

Calibration du détecteur XENON1T À basse énergie

En utilisant une source de ^{83m}Kr

Chloé Therreau

Master 2 RPS – 11 juillet 2017
Encadrant : Julien Masbou



Groupe Xénon

- **Subatech** : Laboratoire de Physique Subatomique et des technologies associées
- **Groupe Xénon** :
 - Imagerie Médicale à 3 photons utilisant du Xénon Liquide
 - XEMIS et XEMIS2
 - Recherche de Matière Noire au sein de la collaboration XENON





Columbia



Rensselaer



RPI



Stockholm University
Stockholm



Muenster



Mainz



MPIK



Chicago



UCLA

UC San Diego

UCSD



Rice

PURDUE
UNIVERSITY

Purdue



Coimbra



Subatech



LPNHE



LAL



Bologna



LNGS Torino



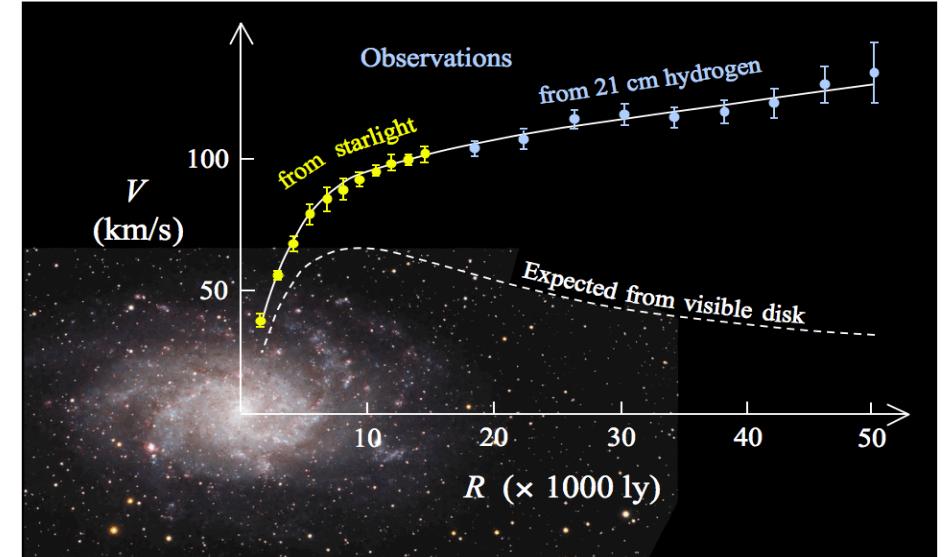
Sommaire

- **La Matière Noire**
 - Observations
 - Signal attendu
- **Détection Directe avec du Xénon Liquide**
 - Avantages
 - TPC
 - XENON1T
- **Calibration à basse énergie avec une source de krypton**
 - Présentation du ^{83m}Kr
 - Calibration et « Monitoring » du détecteur
- **Étude à différents champs électriques**

La Matière Noire

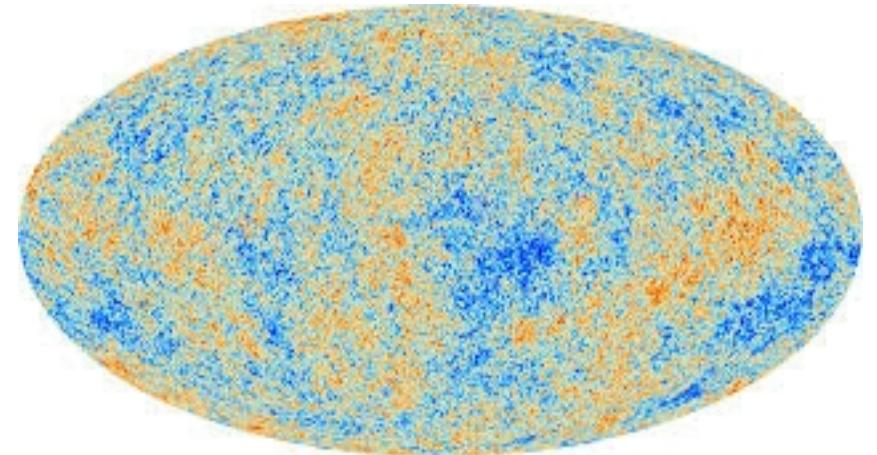
- **Observations à différentes échelles**

- Galaxies et Amas de Galaxies
 - **Matière Manquante et Non lumineuse**
- Grande structure de l'Univers
 - **Non-relativiste (massive) et Stable**
- Fond Diffus Cosmologique
 - $\sim 26\%$ de la densité de l'Univers
 - **Non-baryonique** et interagit faiblement



- **De Nombreux Candidats ont été proposés**

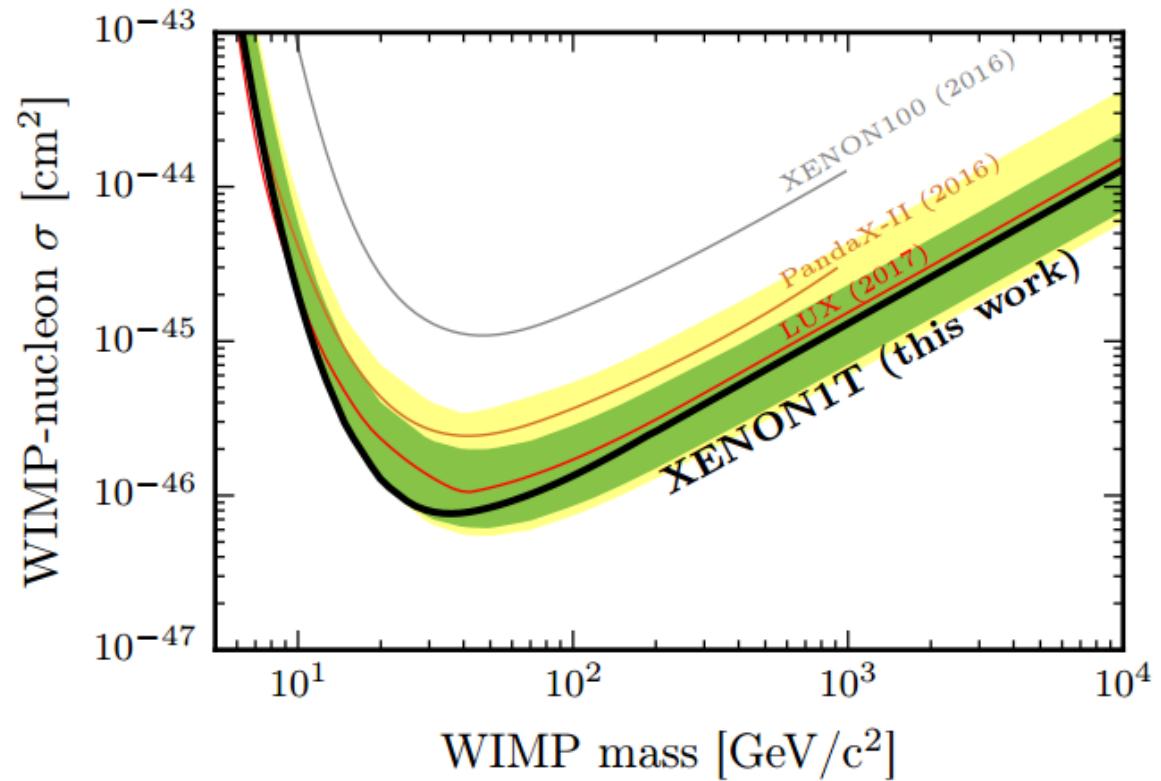
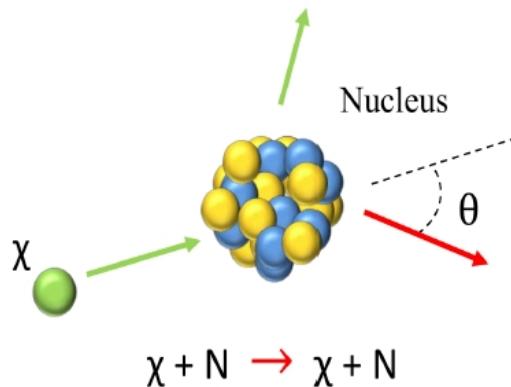
- Modèle au-delà du Modèle Standard des Particules : **Weakly Interactive Massive Particle (WIMP)**



Signal attendu en Détection Directe

- **Diffusion Élastique entre un WIMP et un Noyau**

- Recul Nucléaire de l'ordre du keV à 100 keV = **Basse Énergie**
- **Faible Section Efficace**
- Bruit de fond = Recul électronique



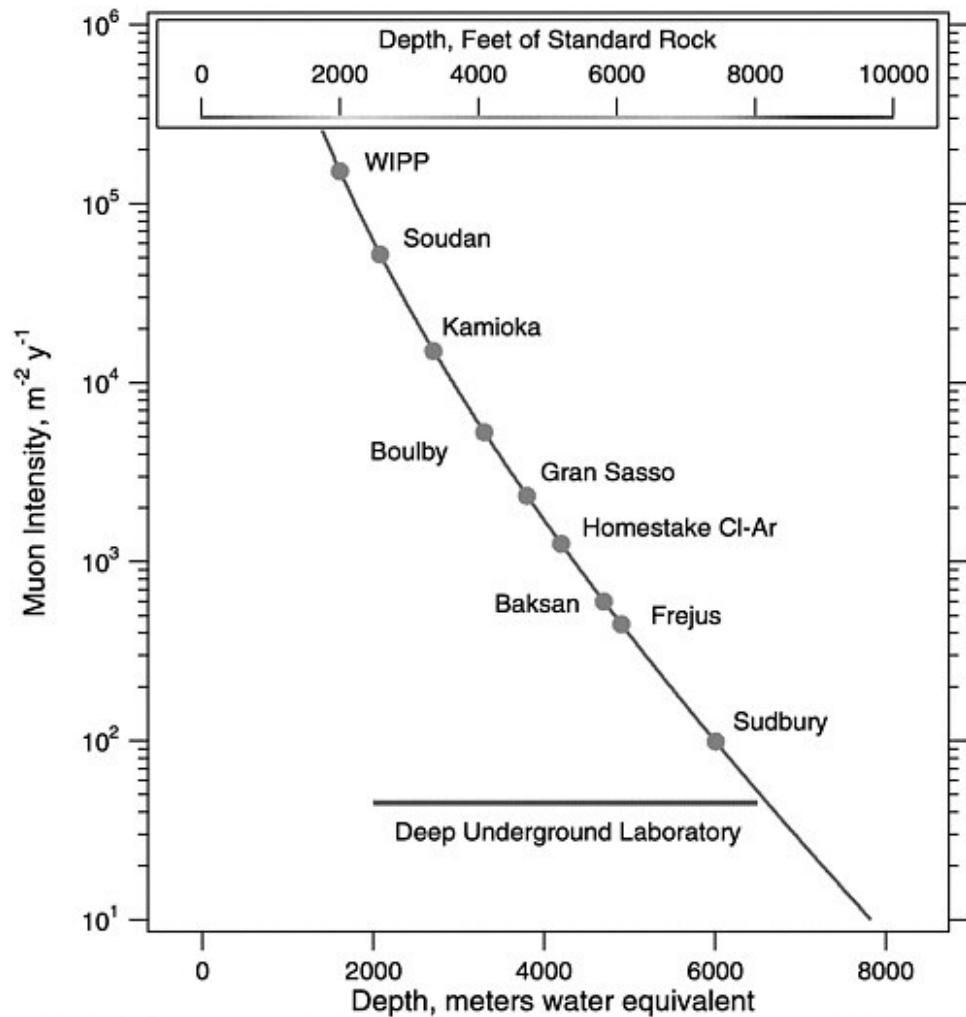
Pourquoi utiliser du Xénon Liquide ?

