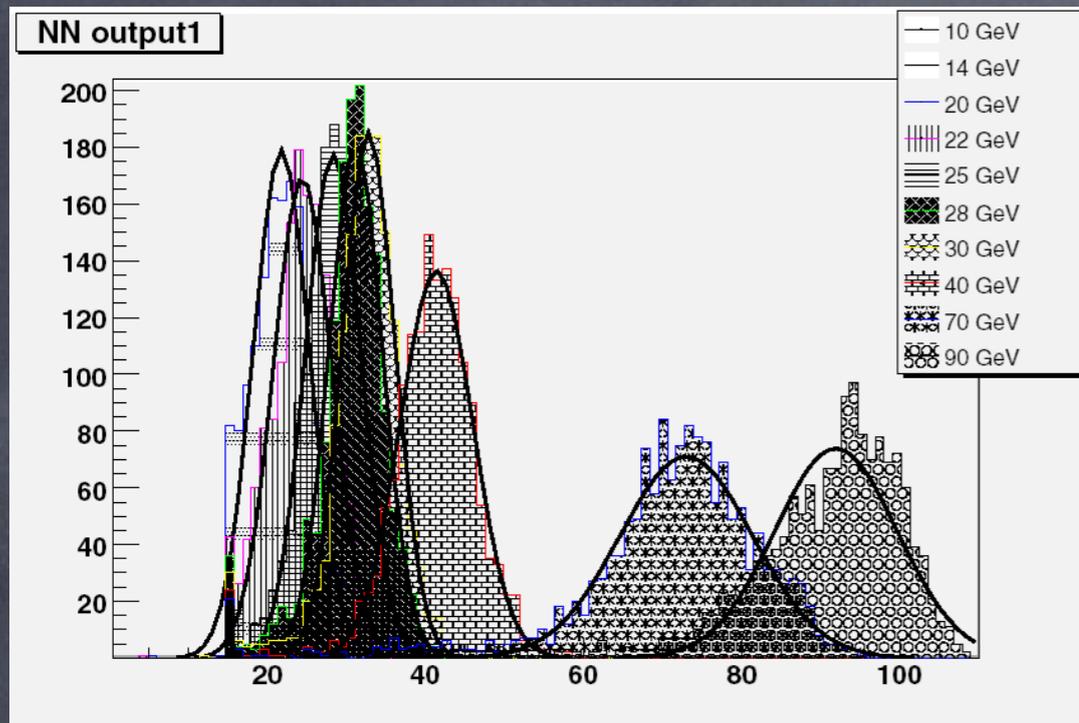
Module + PM

phoswich ?



R3B / FAIR
8000

Calorimètre du 'futur' ...



+ \Rightarrow un grand nombre de jets !

$$\text{caloE} + \sigma^2_{\text{caloH}} + \sigma^2_{\text{confusion}}$$

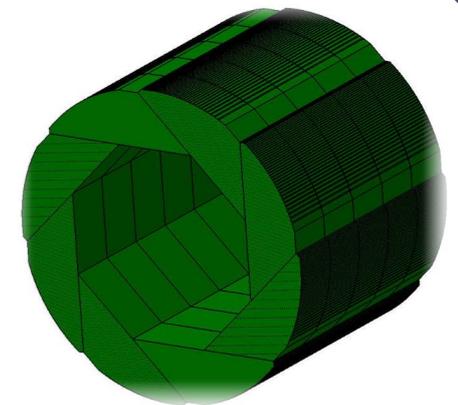
haute granularité



ronic CALorimeter (GRPC)

Haute segmentation, 'readout' 1 (2-3) bits :

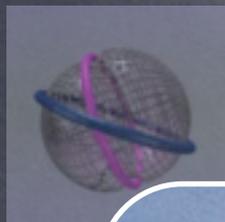
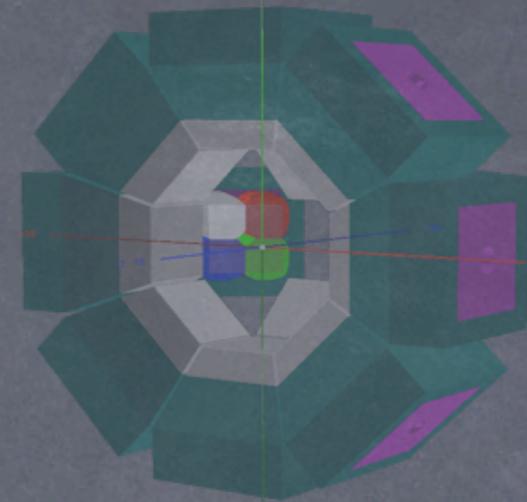
- ➔ énergie à partir du pattern ?
- ➔ simulations réalistes (zones mortes, effets bords)
- ➔ a priori ok $N_{\text{pad_fired}}$, mais études + poussées requises
 - réseaux de neurones - énergie
 - transformée de Hough - étalonnage, contrôle du détecteur
 - minimum spanning tree - séparation électromagnétique / calorimétrique



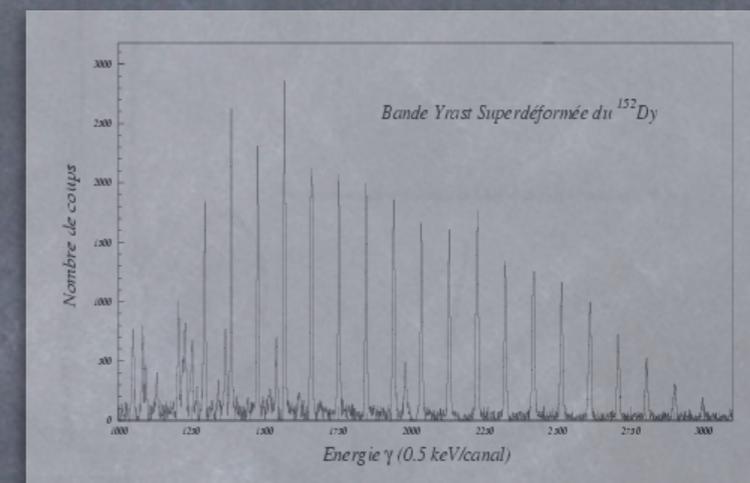
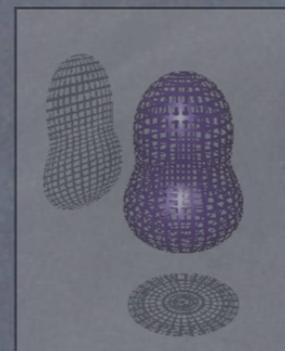
Résumé de la partie II

- On a vu la 'mécanique' générale du **Monté-Carlo**
 - ↳ **par l'exemple Geant4**
- Modéliser l'ensemble des processus de la physique
 - ↳ **vaste programme !**
- **Générateur**, événement primaire
- Les étapes de la chaîne de simulation ont été détaillées
- On a vu des exemples :
 - Pour la conception d'un multidétecteur
 - **l'analyse** intervient !

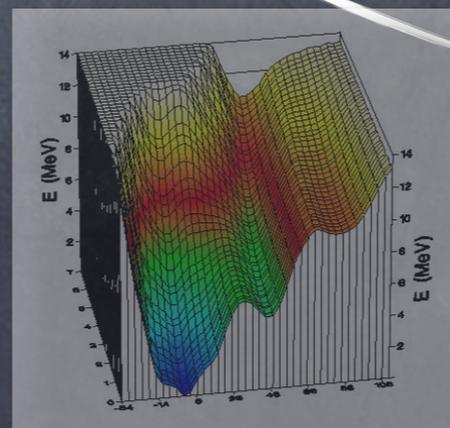
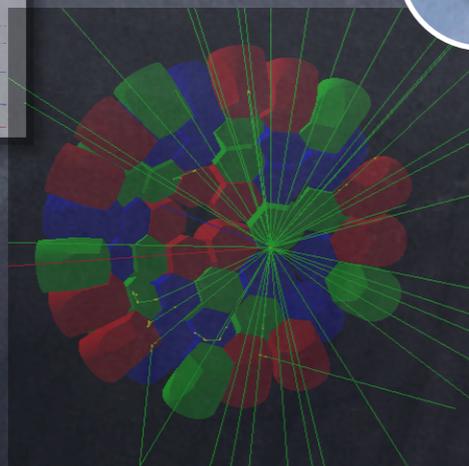
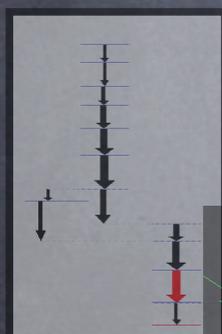
Plan de L'exposé



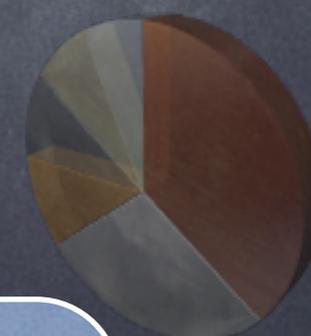
Structure Nucléaire



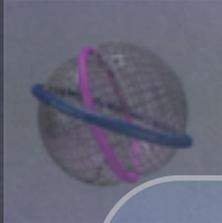
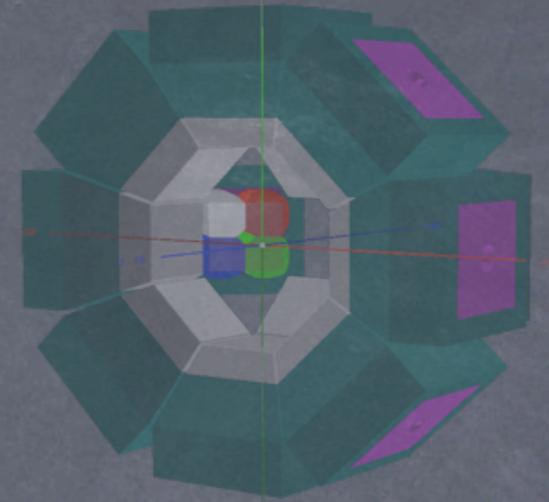
Monté Carlo



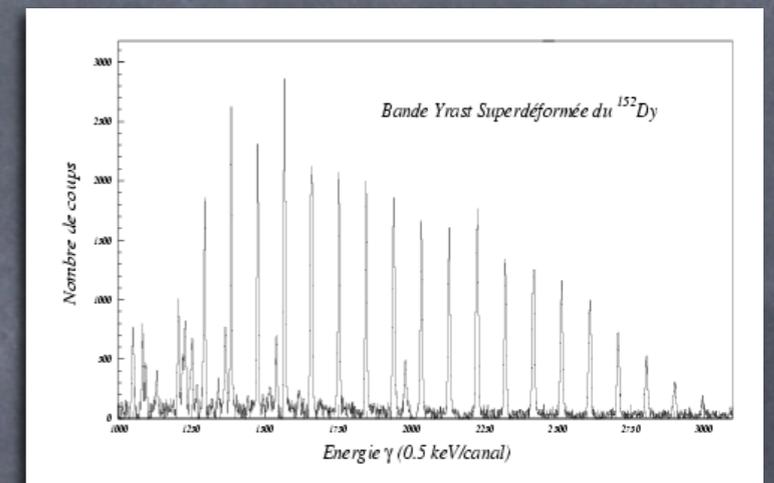
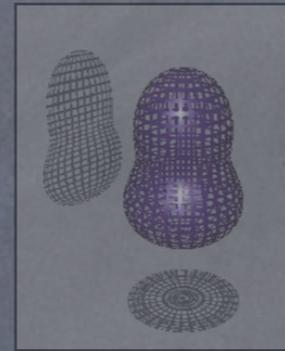
Analyse



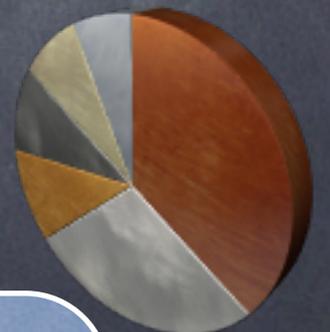
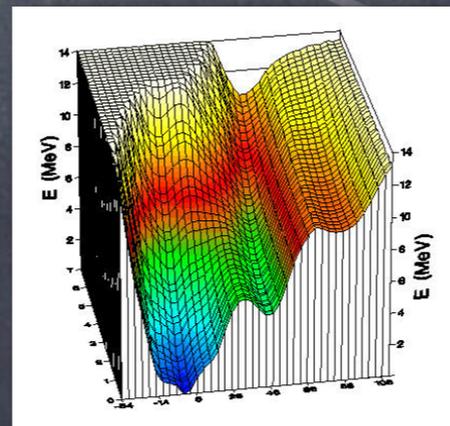
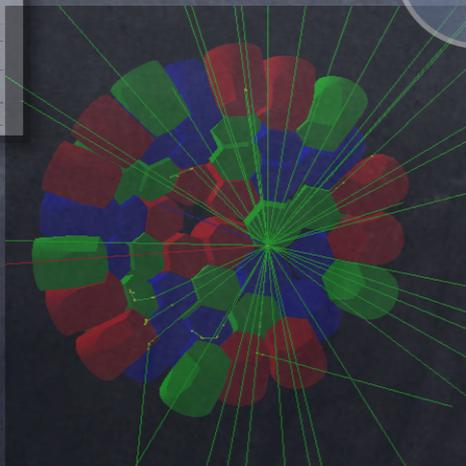
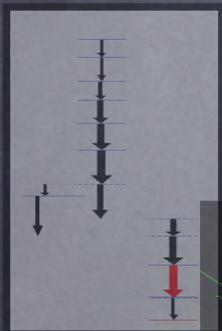
Plan de L'exposé



Structure Nucléaire

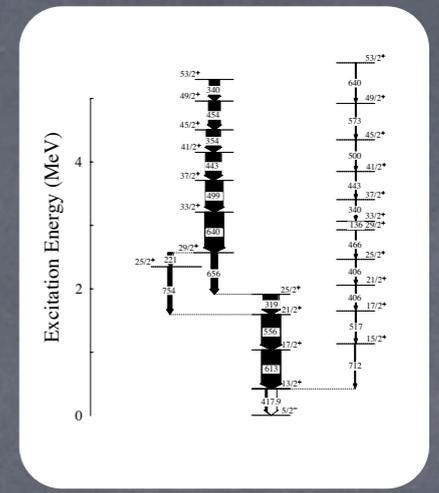
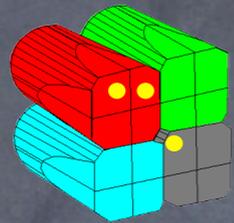


Monté Carlo



Analyse

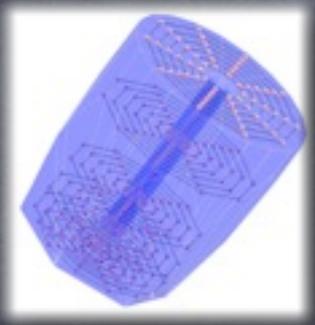
Plan de L'exposé



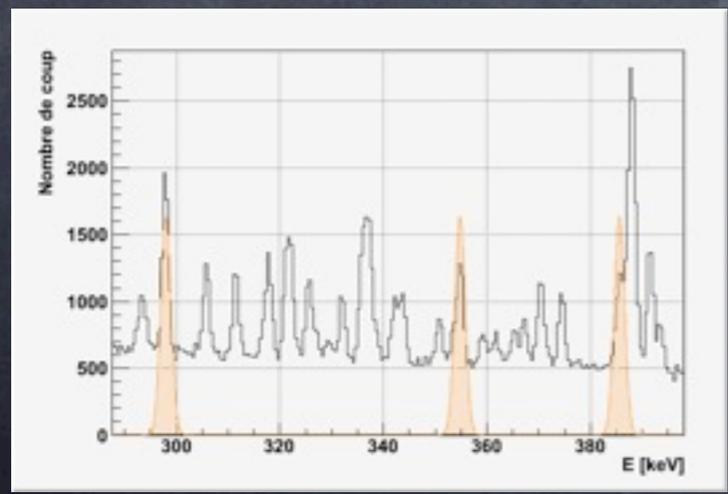
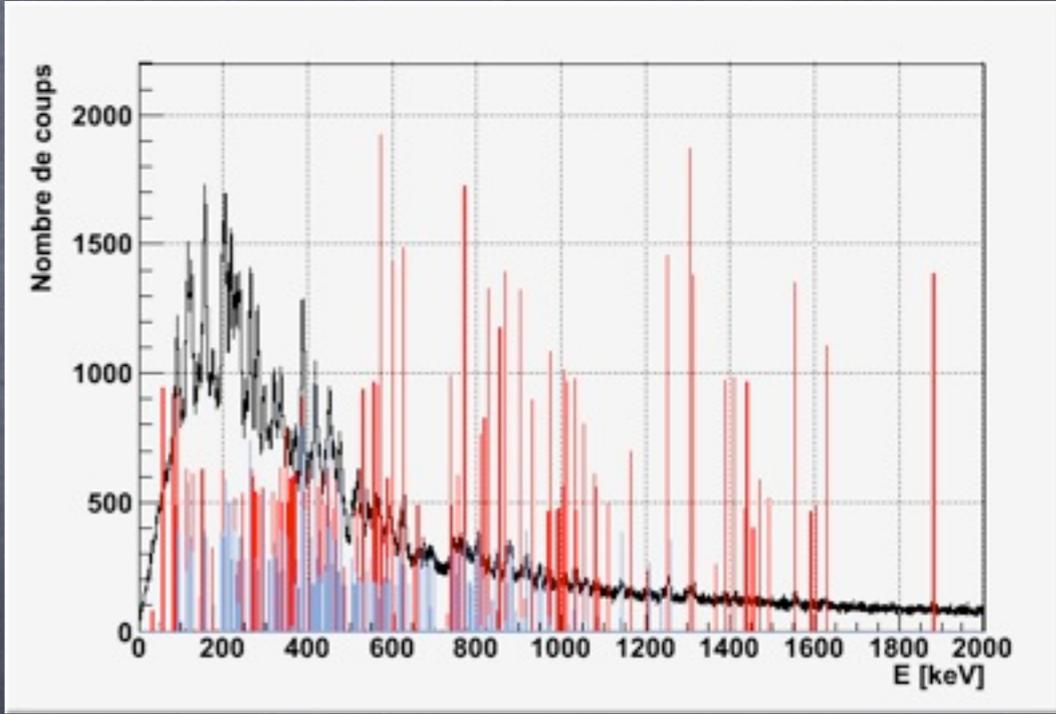
Reconstruction



Analyse

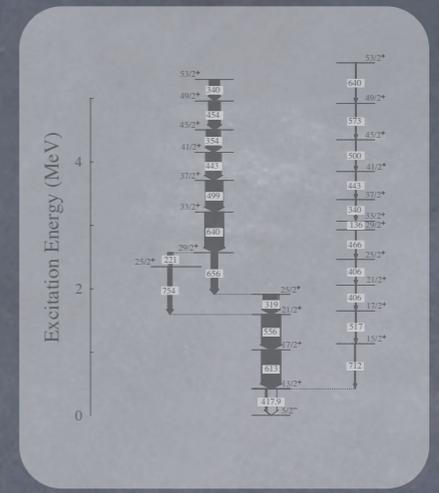
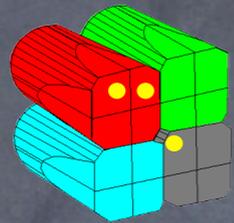


Sélection



Les principales mesures

Plan de L'exposé

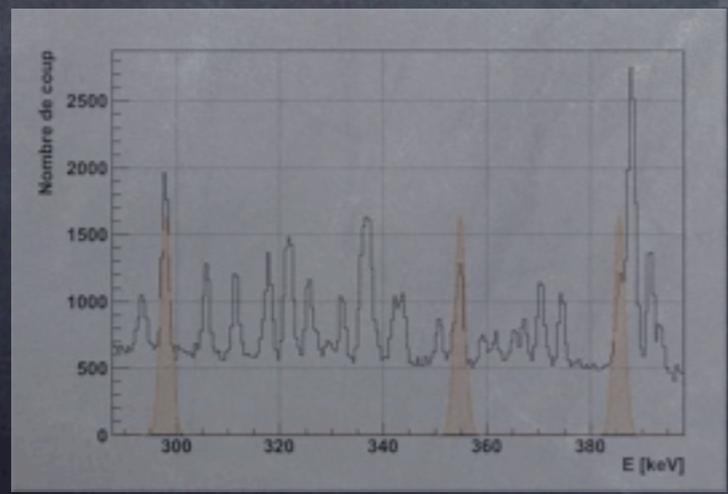
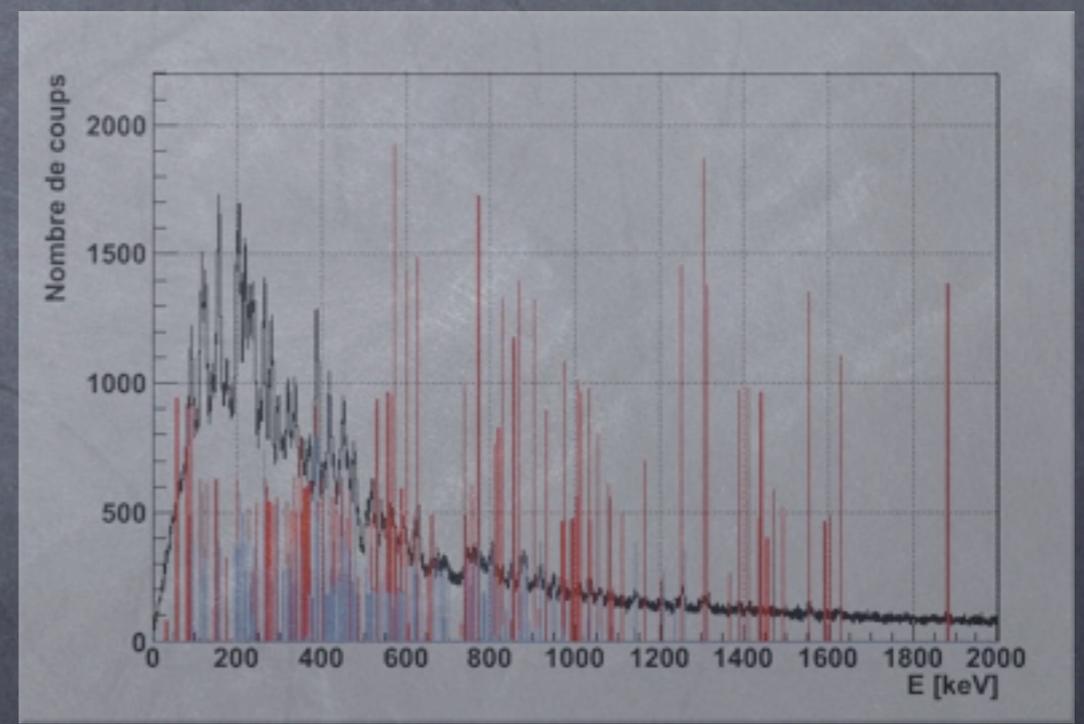


Reconstruction

Analyse



Sélection



Les principales mesures

La reconstruction

Permet de passer :

des données brutes d'un (multi)détecteur ... ➔ à des objets « physiques »

Quelques exemples :

'Tracker' :

coups dans des cellules ... ➔ trace des particules ➔  identification
impulsion
vertex

Calorimètre :

cristaux, cellules ... ➔ clusters ➔ énergie somme, multiplicité

Détecteur Cherenkov :

