



Partenaire stratégique  
Institut Mines-Télécom

Université  
de Strasbourg

Diplôme d'ingénieur Télécom Physique Strasbourg  
Soutenance de mémoire de 3e année

## Préparation de l'expérience ALERT au laboratoire Jefferson

Felix Touchte Codjo

Maître de stage : Raphaël Dupré



# Plan

Introduction

Organisation d'accueil

Motivation pour la physique

Dispositif expérimental

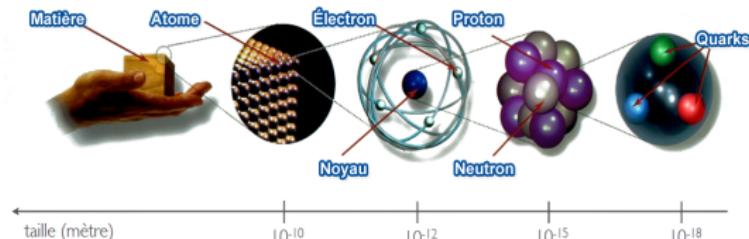
Simulation d'ALERT

Conclusion

# Introduction

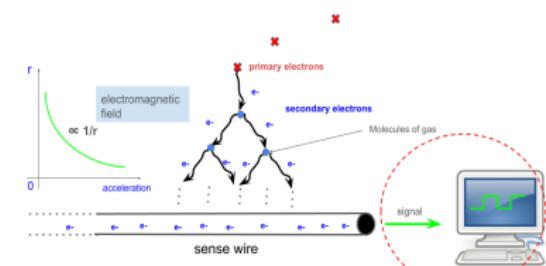
## ► C'est quoi ALERT ?

- Une expérience de physique hadronique (Fév. 2025)  
→ Déterminer la structure nucléaire de  ${}^4\text{He}$  et  ${}^2\text{H}$



Source-image : Sciences Claires - Les particules élémentaires

- Un nouveau détecteur  
→ Ce stage : contribuer au développement logiciel d'ALERT



# Organisation d'accueil

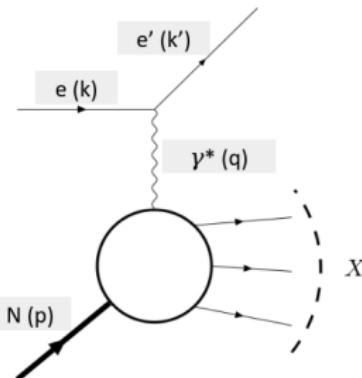
- ▶ Laboratoire de physique des deux infinis Irène-Juliot Curie (Prix Nobel de chimie en 1935 et co-fondatrice de l'IPNO) ou IJCLab
- ▶ Unité mixte de recherche scientifique (CNRS, UPSaclay, UPCité)
- ▶ Fondé en 2020 par la fusion de 5 laboratoires (Campus d'Orsay)
- ▶ Activités : hautes énergies; accélérateurs; santé; nucléaire; énergie et environnement; astroparticules; astrophysique et cosmologie.



# Motivation pour la physique 1/4

- Un objectif de la physique hadronique ?

→ Décrire la structure du nucléon en termes de quarks et gluons  
→ Processus clé : la diffusion inélastique profonde (DIS)



$k, k', p, q$  : quadrivecteurs

Virtualité :  $Q^2 = -q^2 \Leftrightarrow$  échelle  $\lambda = 1/\sqrt{Q^2}$

2 conditions :

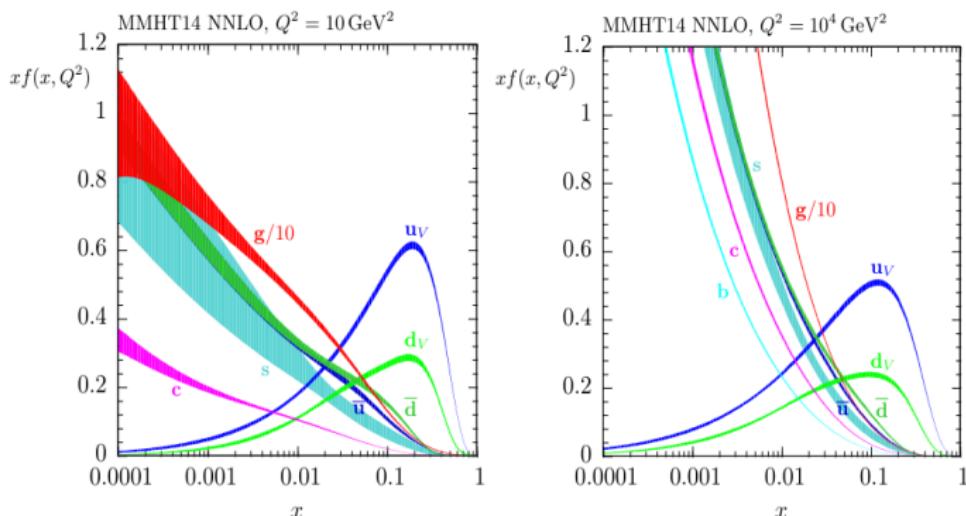
$Q^2 = -q^2 > M_N^2 \approx 1\text{GeV}^2 \rightarrow$  interagir avec un quark

$W_X^2 = (p + q)^2 \gg M_N^2 \rightarrow$  détruire le nucléon  $N$

# Motivation pour la physique 2/4

- Un objectif de la physique hadronique ?