- **Permet d'augmenter la probabilité d'interaction :**
 - Grand Numéro Atomique ($A = 131$)
 - Grande densité (2.9 g/cm^3 à 177 K)
 - Liquide : Possibilité d'augmenter la taille des détecteurs
- **Permet de réduire le bruit de fond :**
 - Pas de radioactivité intrinsèque
 - Grand Pouvoir d'arrêt
 - 1 200 kg de Xénon ajoutés comme blindage interne
 - Volume Fiduciel
 - Permet de distinguer les reculs électroniques des reculs nucléaires

Détection Directe utilisant du Xénon Liquide

- **Réduire le bruit de fond**

- Laboratoire Souterrain
 - Gran Sasso en Italie
 - 3 600 m d'équivalent eau
- DéTECTeur est placé dans un réservoir d'eau
 - Blindage Externe / Veto à Muon



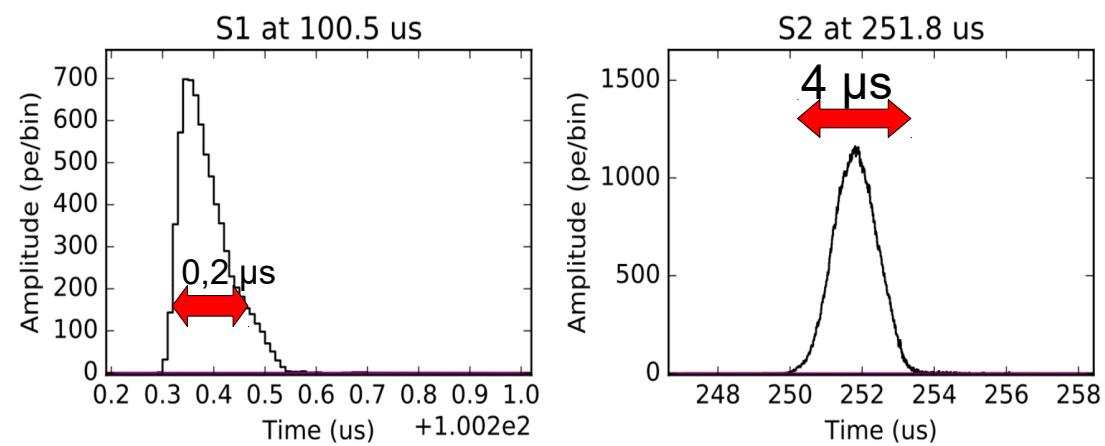
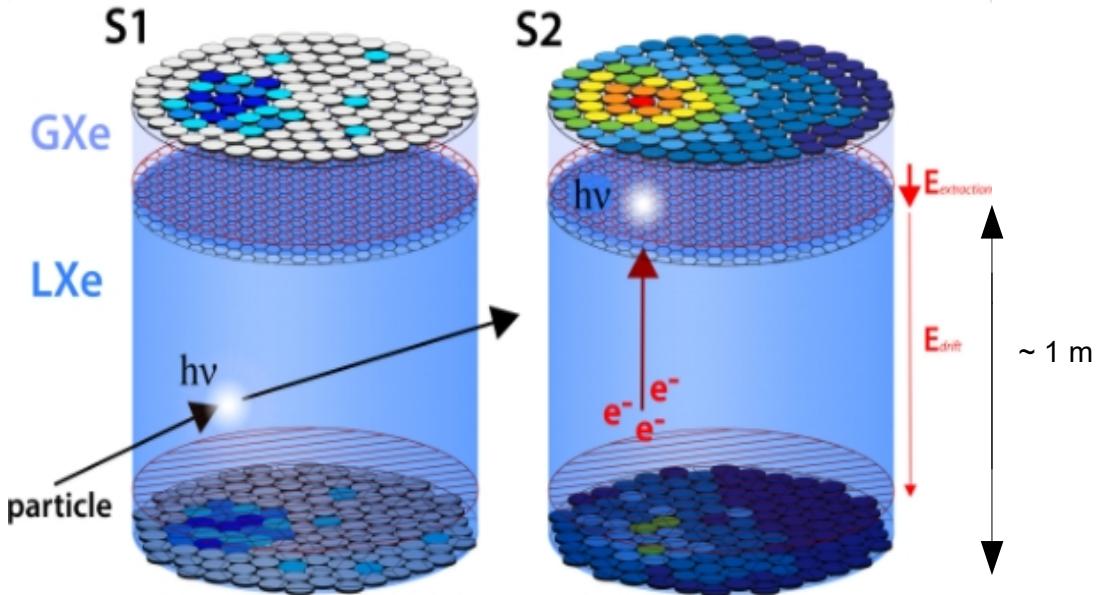
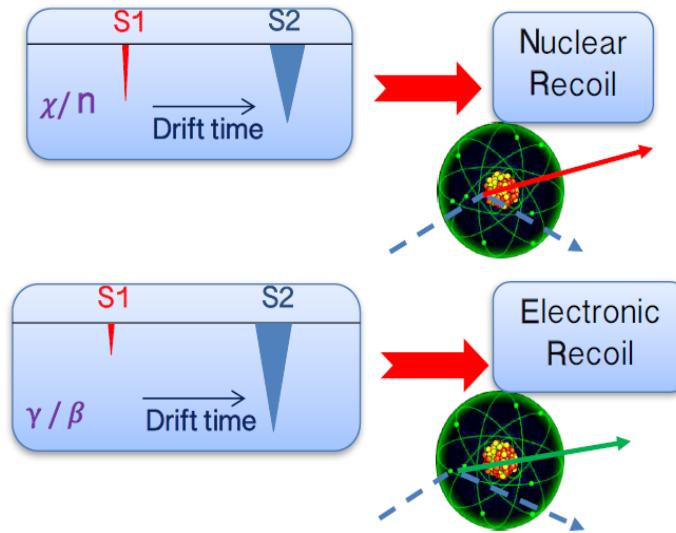
XENON1T

- **TPC à Double Phase (liquide-gaz) : ~ 1 m de haut et de large**
- **Volume de détection : ~ 2 tonnes Xénon Liquide**



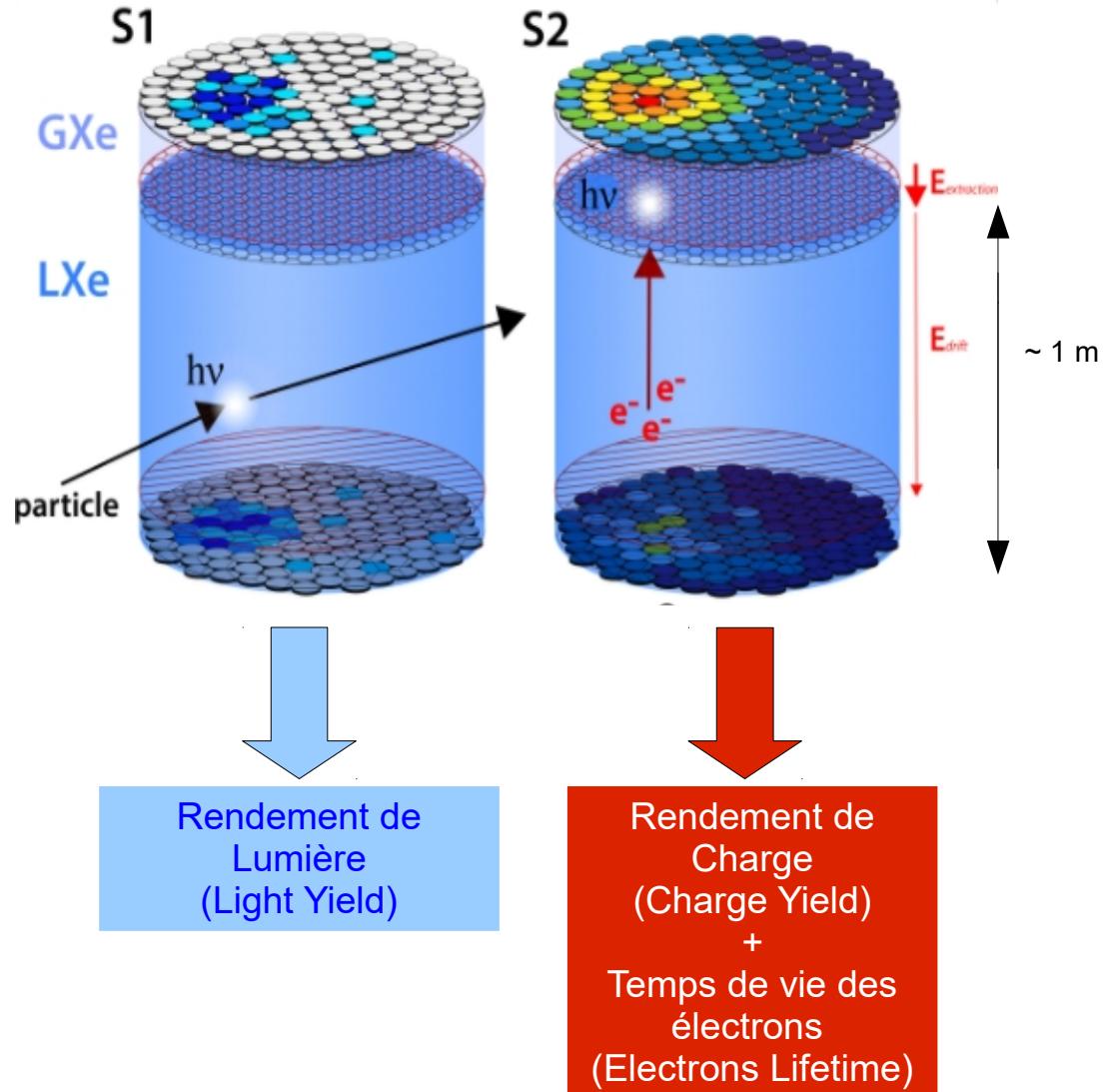
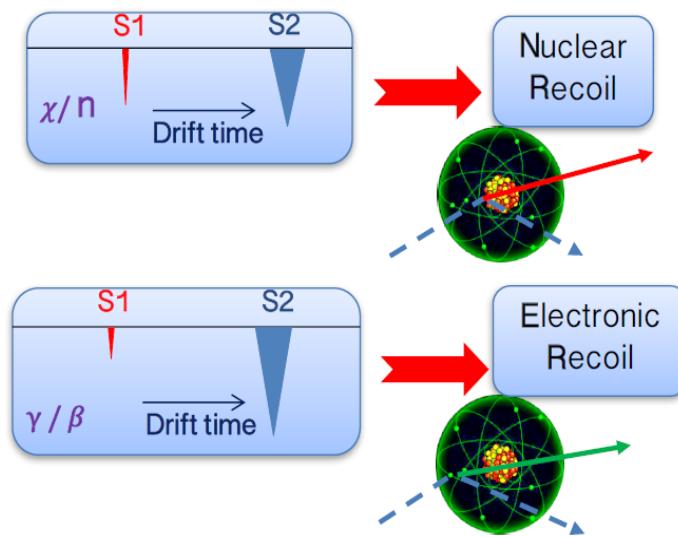
TPC à double-phase

- Interaction dans le Xénon liquide
 - Excitation + Ionisation : S1
 - Ionisation : S2
- Reconstruction de la position
 - X, Y : Rangé de PM du haut
 - Z : Temps de Dérive
- Discrimination NR/ER : S2/S1



TPC à double-phase

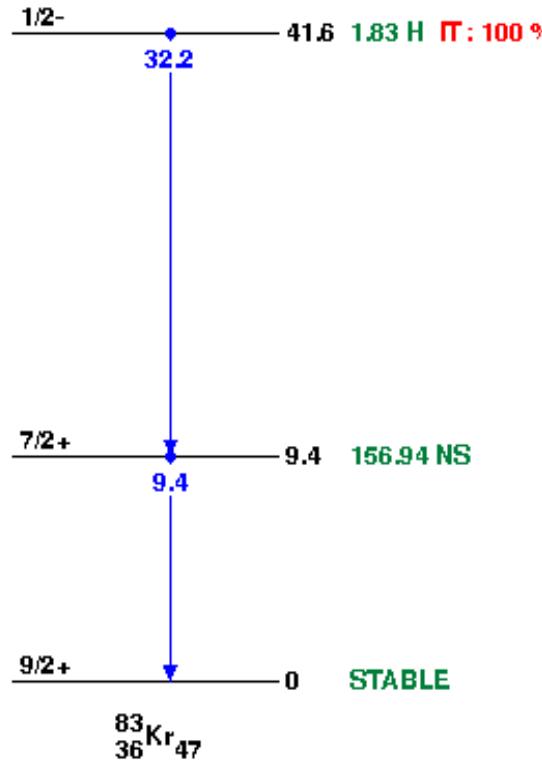
- Interaction dans le Xénon liquide
 - Excitation + Ionisation : S1
 - Ionisation : S2
- Reconstruction de la position
 - X, Y : Rangé de PM du haut
 - Z : Temps de Dérive
- Discrimination NR/ER : S2/S1



But de l'étude

- **Comprendre la réponse du détecteur à un dépôt de faible énergie :**
 - Détermination du **rendement de Lumière (S1) et de Charge (S2)**
 - Détermination de la **durée de vie des électrons** dans la TPC
 - Détermination de la **Résolution en énergie** du détecteur
- **Étudier la Stabilité du détecteur :**
 - Prendre des données pendant plusieurs années pour maximiser la probabilité de détection
 - Étudier la fiabilité du détecteur
- **Étudier la réponse du détecteur à différents champs électriques**
 - Tester le bon fonctionnement du détecteur à des champs électriques plus faibles

Calibration Interne avec une source ^{83m}Kr



- **Source Interne**

- Distribution homogène dans la TPC

- **Durée de vie de $\sim 2\text{h}$**

- Adaptée pour faire de la calibration

- **Deux décroissances à basse énergie = Région d'intérêt pour la recherche de Matière Noire**