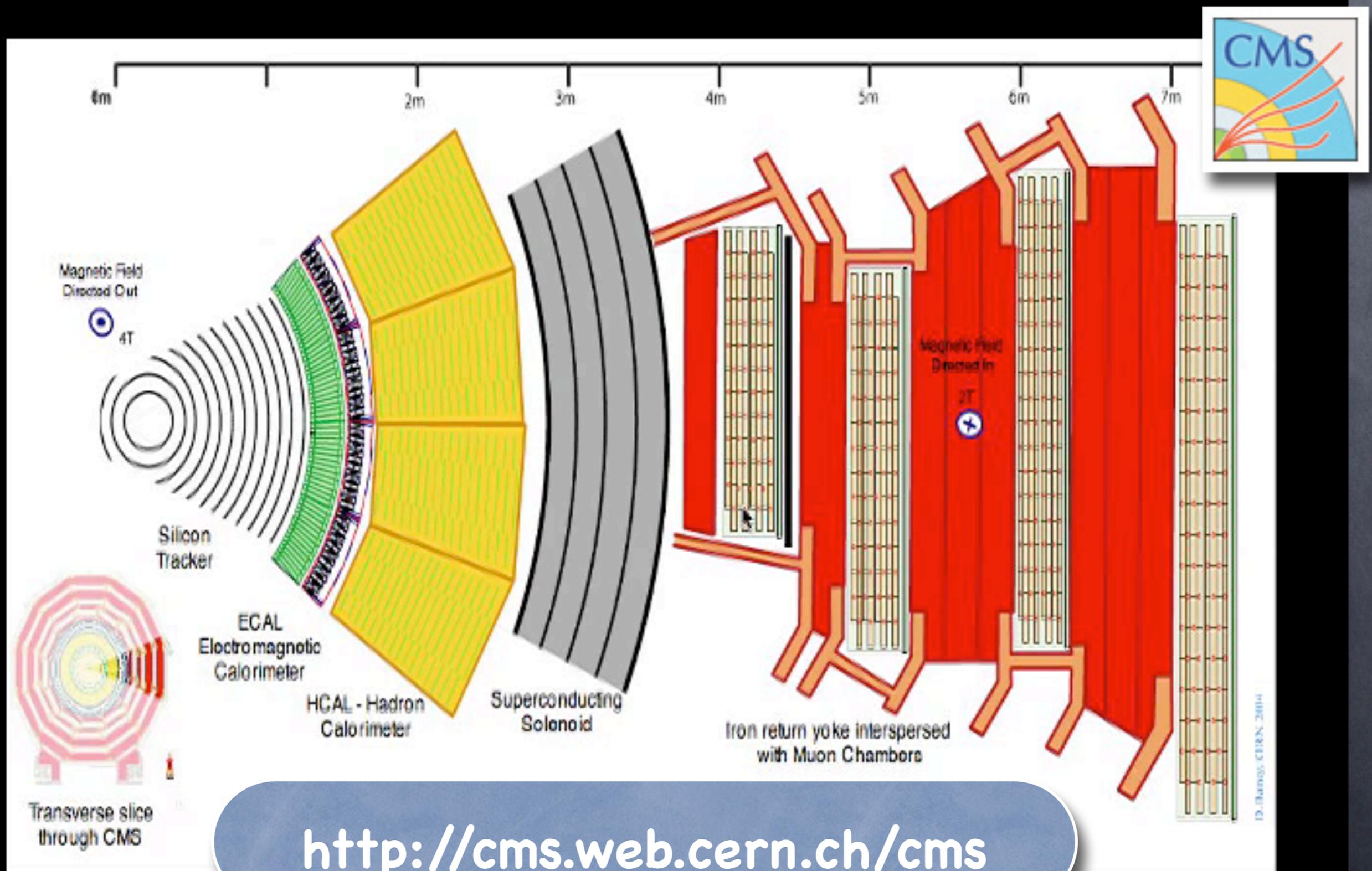
cellules, photo-multiplicateurs ... ➔ angle cherenkov

Spectromètre de recul :

chambre ionisation, SED ... ➔ noyau de recul ➔  identification
vitesse

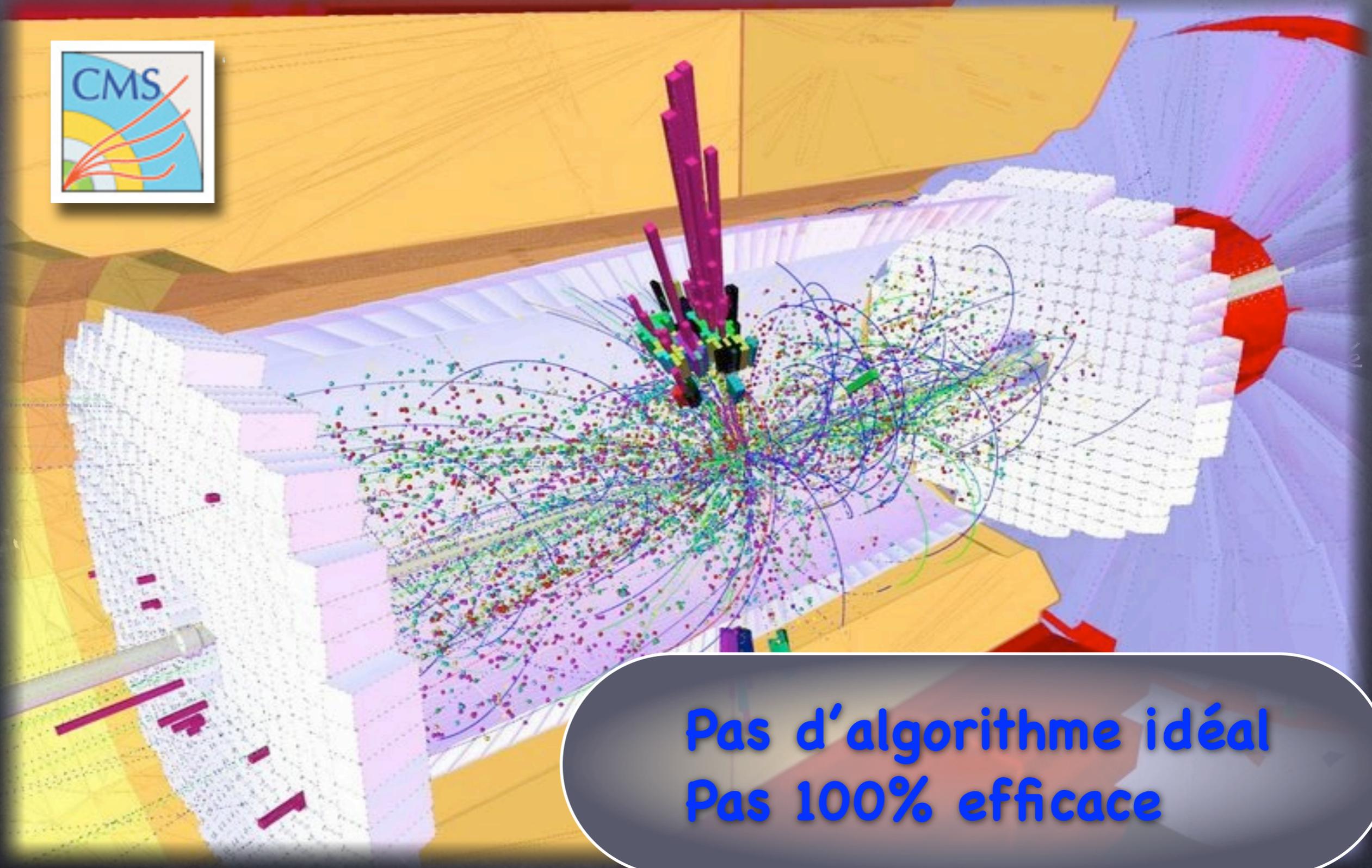
etc ...

La reconstruction : illustration



<http://cms.web.cern.ch/cms>

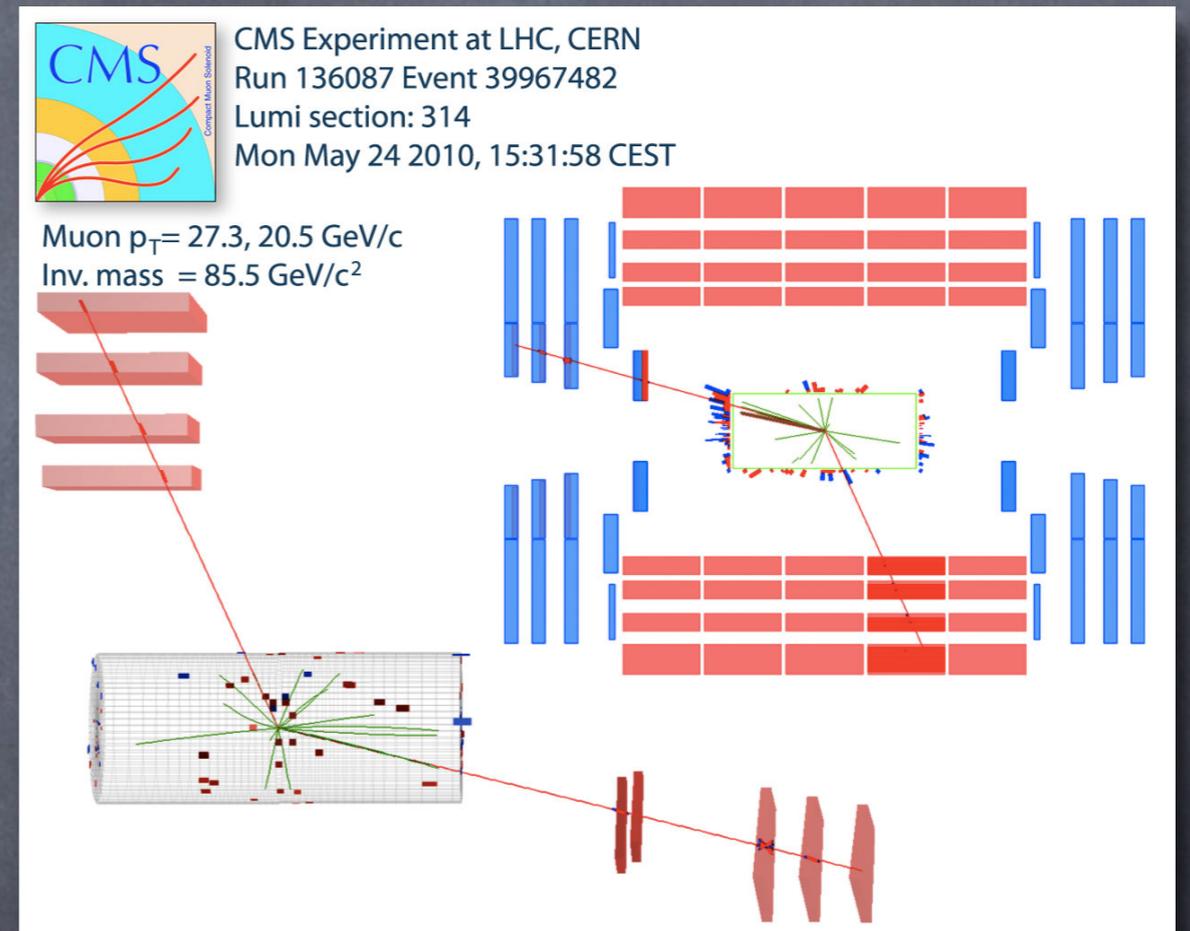
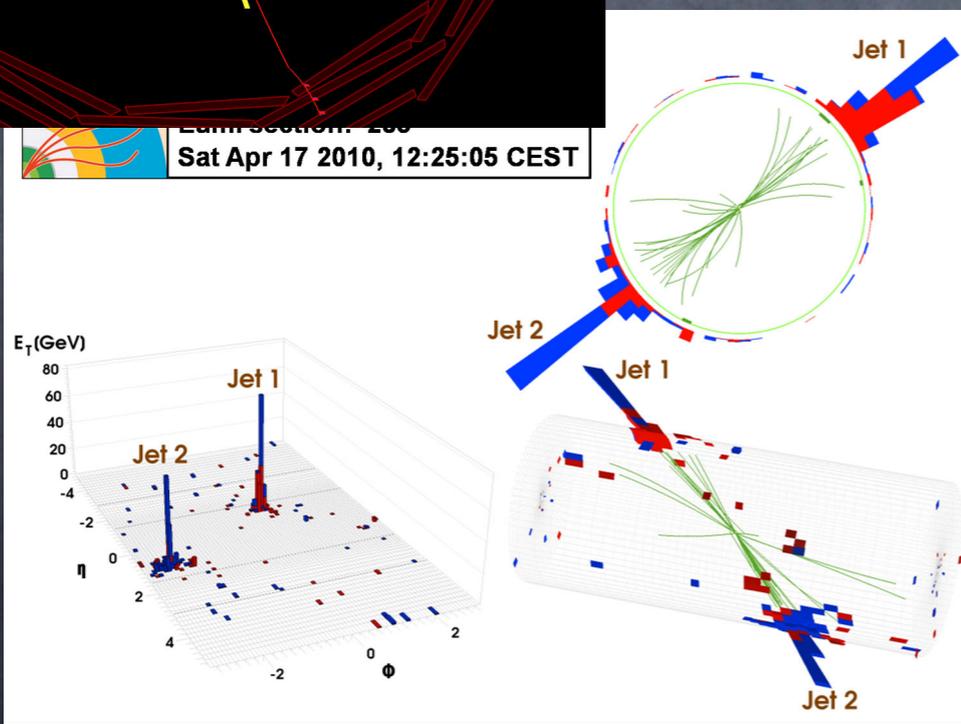
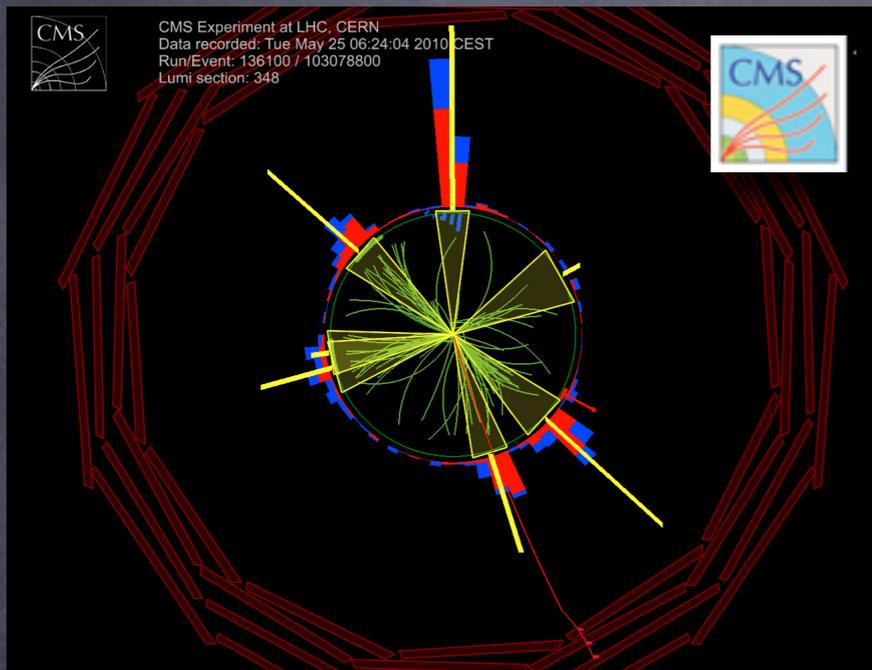
La reconstruction : problèmes !



**Pas d'algorithme idéal
Pas 100% efficace**

La reconstruction: exemples récents

$$Z \rightarrow \mu \mu$$



Reconstruction avant l'ordinateur ...

Une histoire pendant ma thèse
autour d'une bière ...

11...2...



Un étudiant

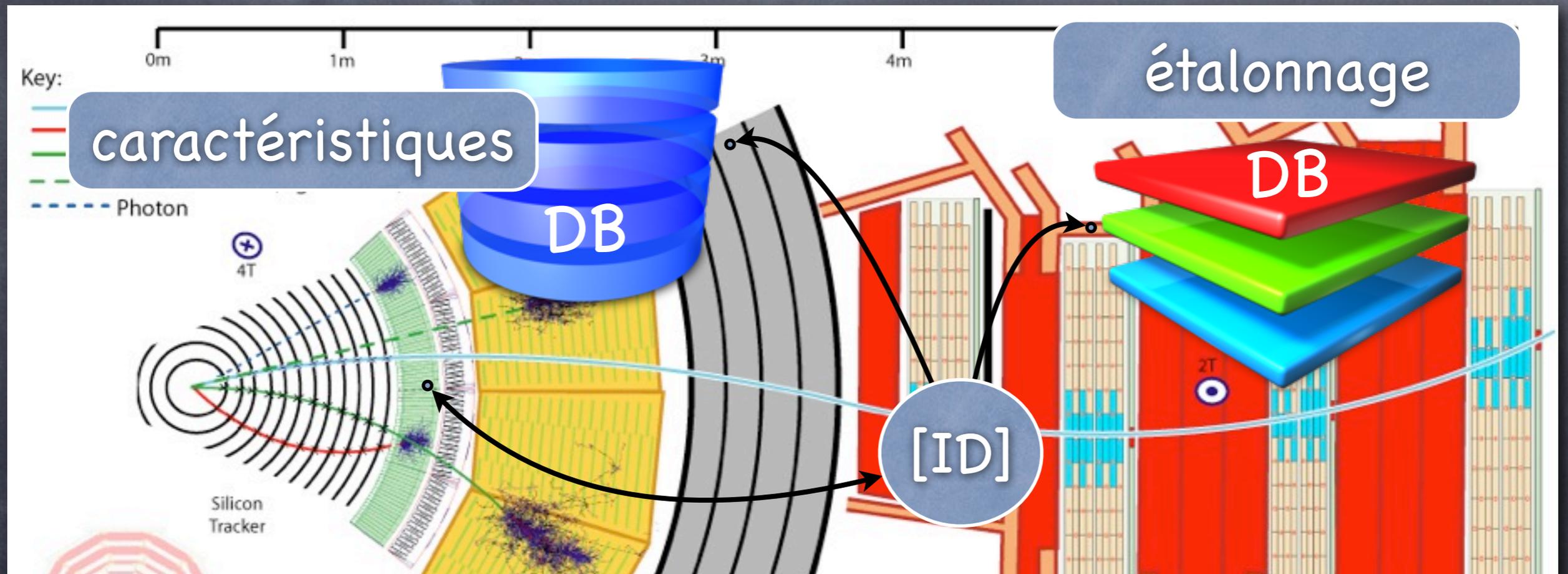
Une légende ?
étalonnage ?
Coïncidences > 2 ?
Erreurs statistiques /
systématiques ?



étudiant ...

Le 'mapping', L'étalonnage

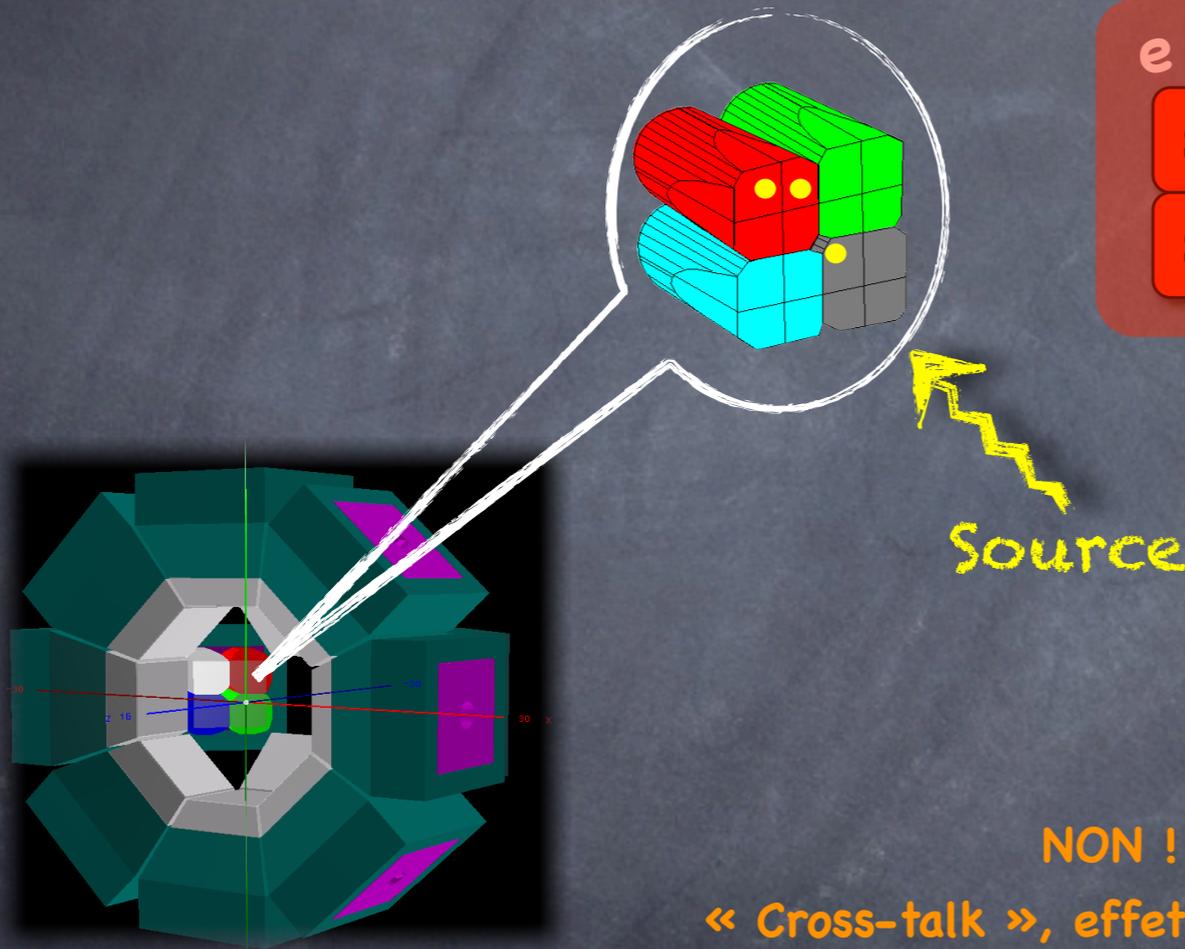
Dans le flow de données, un élément de détection est étiqueté avec un identifiant [ID] (unique !)



Pour un élément, permet une réponse uniforme en temps
Permet une réponse uniforme sur un ensemble de détection

L'étalonnage

associer signal et mesure : dépôt d'énergie (ADC [Z])



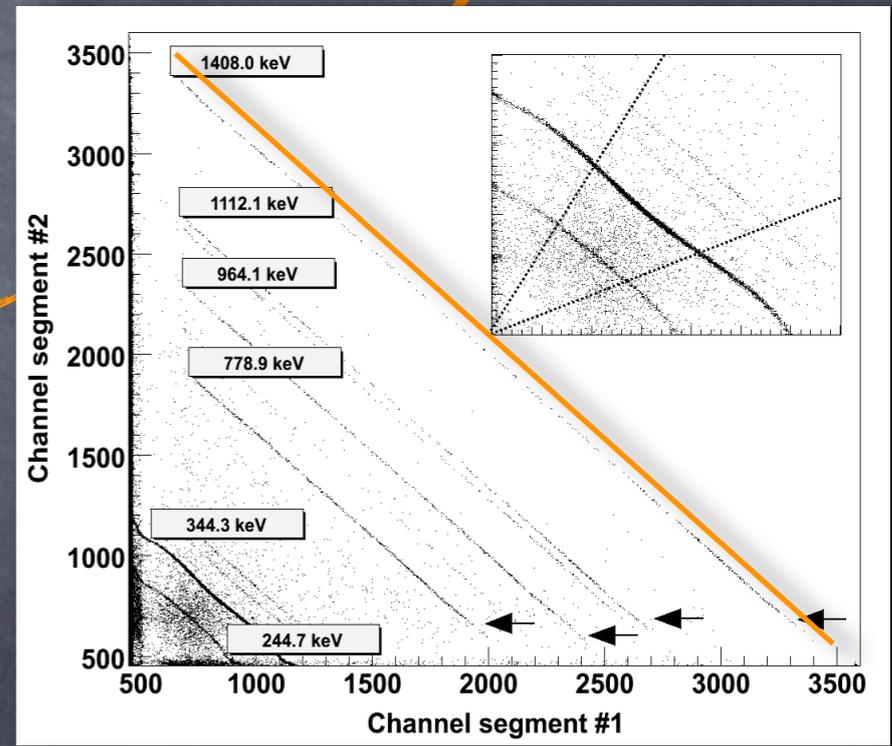
$$e = a.s + b$$

S1	S2
S3	S4

$$e_1 = a_1.s_1 + b_1$$
$$e_2 = a_2.s_2 + b_2$$

...

→ $e = e_1 + e_2 + e_3 + e_4$???



NON !
« Cross-talk », effets non linéaires

Pas seulement étalonnage des voies électroniques !