→ Décrire la structure du nucléon en termes de quarks et gluons  
→ Des Données du DIS aux fonctions de distributions de partons (PDFs) du proton



# Motivation pour la physique 3/4

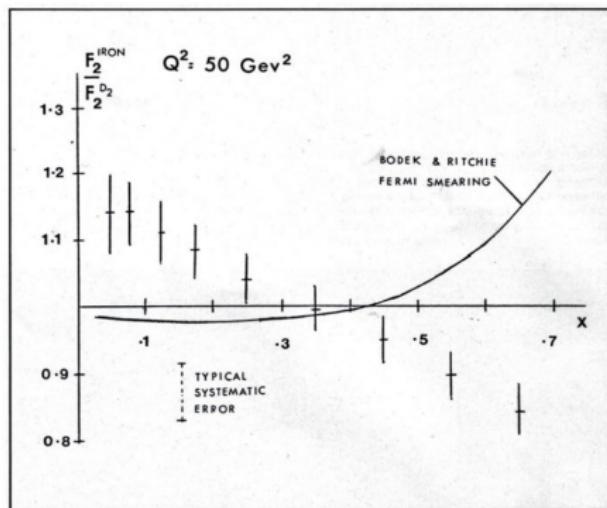
- Un objectif de la physique hadronique ?

→ Décrire la structure du nucléon en termes de quarks et gluons

→ Noyaux  $A > 1$  ( $E_{binding}^{nucleon} \ll E_{mass}^{nucleon}$ )

→ l'Effet EMC (*European Muon Collaboration*) depuis 1982

■ de nombreuses théories associées mais aucun consensus

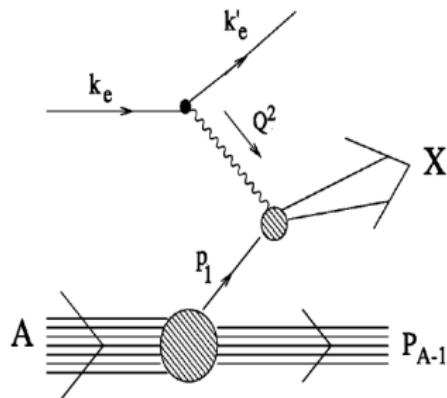


Données de l'*European Muon Collaboration* publiées en Novembre 1982 dans le journal du CERN.

# Motivation pour la physique 4/4

## ► Un objectif d'ALERT ?

- Décrire la structure du nucléon en termes de quarks et gluons
- Mesure proposée par ALERT : l'EMC étiquetté sur  ${}^4\text{He}$  et  ${}^2\text{H}$
- Mécanisme du spectateur ou PWIA

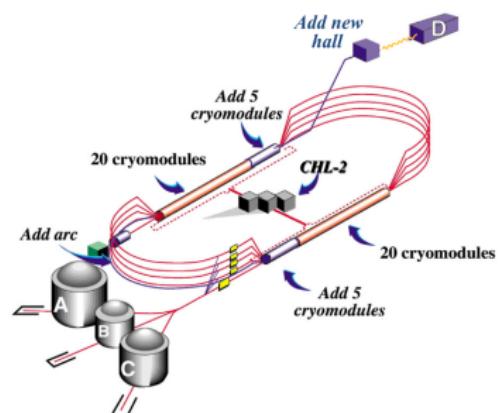


■ ALERT est spécialement conçu pour détecter les noyaux spectateurs ( ${}^3\text{He}$ ,  ${}^3\text{H}$ , p)

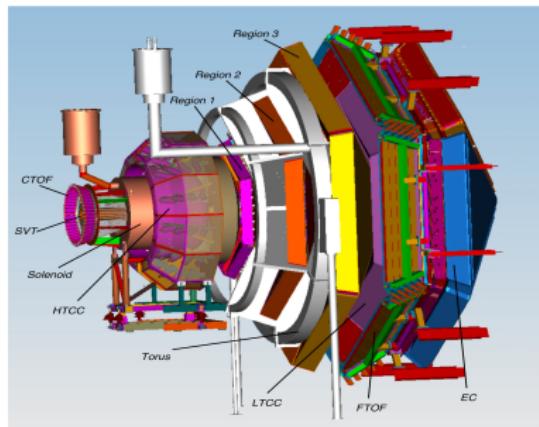
# Dispositif expérimental 1/3

- Le Thomas Jefferson National Accelerator Facility (Jefferson Lab ou JLab)
  - Laboratoire national sous tutelle du ministère américain de l'énergie
  - Situé à Newport News, Virginie, États-Unis.