- 32.2 keV
 - 9.4 keV

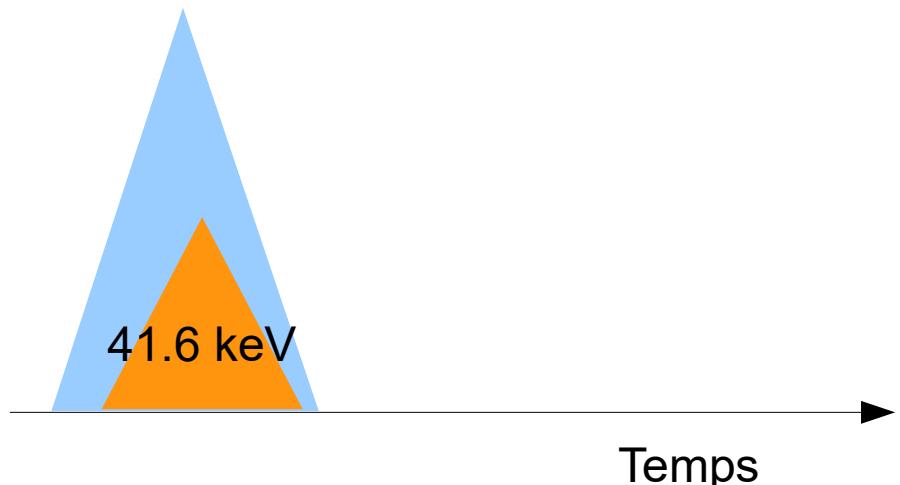
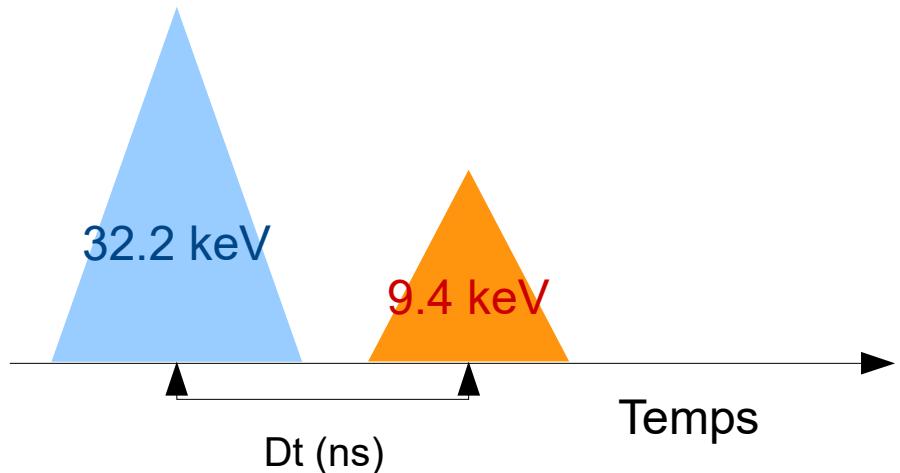
- **Espacées par 157 ns**

- Identification des événements de Kr
 - Signaux S2 = largeur en temps de $\sim \mu\text{s}$
 - 2 S2 ne sont pas séparés
 - 1 seul S2 à 41.6 keV

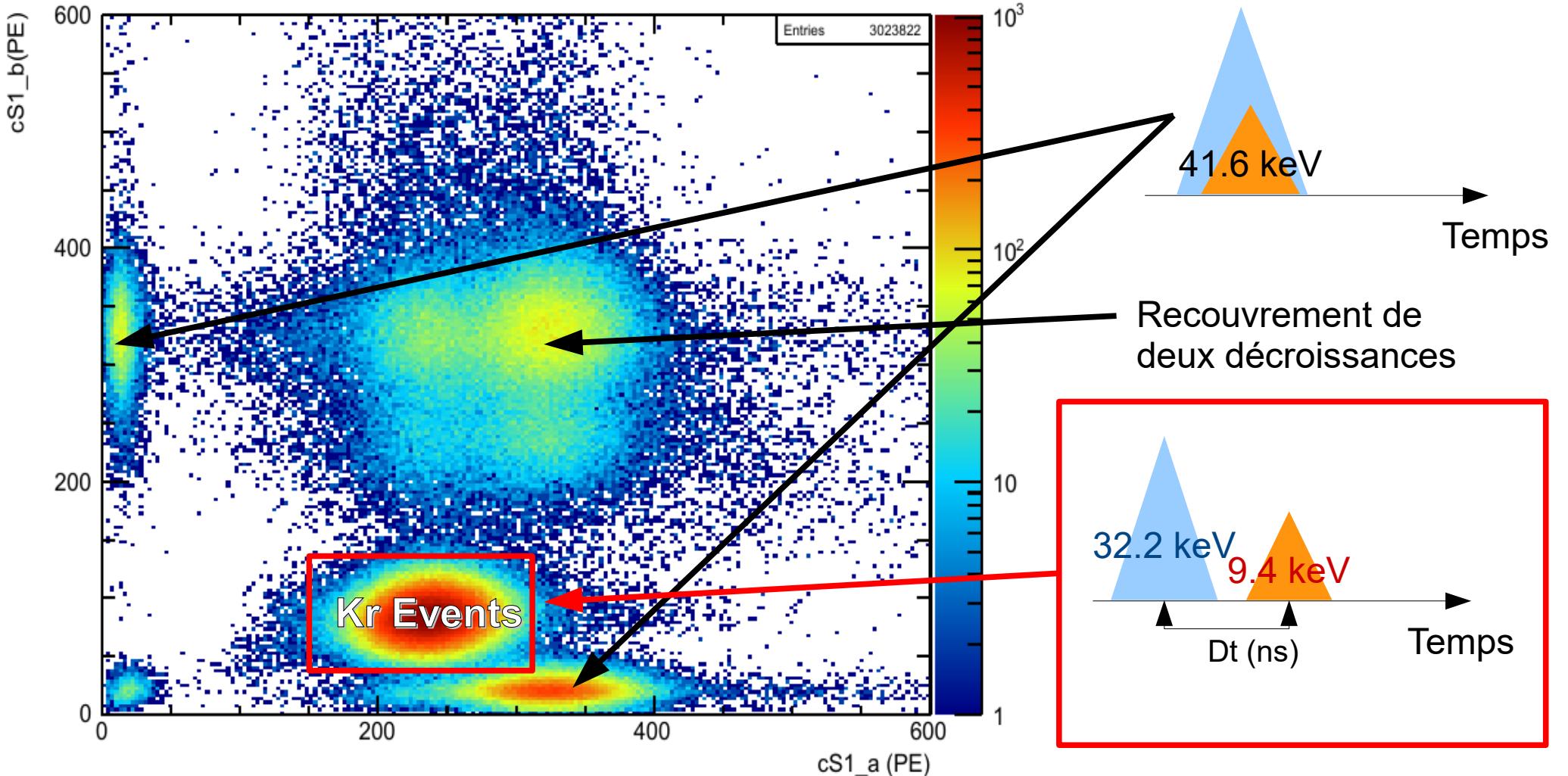
Calibration Interne avec une source ^{83m}Kr

- **Variables utilisées:**

- Dt : Délai entre les deux radiations
- “a” : 1^{er} Signal (en temps)
- “b” : 2nd Signal (en temps)
- Δt : Temps de dérive des électrons

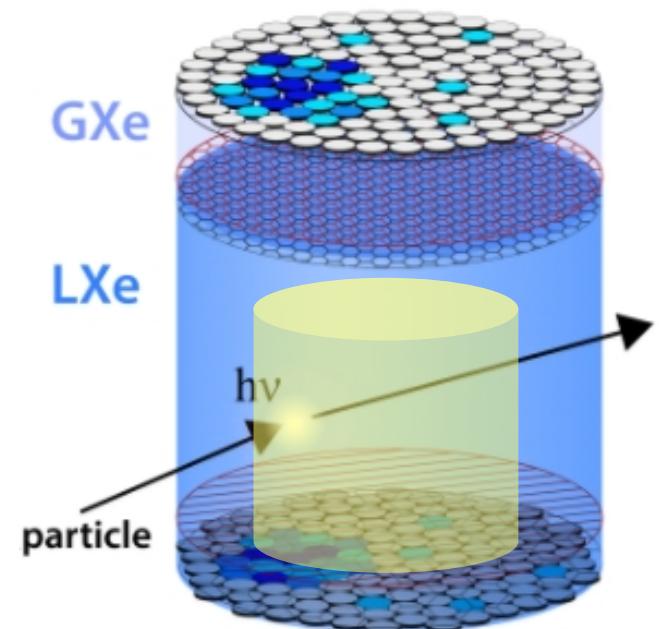
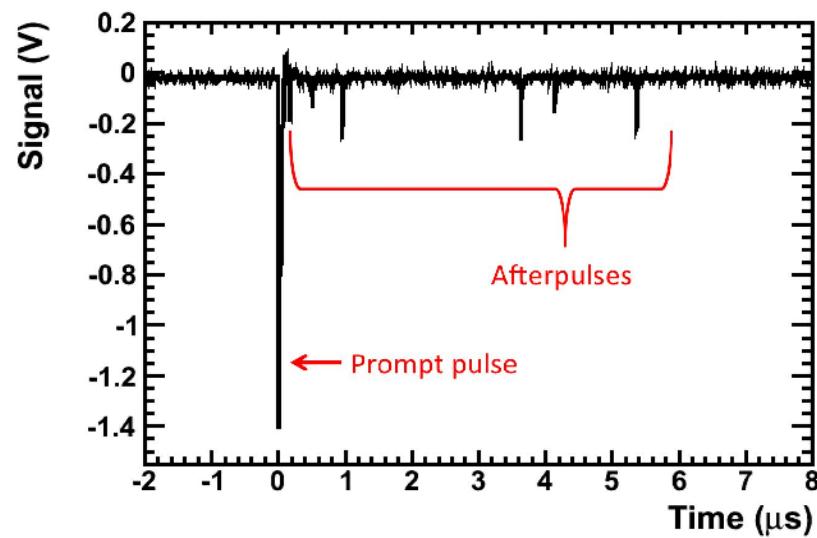


Sélection des événements



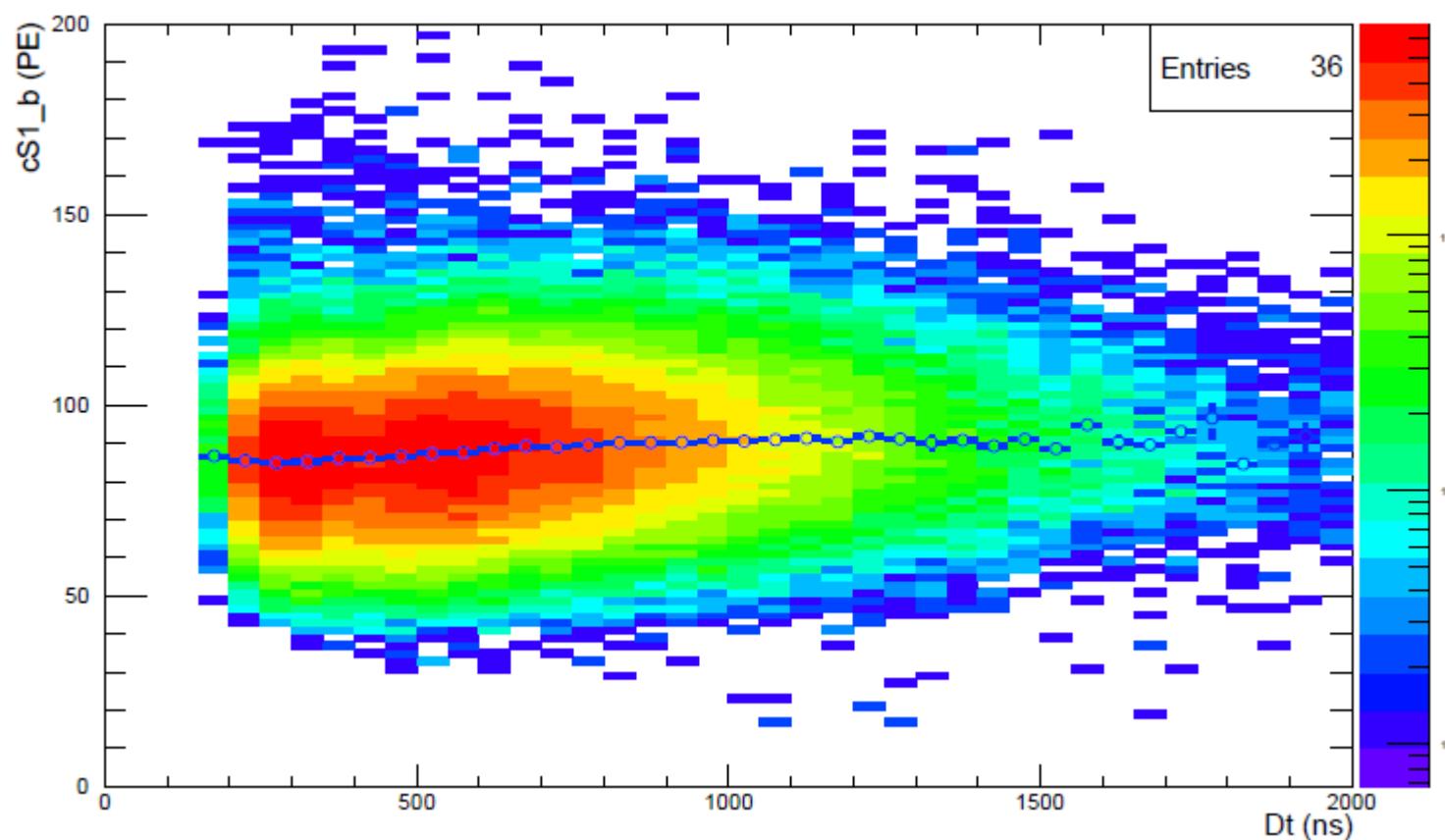
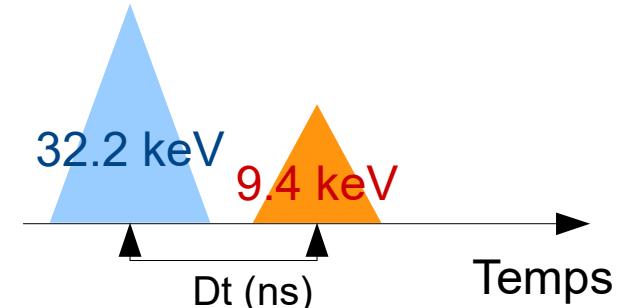
Coupures Utilisées (1)