L'étalonnage

Certains effets « physiques » peuvent être corrigés

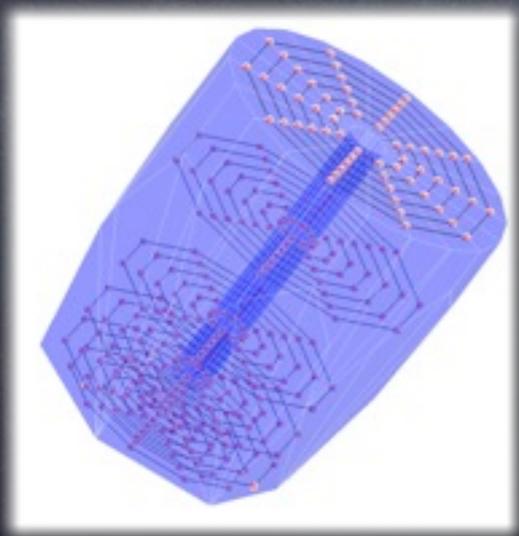
- fil idéal versus « réel »



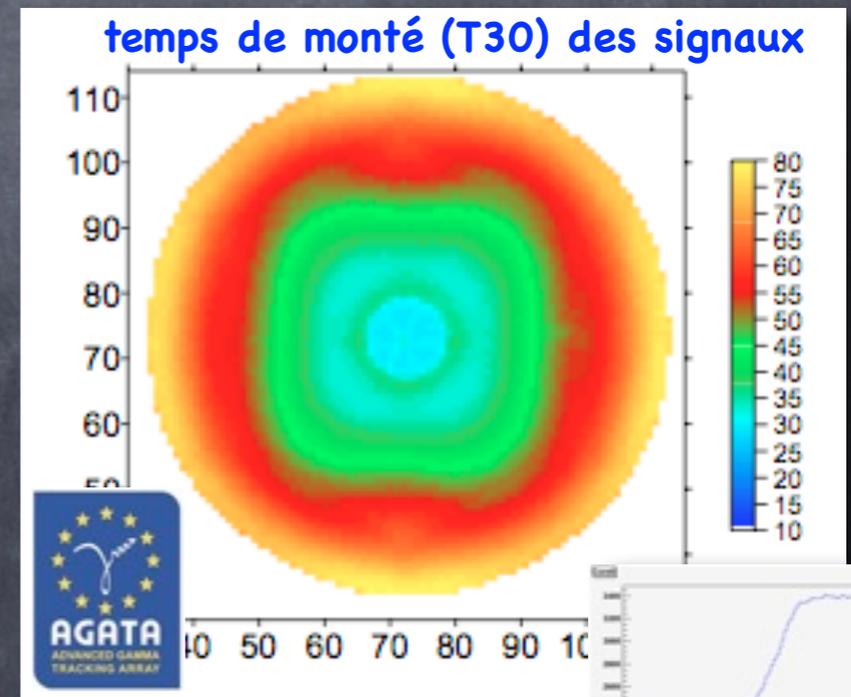
- détecteur homogène
ex : Si NTD Fazia

- cristaux d'AGATA, les bases des signaux (PSA) incluses :

- ✓ Les axes cristallins
- ✓ Les effets des neutrons

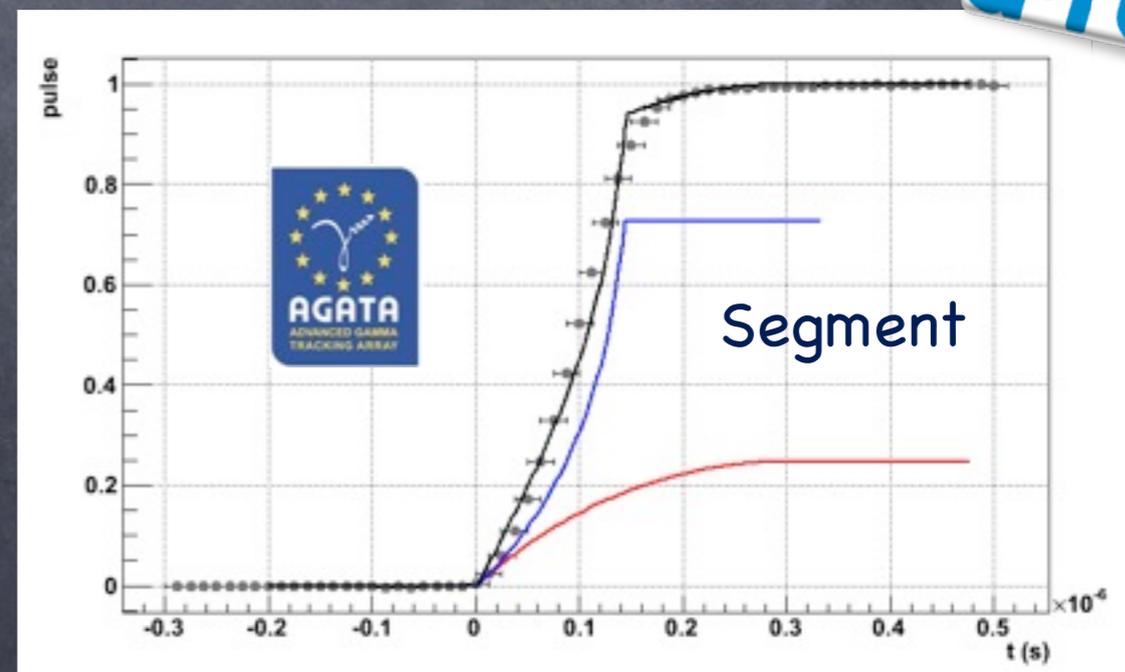
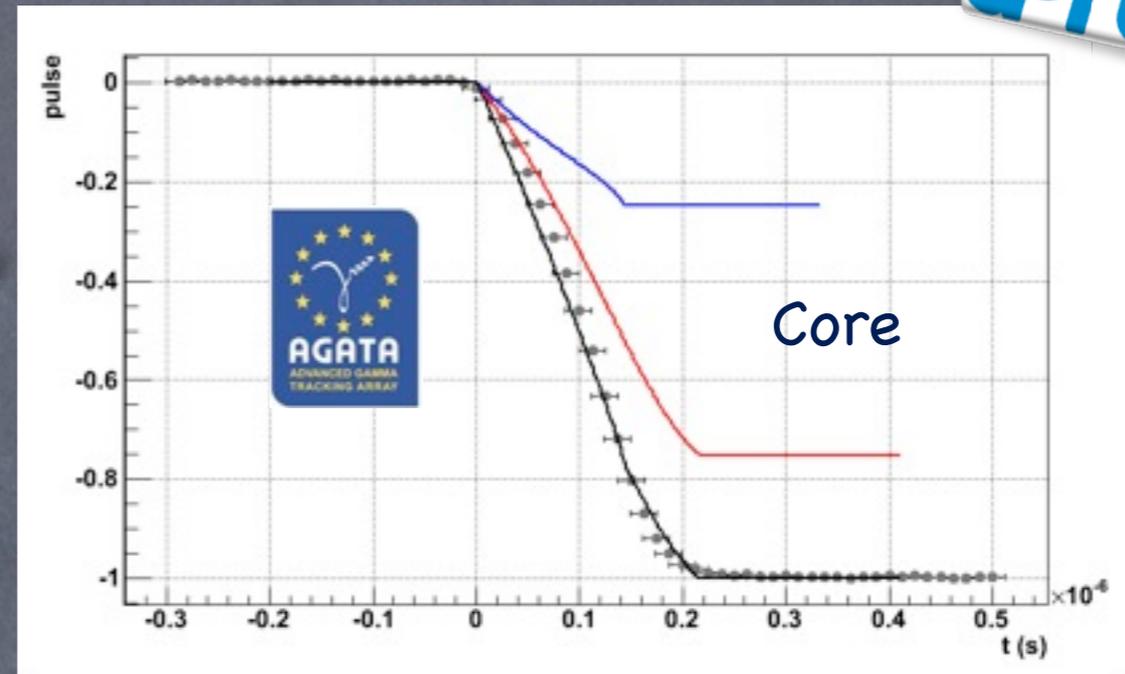
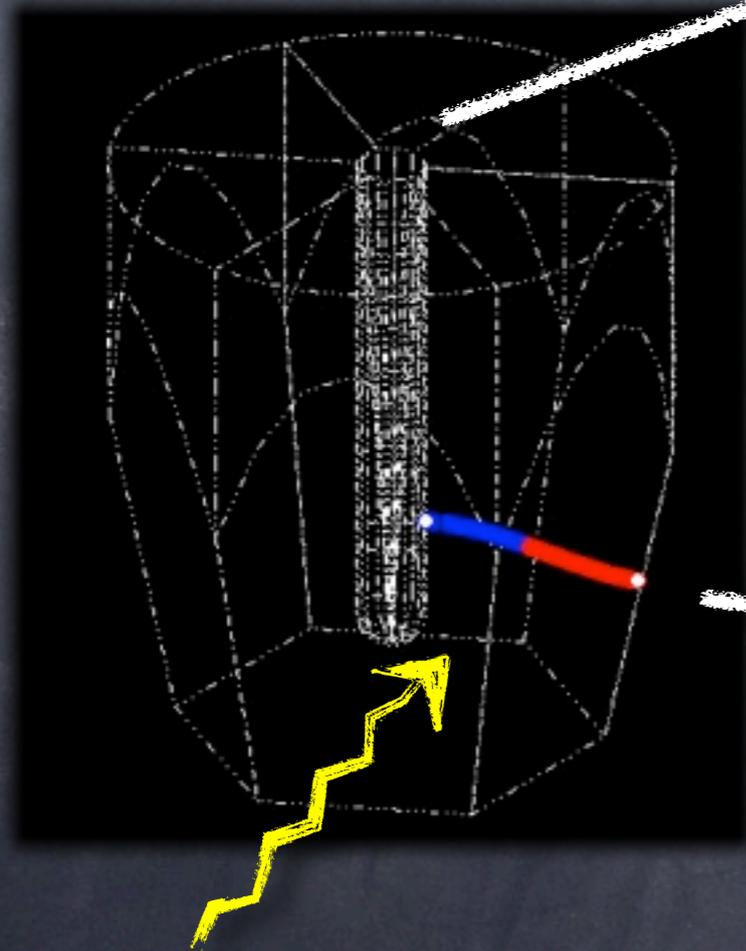


- ➔ Scanning !
- ➔ Simulation !



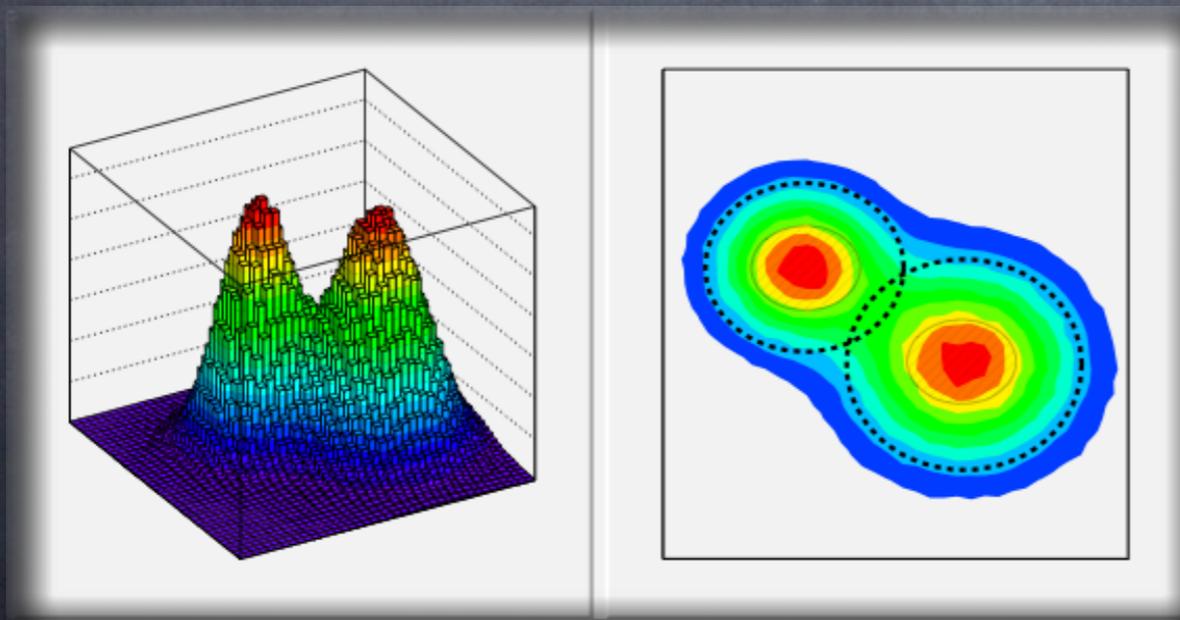
L'étalonnage

Simulation des signaux dans AGATA

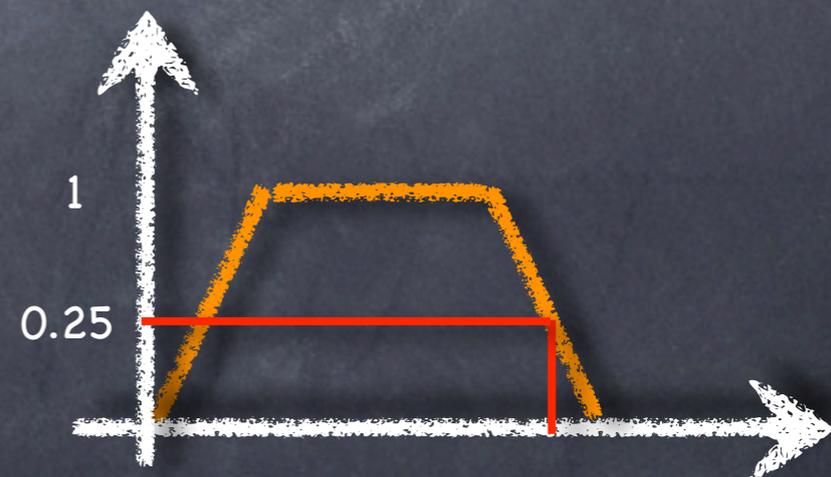


Etalonnage - La logique floue

- ▶ Initiée par 1965 L.A. Zadeh (Berkeley)
Extention de la logique booléenne $\{0,1\} \mapsto [0,1]$
- ▶ Définir des quantités imprécises : ensembles flous
Sous ensemble défini par ça fonction d'appartenance f



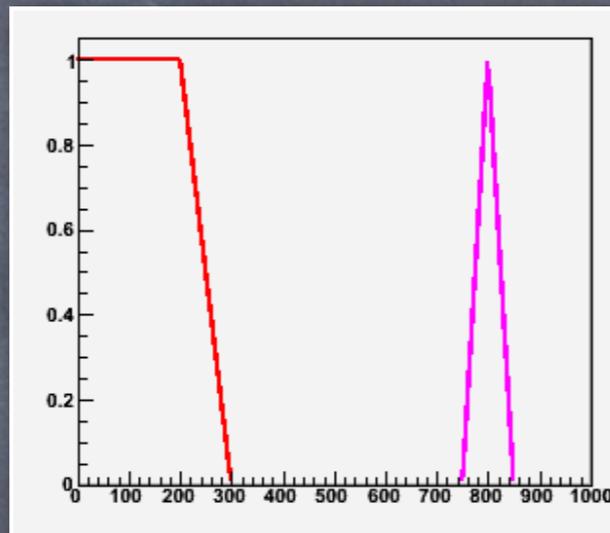
$$\forall x \in \mathbb{R}, f_A(x) \in [0, 1]$$



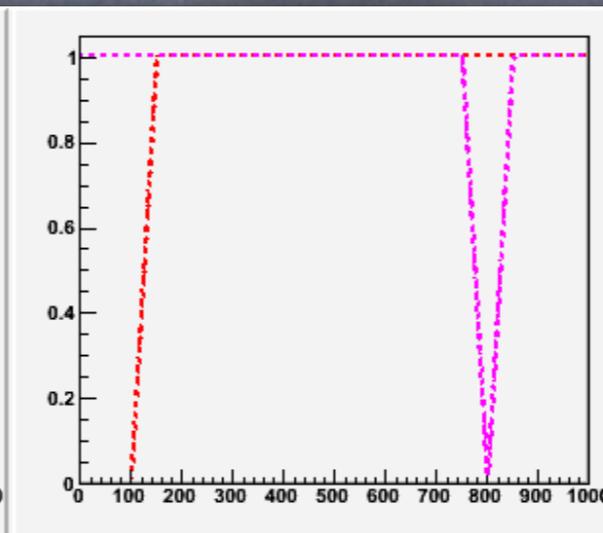
Etalonnage - La Logique floue

Les règles de compositions des ensembles

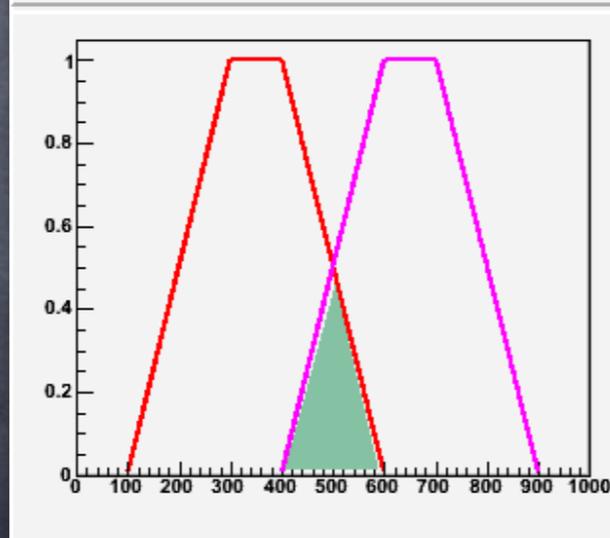
appartient



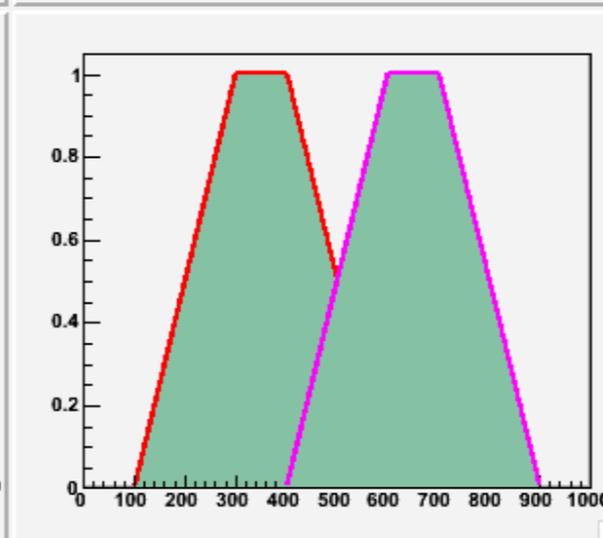
n'appartient pas



intersection



union



Position



➡ Permet de comparer l'appartenance à des ensembles !

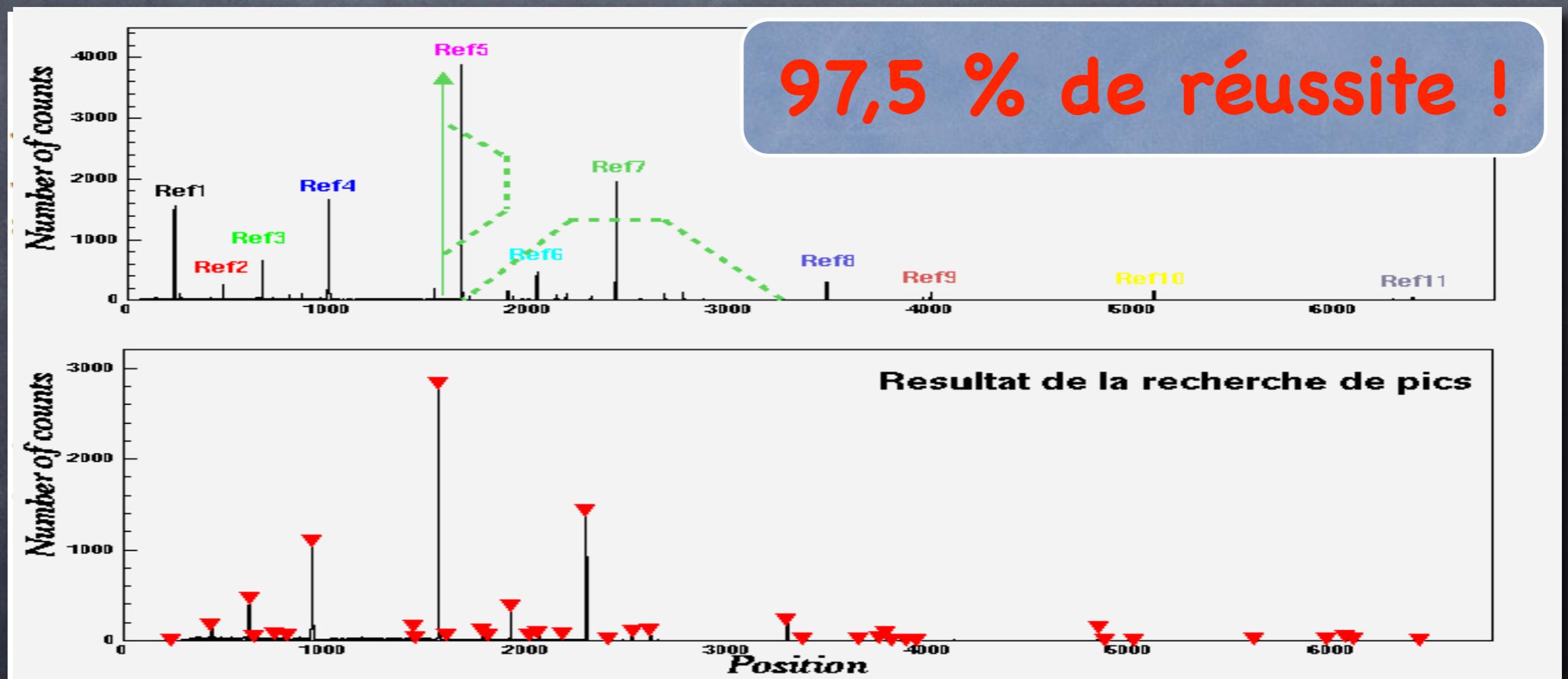


Etalonnage - La logique floue

Calibration :

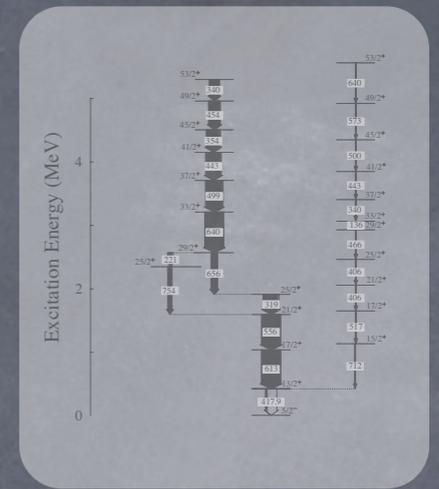
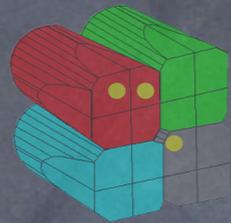
Trouver des pics dans un spectre ✓

Identifier les pics trouvés ➔ critères flous !



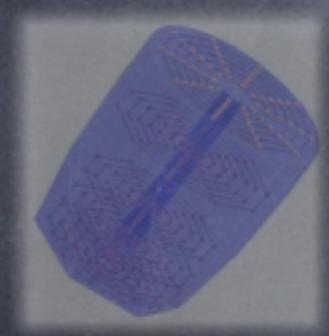
Pic avec ~ bonne intensité, ~ bonne position et ~ bon voisin

Plan de L'exposé

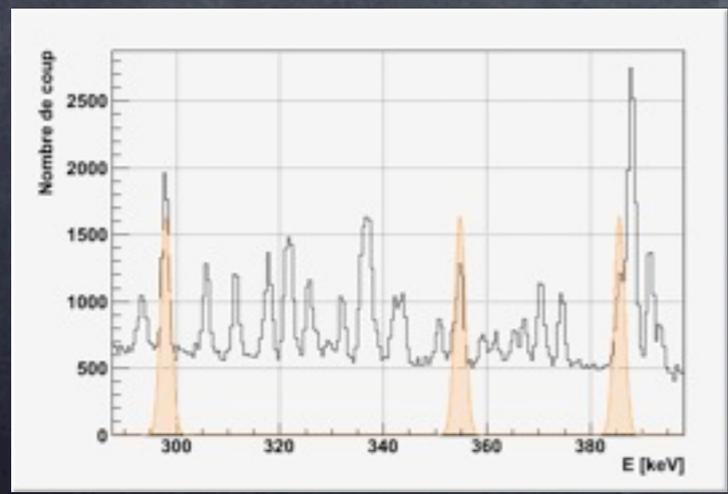
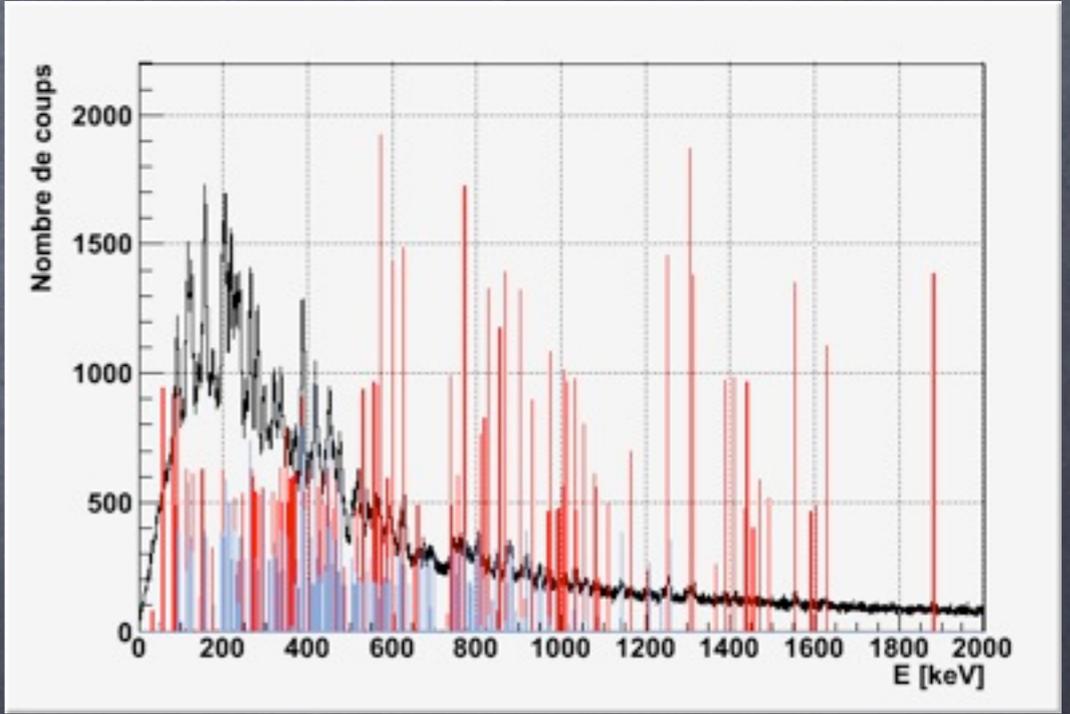


Analyse

Reconstruction



Sélection



Les principales mesures

La reconstruction : algorithmes

s'appuie a priori sur la **physique**

Simple

vecteurs, matrices, fonctions ...