■ CEBAF



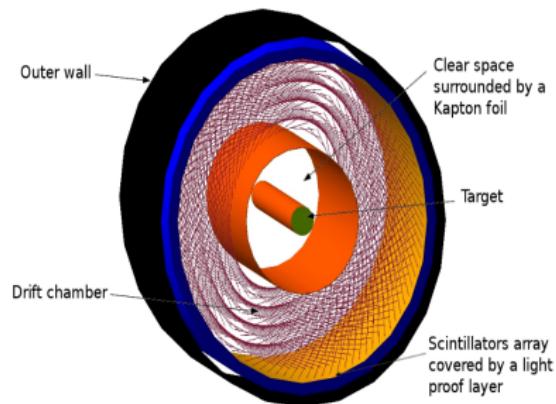
■ CLAS12



- Capable de délivrer un faisceau d'électrons polarisés en spin jusqu'à 12 GeV

# Dispositif expérimental 2/3

- ▶ **A Low Energy Recoil Tagger (ALERT)**  
→ Chambre à dérive hyperbolique + réseau de scintillateurs



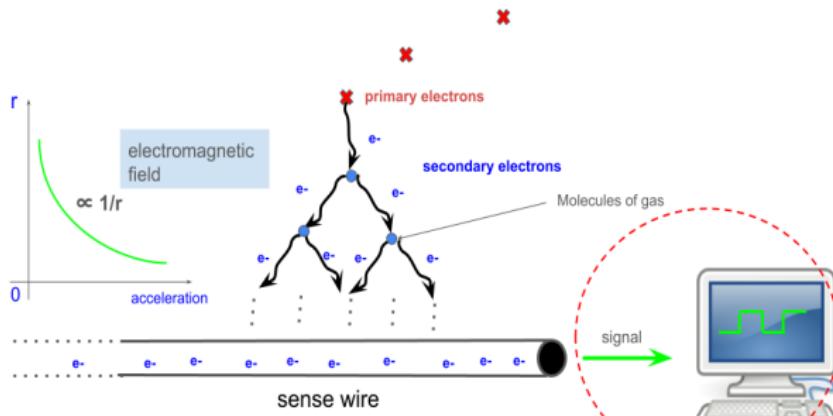
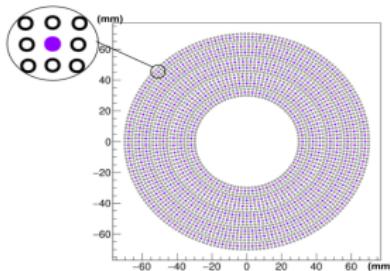
- À présent : focus sur la chambre à dérive

# Dispositif expérimental 3/3

## ► La chambre à dérive d'ALERT

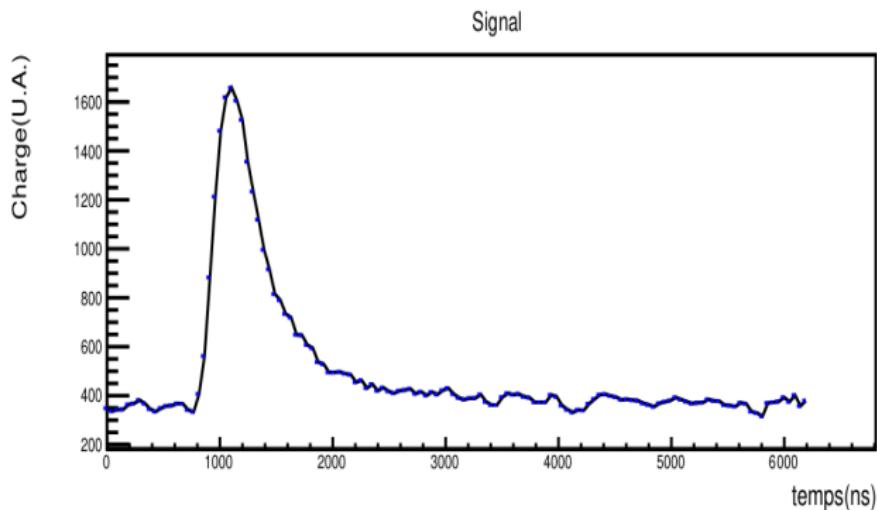
→ détecteur gazeux : He (80 %) + CO<sub>2</sub> (20 %), près de 3020 fils

→ Suivi des particules, angles stéréos (-10° et +10°)



# Simulation d'ALERT 1/14

- ▶ Signal enregistré par un fil de détection lors du passage d'une particule



Source : Mise au point d'une chambre à dérive stéréo pour l'expérience ALERT au laboratoire Jefferson - Thèse de Lucien Causse

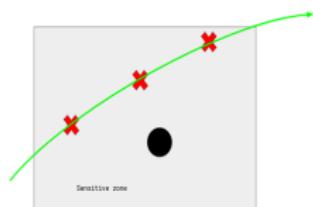
- Ce stage : retrouver ce type de signal en simulation

