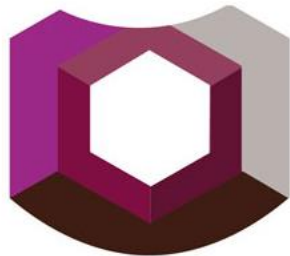
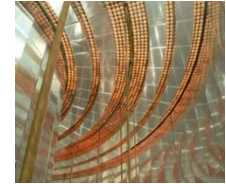
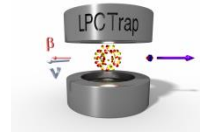

Caractérisation de systèmes de détection pour la physique fondamentale



**LES APPLICATIONS
DE L'IRRADIATION**



4 et 5 Avril 2018, Cherbourg en Cotentin

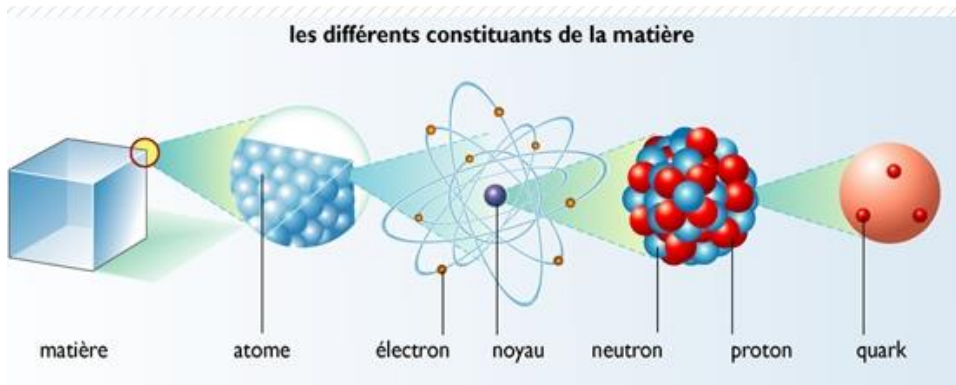


- **Contexte / motivations**
- **Expériences du LPC Caen au GANIL**



- **Calibration des détecteurs**
- **Problématique de la rétrodiffusion**

et le *Modèle Standard*...

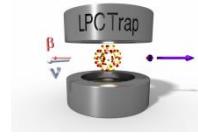


- Le **Modèle Standard** formalise et décrit de façon très précise les interactions entre les constituants élémentaires.
- Certaines observations (oscillations des neutrinos, disparition de l'antimatière, matière noire et énergie noire...) laissent cependant penser que de nouvelles particules restent à découvrir...

	1 ^{ÈRE} GÉNÉRATION	2 ^{ÈME} GÉNÉRATION	3 ^{ÈME} GÉNÉRATION		
masse →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H boson de Higgs
QUARKS					
	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e électron	μ muon	τ tau	Z boson Z	
LEPTONS					
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e neutrino électronique	ν_μ neutrino muonique	ν_τ neutrino tauique	W[±] bosons W [±]	

+ leurs antiparticules

Recherche de nouvelle Physique, nouvelles particules!



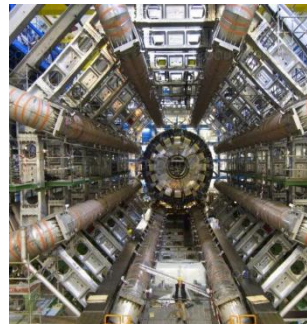
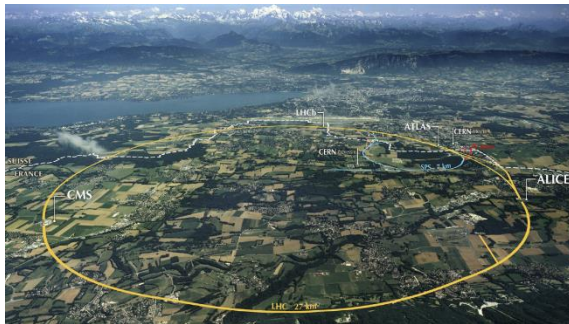
A la frontière des hautes énergies

Traque et Observation directe



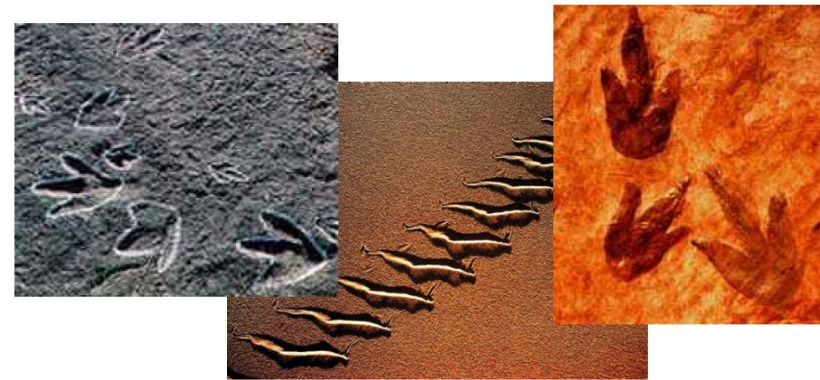
$$E_{\text{coll}} \sim M_{\text{new}} c^2$$

