

Projet de détecteur de nouvelle génération  
pour la détection directe de matière  
sombre non-baryonique : **MACHe3**,  
**MA**trice à **C**ellules d'**He**l<sup>3</sup> superfluide

**Collaboration LPSC-CRTBT-LTL**

- **LPSC** (Grenoble) : E. Moulin, F. Naraghi, D. Santos
- **CRTBT** (Grenoble) : Yu. M. Bunkov, H. Godfrin, C. Winkelmann
- **LTL** (Helsinki) : M. Krusius

Emmanuel MOULIN

LPSC - Grenoble

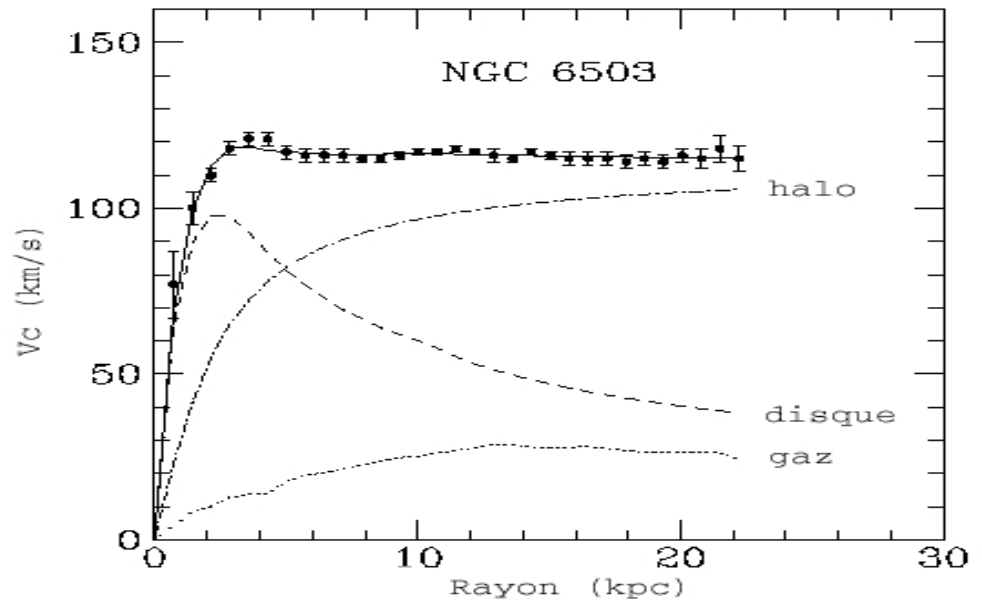
# Plan

- Matière sombre non-baryonique
- Projet MACHe3
- Detection des neutrons et des muons cosmiques
- Expérience sur le prototype multicellulaire

# Matière sombre non-baryonique

## Courbe de rotation des galaxies spirales

⇓ existence d'un halo de matière sombre autour du disque galactique



## Arguments à grande échelle

- $\Omega_M \sim 0.3$  (amas de galaxies, CMB, SNIa,...)
- $\Omega_B \sim 0.04$  (nucléosynthèse primordiale)
  - ⇓ existence de matière sombre non-baryonique : WIMPs

# Candidat WIMP: le neutralino $\chi$

## caractéristiques des WIMPs :

- masses de quelques  $\text{KeV}/c^2$  à  $\text{TeV}/c^2$
- section efficace faible :  $< 10^{-2}$  pb
- neutre de charge et de couleur

## le neutralino $\chi$ :

- SUSY** ↓ la particule supersymétrique la plus légère (LSP) :  
le neutralino  $\chi$  (avec R-parité conservée)
- appartient aux WIMPs
  - densité relique:  $\Omega_\chi = \odot (10^{-1})$

# Caractéristique du neutralino $\chi$

**SUSY : boson  $\leftrightarrow$  fermion**

- quark  $\leftrightarrow$  squark  
lepton  $\leftrightarrow$  slepton  
boson de jauge  $\leftrightarrow$  jaugino
- LSP :  $\chi = a\tilde{B} + b\tilde{W}_3 + c\tilde{H}_1 + d\tilde{H}_2$

**2 types d'interaction du neutralino avec un noyau  $^AX$  :**

- **scalaire** :  $\sigma_{\text{scalaire}}(X) \star \sigma_{\text{scalaire}}(p) \times A^4$
- **axiale** :  $\sigma_{\text{axiale}}(X) \star \sigma_{\text{axiale}}(p) \times A^2$

# $^3\text{He}$ comme milieu sensible pour la recherche de matière sombre non-baryonique

$^3\text{He}$  dans la phase B à  $T \sim 100 \mu\text{K}$

- noyau de spin  $1/2 \Rightarrow$  interaction axiale avec le neutralino
- très grande pureté  $\Rightarrow$  pas de contamination radioactive
- signature de la capture neutronique
- très faible sensibilité aux rayons  $\gamma$
- pas de rayons X intrinsèques
- seuil de détection  $\sim 1 \text{ keV}$
- grand rapport signal/bruit