# Simulation d'ALERT 2/14

- ▶ Point de départ

Détection d'un signal  $\iff$  Passage d'une particule

- ▶ 1<sup>er</sup> réflexe : utiliser Geant4

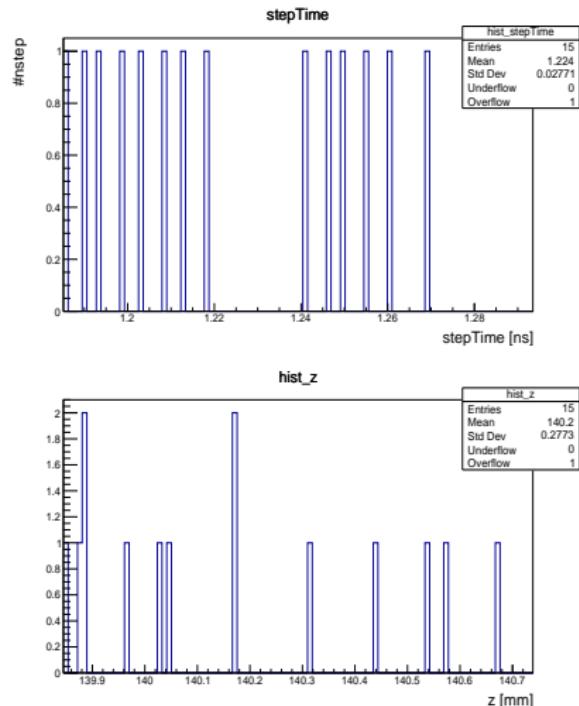
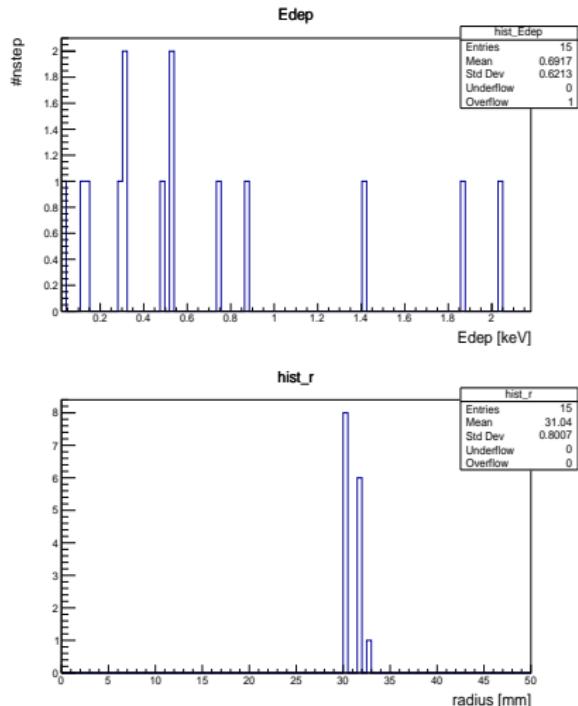


- Trajectoire décomposée en "étapes" de calcul
- "étape"  $\leftrightarrow$  objet C++
- "étape"  $\supset \{\Delta E_{dep}, x, y, z, p_x, p_y, p_z, \text{Id}_{vol}\}$

- Signal d'un fil  $\implies$  l'ensemble des "étapes" de calcul effectuées dans la zone sensible de ce fil : collection de hit

# Simulation d'ALERT 3/14

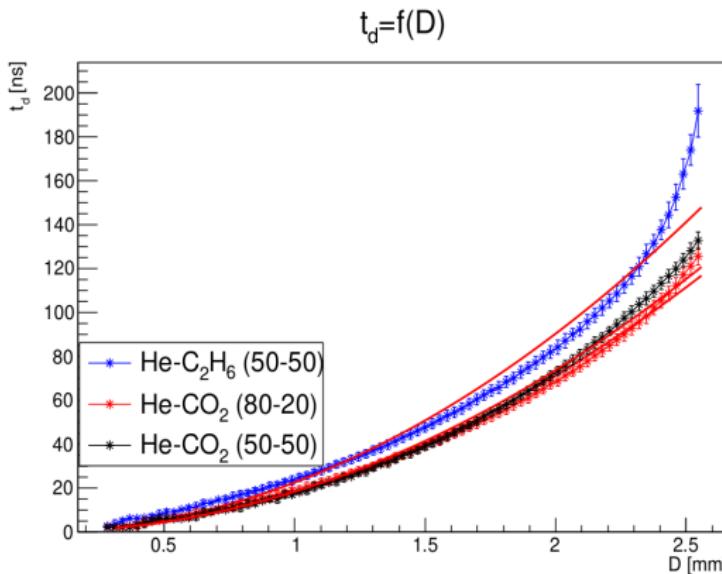
- ▶ Distributions des données contenues dans une collection de hit



- Comment passer de ces distributions au signal d'ALERT ?