Simple

Complexe

réseaux de neurones
logique floue, recuit
algorithmes génétiques
filtre de Kalman ...

méthodes/outils

Complexe



↳ Les contraintes en temps peuvent être cruciales

- CMS : Trigger 1 & 2
- AGATA : reconstruction en ligne

Reconstruction : trace et vertex

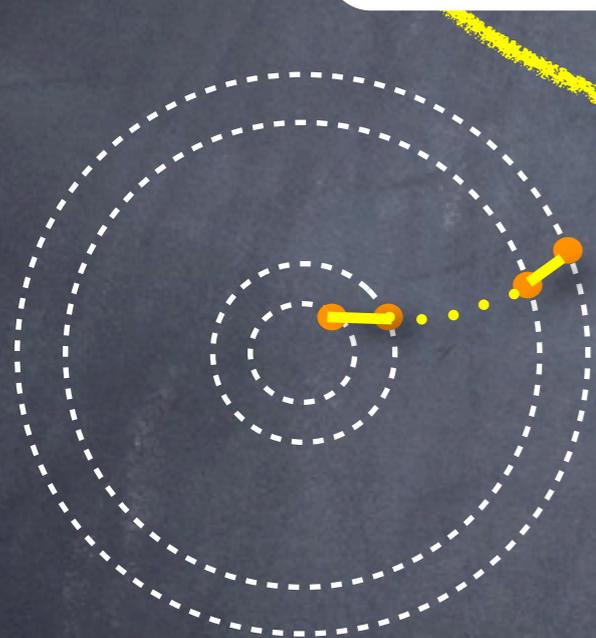
trace
+

Vertex candidat

clusters (distances, tree)

+ contrôle fin (fit)

minimum spanning tree



On a l'équation de la trace :

↳ fit (χ^2) - incluant erreur (effet détecteur)

↳ filtre Kalman

une trace peut contenir des hits incompatibles

↳ réduction coupure sur χ^2

hits communs à deux traces

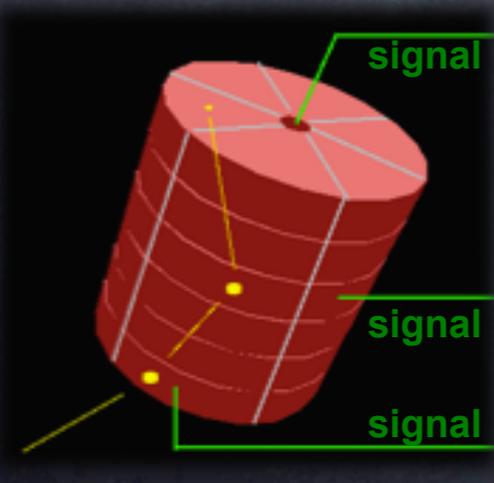
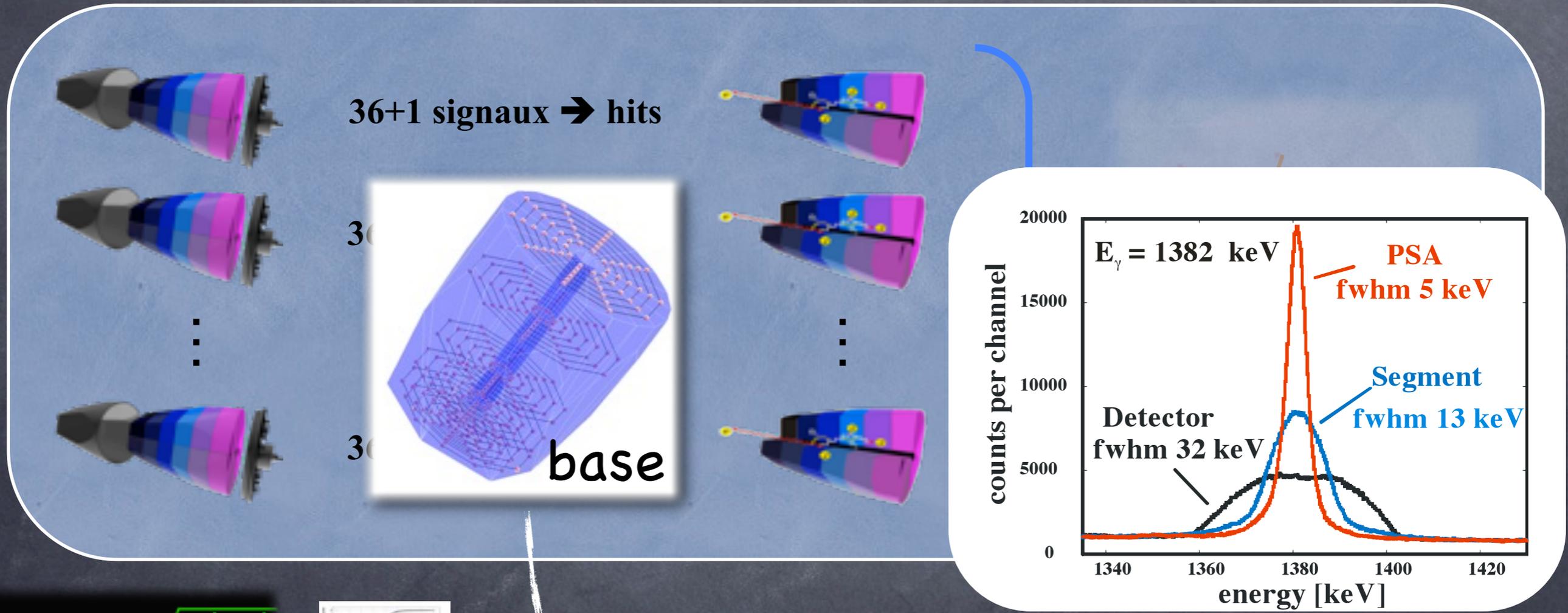
↳ réseau de neurones (Hopfield)

Méthodes adaptatives : réseau Hopfield, elastic net

Ces méthodes sont utilisées pour aligner finement !

La reconstruction : AGATA

PSA : Pulse Shape Analysis



Grid search

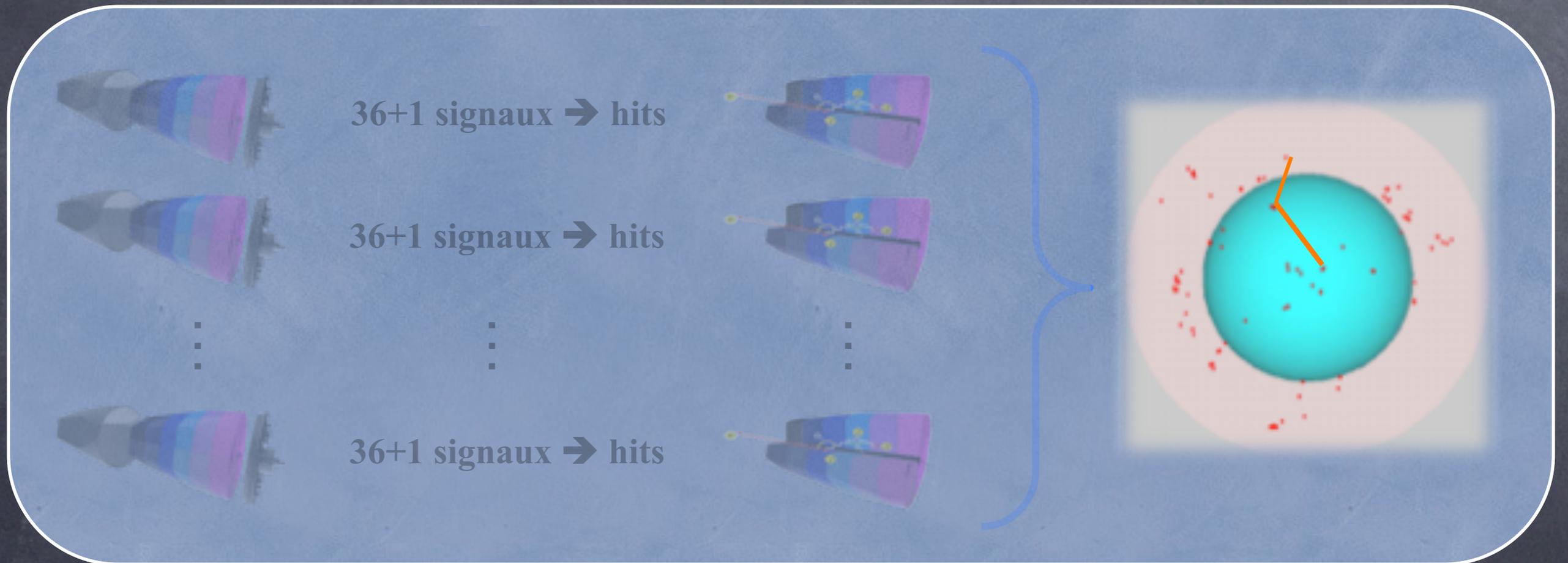
Neural network
Wavelet
Genetic algo.

Pb à résoudre :

alignement des signaux TO
multi-hit par segment
temps d'exécution ...
mais ça marche ...

La reconstruction : AGATA

Tracking des rayonnements γ

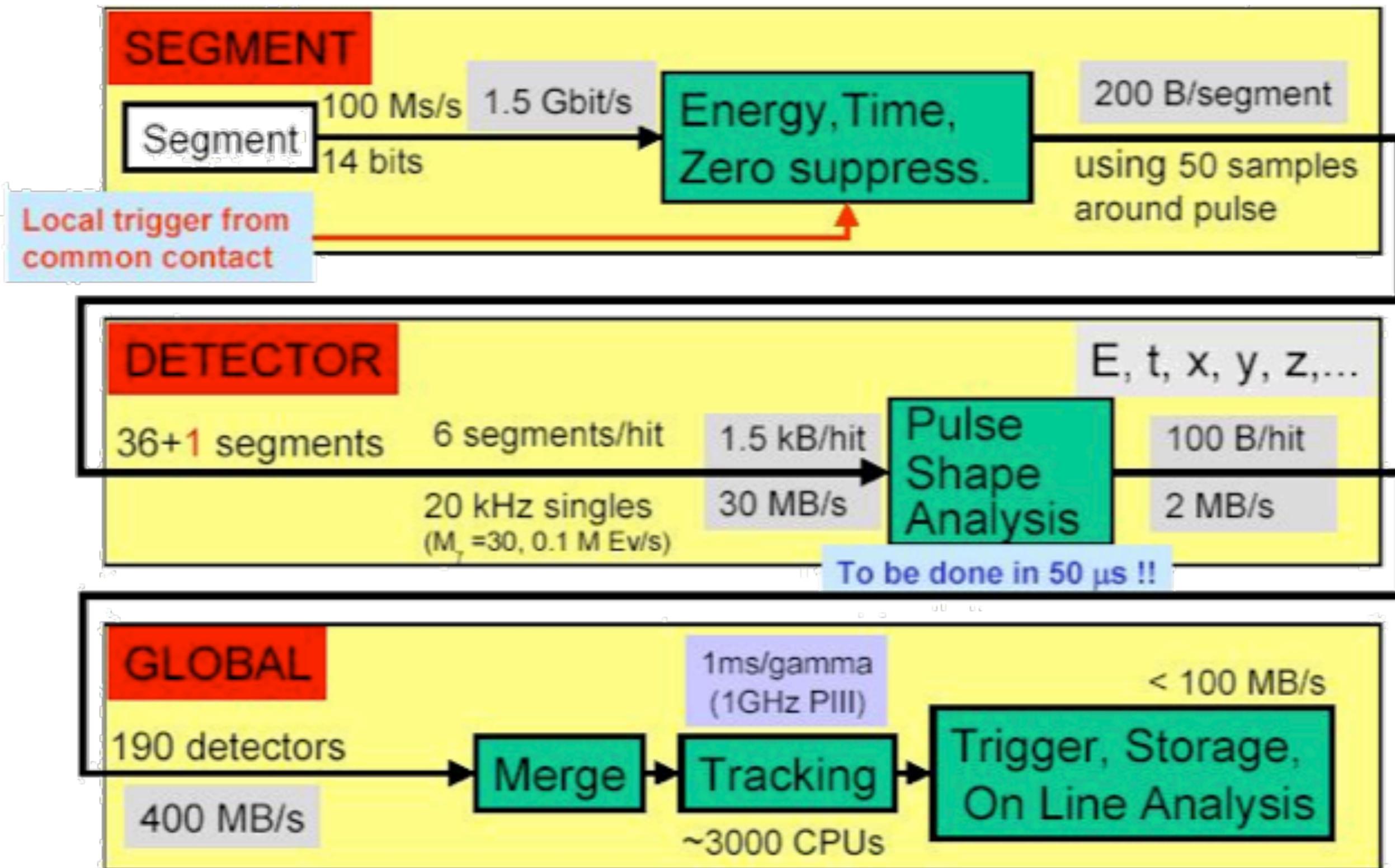


① 'clusterisation' : traces candidates \rightarrow

② validation : fit par la loi de diffusion Compton



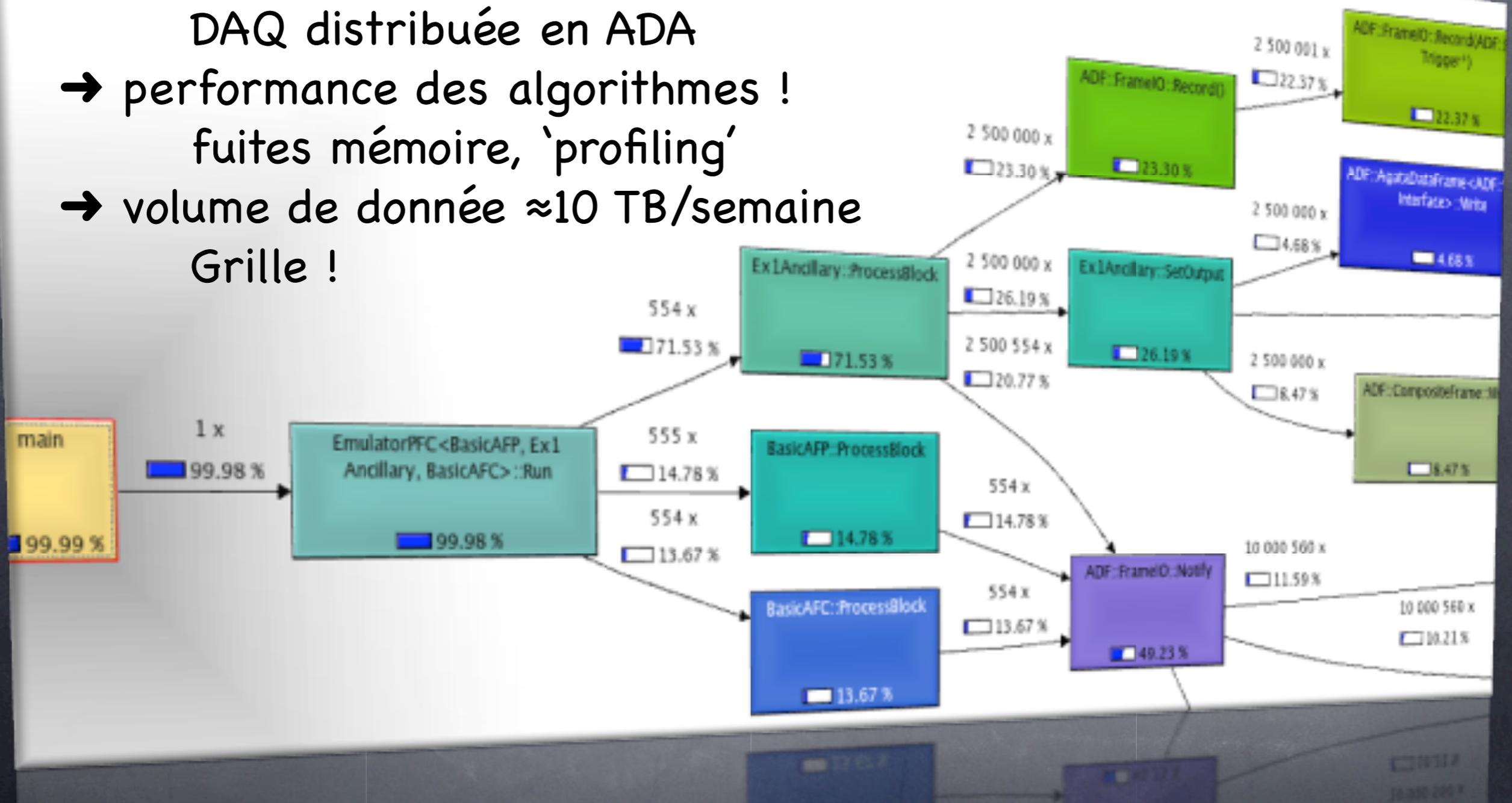
Le challenge du temps



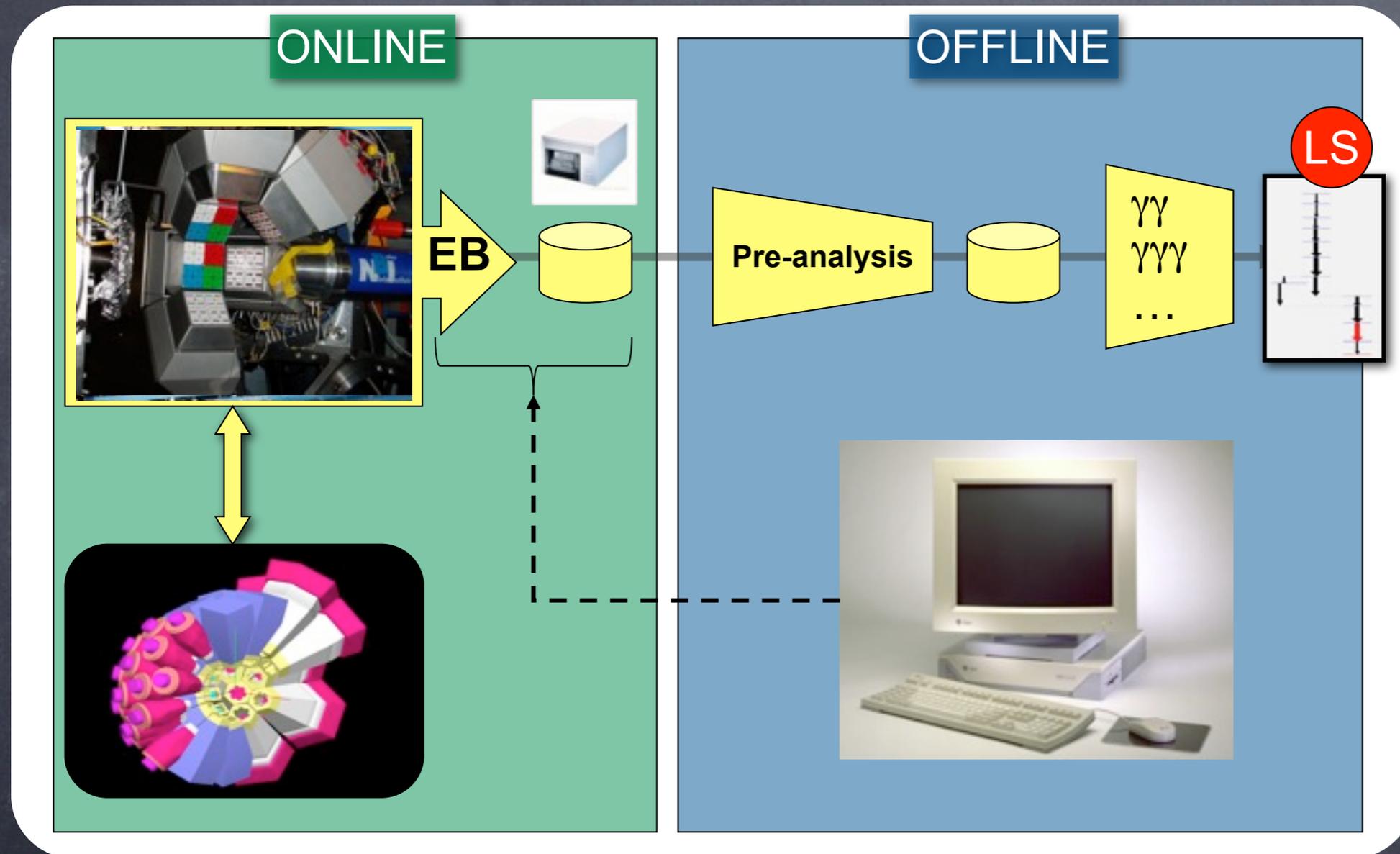
La reconstruction : AGATA

PSA, Tracking :

- un grand nombre de CPU DAQ distribuée en ADA
- performance des algorithmes ! fuites mémoire, 'profiling'
- volume de donnée ≈ 10 TB/semaine Grille !

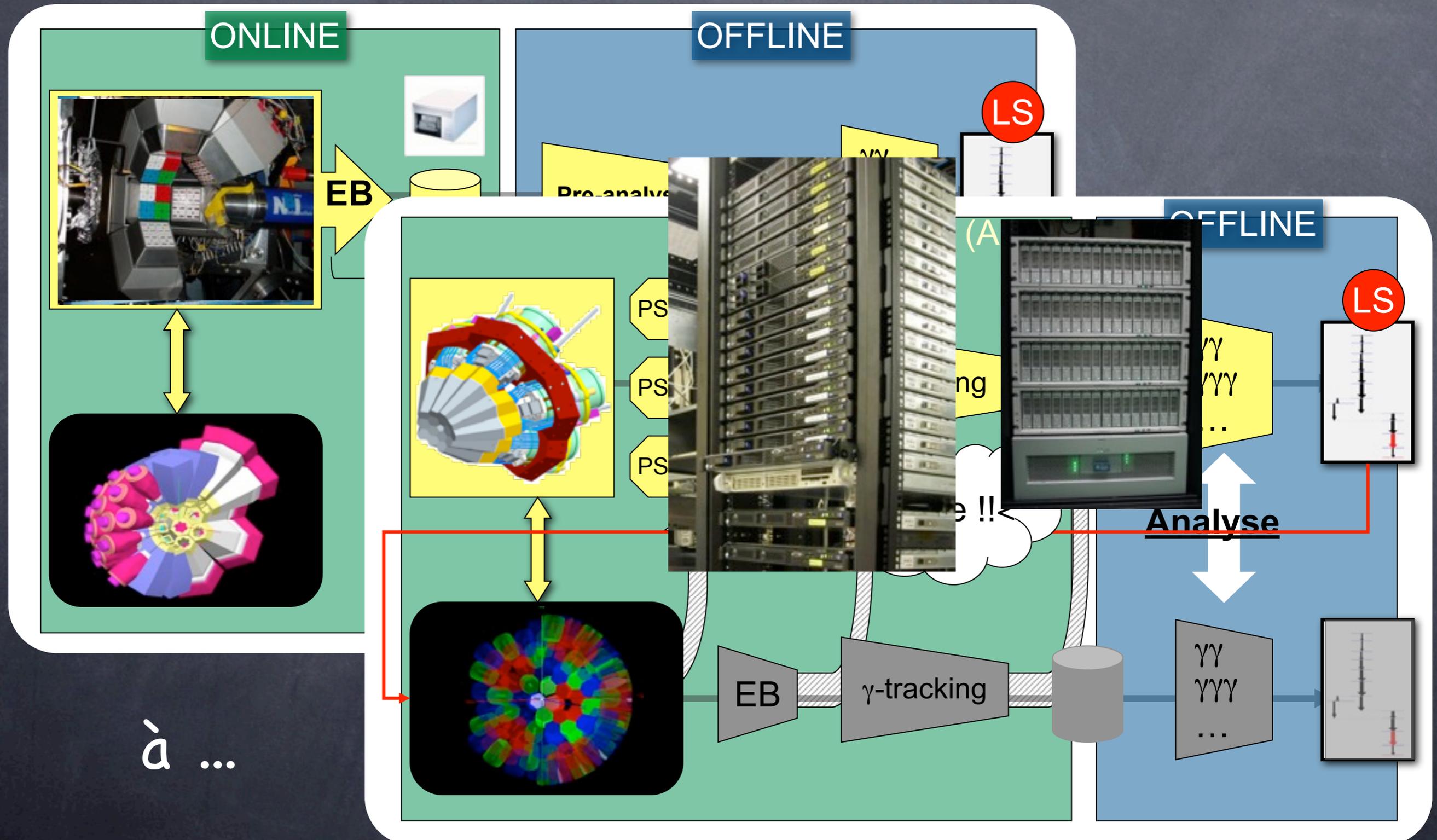


Limites analyse online, offline



De ...