- **Choix d'un Volume Fiduciel:**
 - Réduire la contamination provenant de la radioactivité ambiante
- **Imposer au moins 3 PM différents**
 - Entre le signal S1_b et le signal S1_a
 - Supprimer les “**afterpulses**”

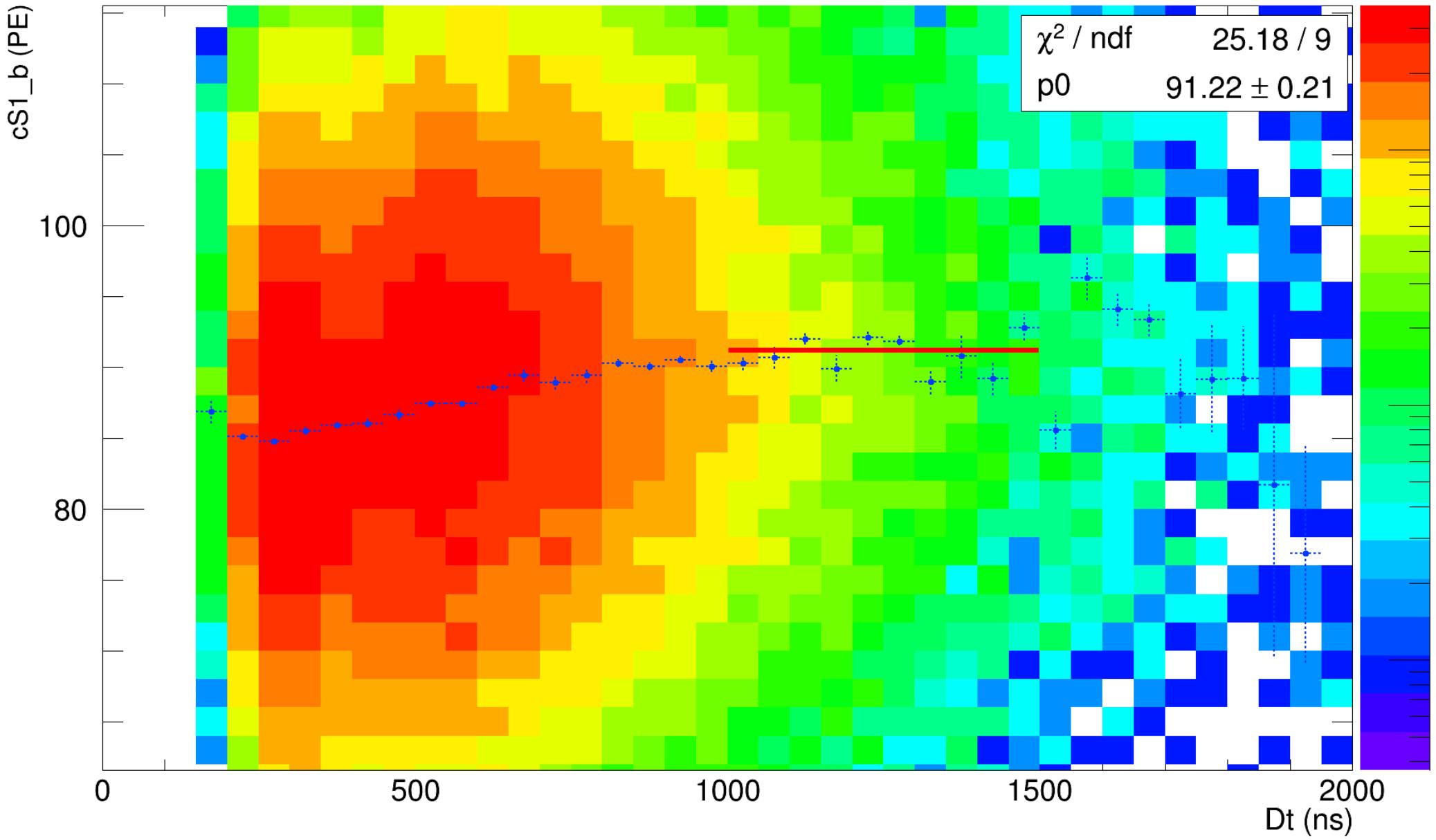


Coupures Utilisées (2)

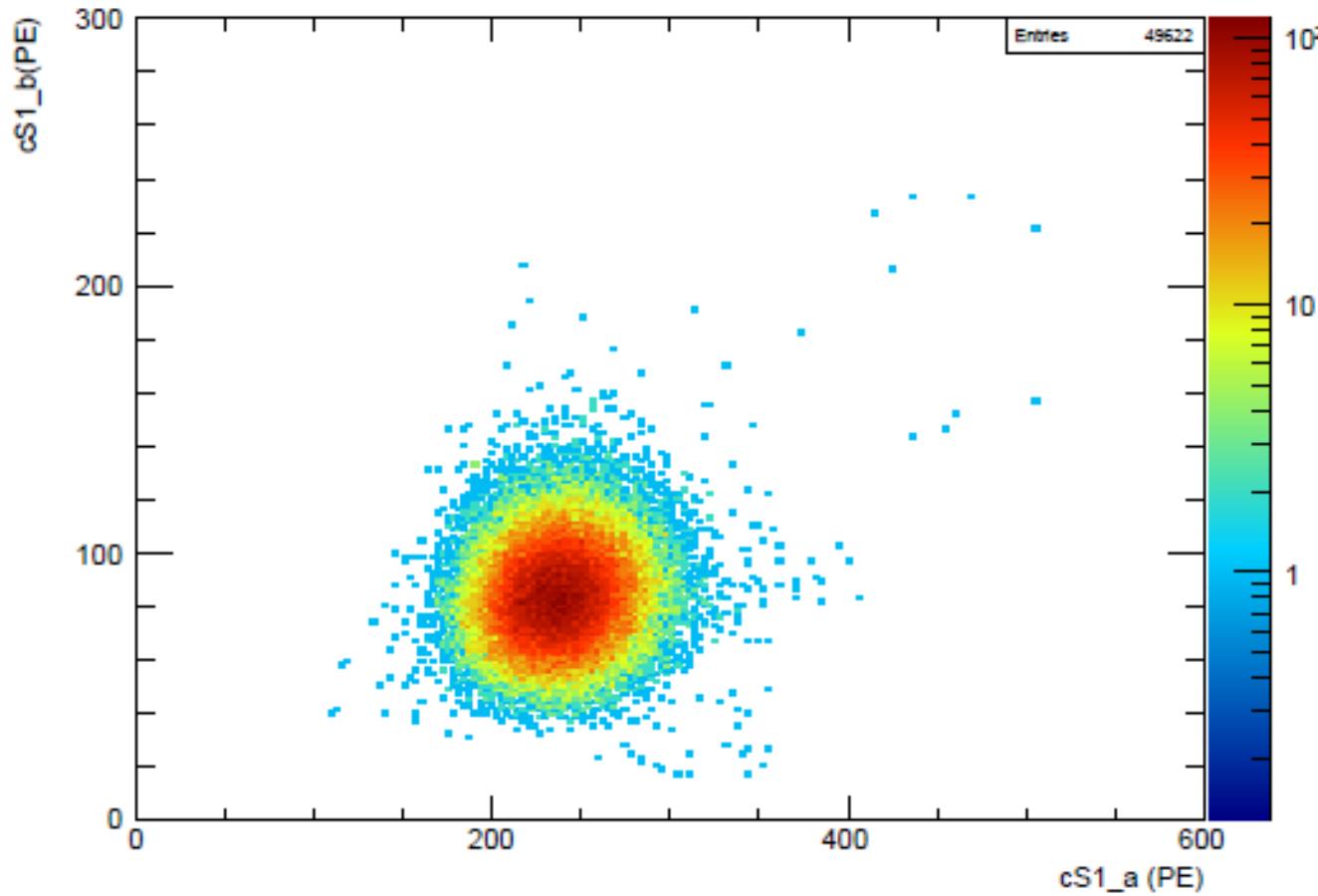
- Coupure sur le délai entre S1_a et S1_b :
 - Éviter le recouvrement des 2 signaux S1
 - Chercher la région où $S1_b$ est constant



Coupures Utilisées (2)



Sélection des événements



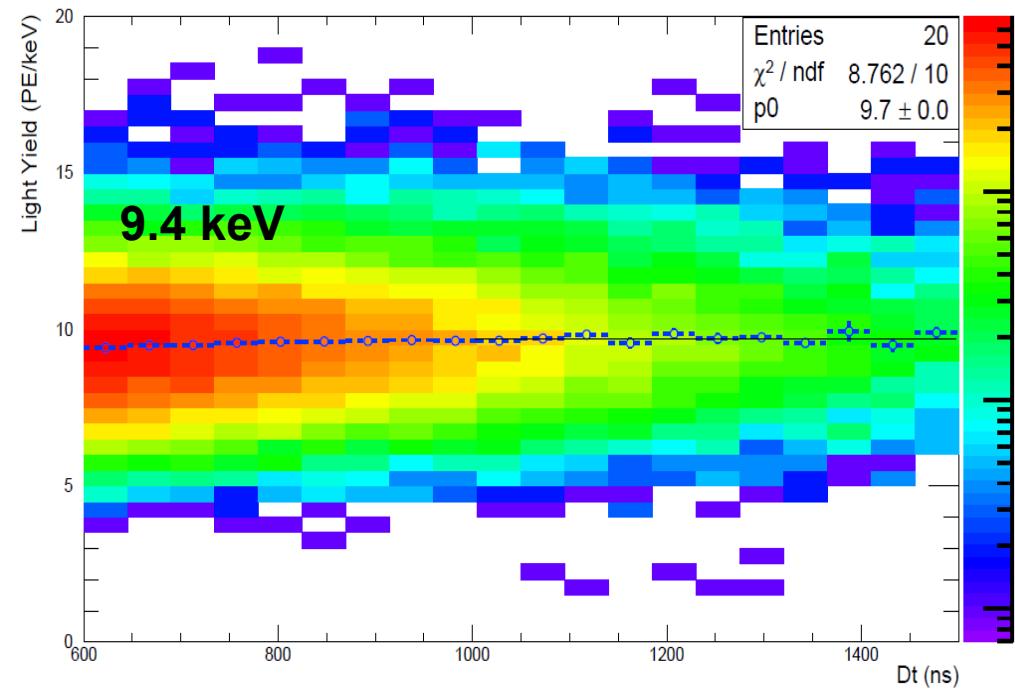
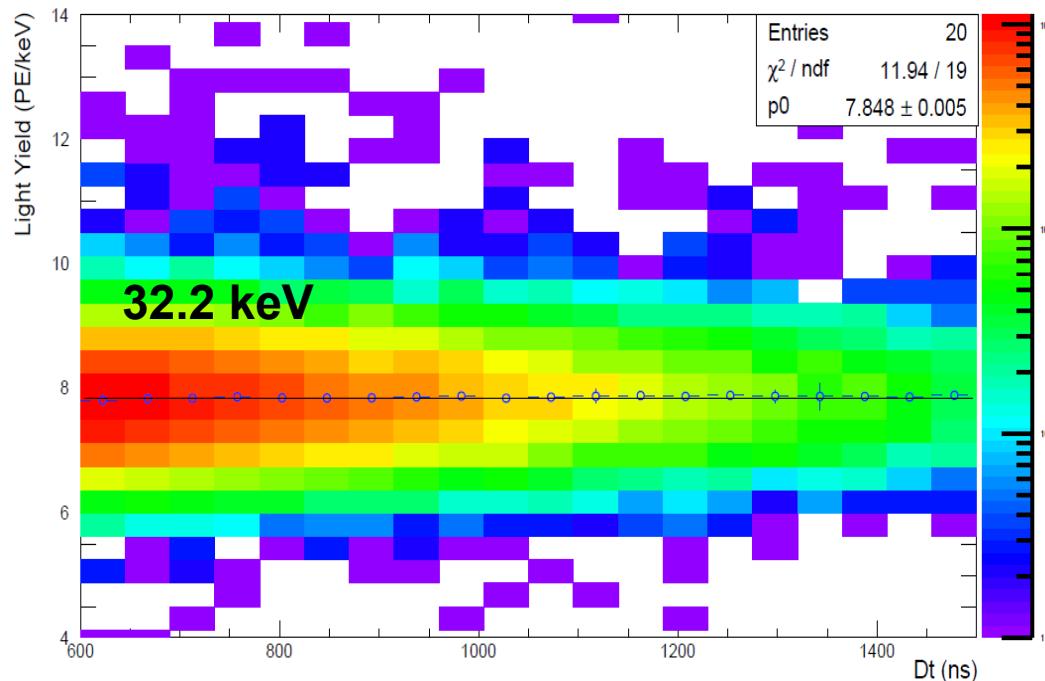
- Sélection des événements de ^{83m}Kr avec **2 S1 bien-séparés et 1 S2 :**
 - $\text{S1_a} = 32.2 \text{ keV}$
 - $\text{S1_b} = 9.4 \text{ keV}$
 - $\text{S2_a} = 41.6 \text{ keV}$