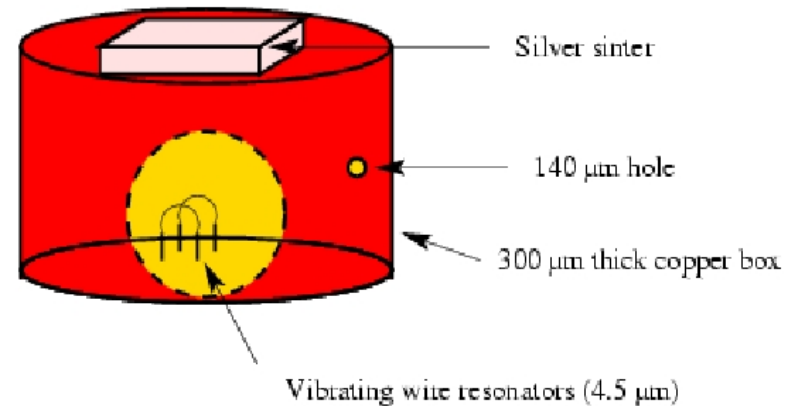
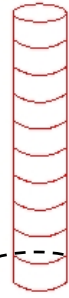
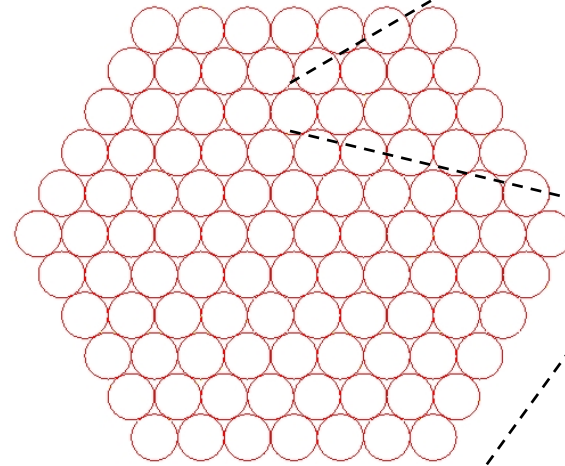
# Projet MACHe3 (1)

- 10 kg d' $^3\text{He}$  superfluide

matrice de 1000 cellules bolométriques

cellule bolométrique de type Lancaster

- amortissement de la résonance du fil vibrant
- diffusion thermique à travers le trou



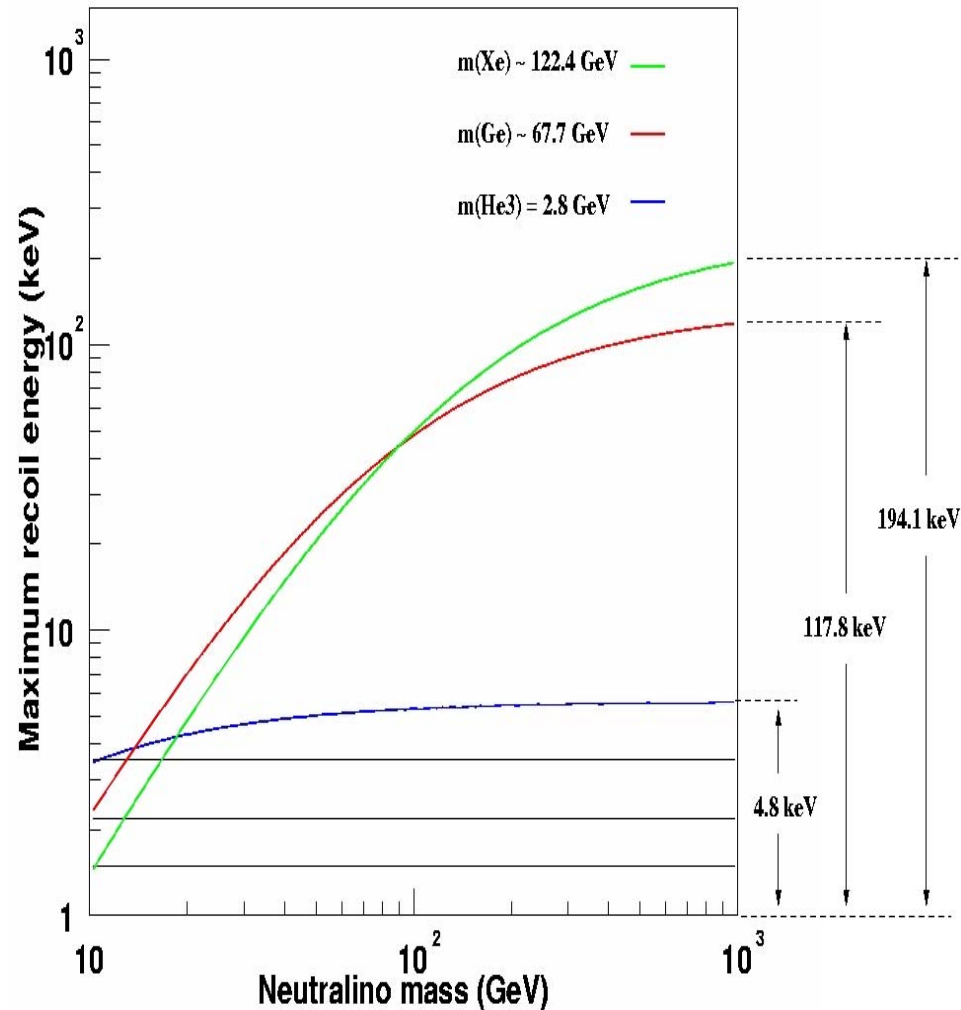
# Projet MACHe3 (2)