- Collisionneurs de haute énergie (LHC)



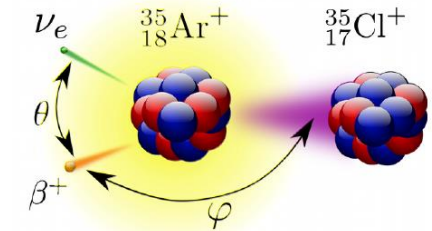
A la frontière de la précision

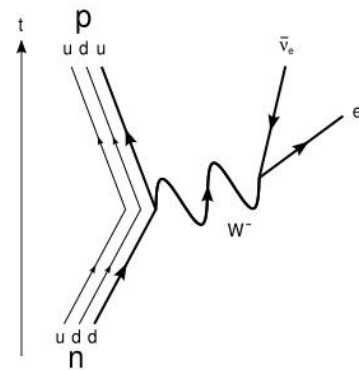
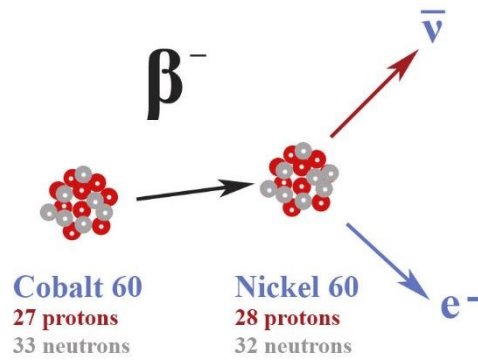
Recherche de traces...



- Test du MS via des mesures précises en **décroissance β nucléaire...**

LPCTrap @ GANIL





$$\omega \langle \langle \vec{J} \rangle \rangle | E_e, \Omega_e, \Omega_\nu \rangle dE_e d\Omega_e d\Omega_\nu$$

$$\propto \frac{F(\pm Z, E_e)}{\text{Fermi function}} \frac{p_e E_e (E_0 - E_e)^2 dE_e d\Omega_e d\Omega_\nu}{\text{phase space}}$$

Théorie de Fermi
partie « connue »

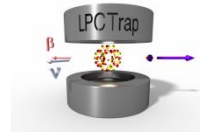
$$\times \left\{ 1 + a \frac{\vec{p}_e \cdot \vec{p}_\nu}{E_e E_\nu} + b \frac{m_e}{E_e} + D \frac{\vec{J} \cdot (\vec{p}_e \wedge \vec{p}_\nu)}{J(E_e E_\nu)} + \dots \right\} \text{Cadre théorique + large}$$

Corrélation angulaire β - ν
MS: $a = 1$ ou $-1/3$

Terme de Fierz
MS: $b = 0$

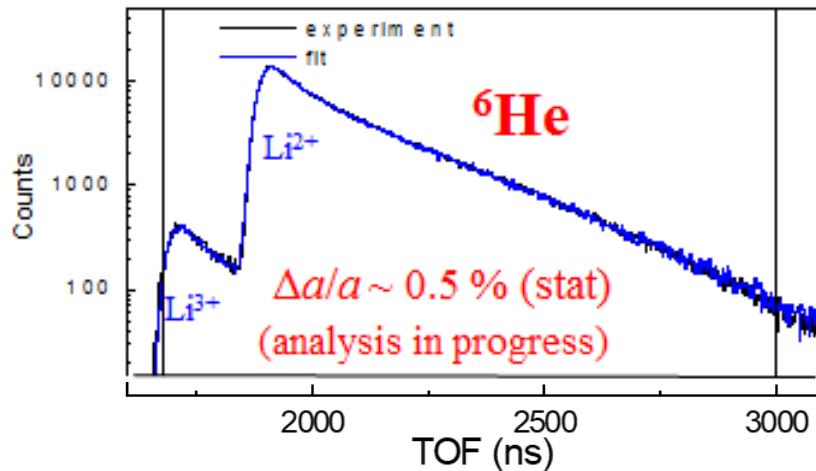
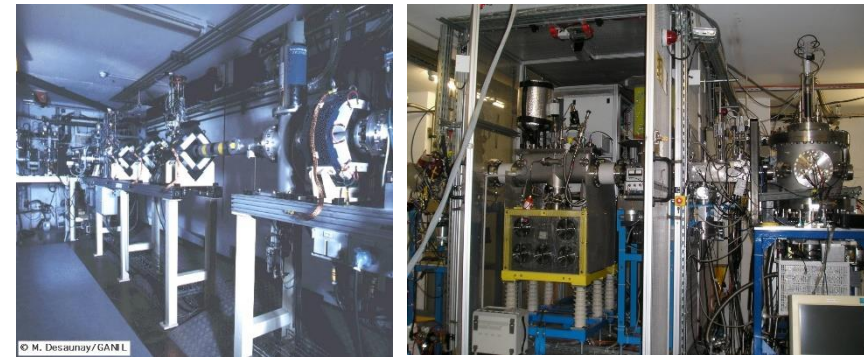
Corrélation-D
MS: $D = 0$