Rendement de Lumière et de Charge

- **Rendement de Lumière** = Facteur de Conversion entre les signaux S1 et l'énergie déposée
 - 32.2 keV and 9.4 keV
- **Rendement de Charge** = Facteur de Conversion entre les signaux S2 et l'énergie déposée
 - 41.6 keV

$$E_{ER} = \frac{S1}{Ly} \quad \text{and} \quad E_{ER} = \frac{S2}{Cy}$$

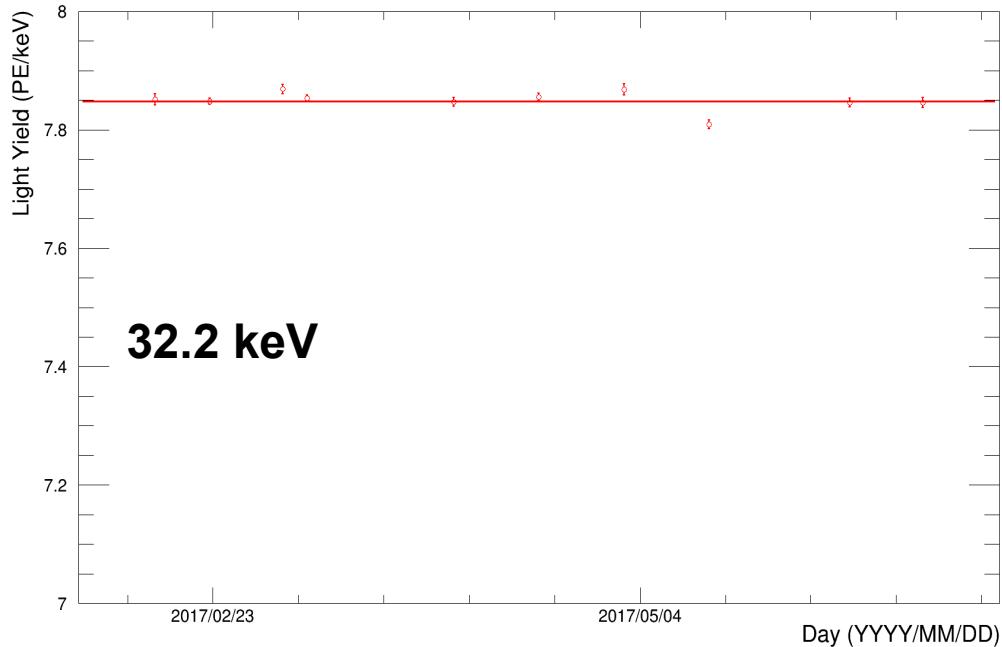
Rendement de Lumière



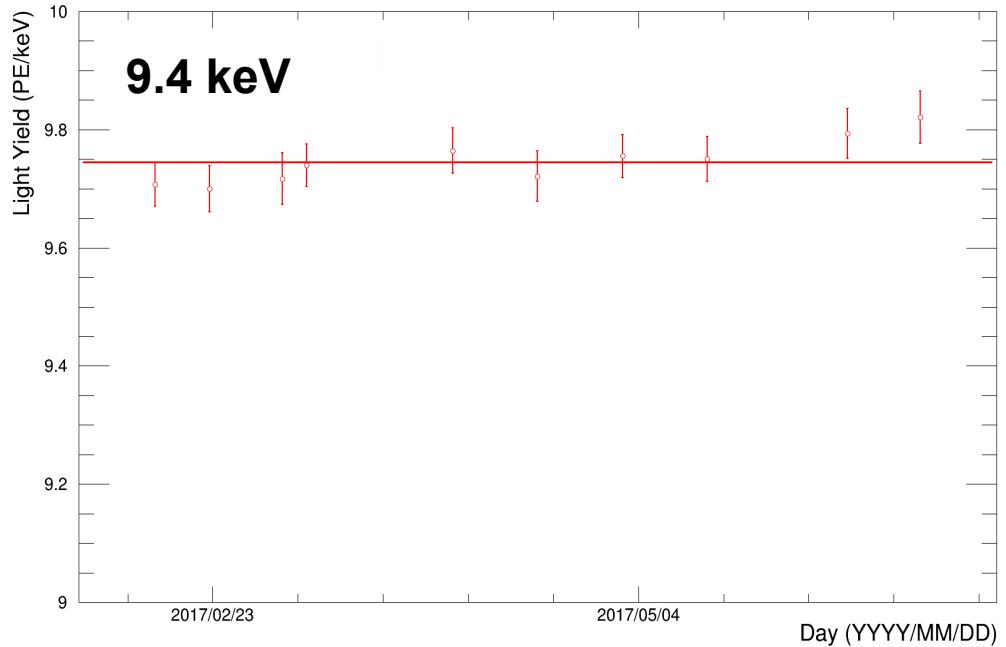
$$Ly_{32.2} = \frac{S1_a}{32.2 \text{ keV}}$$

$$Ly_{9.4} = \frac{S1_b}{9.4 \text{ keV}}$$

Monitoring du Rendement de Lumière



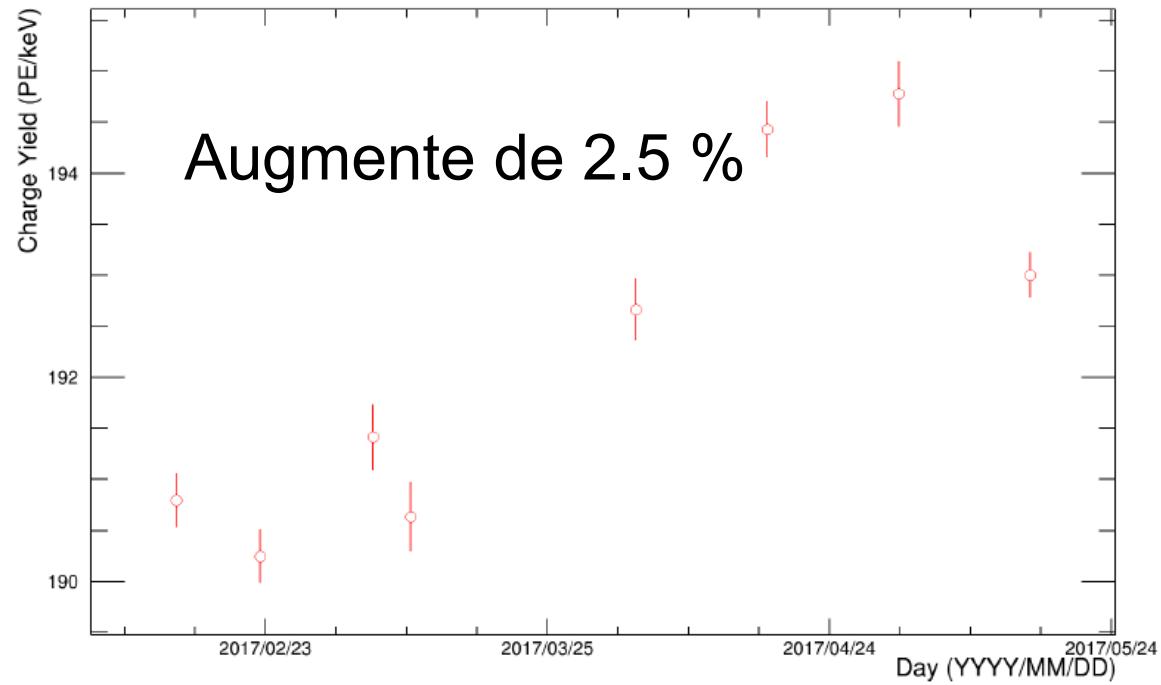
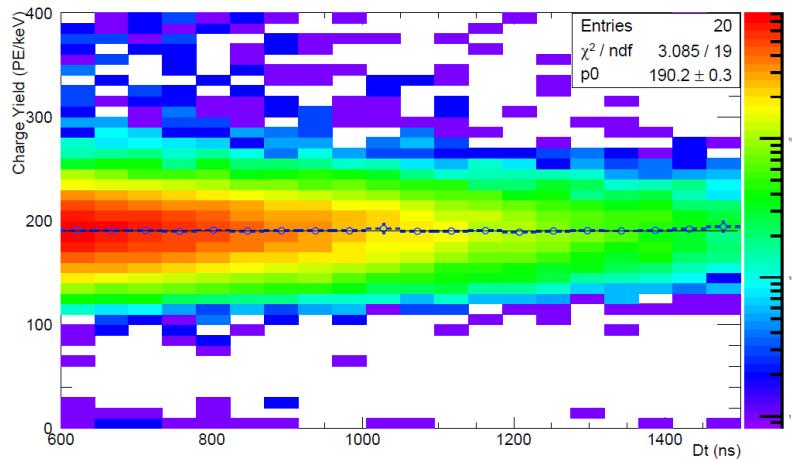
32.2 keV



9.4 keV

Energy (keV)	Light Yield (PE/keV)	χ^2/NDF
32.2	7.849 ± 0.002	$43.6 / 7$
9.4	9.700 ± 0.039	$2.7 / 7$

Rendement de Charge



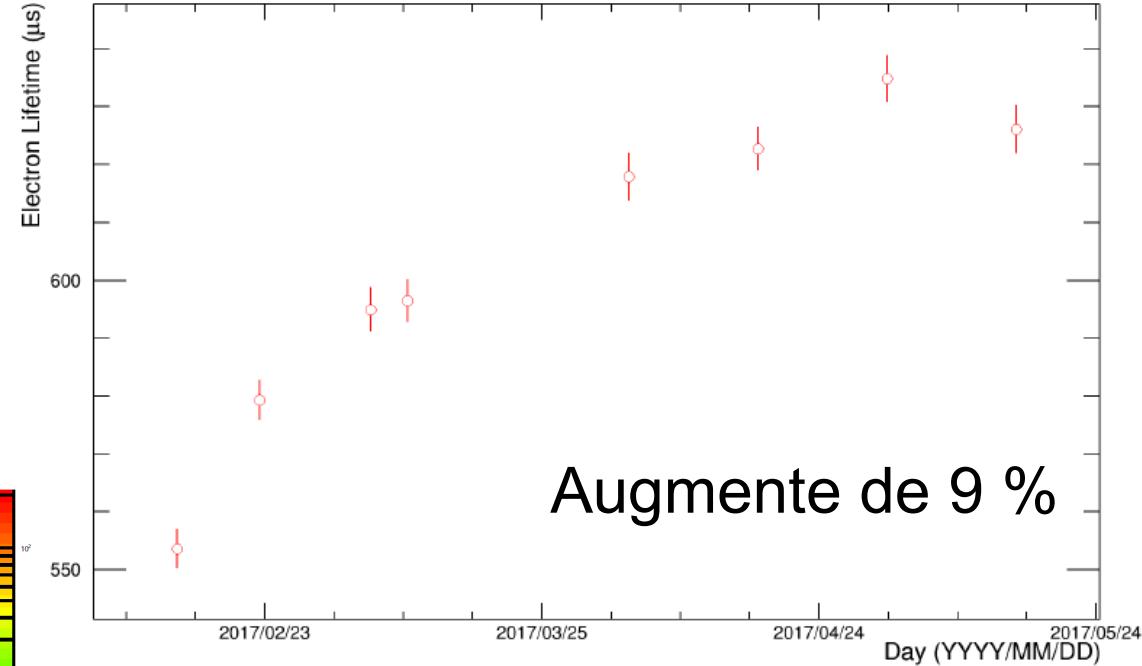
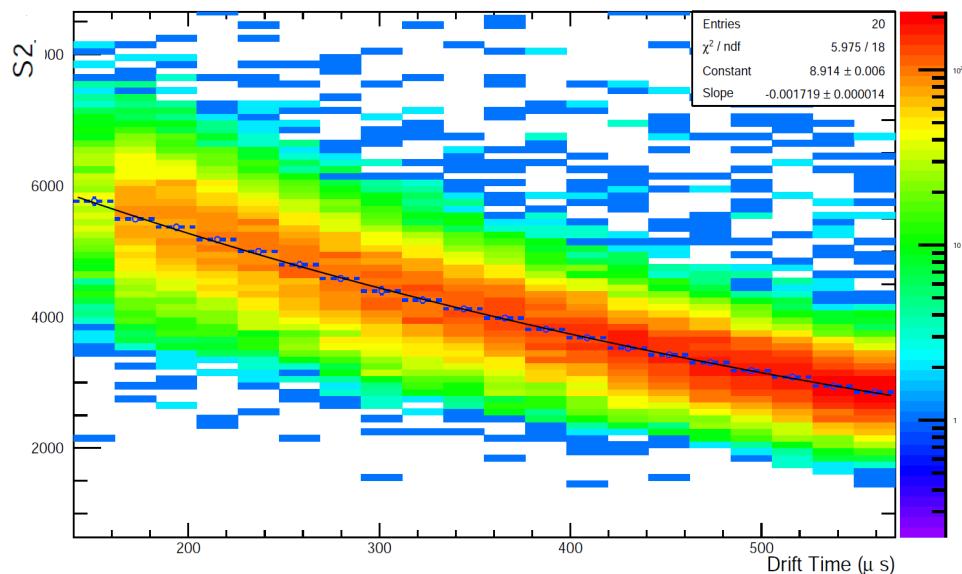
$$Cy_{41.6} = \frac{S2_a}{41.6 \text{ keV}}$$