## Bruits de fond :

- **gammas** de la radio-activité naturelle ( $^{40}\text{K}$ , Rn,...)  
⇒ château de plomb : 15 cm
- **neutrons**  
⇒ paraffine shielding : 30 cm  
⇒ signature par processus de capture
- **muons**  
⇒ plusieurs cellules touchées

## Réjection :

- neutralino entre 1-6 keV  
⇒ grand rapport signal/bruit
- **corrélation** entre les cellules



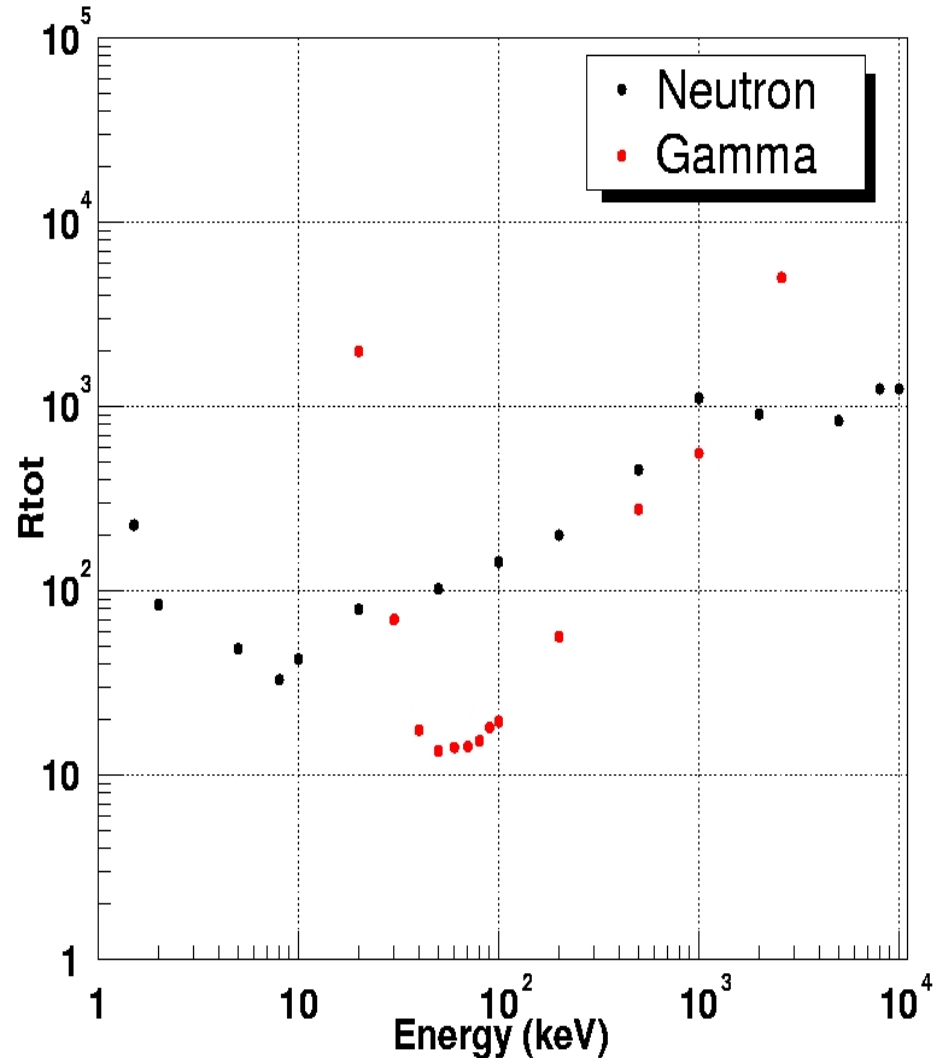


# Simulation de la réjection totale (Geant4)

1000 cellules à parois de Cu  
de 100  $\mu\text{m}$  d'épaisseur:

$$R_{\text{tot}} = \frac{\text{nb d'événement}}{\text{nb de faux événement } \gamma}$$

- ✓ processus de capture neutronique
- ⇒ bonne réjection des neutrons...