Mesure précise de $a, b, D \rightarrow$ recherche de déviations / prédictions du MS



Expérience LPCTrap

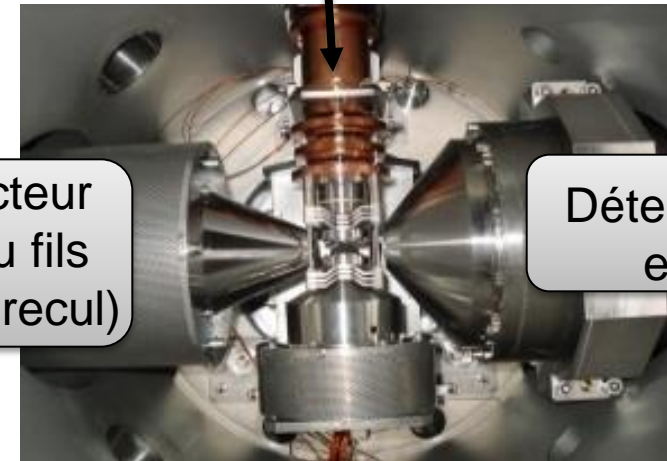
- Coefficient de corrélation angulaire α
- Ions radioactifs produits à SPIRAL, GANIL
- Confinement dans un piège électrostatique
- Mesure par temps de vol, $\Delta\alpha/\alpha < 1\%$



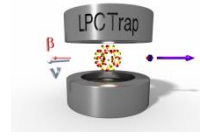
Injection des ions radioactifs

Détecteur noyau fils (ion de recul)

Détecteur e^-

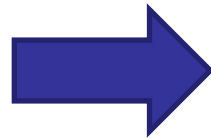
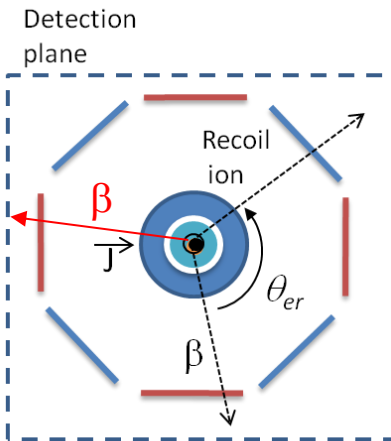
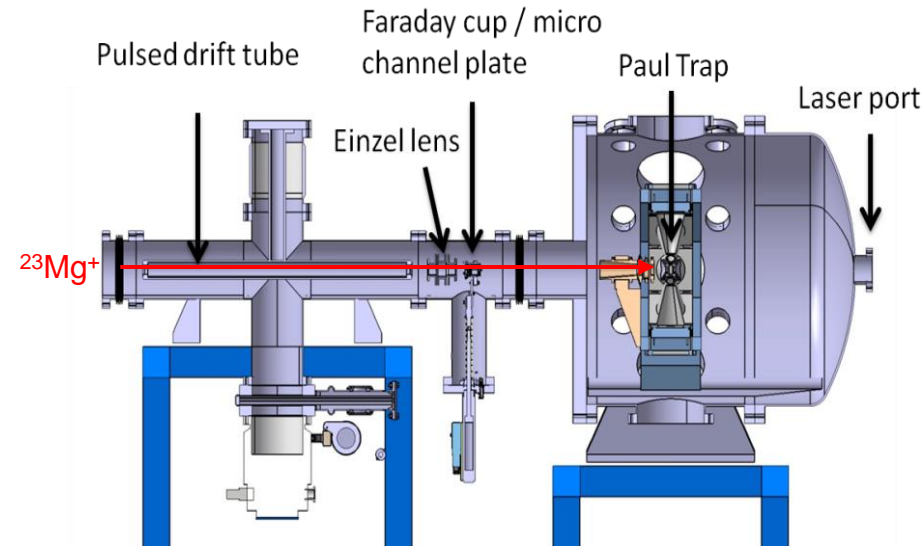


**Comparaison avec prédictions du MS
→ Contraintes sur interactions « exotiques »**

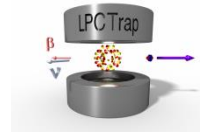


Projet MORA (financement Région Normandie 2018)

- Coefficient de corrélation D
- Ions radioactifs produits à SPIRAL, GANIL
- Confinement dans un piège électrostatique
- Polarisation des ions par laser
- Mesure d'asymétrie, $\Delta D/D < 10^{-4}$