# Simulation d'ALERT 4/14

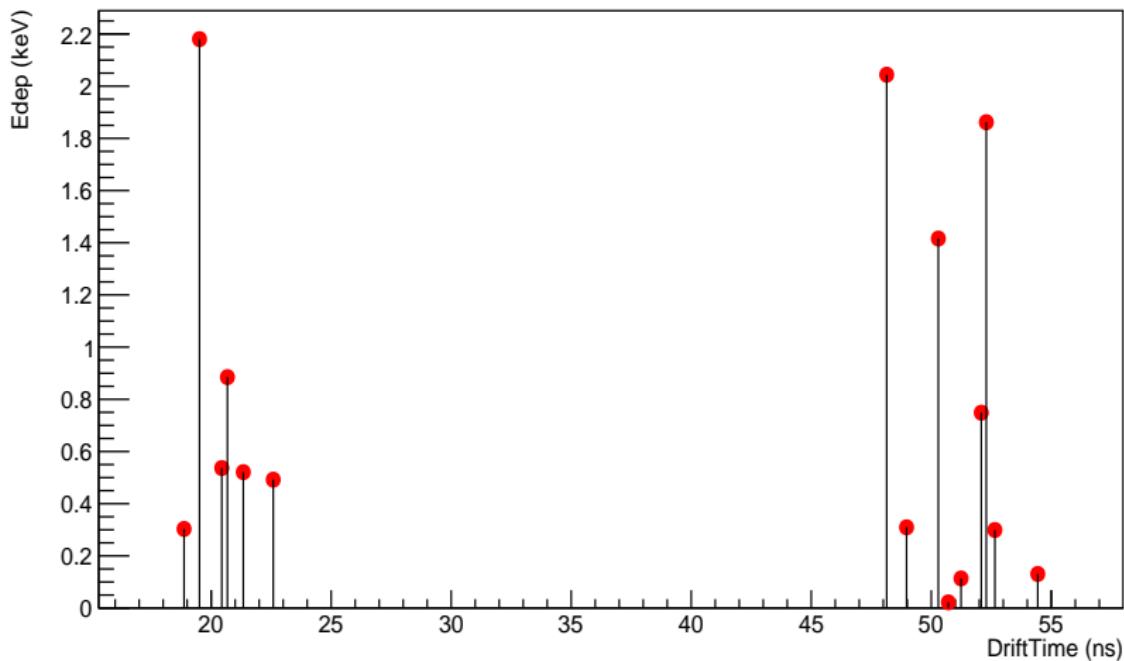
- Approche phénoménologique
- ▶ Relation temps de dérive VS distance



Source : Mise au point d'une chambre à dérive stéréo pour l'expérience ALERT au laboratoire Jefferson - Thèse de Lucien Causse

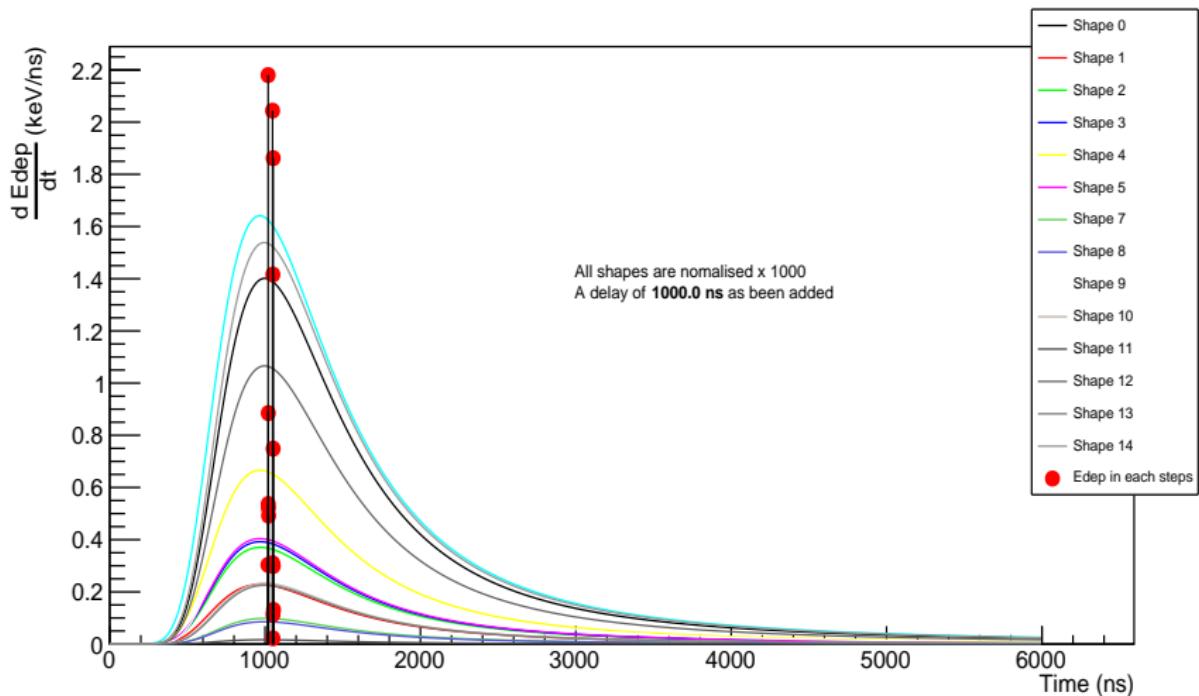
# Simulation d'ALERT 5/14

- ▶ Calcul du temps de dérive pour chaque "étape" de calcul  
⇒ tracé de Edep VS temps