- Signal S2 est corrigé (par la collaboration) avec « le temps de vie des électrons »
 - Mauvaise correction ?

Temps de Vie des électrons

- Atténuation du nuage électronique par des impuretés dans le Xénon liquide

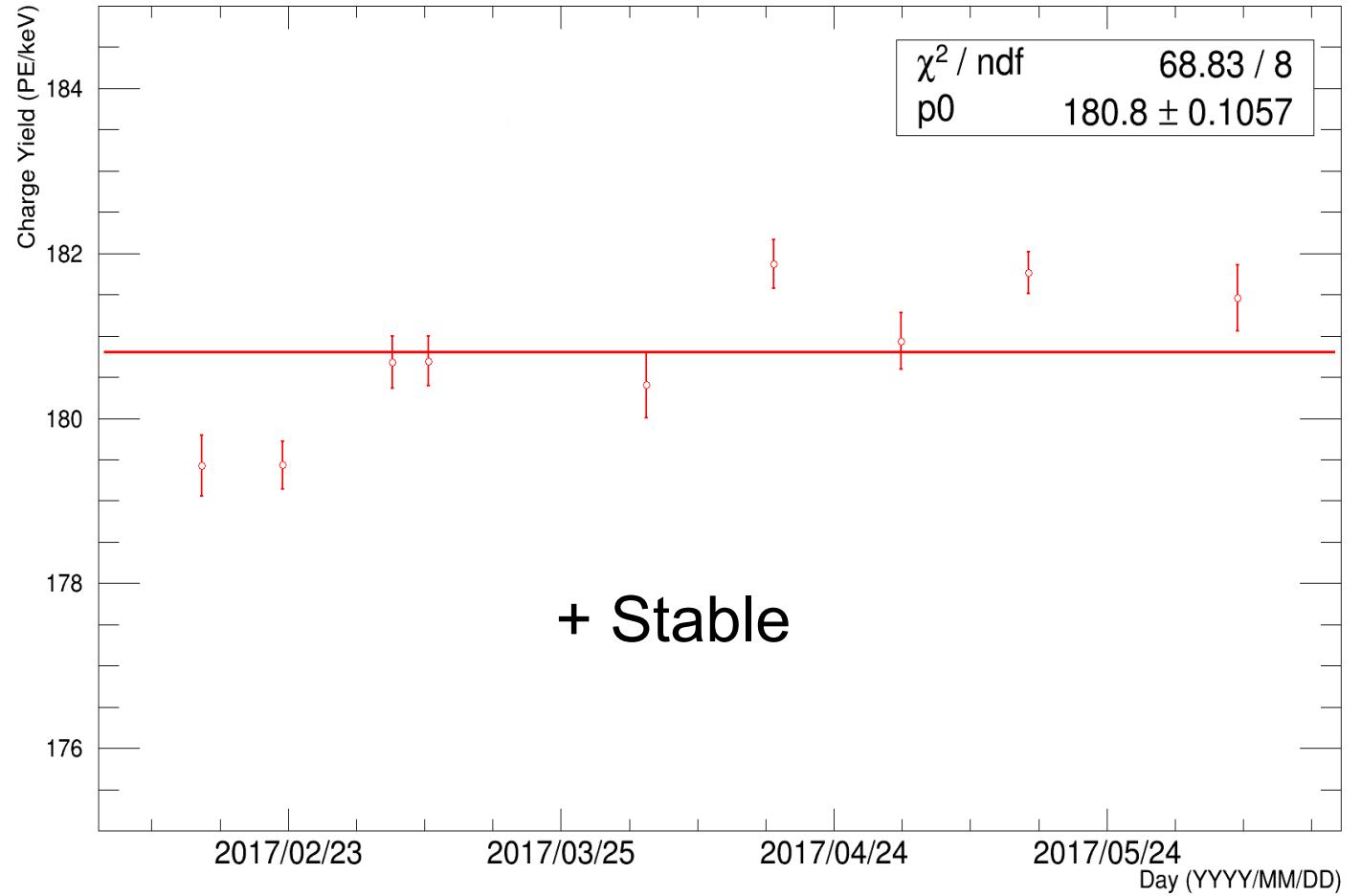
$$S2 = S2_0 \cdot \exp\left(\frac{-\Delta t}{\tau}\right)$$



- Peut expliquer pourquoi le rendement de charge augmente sur la même période

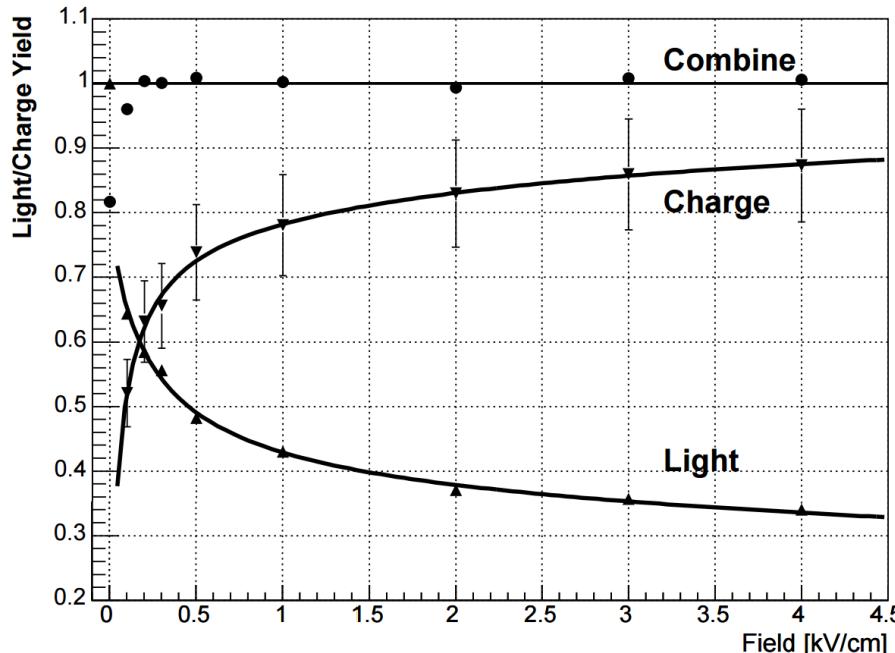
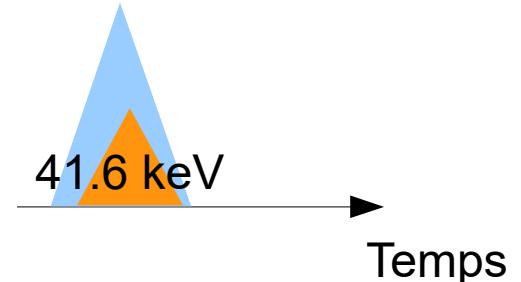
Rendement Charge