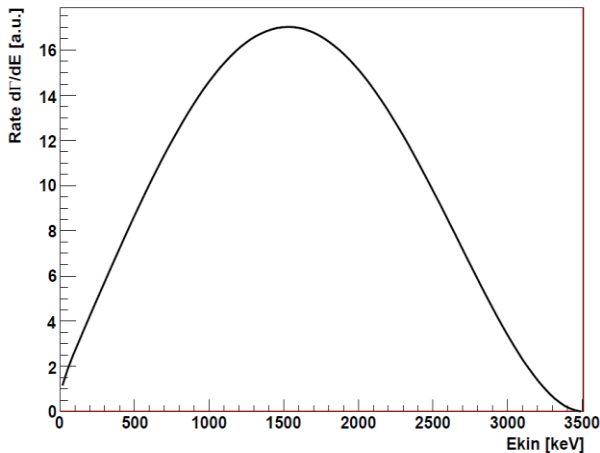


Violation de la symétrie matière / antimatière

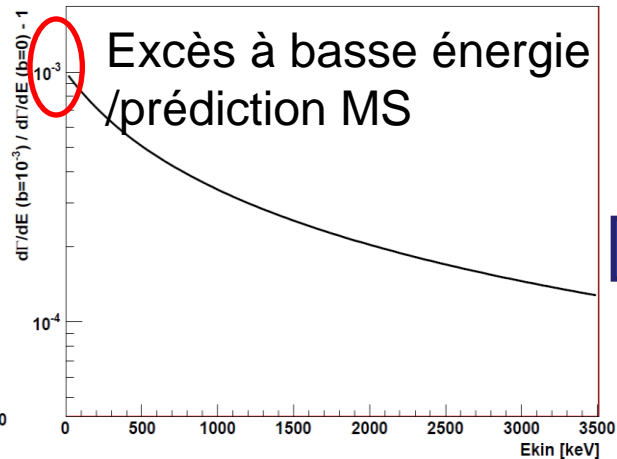


Projet b-Fierz

- Paramètre b
- Ions radioactifs produits à SPIRAL, GANIL
- Implantation à la surface du détecteur
- Mesure du spectre en énergie des β
- $\Delta b \sim 10^{-3}$