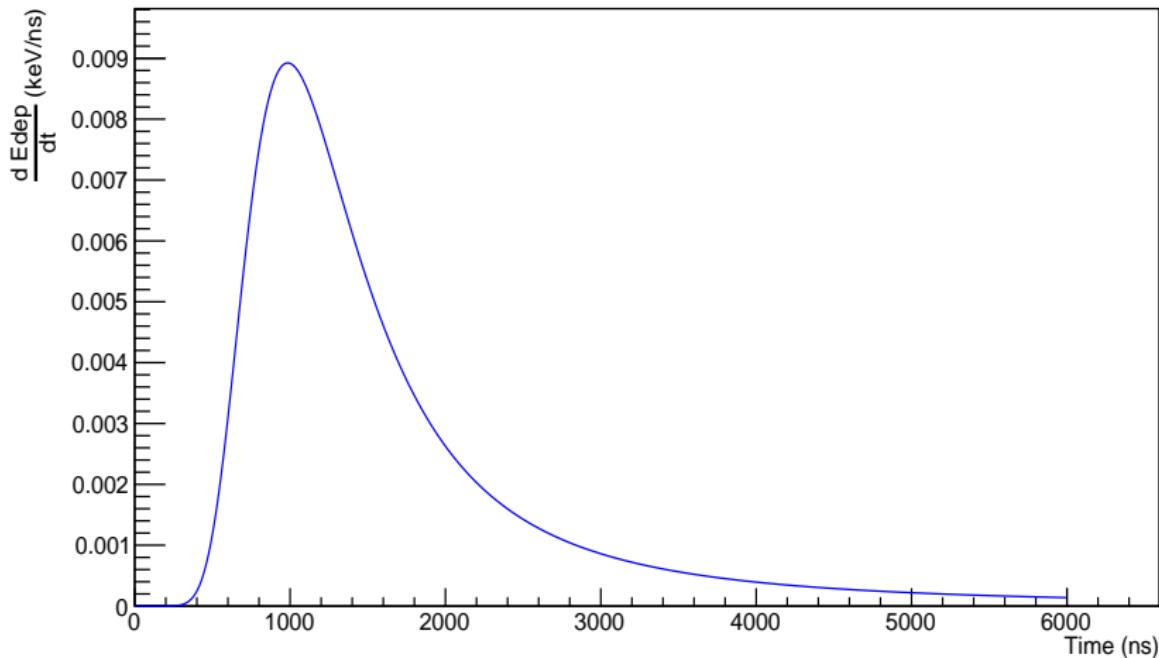
## Simulation d'ALERT 6/14

- ▶ Changer chaque masse par une distribution étalée au cours du temps  
⇒ choix d'une Landau :  $\mathcal{L}(t, \mu, c)$   
⇒ liberté du paramètre d'échelle  $c$ ; ajout d'un délai



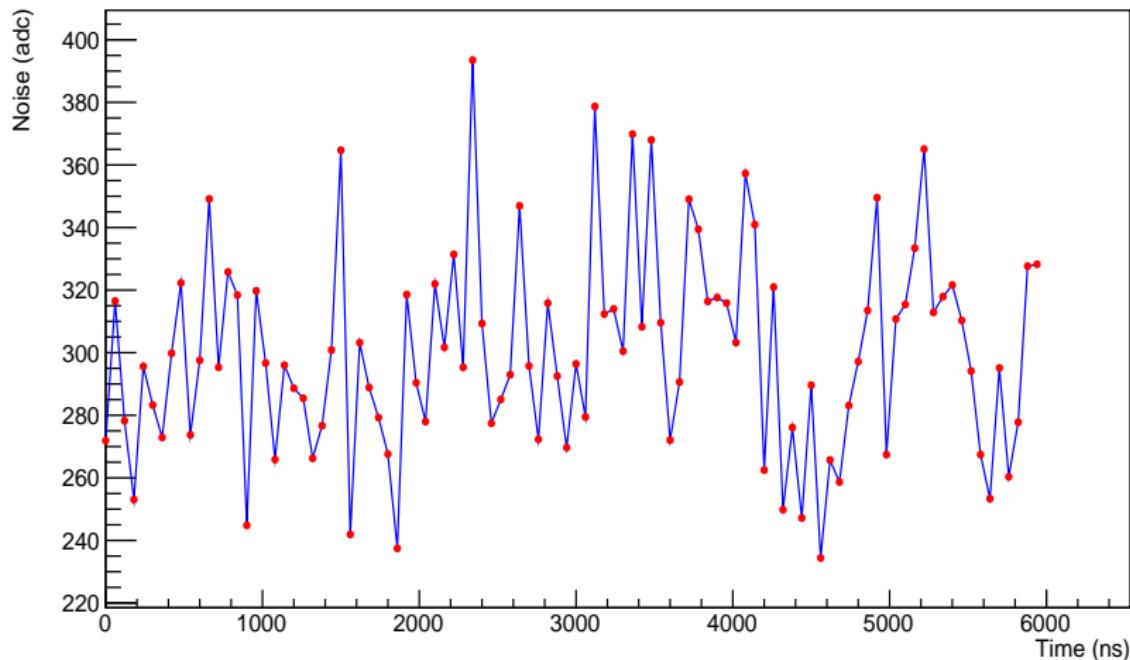
## Simulation d'ALERT 7/14

- ▶ Changer chaque masse par une distribution étalée au cours du temps
  - ⇒ après sommation
  - ⇒ en général, résultat  $\neq$  Landau