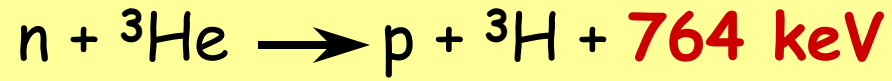
# Résultats expérimentaux

cryostat

château de plomb



# Détection des neutrons

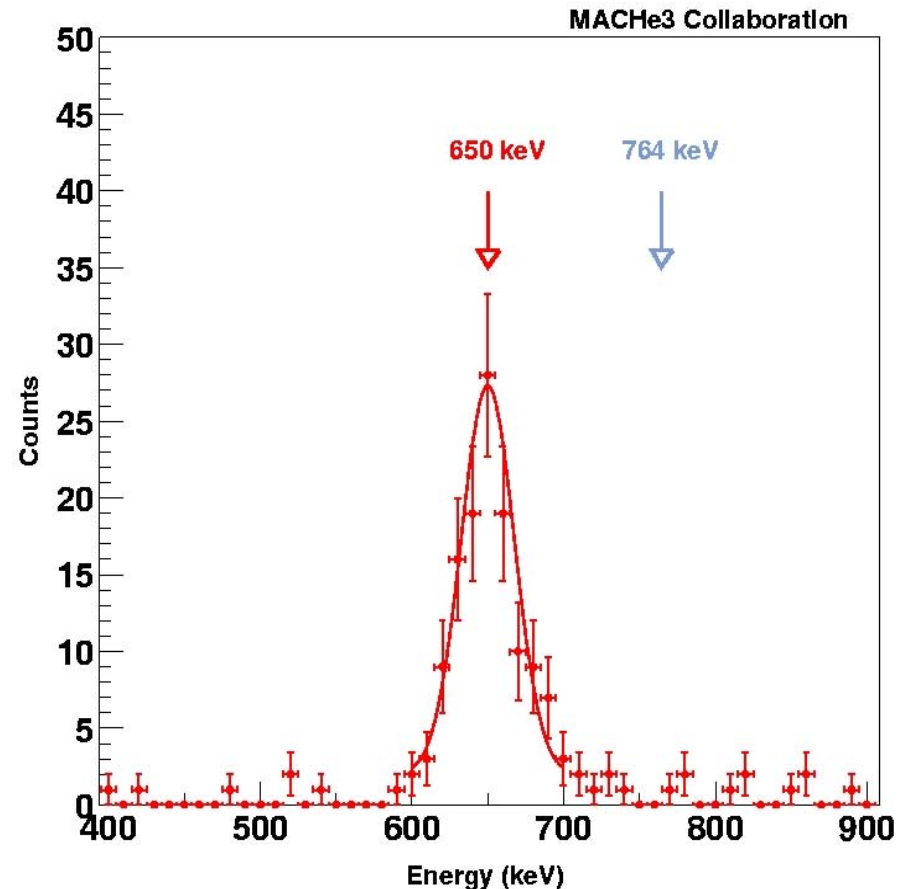


➤ Am/Be source

➤ pic a **650 keV**

⇒ résolution en énergie  
de **3%**

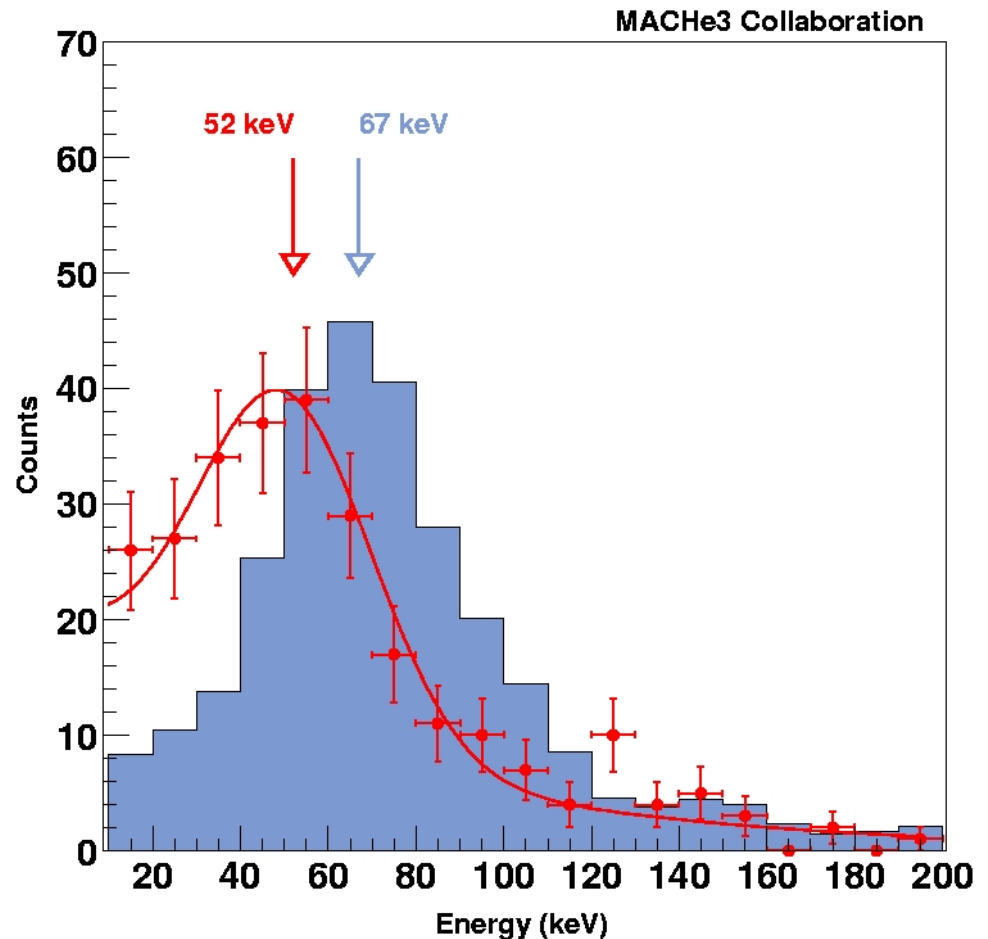
➤ **décalage** (~ 14%) : émission de photons UV, création de vortex?