Limites analyse online, offline



La sélection des événements

• Isoler le signal d'intérêt

- ↳ s'appuie sur la spécificité du signal par rapport :
 - aux autres signaux / fond

• Le processus n'est pas 100% efficace

- ↳ de 'bons' événements sont perdus à cause de :
 - la sélection
 - du détecteur
- efficacité de détection $< 100\%$
 $P/T < 1$ - événement 'mal' détecté

• Le processus n'est pas 100% sélectif

- ↳ des événements non désirés passent le filtre :
 - événements similaires
 - fonds

Le couteau Suisse: TTree - ROOT

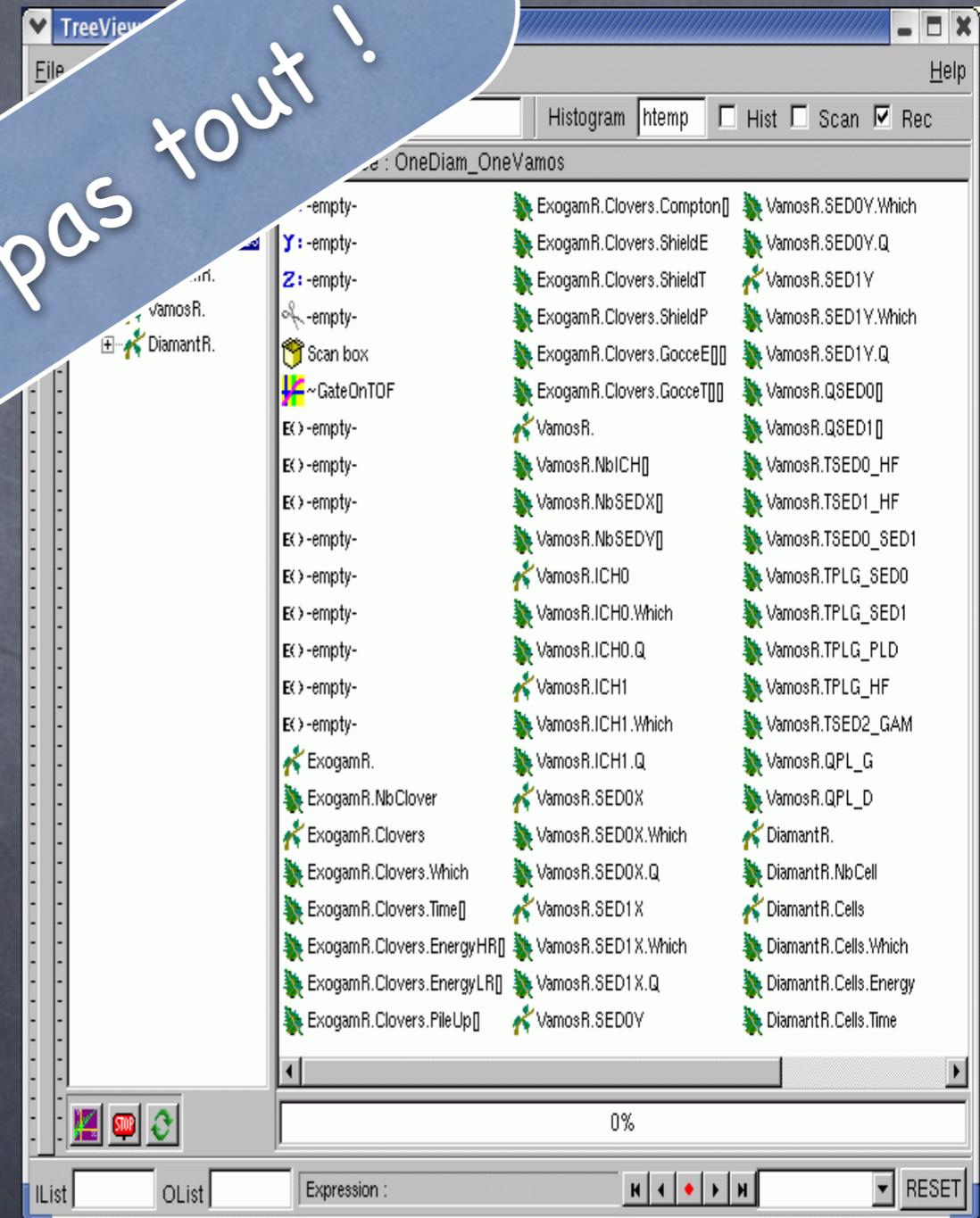
Un événement est structuré en branches et feuilles :

- compression
- optimisation lecture (branches, cache)
- notion de chaîne d'arbres
- notion d'amitié
- compatible PROOF

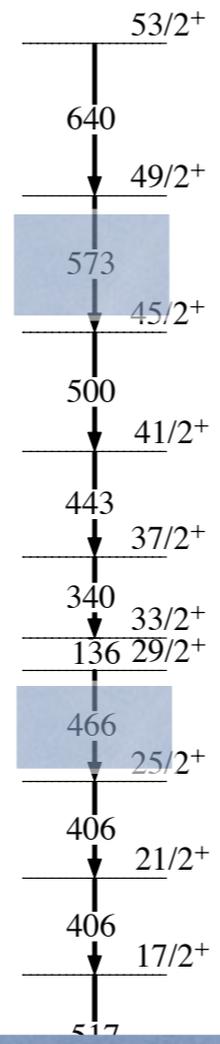
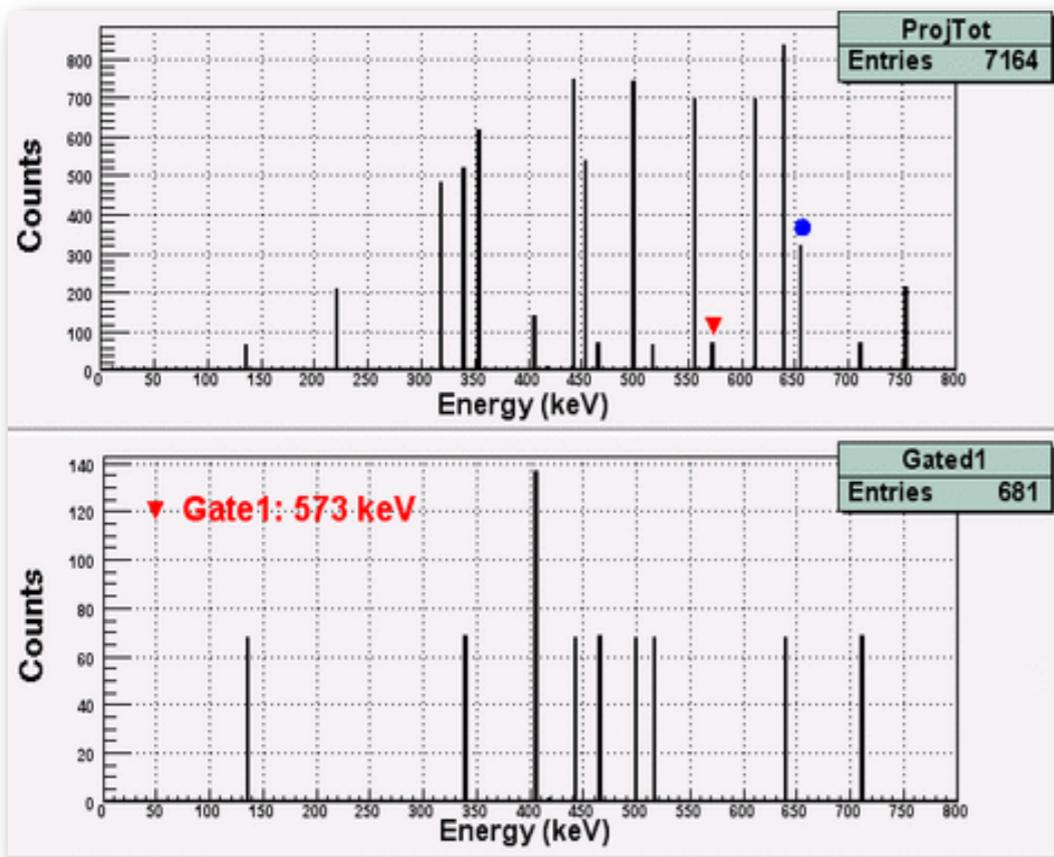
Analyse :

- TreeView
- méthode Draw('...Scan
Draw('...GateOnTOF')
- cut sur expression, contour 2D
+ combinaison de cuts
- création de listes d'entrées
- méthode Process si cas compliqué

Néanmoins ne couvre pas tout !



Cascades de rayonnements γ



Filtre sur l'énergie des γ

$$571 < e < 575$$

↔ ajustable ...

OU

$$464 < e < 468$$

↔ ajustable ...

Excitat

2

754

25/2+

319

21/2+

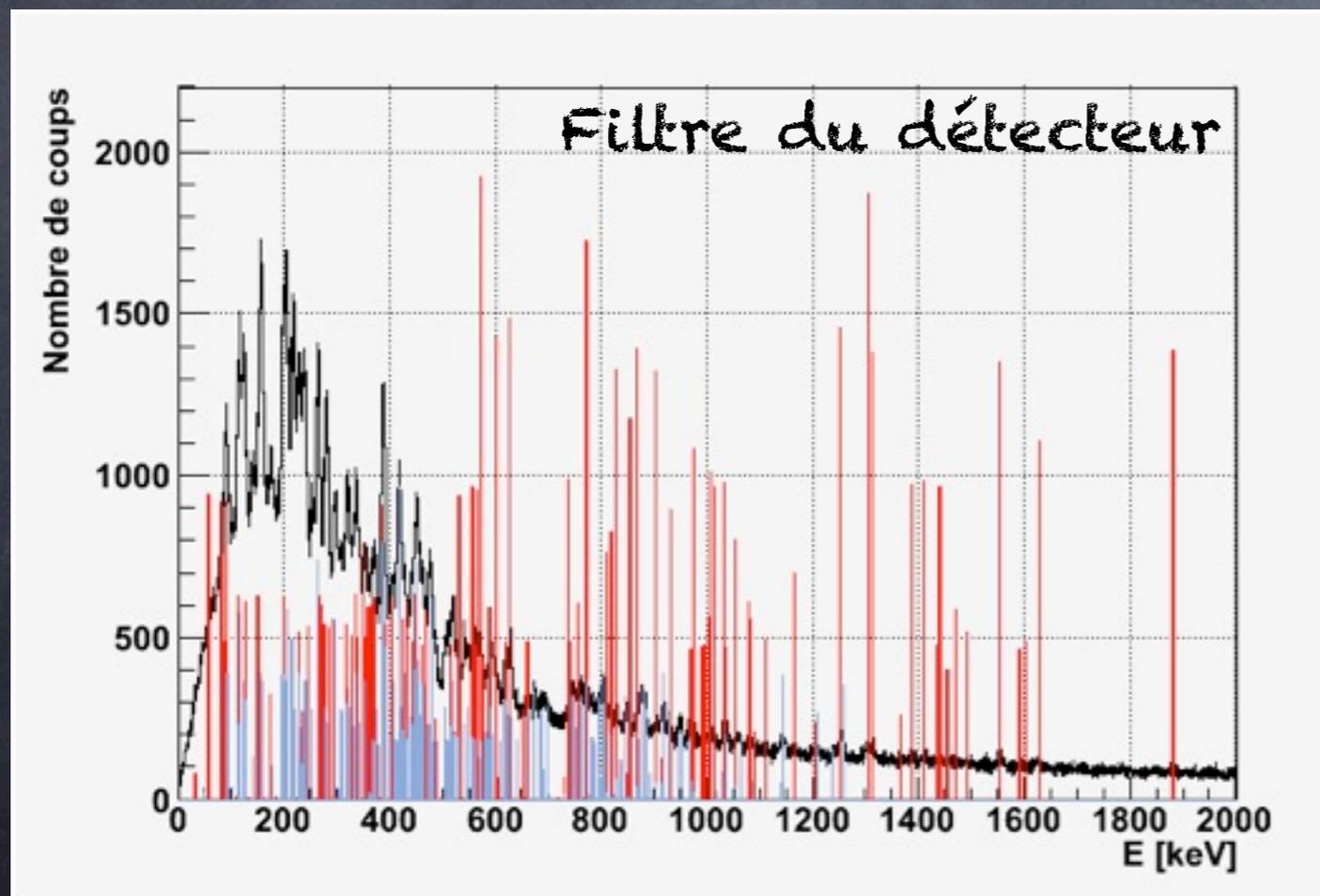
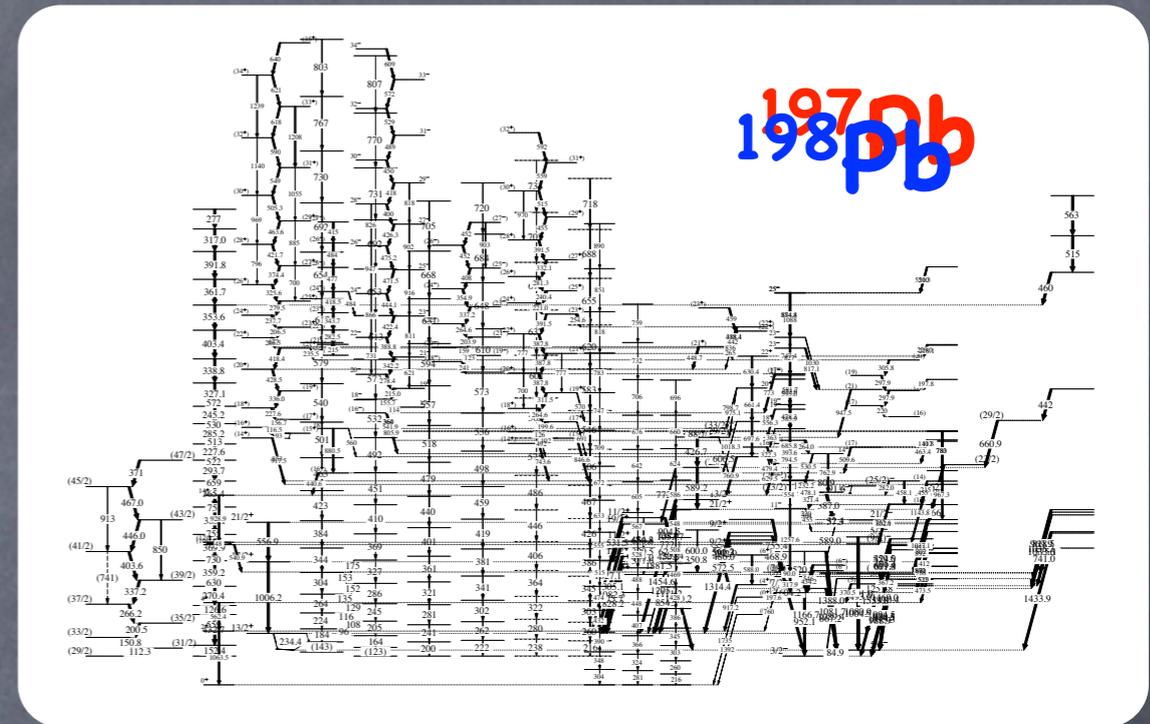
Mais : Eff < 100%, P/T < 100%,

→ on 'loupe' des cascades !

→ ajouter une condition : **OU** logique ...

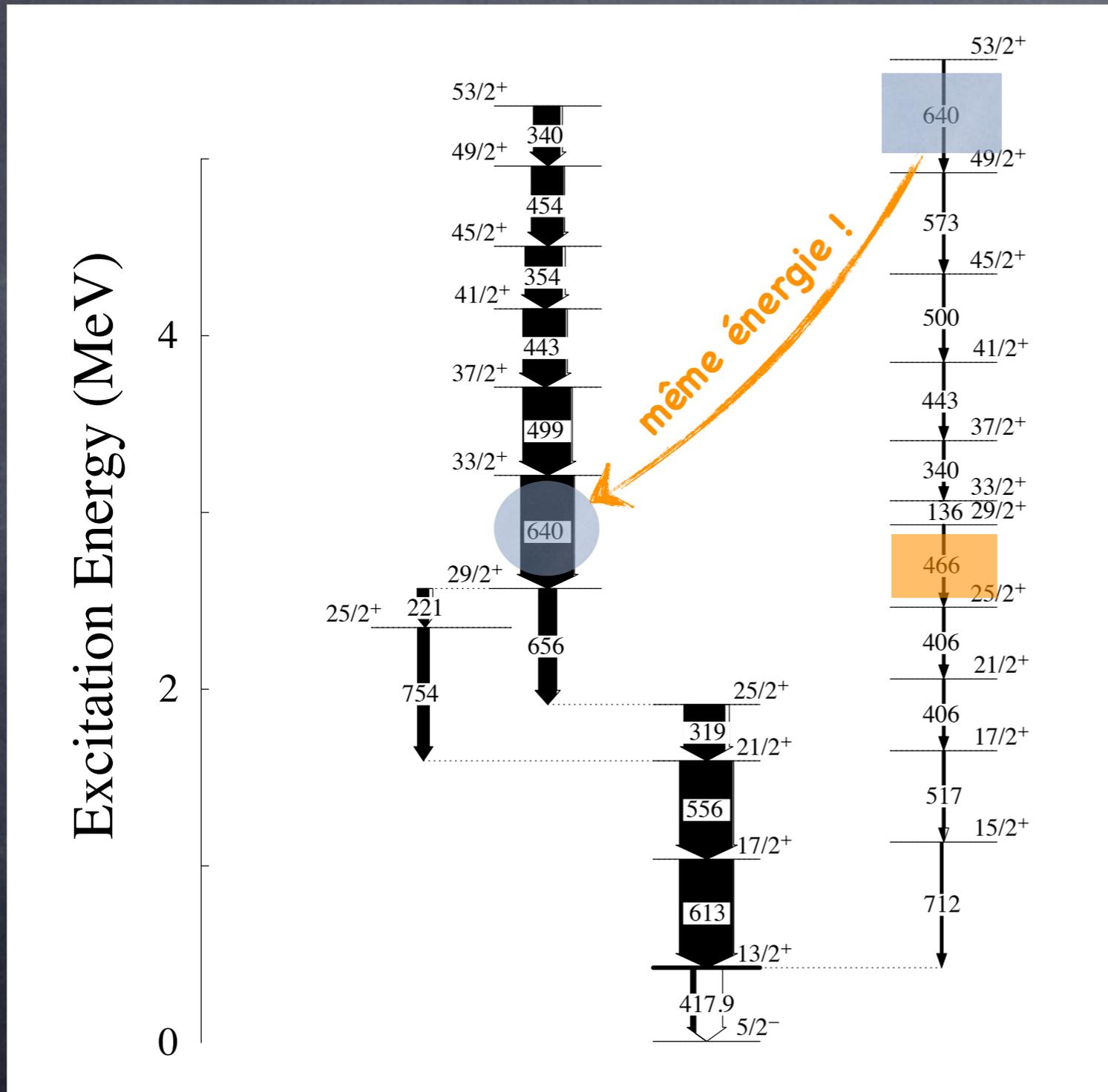
Cascades de rayonnements γ

En général : plusieurs noyaux
➔ autant de schémas de niveaux !



Une aiguille dans une botte de foin !!
➔ ajout de détecteur (recul < 100 %)
Si l'aiguille est dans le même noyau !!
➔ multi-gating sur les énergies des γ

La sélection de cascades de γ



$$638 < e < 642$$

↔ ajustable ...

ET

$$464 < e < 468$$

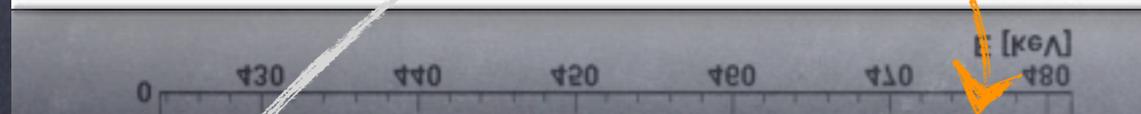
↔ ajustable ...

augmenter l'ordre des coïncidences !