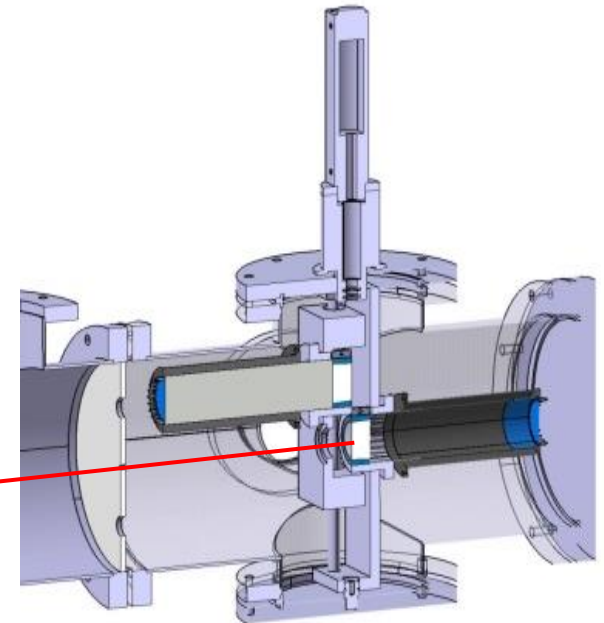


${}^6\text{He}$, spectre d'énergie β

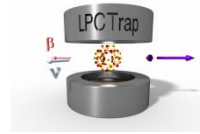


Distortion pour $b = 10^{-3}$

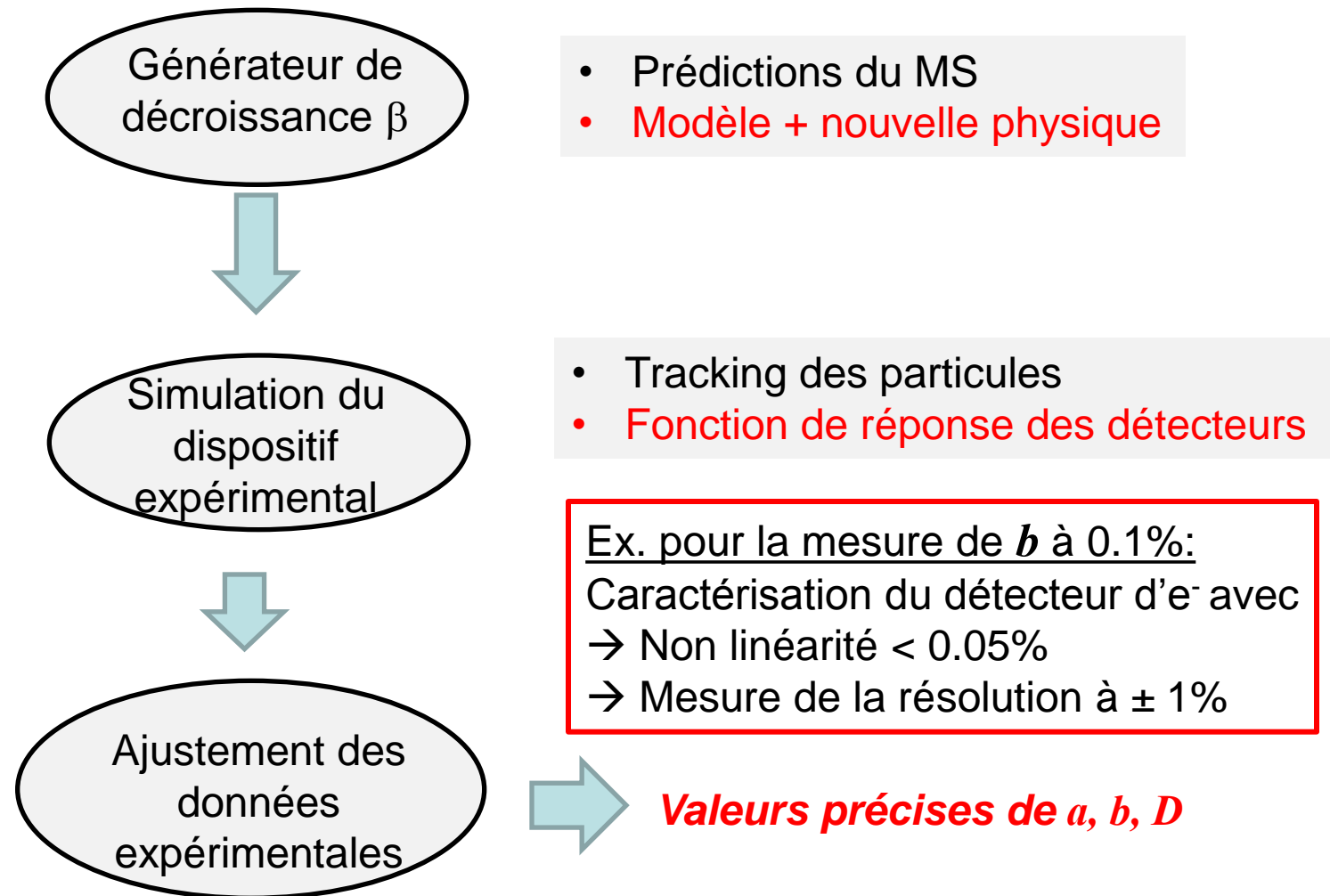
ions ${}^6\text{He}^+$



**Interactions « exotiques »
Nouvelles particules**



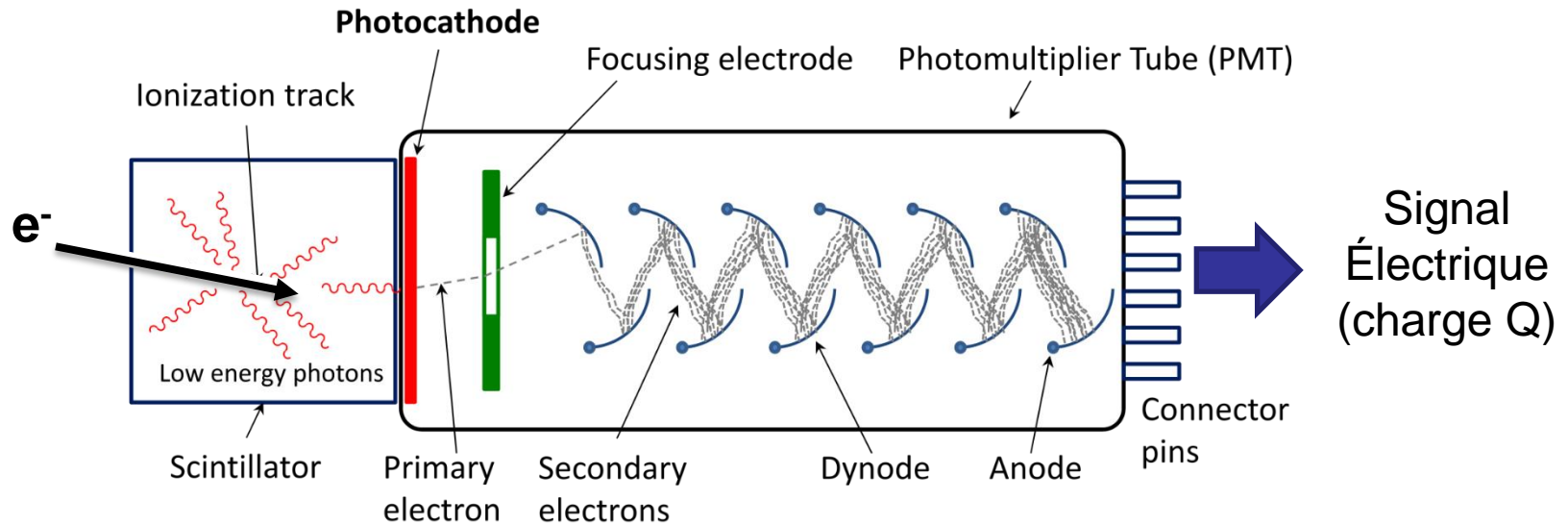
Analyse des données: simulation vs expérience