- Avec notre nouvelle correction, on obtient un comportement plus stable

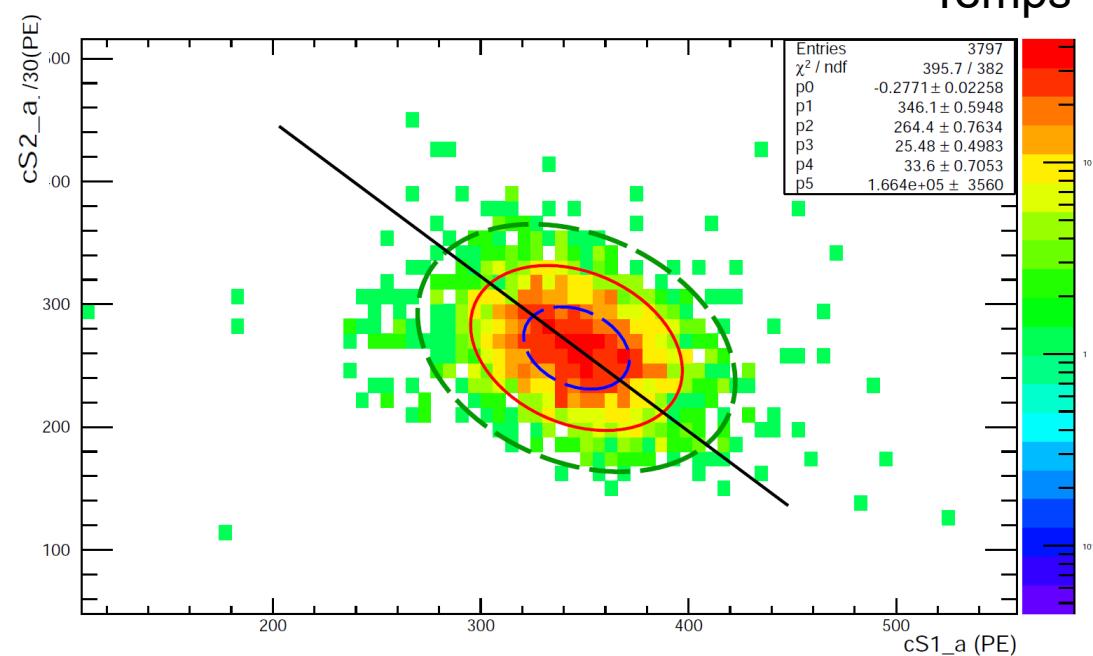


Résolution en énergie

- Combinaison de S1 et S2 (CES) à **41.6 keV**



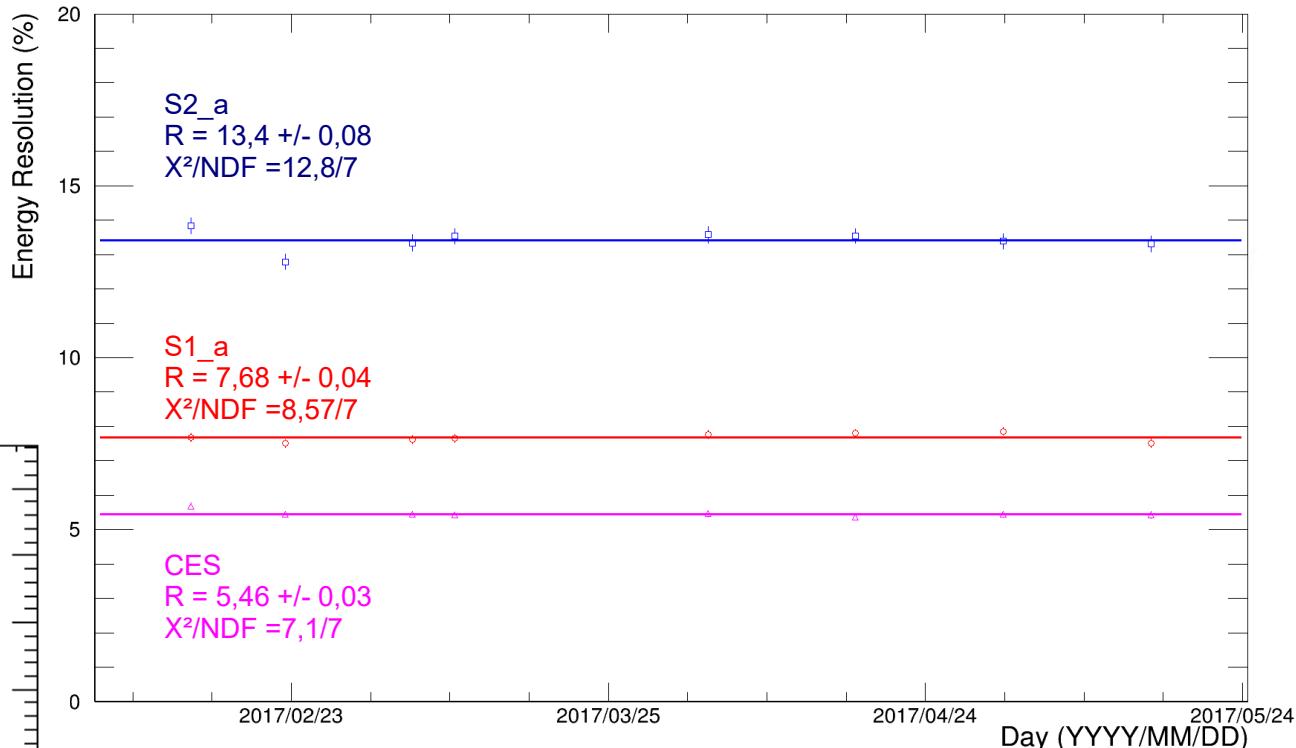
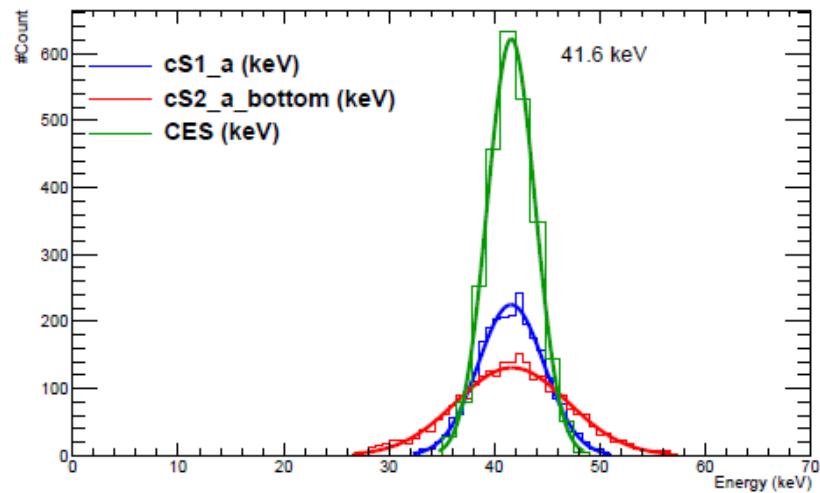
E.Aprile et al. ; 0704.1118 (2007)



Résolution en énergie

- **Résolution**

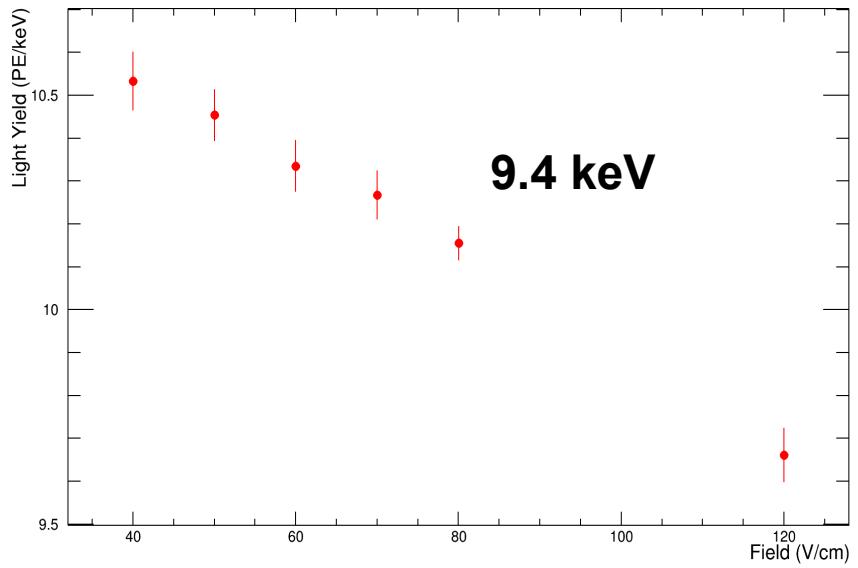
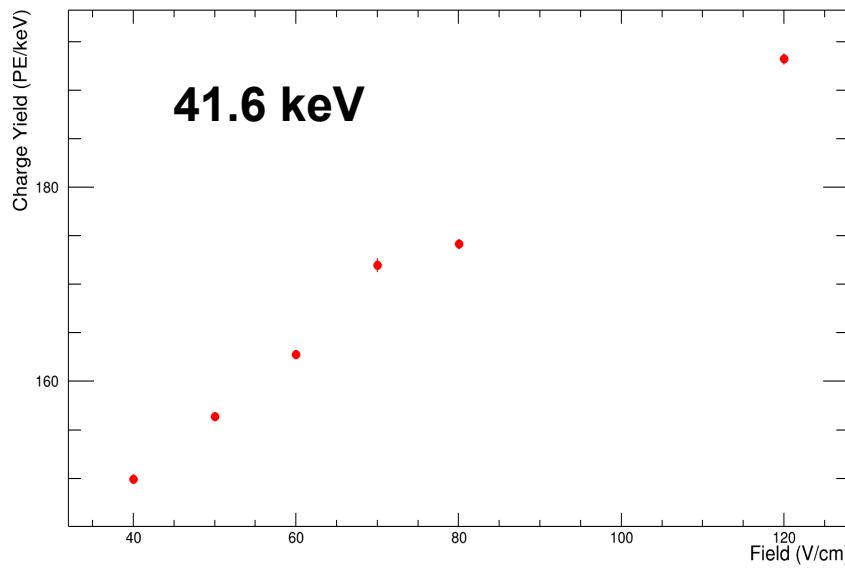
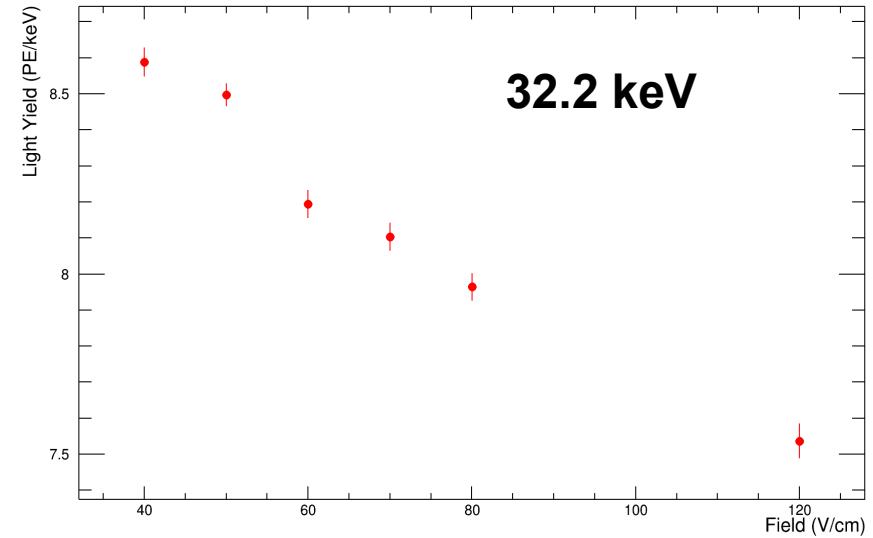
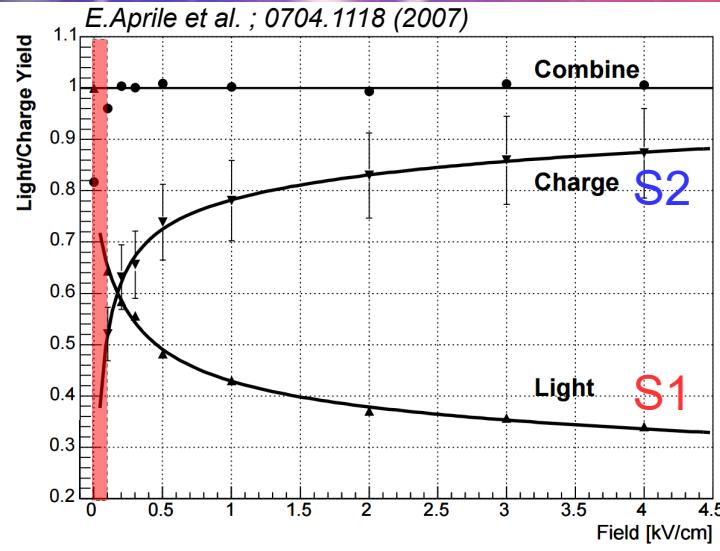
$$R = \frac{\sigma}{\mu}$$



Calibration et « Monitoring »

- **Étude de la Stabilité du détecteur**
 - Important pour la recherche de Matière Noire
 - Rendement de Lumière et Résolution en énergie stable sur les 3 mois de données étudiées
- **Autre étude** : Réponse du détecteur à différents champs électriques
 - Détermination de la vitesse de dérive des électrons = Reconstruction de la position
 - Correction des signaux S2 par le temps de vie de électrons

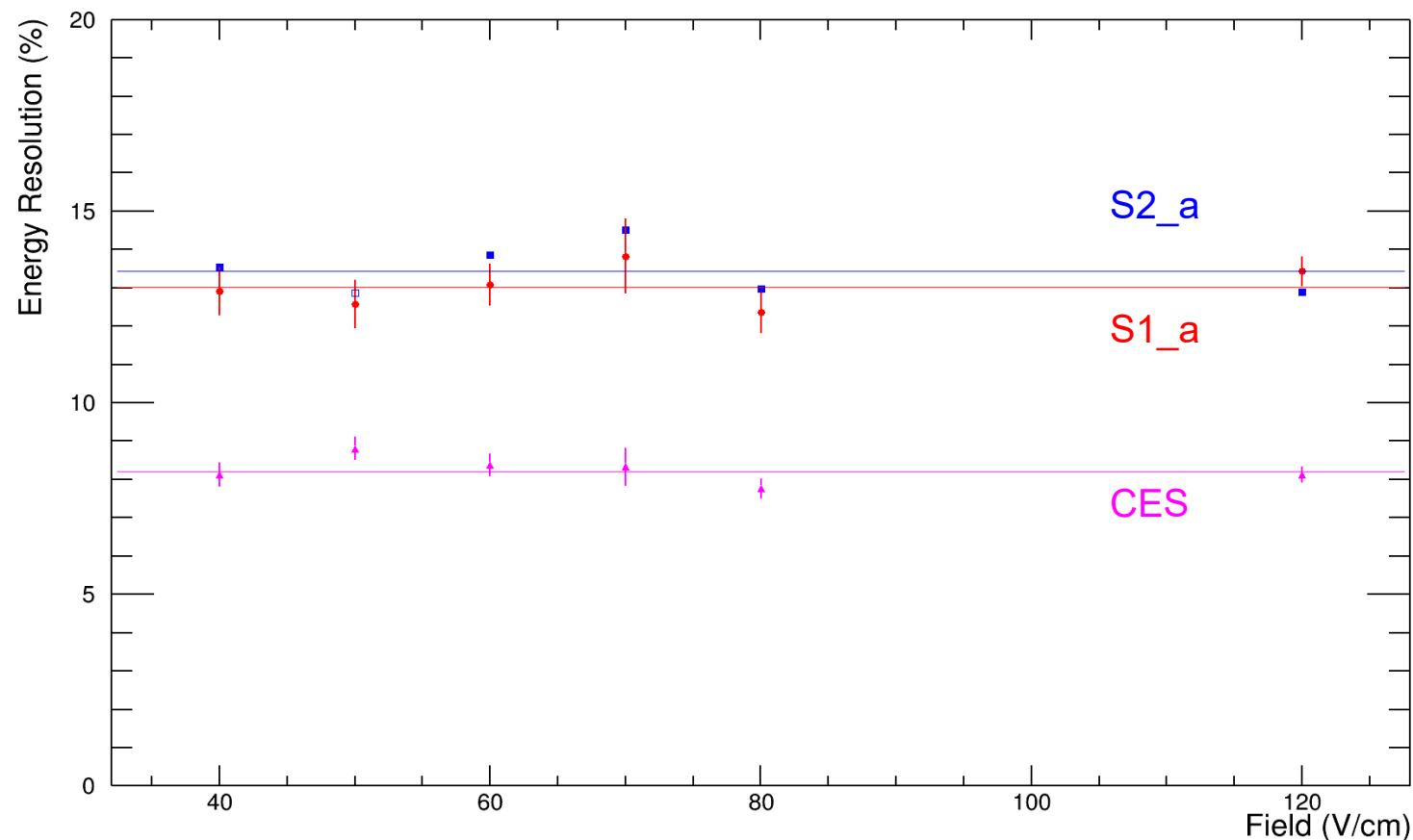
Étude à Différents Champs Électriques (1)