☞ efficacité, segmentation

La sélection de cascades de γ

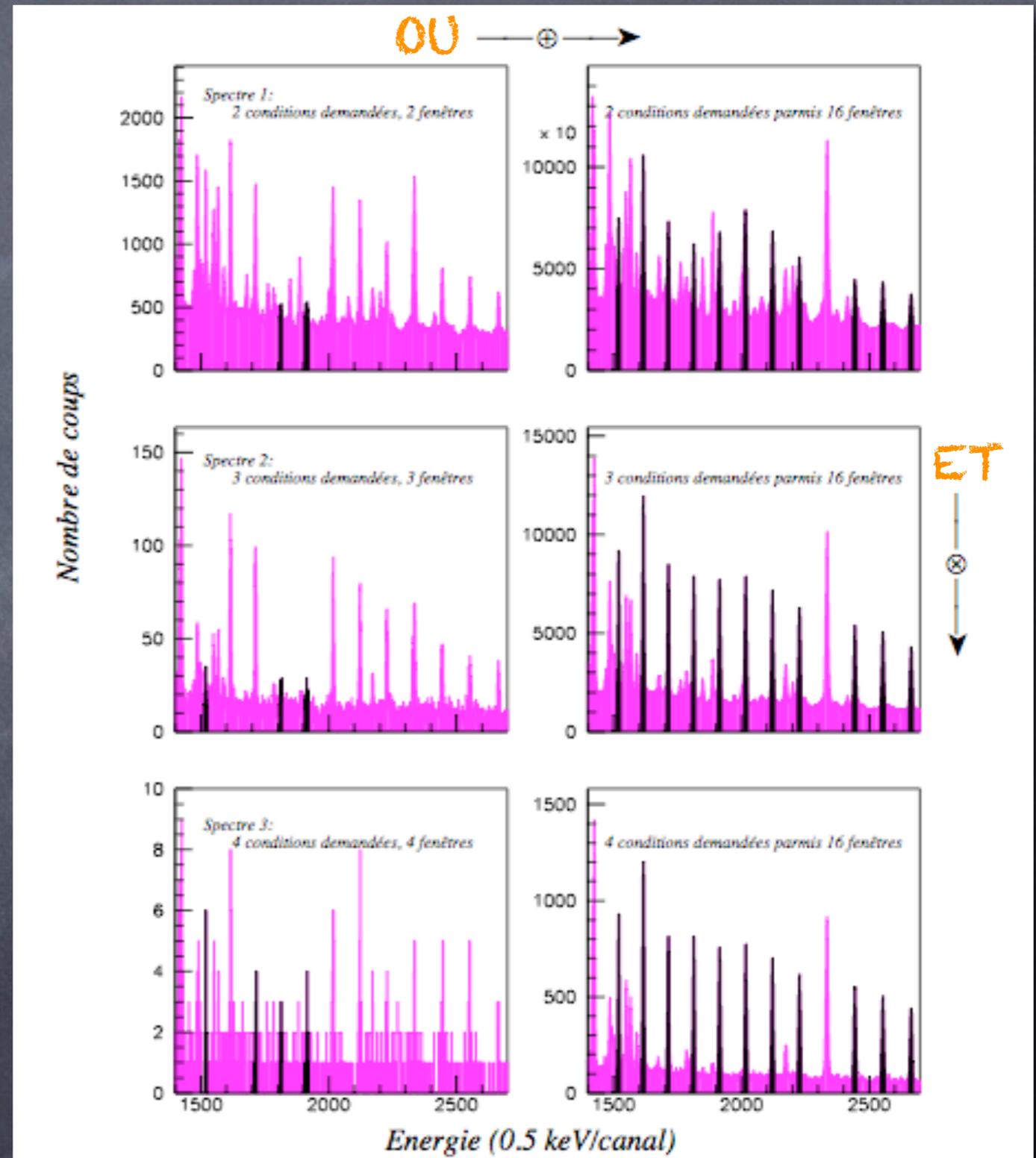
sur le spectre de tous les événements



pic ✓

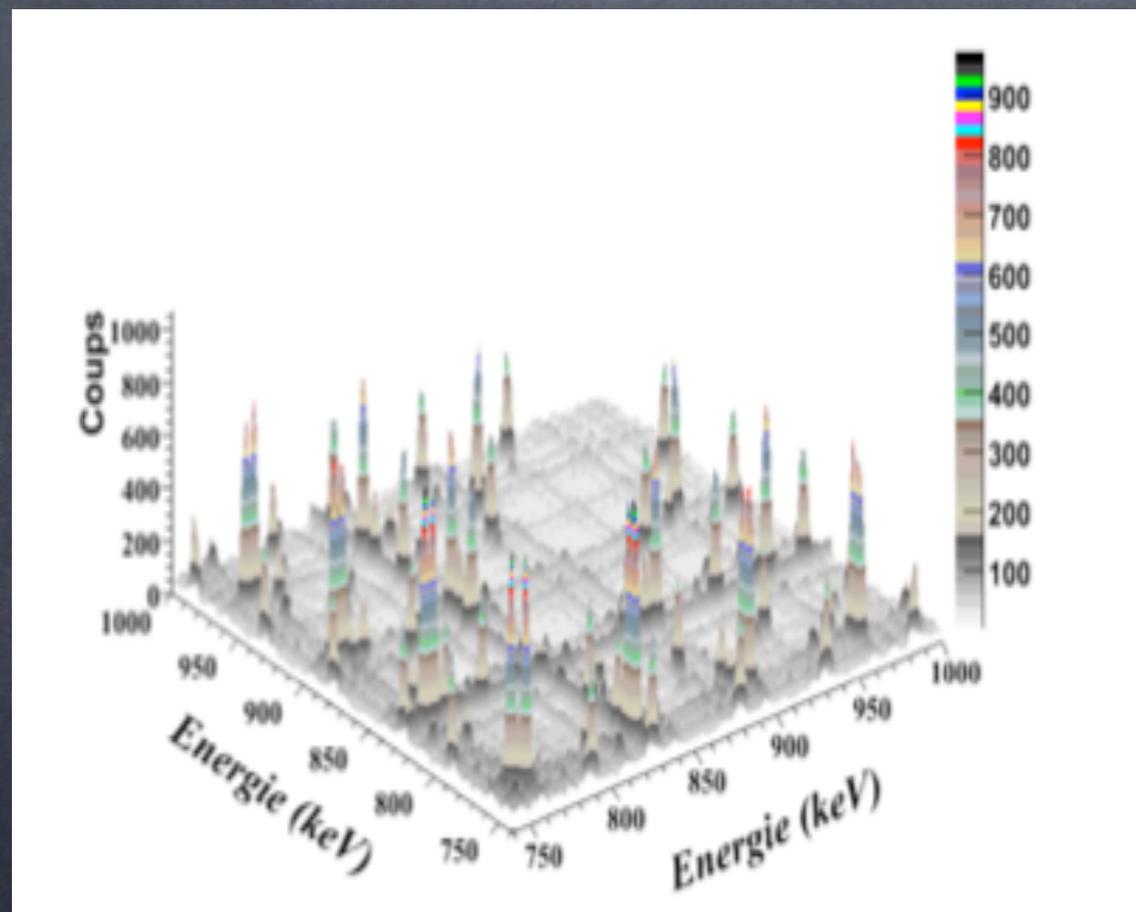
fond Compton X

→ coïncidence fortuite



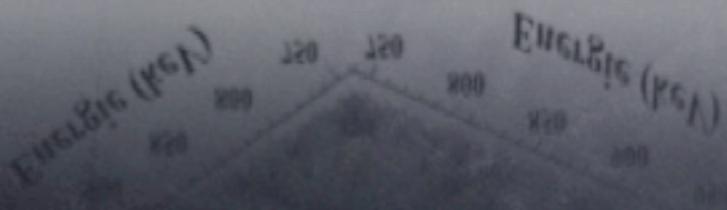
... au fait pourquoi pas TTree ??

Cas 2γ (e_1, e_2) + (e_2, e_1)



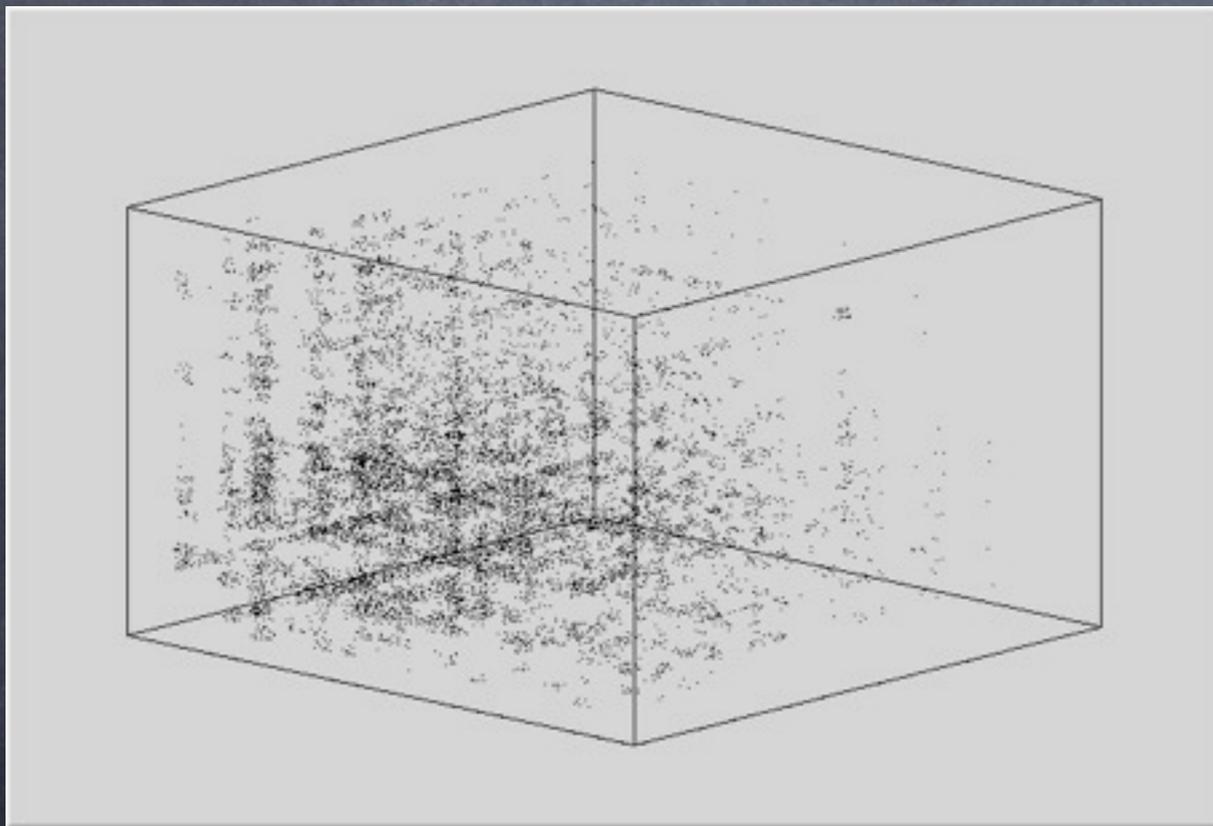
Taille $1000 \times 1000 \approx \text{MB}$
Sélection 'instantanée' !

On réduit le fond ...
... mais on veut + !



... au fait pourquoi pas TTree ??

Cas 3γ (e_1, e_2, e_3) + combinatoire

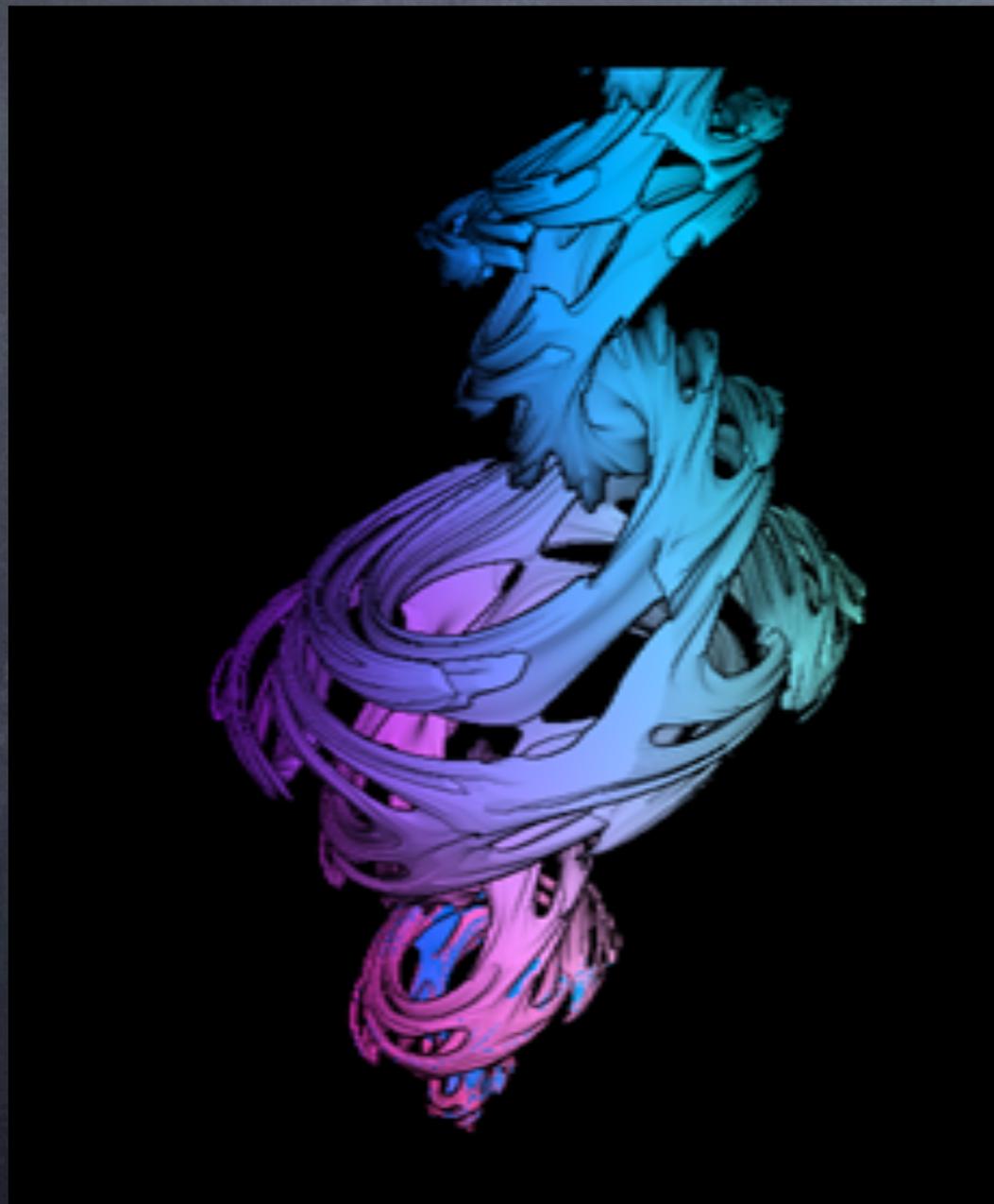


Taille $1000^3 \approx \text{GB}$
Sélection 'instantanée' !

On réduit le fond+ ...
... mais on veut + !

... au fait pourquoi pas TTree ??

Cas γ^n + combinatoire



Taille $1000^n > \text{TB}$

\Rightarrow Impossible !

Mais on veut (fond++) !

➔ stockage évé. par évé.

c'est moins rapide ...

schéma de niveaux, hautement répétitif

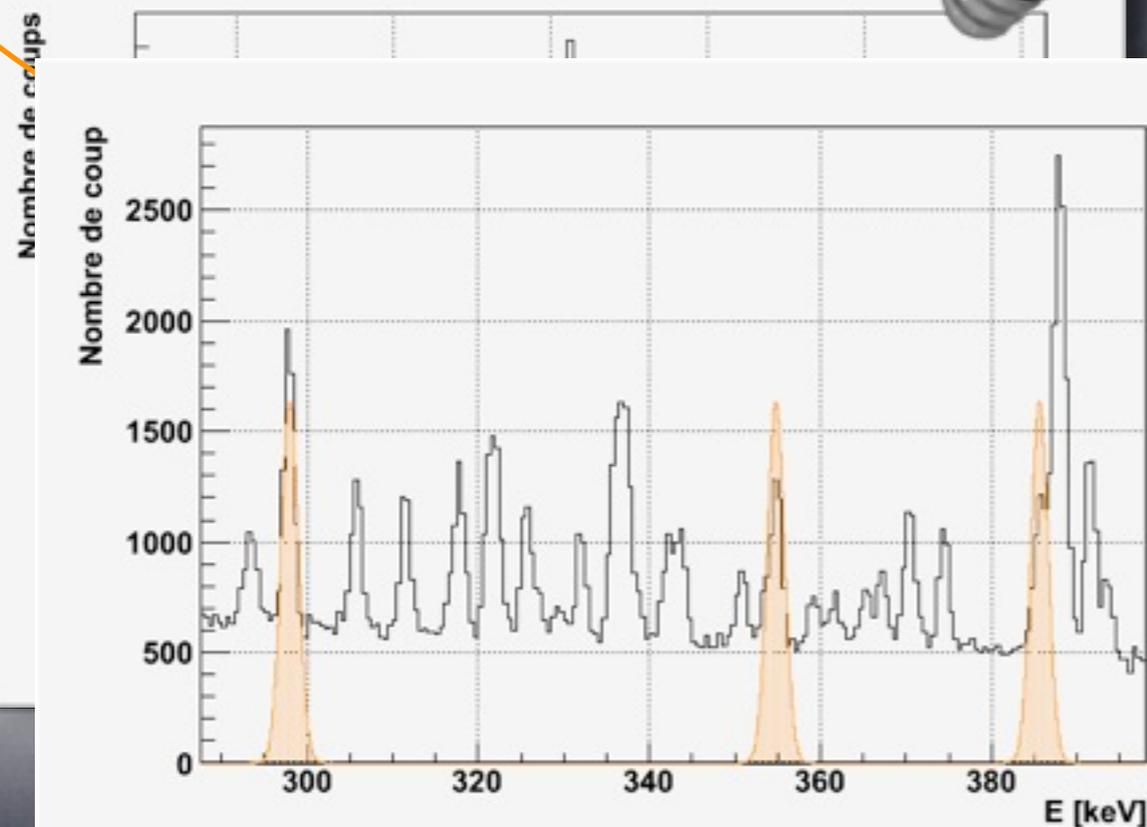
➔ Algorithmes

pré-tri par paquets

La sélection 'fine' de cascades de γ

Pb de la sélection franche
+ ET / OU ...

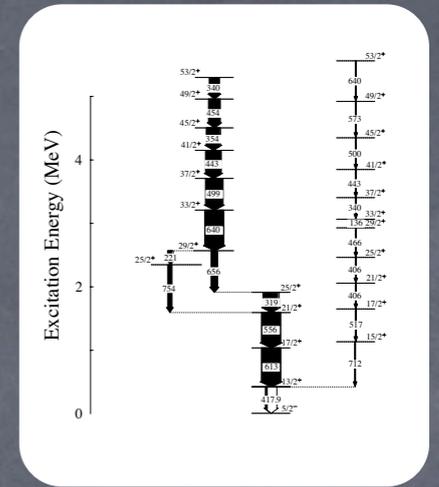
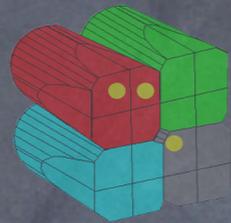
→ La logique floue !!
avec \in au filtre, $f^{197\text{Pb_cas1}}(e_i)$



des 'fenêtres' gaussiennes
+ naturel !
contrôle fin du filtre
 curseur réel sur lequel jouer ^①
possibilité de comparer ... ^②
possibilité de générer du fond ^③

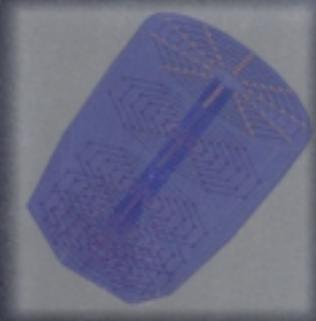
- ① appartenance à un filtre (sous ensemble flou)
- ② et pour une cascade, la garder dans le filtre de + haut score
- ③ cascades avec faible degré d'appartenance

Plan de L'exposé

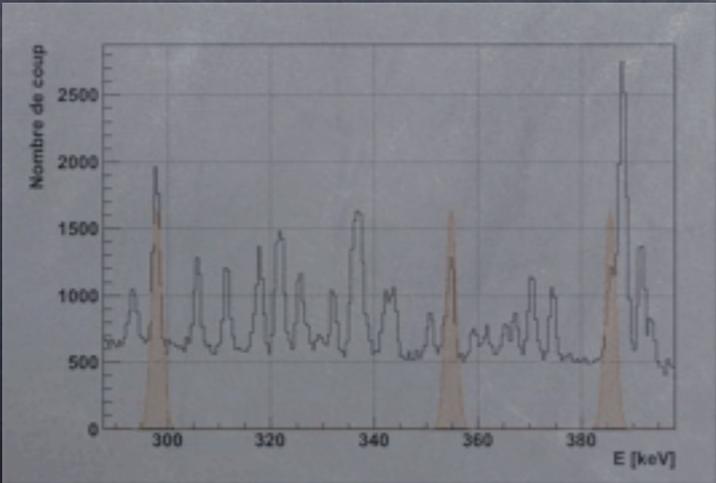
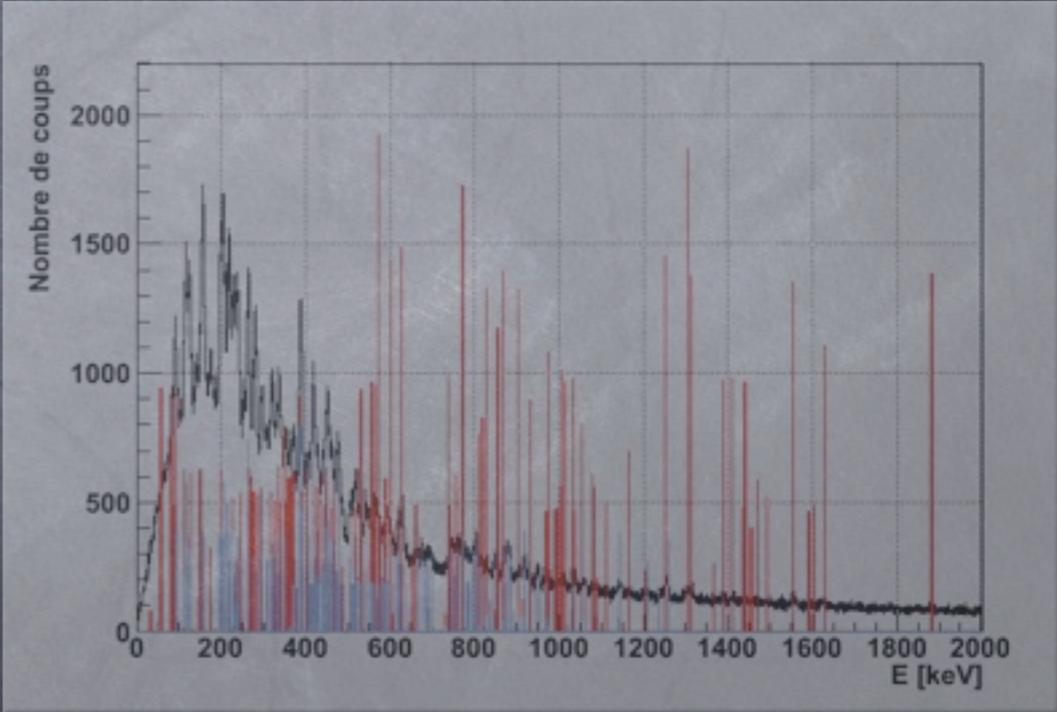


Analyse

Reconstruction



Sélection



Les principales mesures

Les principales mesures

Le + important : l'énergie du rayonnement γ

N mesures

$\{e_0 \dots e_N\}$



On peut calculer :

$$\bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_0^N e_i \equiv E \quad \bar{\mu} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$
$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_0^N (e_i - \bar{\mu})^2 \quad \bar{\sigma} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{2N}}$$

γ mono-énergétique Σ

Pas satisfaisant :

- plusieurs pics très proches
- il y a le fond !

On crée un spectre ...



L'ajustement

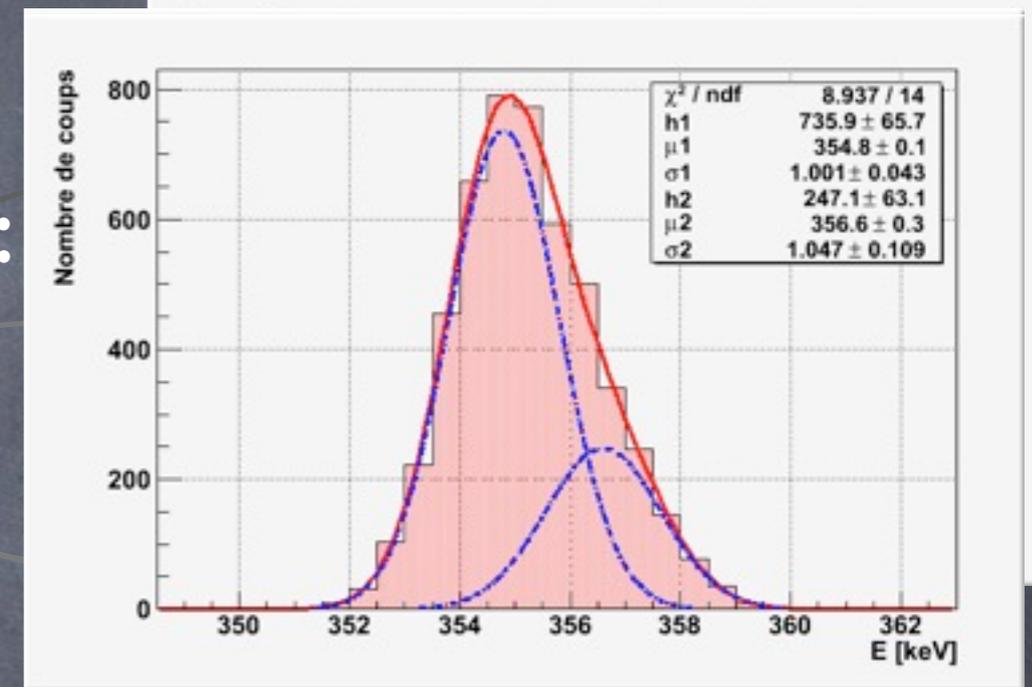
$$FWHM = 2\sqrt{2\ln 2}\sigma$$

Hypothèse : un pic gaussien $g = h.e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$
 + fond [linéaire, quadratique], en général soustrait

on veut estimer h , μ et σ

on cherche h , μ et σ qui minimise :

$$\chi^2 = \sum_j \left(\frac{y_j - g(x_j | h, \mu, \sigma)}{\Delta y_j} \right)^2$$



$\chi^2 \approx 1$ ok, sinon plusieurs pics ! ... au final on a :

- Energie [μ] des rayonnements γ [\pm]
- Leur intensité h [\pm]
- Largeur [σ , **FWHM**] [\pm] du pic ... { Résolution intrinsèque
Elargissement Doppler

Petite digression ...

Supposons que l'on connaisse exactement : $h.e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$

On crée N points, on ajuste et : $h^f, \mu^f, \sigma^f \neq h, \mu, \sigma !!$

On parle d'estimateur !