Détecteurs utilisés pour les e^- :



scintillateurs plastiques + PM

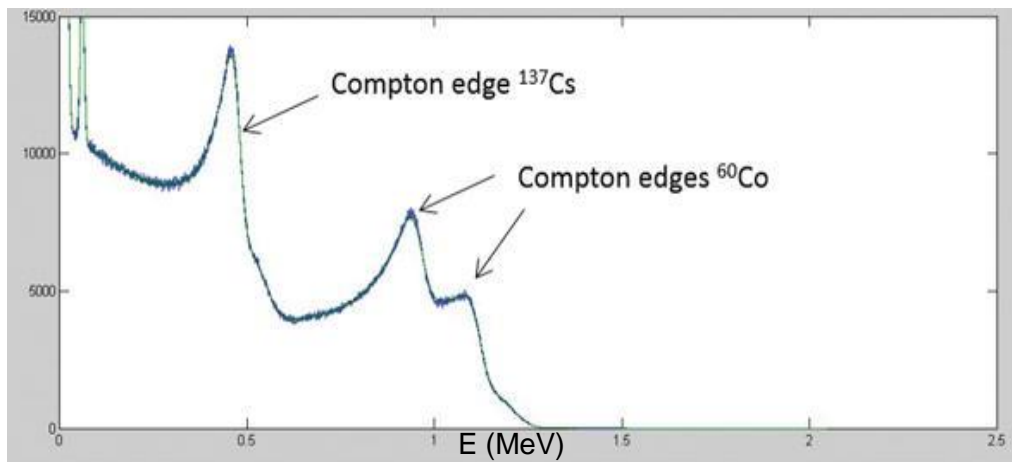


Fonction de réponse du détecteur:

Distribution en charge Q pour un dépôt d'énergie E donné

La calibration du pauvre:
(pour des scintillateurs plastiques)

utilisation de sources de calibration gamma



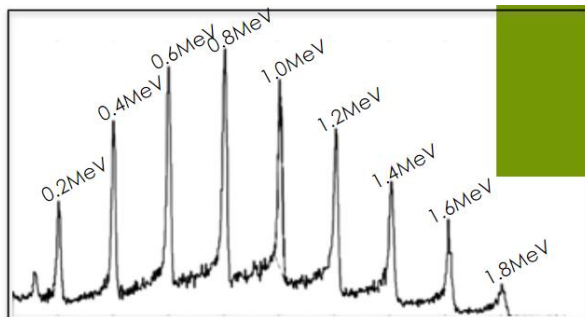
- On utilise la position des fronts Compton
- Spectre continu
- Nécessite une simulation incluant *a priori* la résolution



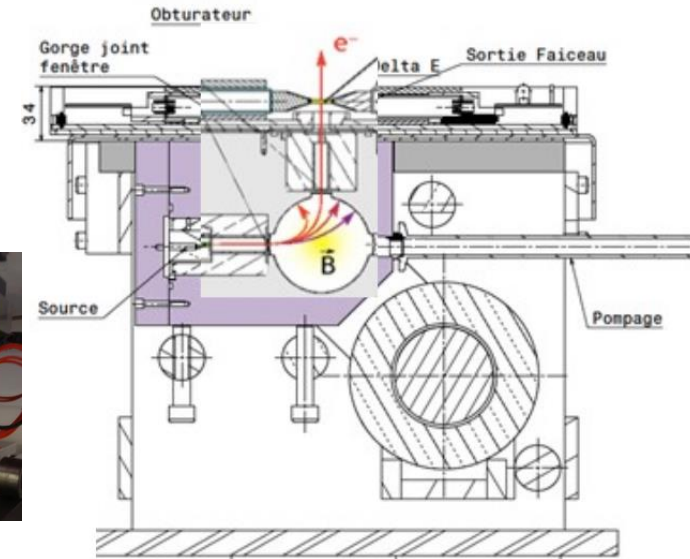
peu précis et fastidieux

Le spectromètre β (CENBG):

- Source de ^{90}Sr (émettrice β), 370 MBq
- Champ B de qq 1000 G
- Faisceau collimaté (qq mm)
- Résolution de 1% @ 1MeV
- Non linéarité < 1%