# Détection des muons cosmiques

Données expérimentales:  
⇒ pic à 52 keV

Simulation Geant4:  
⇒ pic à 67 keV



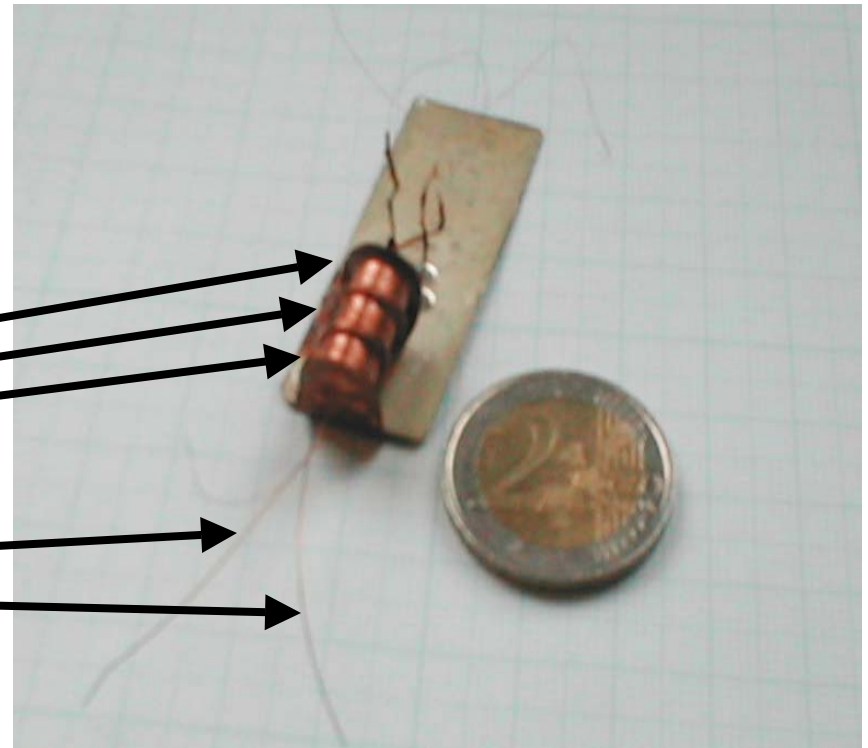
➤ **décalage** ( $\sim 22\%$ ) ⇒ émission de photons UV, création de vortex?

# Prototype multicellulaire

- prototype à 3 cellules
- source d'électron de conversion ( $^{57}\text{Co}$ ) : raies à 7.3, 13.5, 115 et 129 keV