On donne une probabilité d'avoir la vraie valeur

Pour les faibles statistiques :

① On ajuste le spectre avec signal + fond

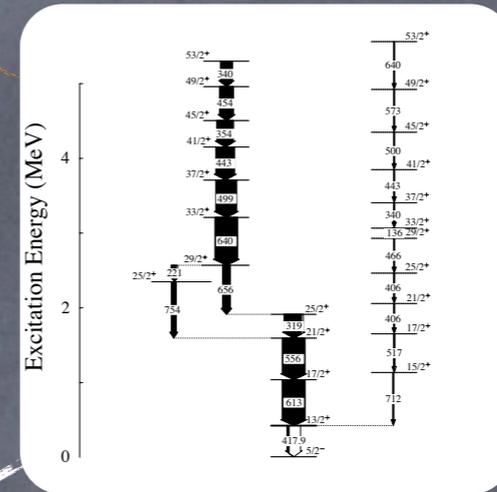
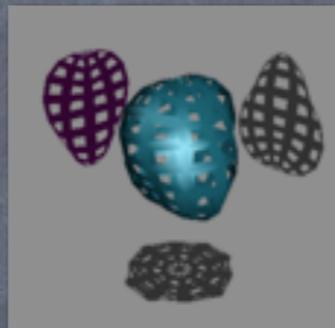
② On ajuste avec fond seulement

On donne la probabilité d'avoir vu un signal ② - ①

Cycle d'analyse de la spectro. γ



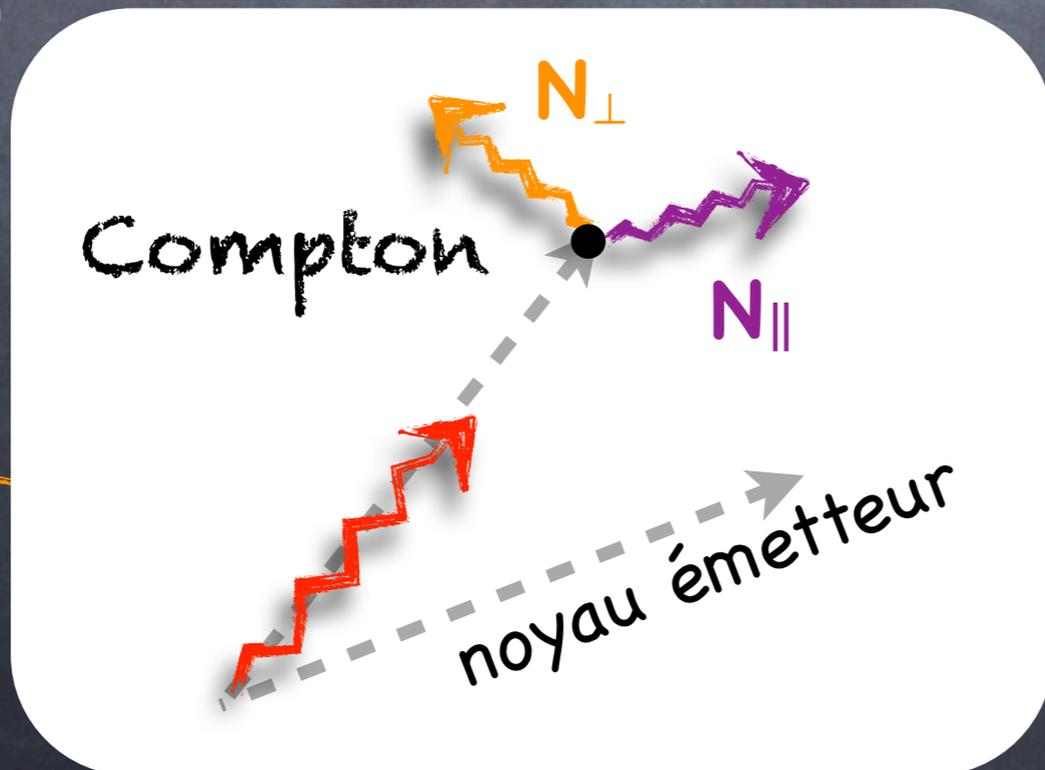
reconstruction



créer
affiner
compléter
étendre

événements

sélection

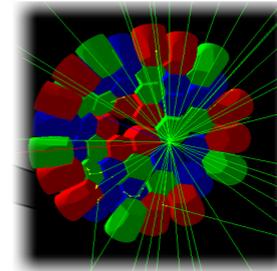


- ① coïncidences
 - ② énergies des γ
 - ➔ niveaux quantiques
 - ③ intensités
 - ➔ rapports d'embranchements
 - ④ intensité $f(\Theta)$, multiplicité :
 - ➔ spin des états
 - ⑤ polarisation des états
- AGATA prometteur !**

de la mesure à la publication ...

... conférences ...

... nouveau détecteur ...



... lettres d'intentions ...



Application of the Recursive Subtraction Pulse Shape Analysis algorithm to in-beam HPGe signals

F.C.L. Crespi^a, F. Camera^{a,*}, A. Bracco^a, B. Million^a, O. Wieland^a, V. Vandone^a, F. Recchia^a, A. Gadea^b, Th. Kröll^b, D. Mengoni^c, E. Farnea^c, C.A. Ur^c, D. Bazzacco^c, the AGATA collaboration

^aDipartimento di Fisica, Università di Milano and INFN Sezione di Milano, Via Celoria 16, 20133 Milano, Italy
^bLaboratori Nazionali di Legnaro, INFN, Viale dell'Università 2, 35020 Legnaro, Padova, Italy
^cDipartimento di Fisica, Università di Padova and INFN Sezione di Padova, Via Marzolo 8, 35131 Padova, Italy

ARTICLE INFO

Article history:
Received 15 December 2008
Received in revised form
10 March 2009
Accepted 19 March 2009
Available online 5 April 2009

Keywords:
Gamma-rays
HPGe detectors
Pulse Shape Analysis
AGATA
Tracking

ABSTRACT

The Pulse Shape Analysis algorithm "Recursive Subtraction" has been applied to data acquired during the in-beam tests of two different highly segmented HPGe detectors. This algorithm processes the net charge signal, determining the number of interactions per segment and their radial coordinates. The RS algorithm performances are evaluated by comparing the results obtained following its application to experimental pulse shapes with those obtained with specific GEANT4 simulations. Excellent agreement is found between the experimental distribution of the number of interactions per segment and the simulated one. Deviations between experimental radial distribution and the calculated ones are discussed.

© 2009 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

High-resolution γ -ray spectroscopy plays a prominent role in the investigation of nuclear structure. Present generation arrays, mainly based on Compton-suppressed High Purity Germanium (HPGe) detectors (EUROBALL [1], GAMMASPHERE [2], EXOGAM [3], JUROGAM [4], RISING [5] and CLARA [6]), have significantly contributed to our understanding of nuclear structure in both high and low spin domain and have allowed to initiate the investigation of the isospin degree of freedom.

However, the presence of BGO shields prevents the 4π solid angle coverage with HPGe detectors, thus limiting the photopeak efficiency of the array to values up to approximately 10–20% [3,7].

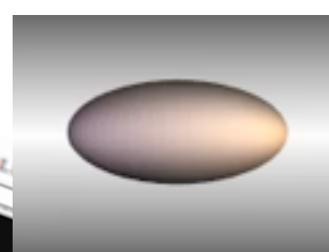
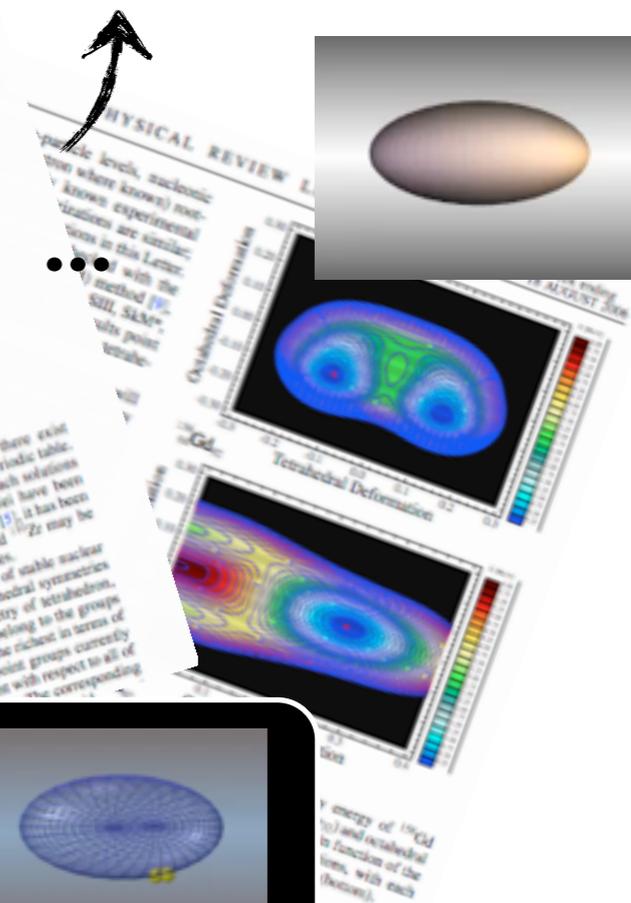
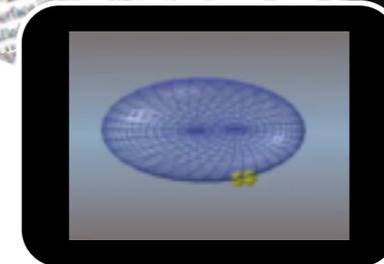
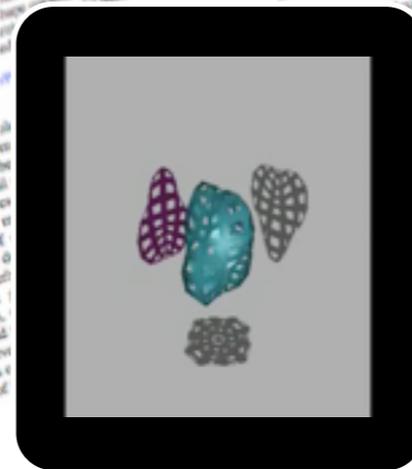
In next generation γ -spectroscopy arrays (AGATA [7] or GRETA [8]), the full solid angle will be covered with electrically segmented HPGe crystals. This solution, which removes BGO shields, maximizes the active solid angle and, consequently, the photopeak efficiency. In addition, the electrical segmentation of HPGe crystal gives the possibility to reconstruct the path of each γ -ray inside the detectors (i.e. γ -ray tracking) [7,8]. With this approach, an unprecedented sensitivity will be achieved and the challenging requirements for the γ -ray detection systems to be

used in experiments with exotic nuclear beams can be fulfilled. In fact, the γ -ray tracking will allow to correct for the energy shift caused by Doppler effect, recovering the intrinsic HPGe energy resolution, and to reject the background events which do not deposit their full energy inside the array or do not originate from the target position [9,10].

The basic information needed by γ -ray tracking algorithms consists in the spatial position of all the interaction points (IPs) and in the related amount of energy released in the detector. The position sensitivity of the detectors is achieved through the segmentation of the outer contact and by the shape analysis of the measured pulses (PSA). A segmentation level of the crystal that guarantees a maximum of one IP in each electrical segment is unfortunately technically and practically unfeasible in terms of complexity and cost [11]. The required performances of PSA algorithms in terms of position resolution and their impact on γ -ray tracking efficiency was discussed in several papers (see for example [10,12–14]). Presently, a position resolution of the order of 5 mm (FWHM) for the IP coordinates determination is considered realistic and it is used in almost all γ -ray tracking simulations.

Since PSA algorithms are supposed to run on-line, during the data acquisition, they should not overload the CPU as this produces unwanted dead time. Unfortunately, as a general feature, the quality of the results is in open conflict with the CPU requirement especially if one has to disentangle more than one IP in a signal.

... publications ...

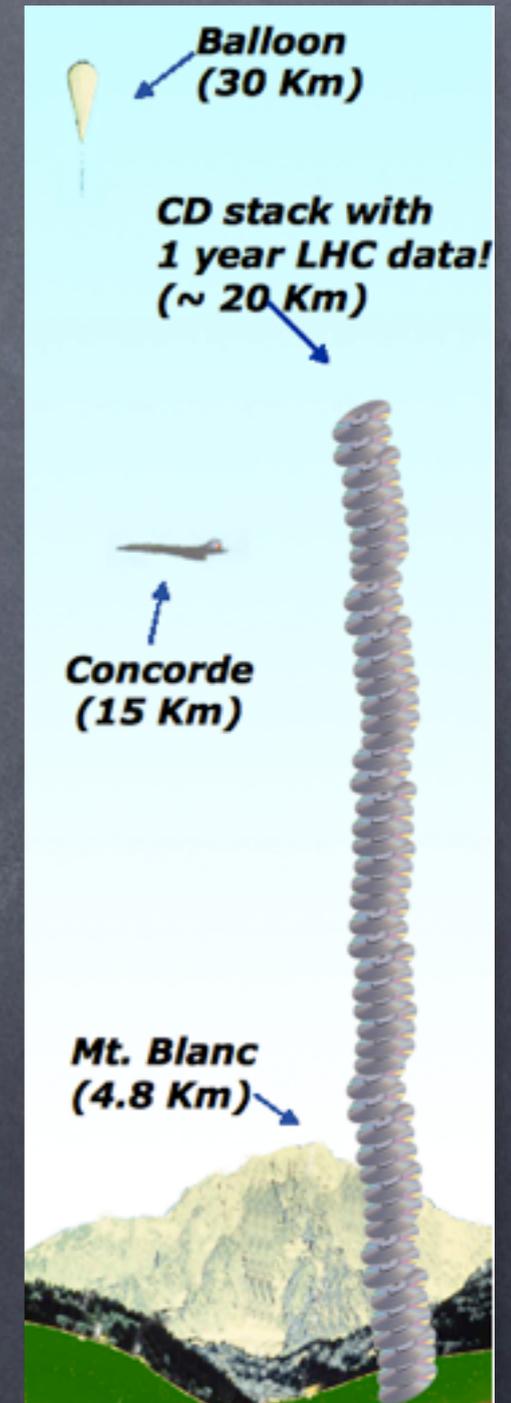


* Corresponding author.
E-mail address: camera@mi.infn.it (F. Camera).

Ok, il est évident que pour faire tout ça
il faut au moins un ordinateur ...
mais
quelles ressources informatiques exactement ?

Pourquoi la GRILLE ?

- Généralisation électronique digitale
 - ➔ LHC : 10 petabytes/an ($10 \cdot 10^6$ Gb)
 - ➔ Biologie, sciences de la terre ...
 - Reconstruction : besoin énorme CPU
 - Simulation ('tracking' des particules)
 - Echanges de données / programmes
 - ➔ collaboration !
- ➔ dans un environnement sécurisé ...



La GRILLE : concept



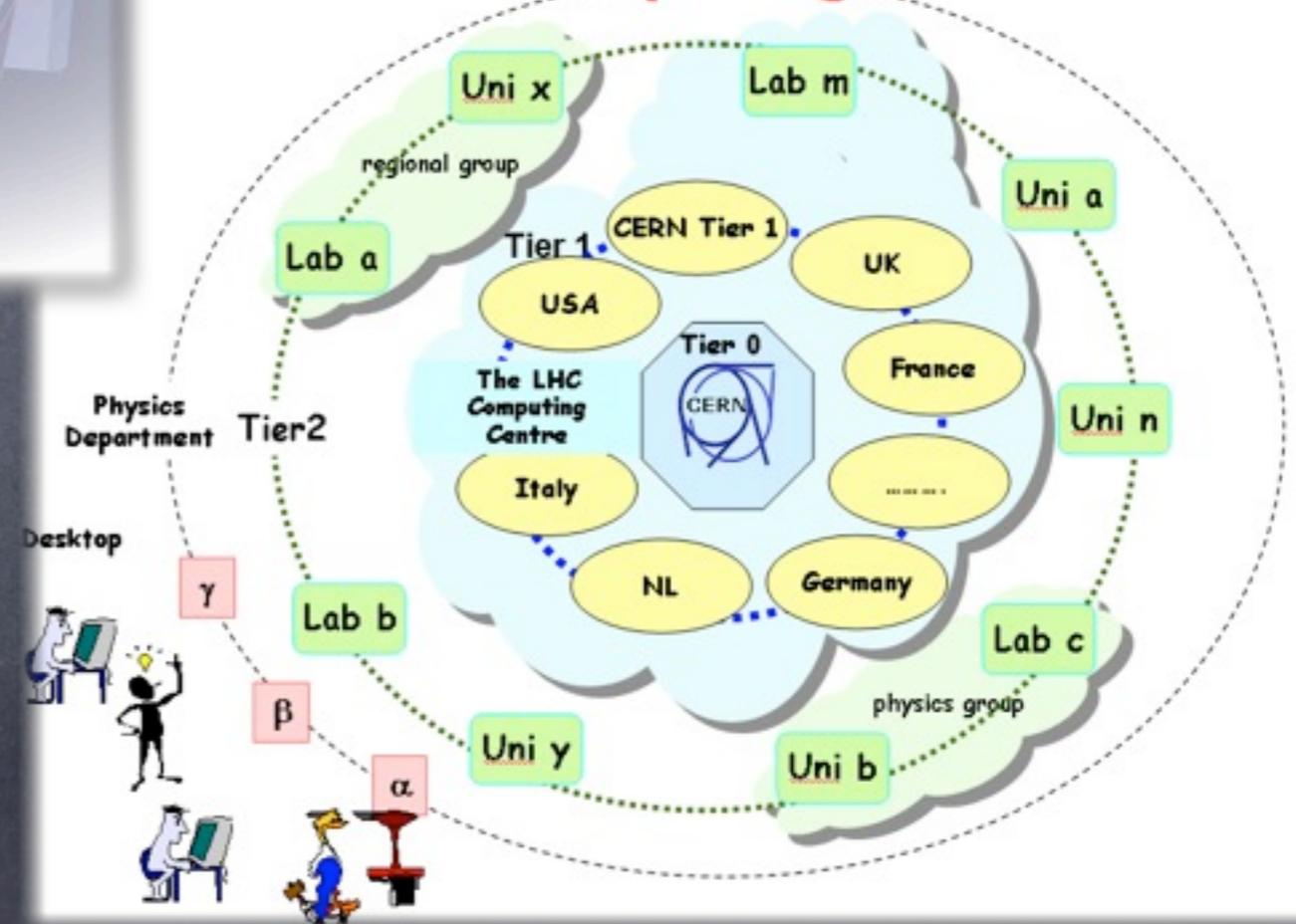
Mutualisation des ressources
évolution rapide EGEE → EGI

Régionalisation :

- Tier 0 → 1 → 2 ...
- EGI englobe NGI

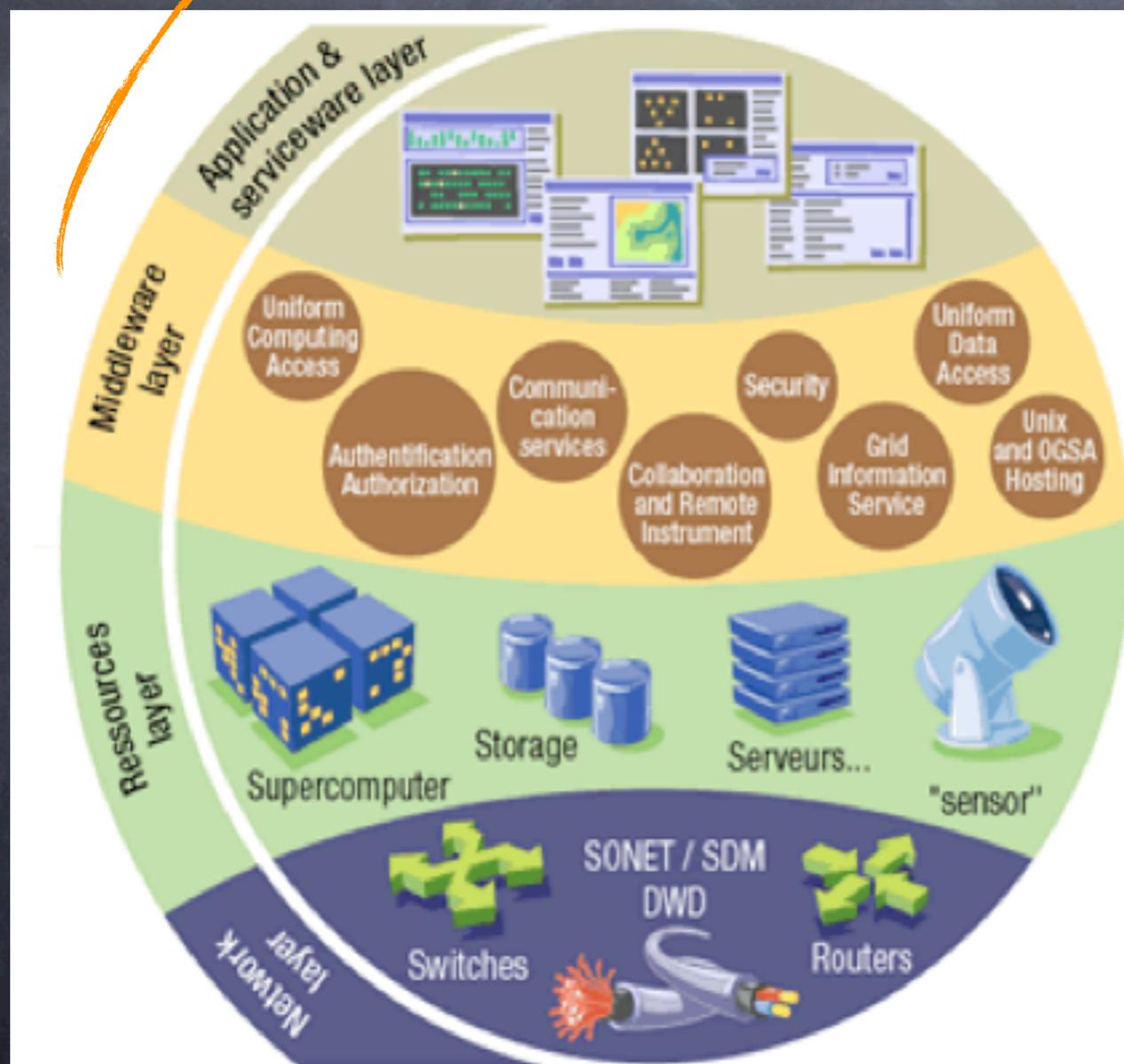
European Grid Infrastructure
National Grid Initiative

LHC Computing Model



La GRILLE : ingrédients

Middleware - gLite - : interface unifiée pour ressources hétérogènes



- VO: Virtual Organisation
- UI: User Interface
- WOMS: Virtual Organisation Membership Service
- WMS: Workload Management System
- CE: Computing Element
- SE: Storage Element
- LFC: Logical File Catalog
- FTS: File Transfert Service
- BDII: Berkeley Database Information Index