Étude à Différents Champs Électriques (2)

- Étude en cours
- Simulation Monte-Carlo

	Resolution at 41.6 keV (%)	χ^2/NDF
CES	8.2 ± 0.12	7.3/5
cS1_a	13.02 ± 0.23	3.8/5
cS2_a	13.44 ± 0.27	2.19/5



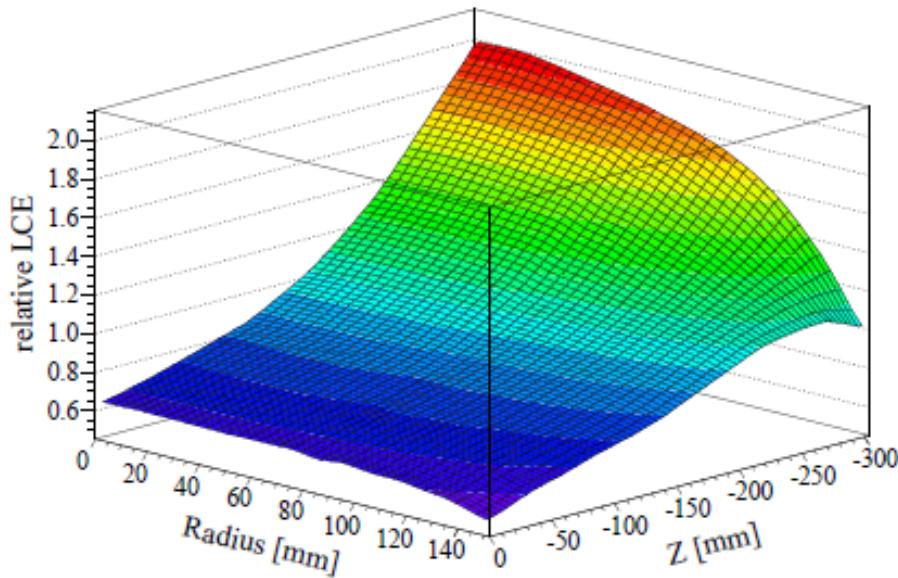
Conclusion

- **Analyse d'une grande expérience de Physique**
 - Calibration et Monitoring de XENON1T
 - Le Rendement de Lumière et la Résolution en énergie sont stables
 - Etude du détecteur avec différents champs électriques
 - XENON1T peut être utilisé avec des champs plus faibles
- **Apports Personnels**
 - Mise en place d'une démarche scientifique au sein d'une collaboration internationale
 - Développement d'un algorithme semi-automatique pour étudier la stabilité du détecteur
 - Codé en C/C++ (ROOT) et en Bash
 - Pourra être utilisé pour et par la collaboration XENON



Backup

Correction des signaux



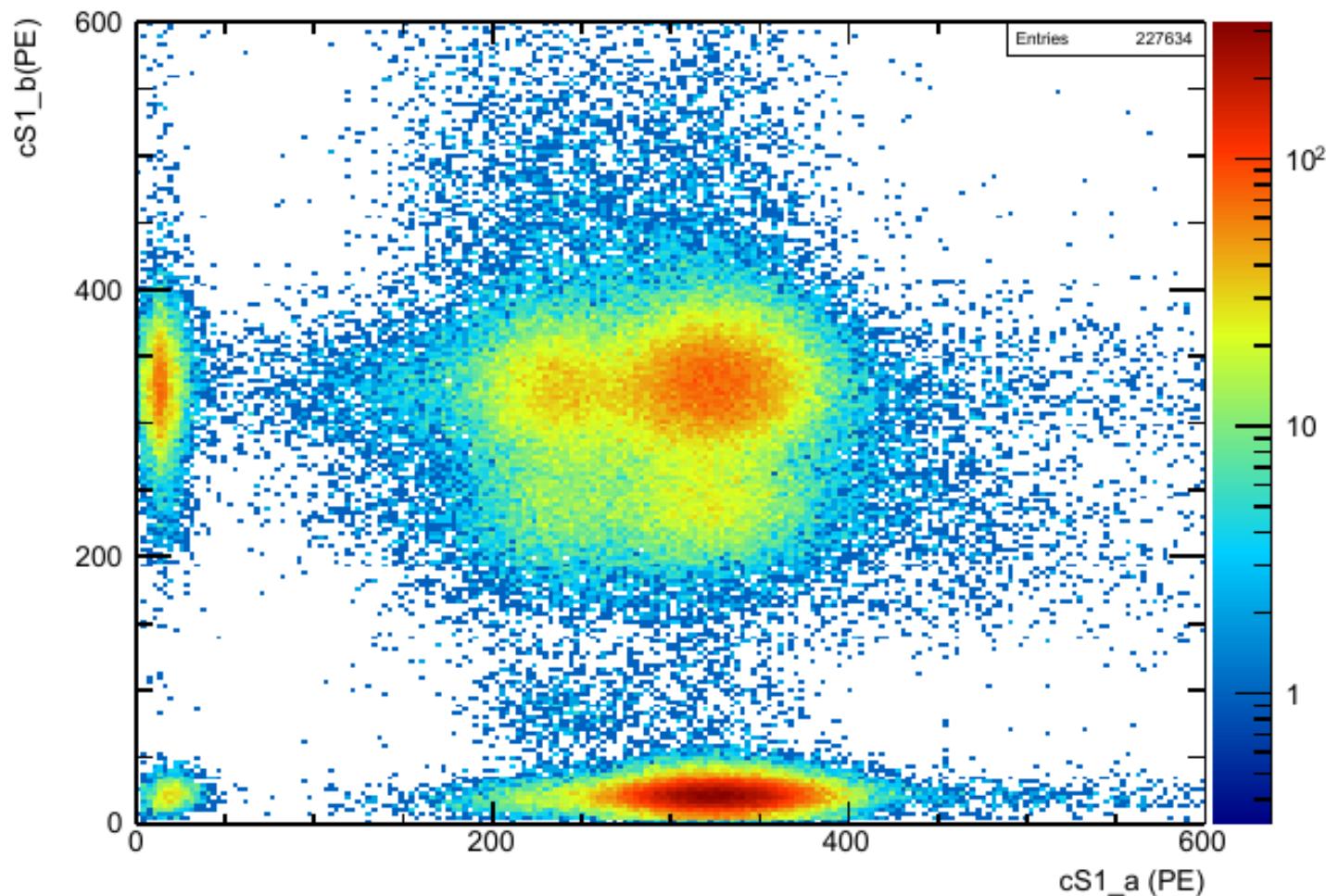
- **Light Collection Efficiency Map**
 - Pour une énergie donnée, la quantité de lumière dépend de la position de l'interaction
 - Plusieurs effets
 - Réflexions sur les murs de la TPC
 - Impuretés
 - L'effet d'angle solide
 - Efficacité des PM
 - ...

Discrimination ER/NR

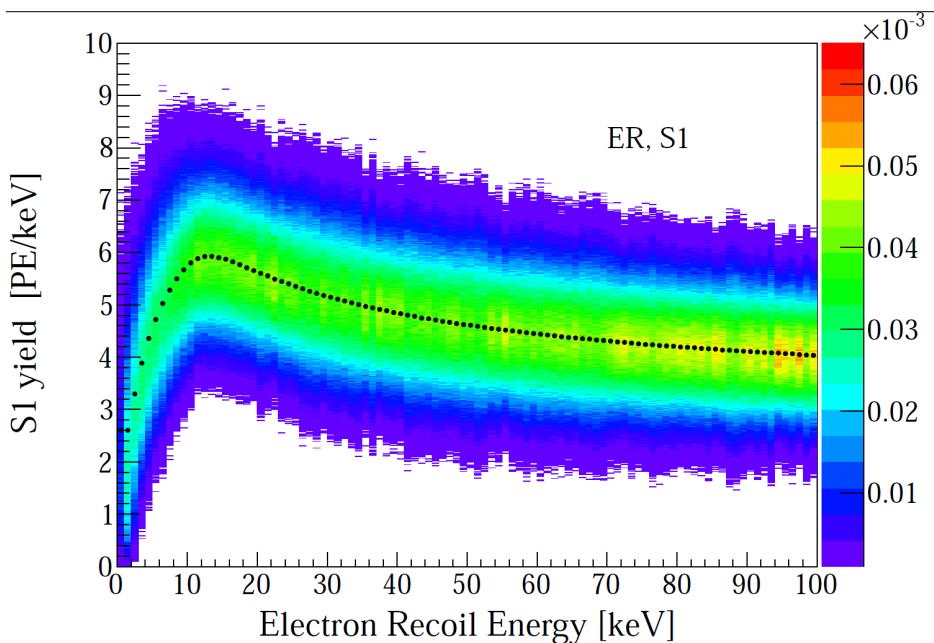
- **Recul Nucléaire/ Électronique**
 - Différentes densités d'ionisations
 - NR = densités d'ionisations plus grandes que ER
 - Recombinaison plus grande
 - S₁ plus grand
 - S₂ plus petit
 - **S₂/S₁ plus petit**

Sélections des événements

- $Dt > 1500 \text{ ns}$



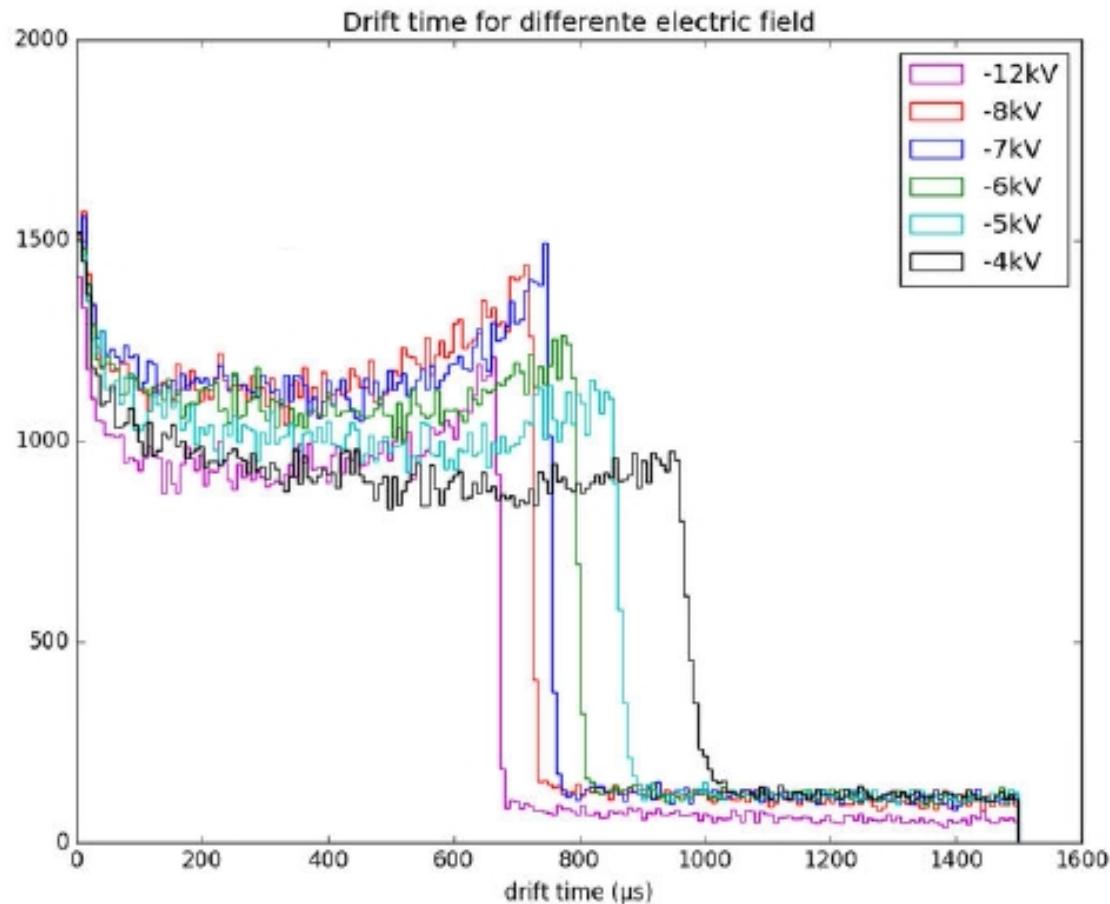
Rendement de Lumière



- Densité d'ionisation diminue quand l'énergie augmente
 - Rendement de Lumière diminue quand l'énergie augmente
 - Car Pouvoir d'arrêt du Xénon diminue quand l'énergie augmente
- Mais à basse énergie :
 - Le rendement de lumière augmente quand l'énergie augmente
 - Car densité d'ionisation ne dépend plus de l'énergie

Différents champs électriques

- Reconstruction de la Position = dépend du champs de dérive



$$Z = v_d \cdot \Delta t$$

$$v_d = \frac{Z_{max}}{\Delta t_{max}}$$

Étude à différents champs électriques

- S2 = Corrigé avec le Temps de vie des électrons