3 cellules

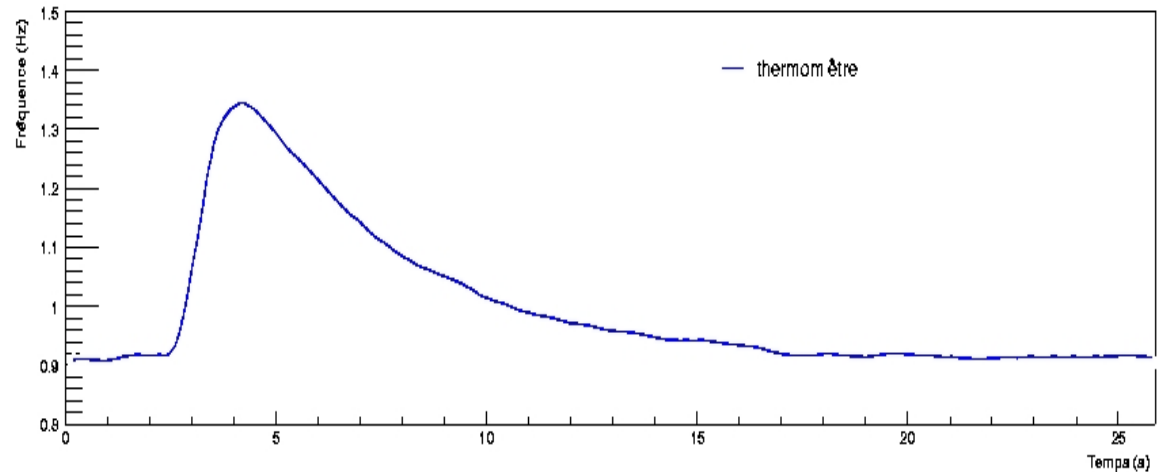
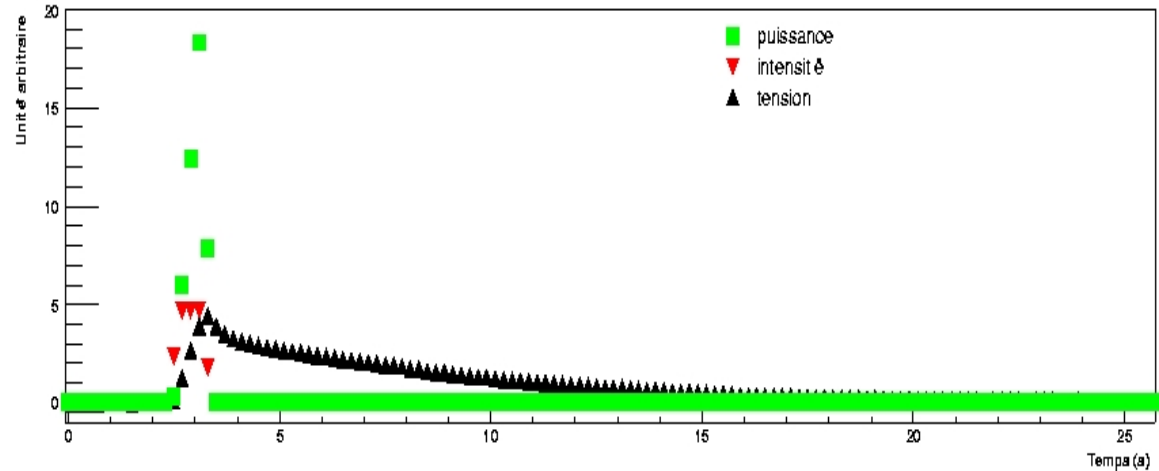
fils vibrants



# Étalonnage (pulse de courant)

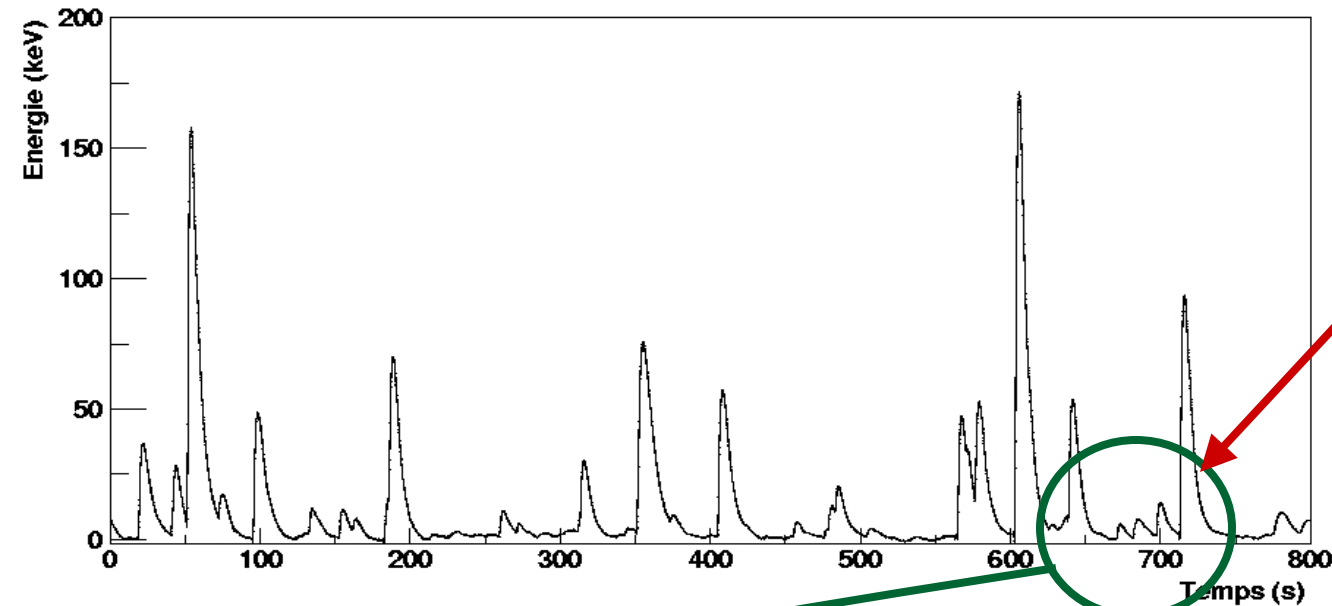
- cellule C: 2 fils
  - un fil chauffant
  - un thermomètre