La GRILLE en action



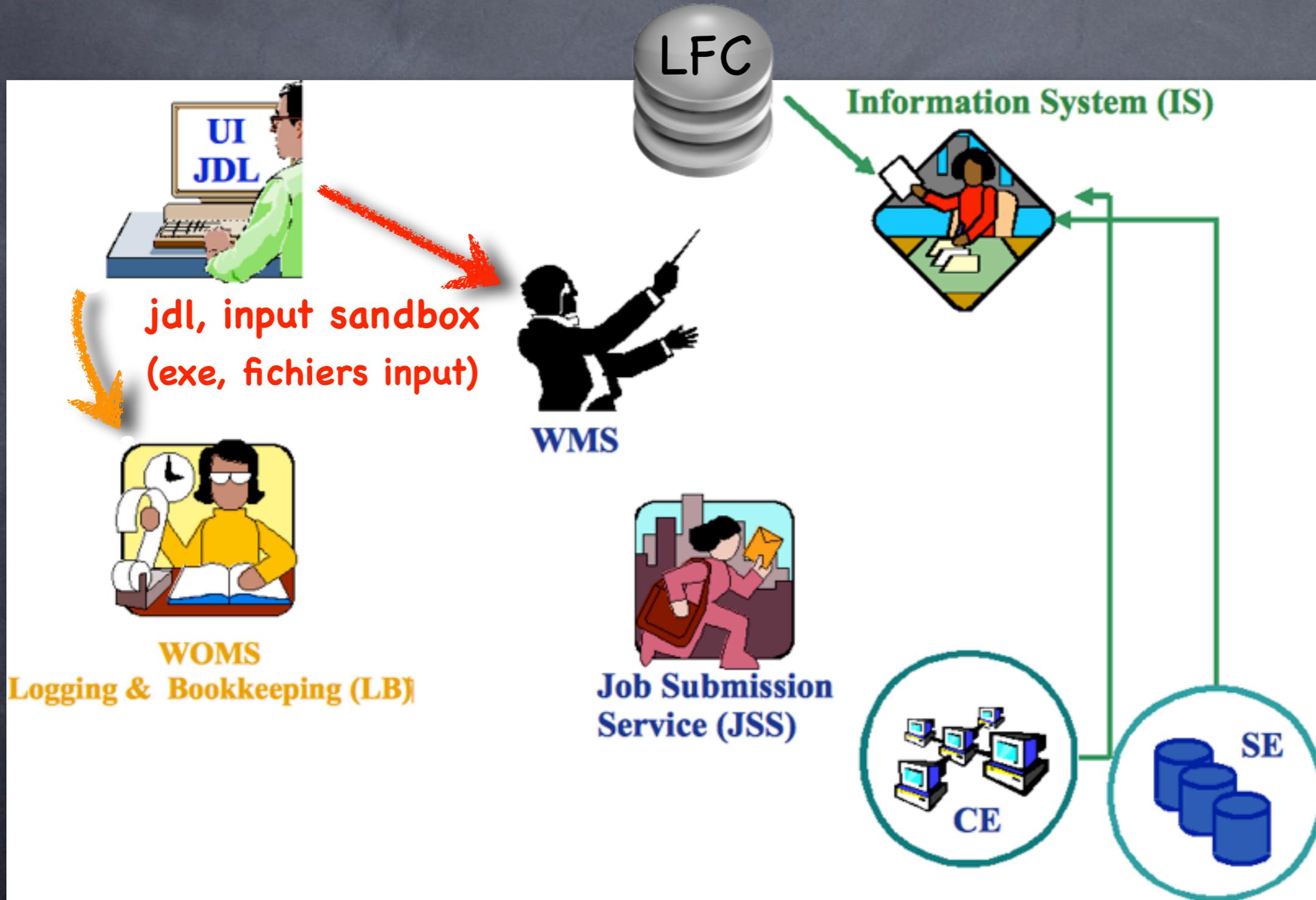
Job status

La GRILLE en action



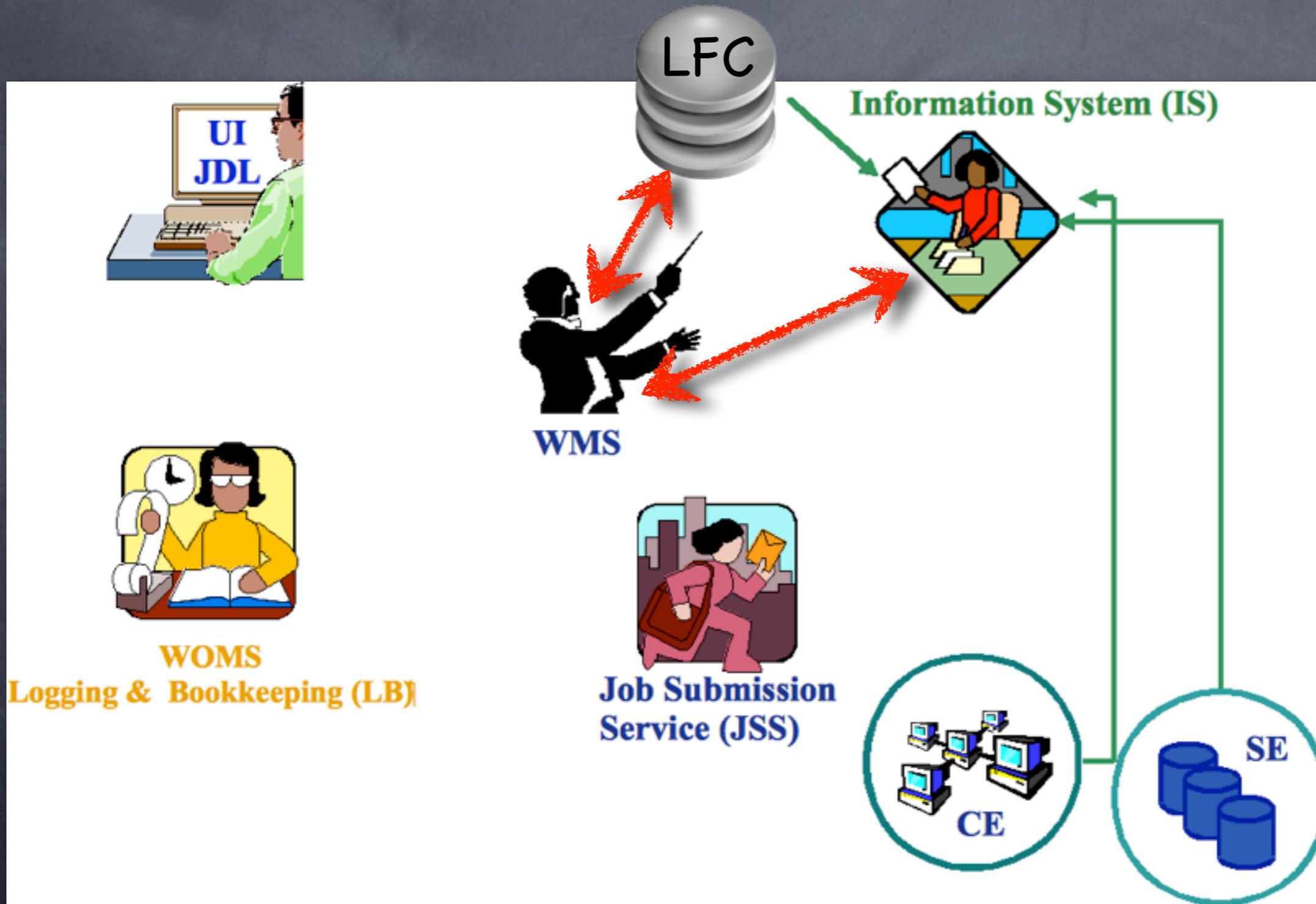
Job status

La GRILLE en action



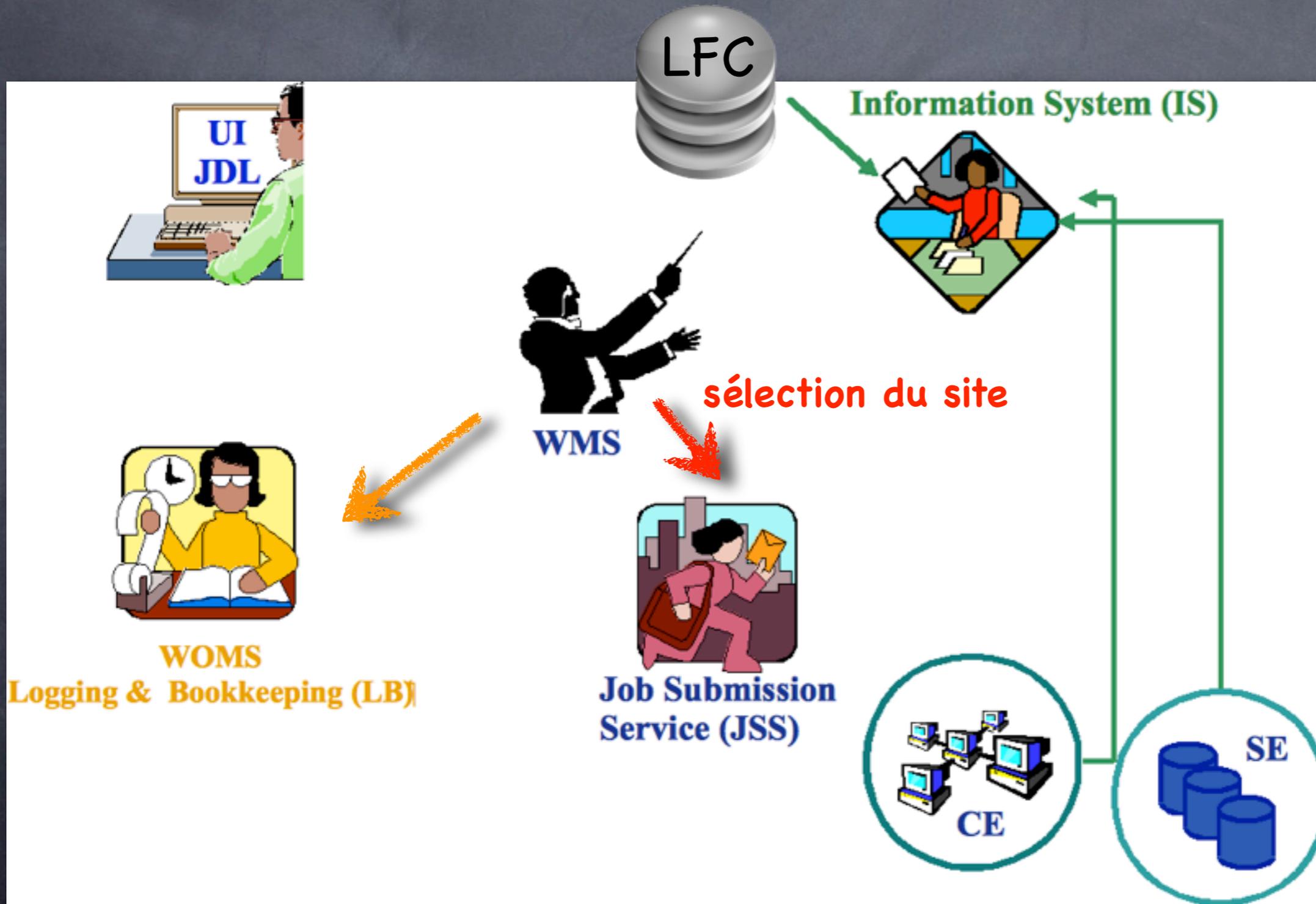
Job status
submitted

La GRILLE en action



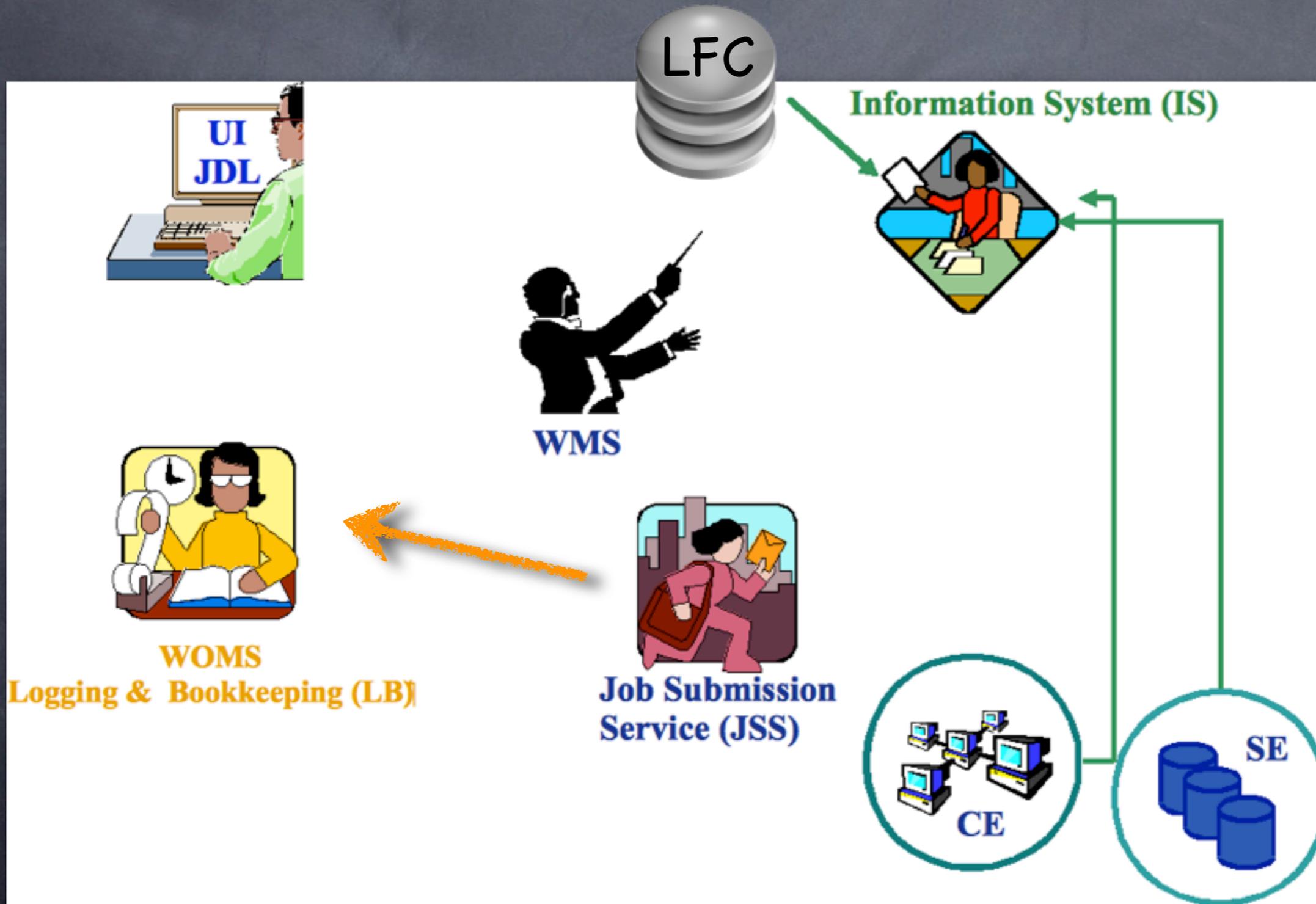
Job status
submitted
waiting

La GRILLE en action



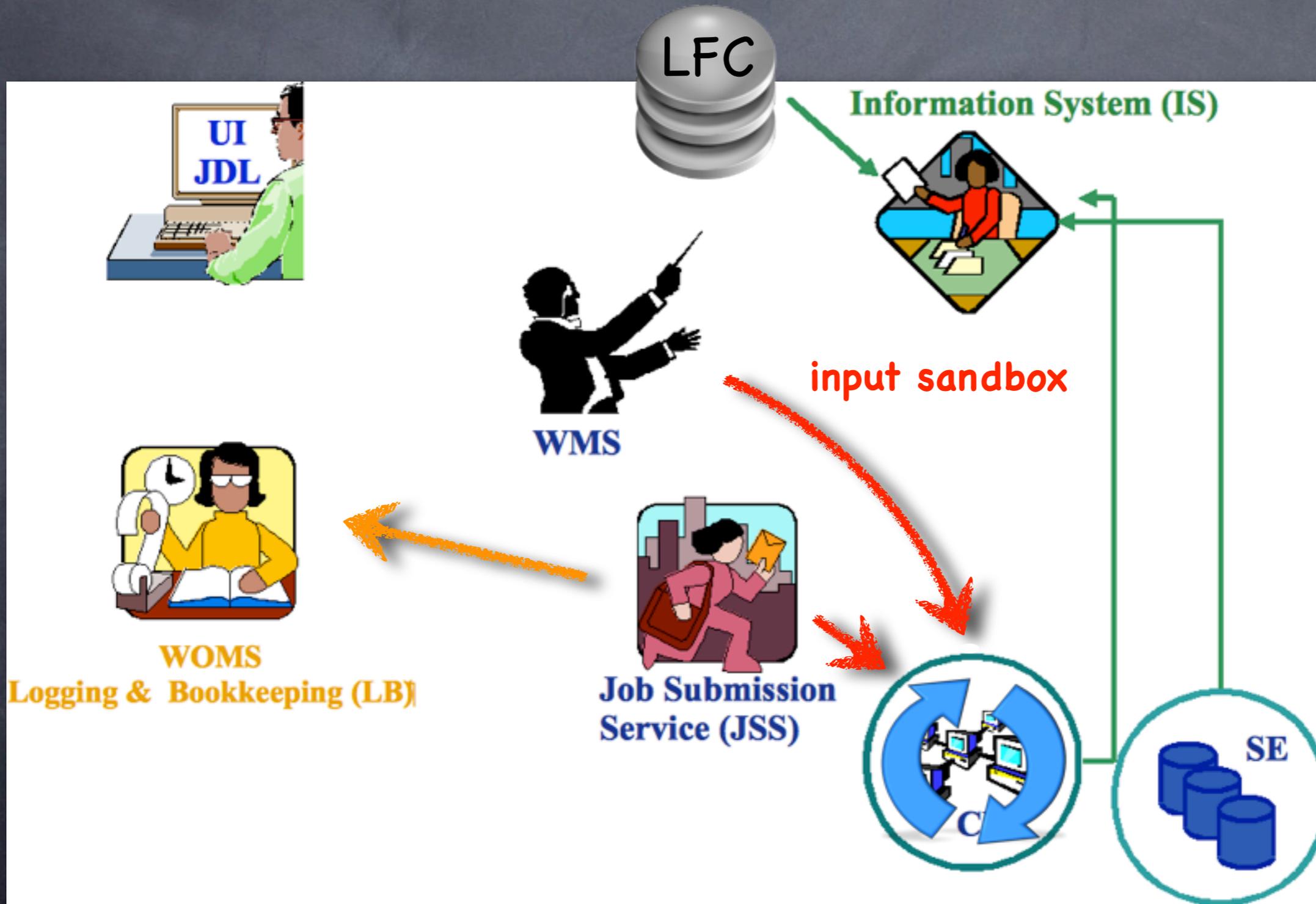
Job status
submitted
waiting
ready

La GRILLE en action



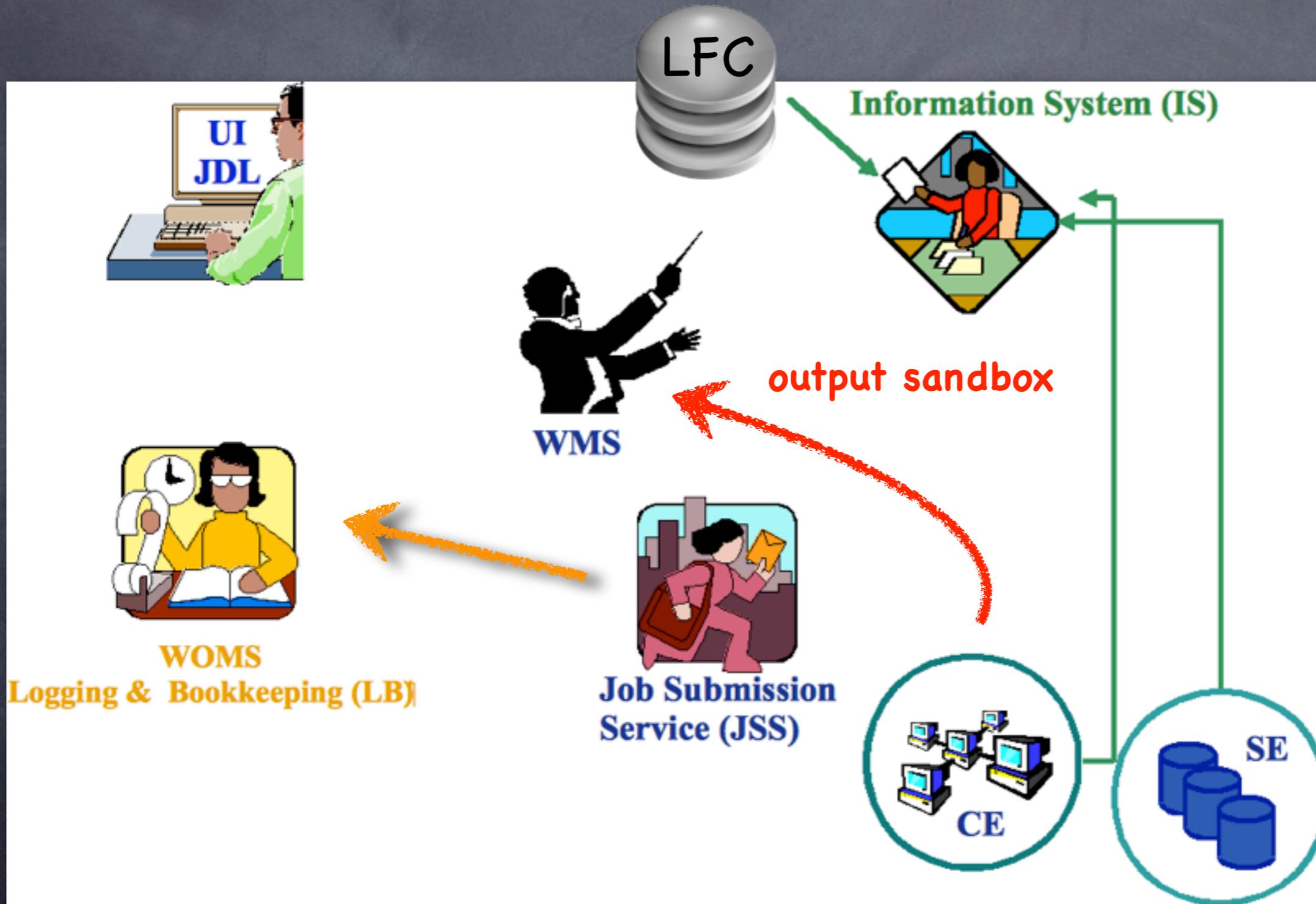
Job status
submitted
waiting
ready
scheduled

La GRILLE en action



Job status
submitted
waiting
ready
scheduled
running

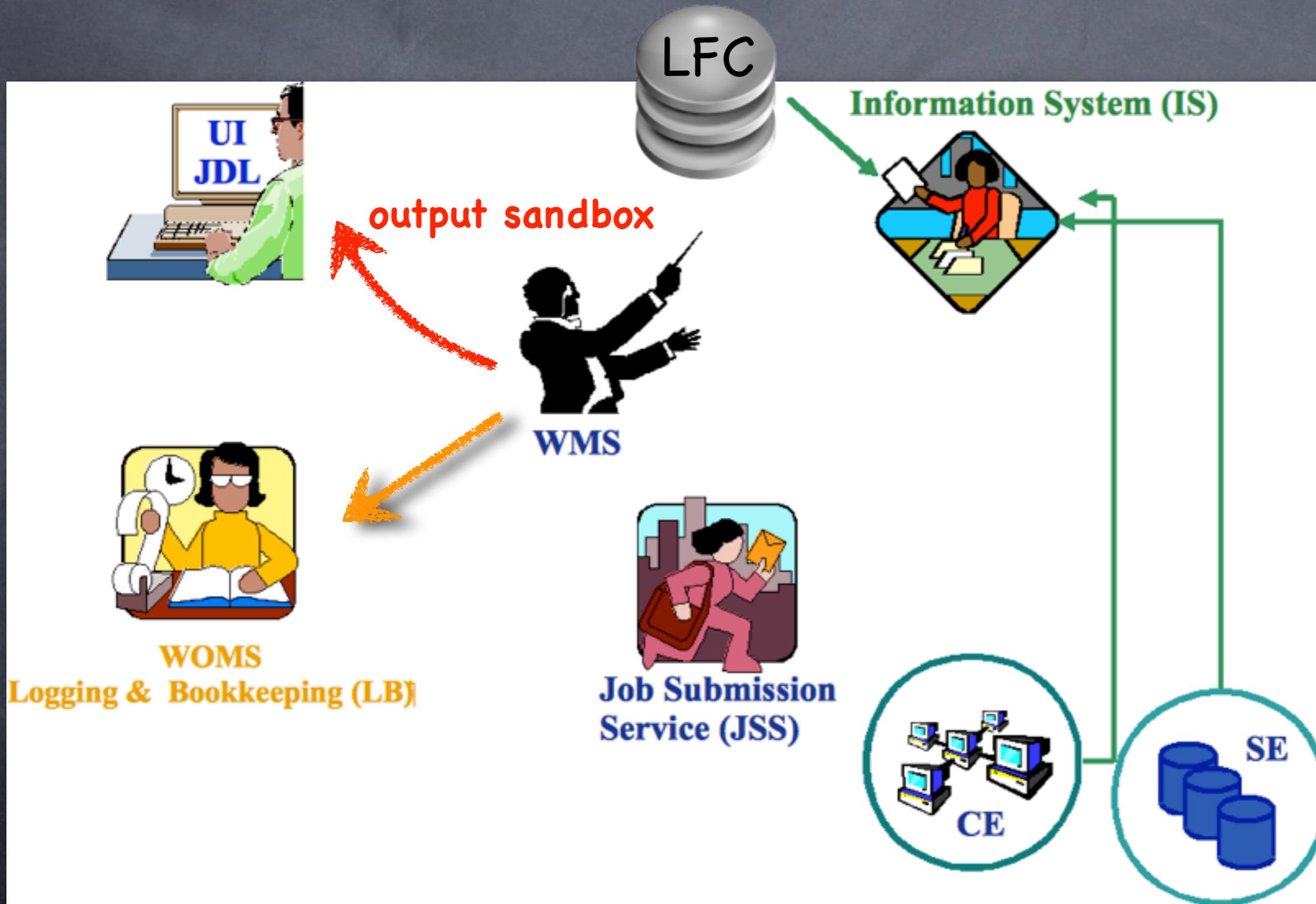
La GRILLE en action



Job status

submitted
waiting
ready
scheduled
running
done

La GRILLE en action



Job status

submitted
waiting
ready
scheduled
running
done
cleared

La GRILLE pour AGATA

PSA 'simple' utilisé en ligne [4 kevents/s/crys.].

Ok, mais :

- ne marche pas pour les cas 'complexes' [2 hits/seg.]
 - ▶ perte d'efficacité
 - Donc les traces sont stockées :
 - ▶ ≈ 10 Tb/semaine
 - ▶ ressource DAQ $25 \times 4 = 100$ CPU
- ➡ Grille pour le 'data replay'
- ➡ Pour l'instant, premiers pas ('data movement')
- ➡ 'Gridification' du soft en cours



Merçi!