Spectre Diode silicium



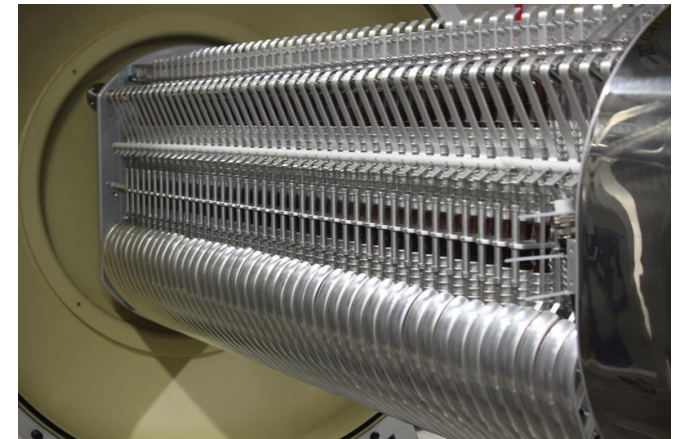
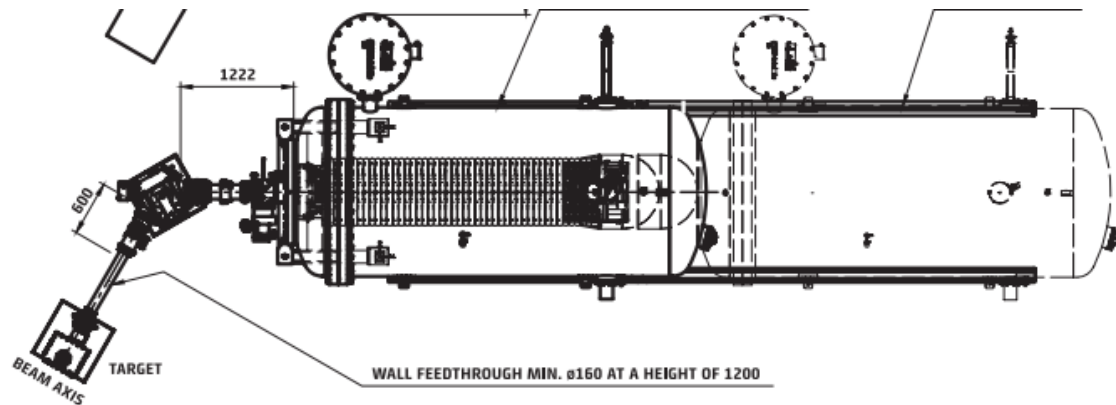
Beaucoup mieux mais:

- **Gamme d'énergie limitée** [0.2 – 2] MeV
- **Flux très faible:** < 10pps @ 0.2 et 2 MeV
30 pps max @ 1.2 MeV

Insuffisant pour la mesure de b ^6He

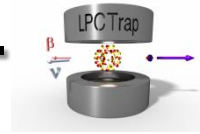
L'accélérateur d'e⁻ FELIX à ATRON:

- Energie de **0.1 à 3.5 MeV** (3.8 MeV?) → couvre tout le spectre β du noyau ${}^6\text{He}$
- Résolution en énergie de **± 0.35 keV** → \ll résolution du détecteur à calibrer
- Précision sur E **< 0.15 %** (en absolu)
- Gamme de courant: **1 pA à 600 μA** ($> 6 \cdot 10^6$ pps)
- Chambre d'irradiation sous vide (enceinte LAETICIA)

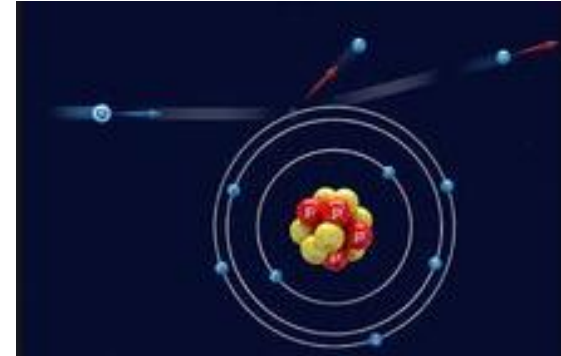


- Non linéarité sur E $\sim 0.05\%$???
→ Etude de la précision et linéarité de la chaîne de calibration...
- Stabilité en intensité pour des courants de 0.01 à 0.1 pA ???

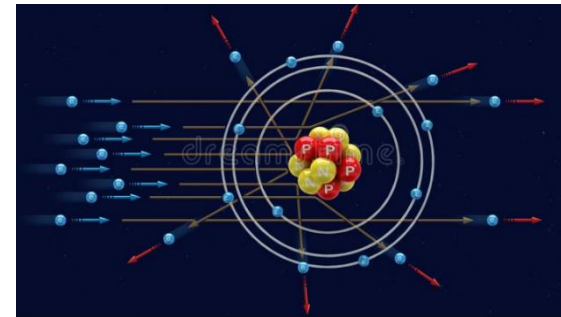
outil idéal pour la calibration précise de nos détecteurs!



- **Interaction avec les électrons des atomes**
 - Perte d'énergie dans la matière
 - Faible déflexion

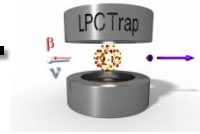


- **Interaction avec les noyaux des atomes**
 - Forte déflexion (rétrodiffusion)
 - Dépend du numéro atomique (Z)
 - Très faible perte d'énergie