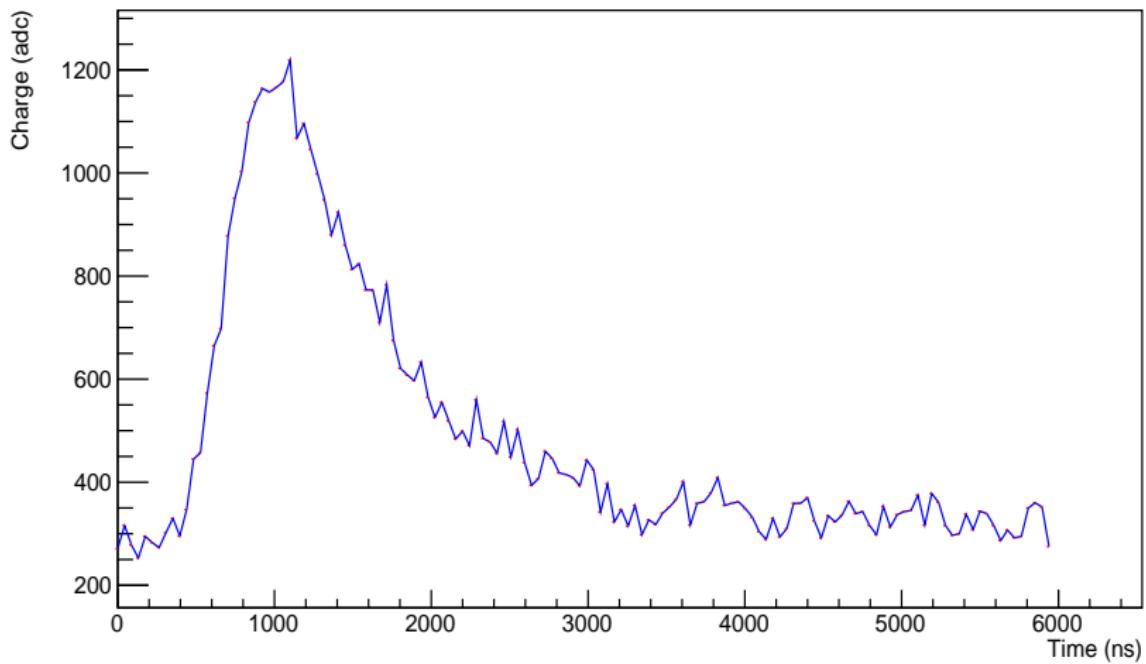
# Simulation d'ALERT 8/14

- ▶ Amplification keV/ns → ADC
- ▶ Échantillonnage du signal toutes les 44 ns
- ▶ Ajout d'un bruit blanc gaussien :  $\mathcal{N}(300,30)$



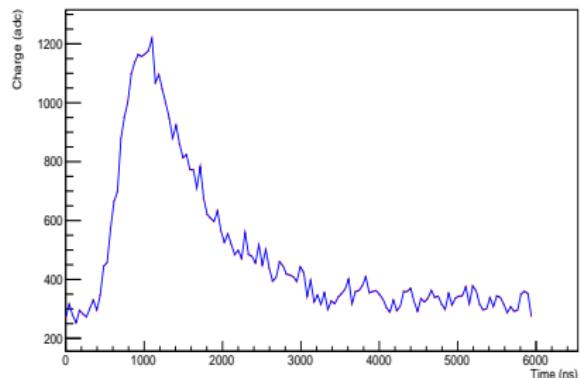
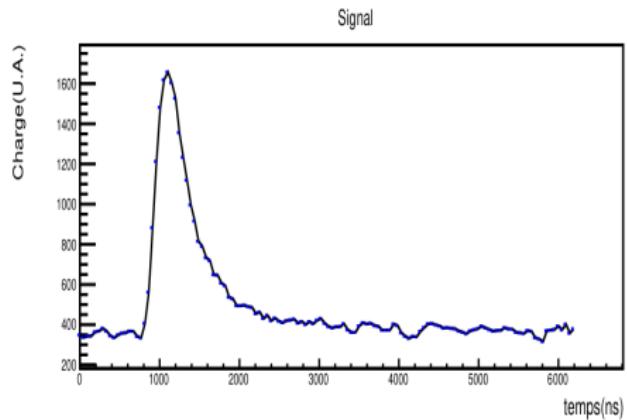
# Simulation d'ALERT 9/14