- énergie déposée:  
(141±1) keV
- étalonnage:  
(3.25±0.06)×10<sup>-4</sup> Hz/keV



# Données brutes à 100 $\mu\text{K}$

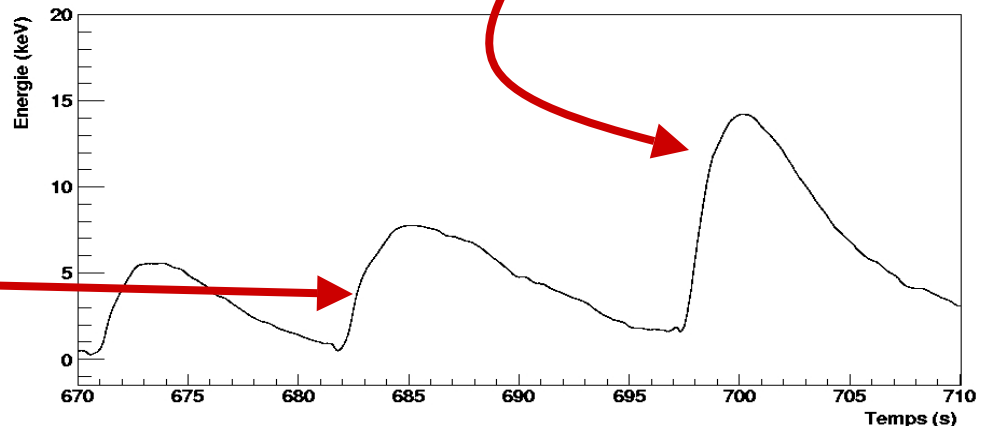
➤ spectre d'acquisition de la cellule B



électrons  
de conversion

électrons  
de 13.5 keV

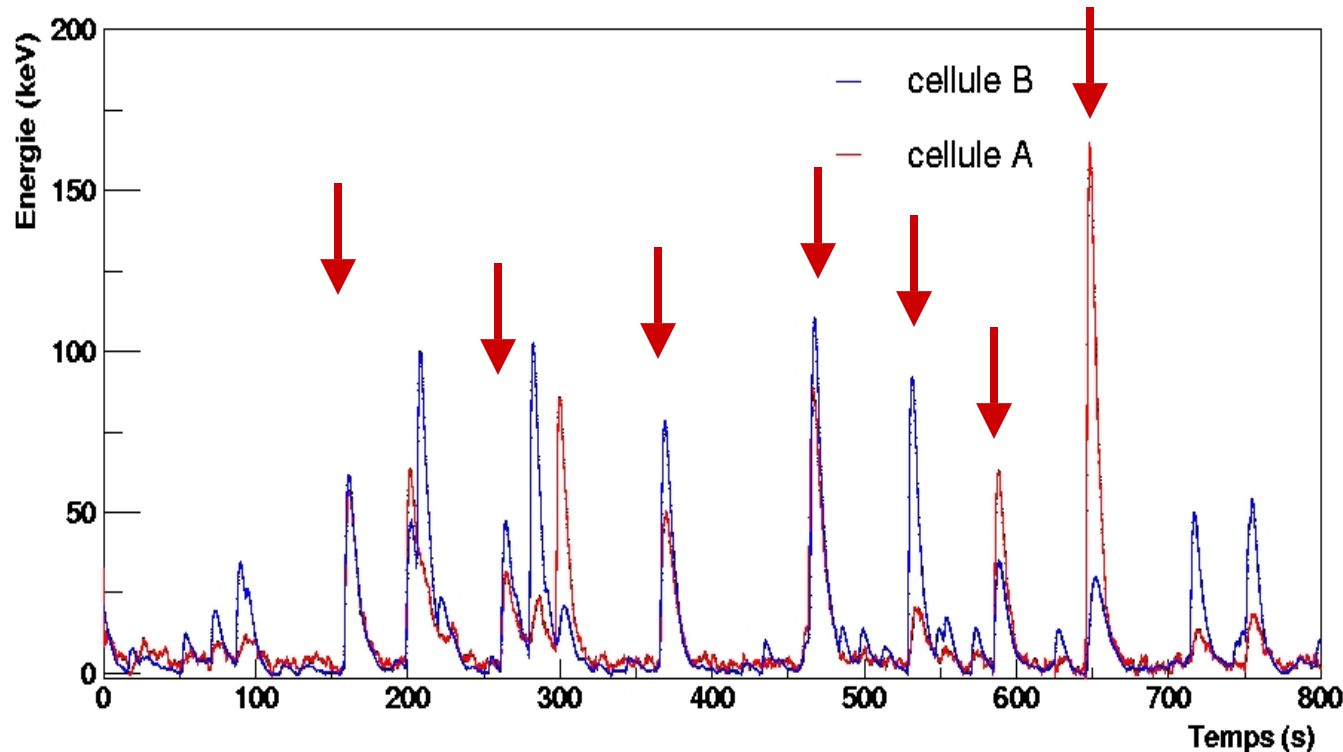
électrons  
de 7.3 keV





# Coincidence entre les cellules A et B

➤ spectre d'acquisition après alignement temporel



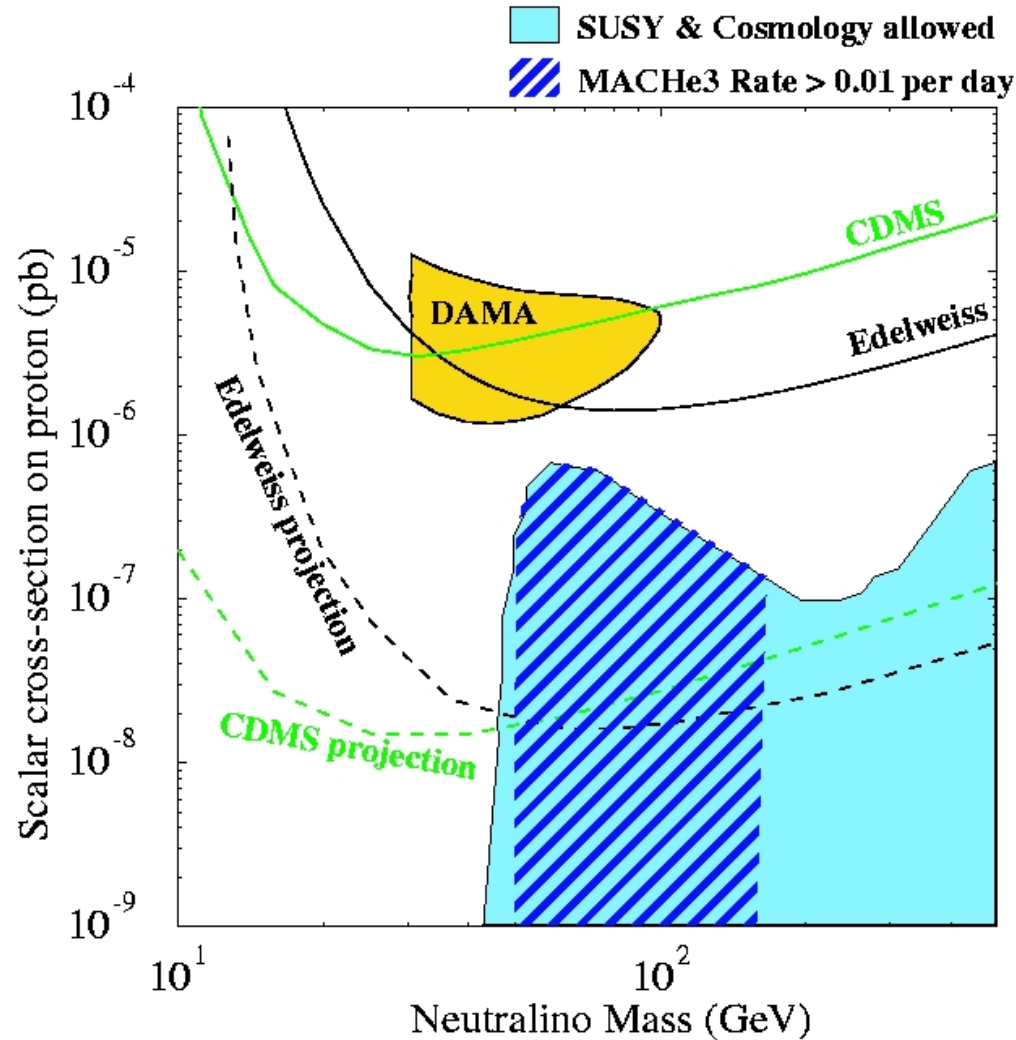
muons en  
coincidence

- muons en coincidence avec 2/3 cellules... étude en cours...
- bonne réjection des muons...



# Complémentarité avec la détection directe scalaire

- signaux axial et scalaire non corrélés
- MACHe3 rate  $> 0.01 \text{ day}^{-1}$



# Travaux en cours et perspectives ...

## ➤ En cours:

- analyse des événements de coïncidence (2/3 cellules)
- spectre des électrons de conversion ( $^{57}\text{Co}$ )

## ➤ Détection de la scintillation

⇒ détection de photons UV (avec SQUID)... en cours  
possibilité pour une technique **scintillation/bolométrie?**

## ➤ Phénoménologie de la détection de neutralino

- ⇒ dans différents modèles SUSY (mSUGRA, AMSB, GMSB):  
performance et **complémentarité** avec les détecteurs existants (à l'étude...)
- ⇒ potentialité pour les neutralinos légers...