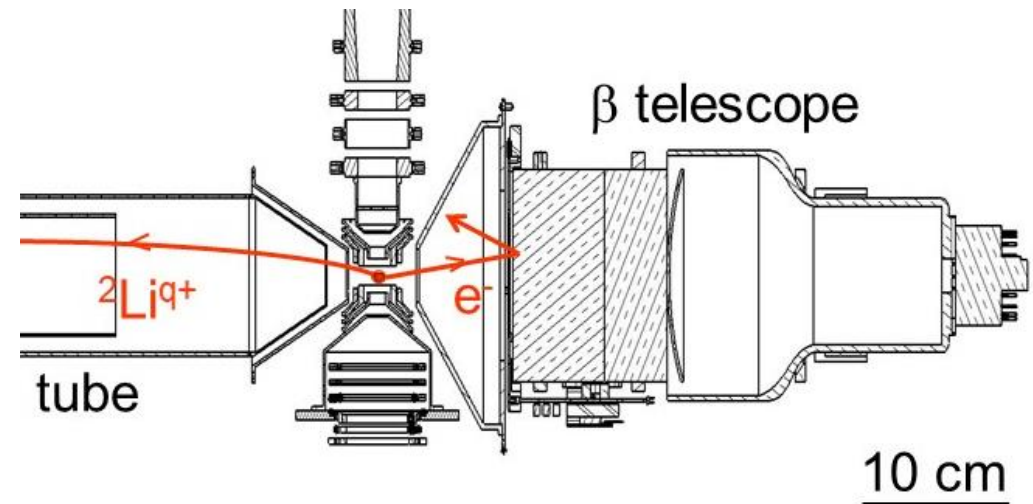
Traitement complexe:

- interactions multiples
- compétition entre ces deux processus

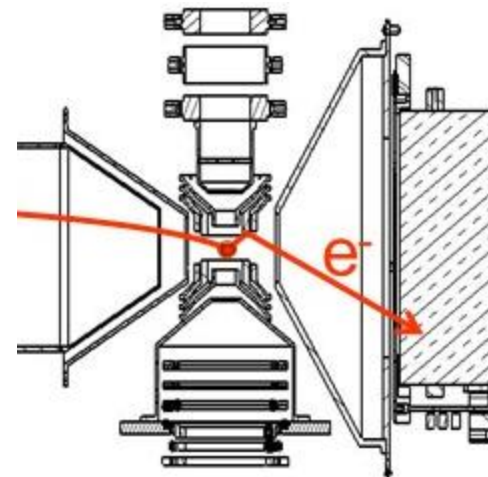


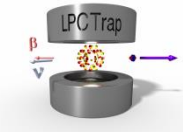
Impact sur les expériences en décroissance β : exemple avec LPCTrap

- **Rétrodiffusion sur le détecteur**
 - Evénements non détectés
 - Mesure de l'énergie biaisée



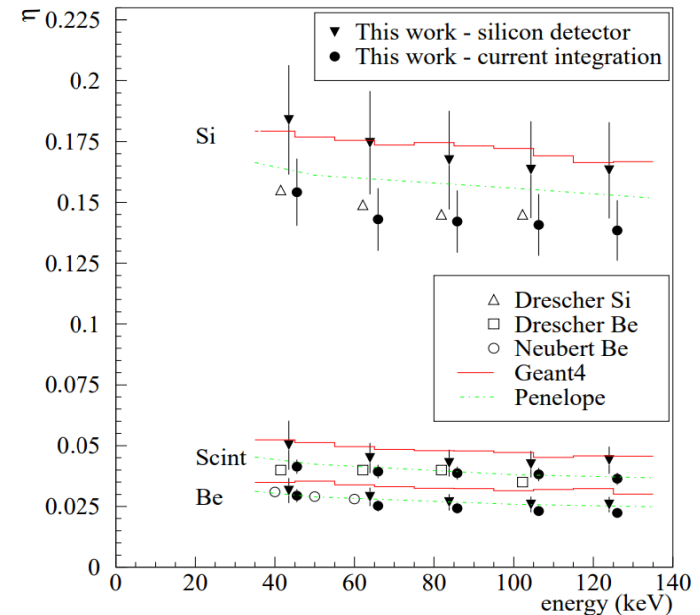
- **Rétrodiffusion sur structures**
 - Evénements excédentaires
 - Mesures de l'énergie et de l'angle biaisées





Rétrodiffusion et outils de simulation:

- Phénomène de rétrodiffusion intégré dans les outils de simulation (GEANT4, Penelope...)
- Dispersion importante (10-20%) des résultats expérimentaux et des modèles
- Manque de données expérimentales pour $E > 1 \text{ MeV}$

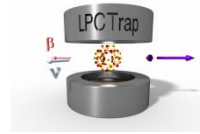


Martin et al., Physical Review C, 73 (2006)

Faisceau d'e⁻ d'ATRON:

- Large gamme d'énergie (0.1-3.5 MeV)
- Faisceau bien défini (millimétrique)
- Forte intensité (600 μA)

→ Idéal pour effectuer des mesures précises de rétrodiffusion (directes et en transmission)



- ATRON offre de *nouvelles opportunités* pour la recherche expérimentale en *physique fondamentale*:
 - *calibrations précises de détecteurs*
 - *mesures de diffusion des particules β*
- *Outil idéal* pour ces activités, *caractérisation + précise du faisceau nécessaire*
- *Collaboration CERAP-LPC Caen*
à poursuivre...

Merci pour votre attention!!!