## ► Résultat final



# Simulation d'ALERT 10/14

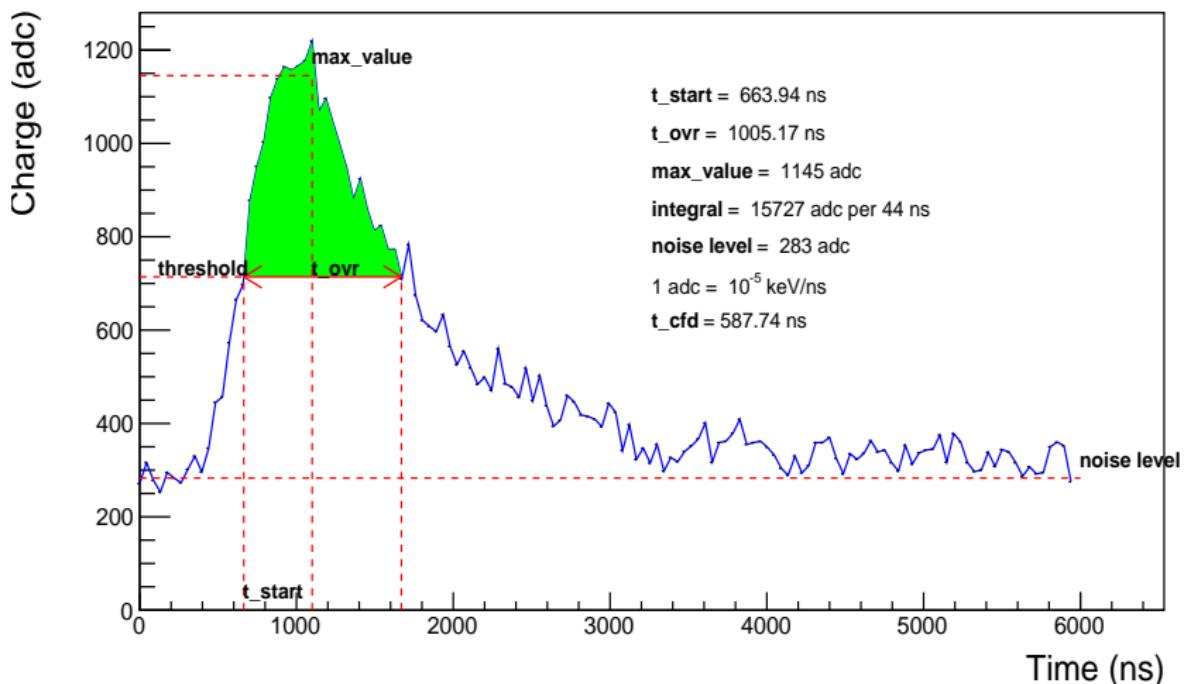
## ► Comparaison



- 3 degrés de liberté (paramètre d'échelle, facteur d'amplification et délai) pour améliorer le résultat

# Simulation d'ALERT 11/14

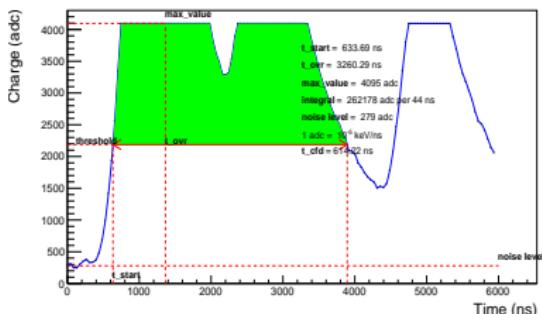
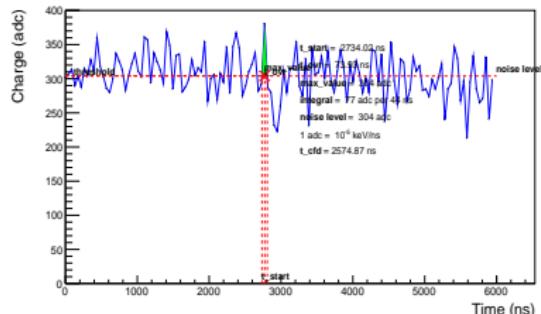
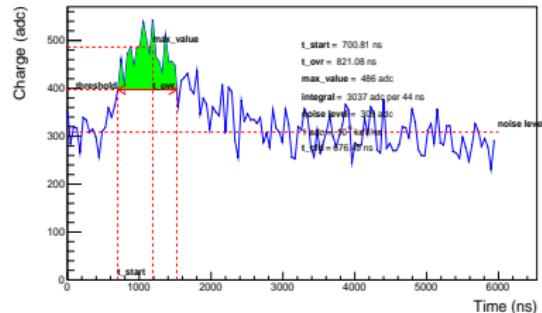
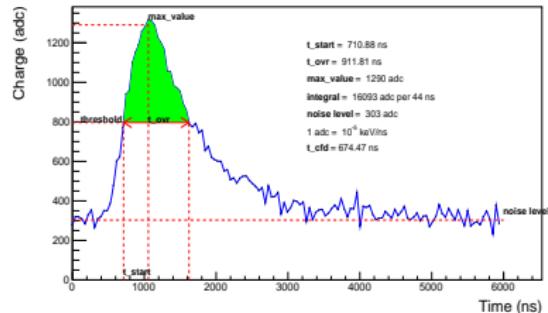
## ► Décodage



# Simulation d'ALERT 12/14

## ► Décodage

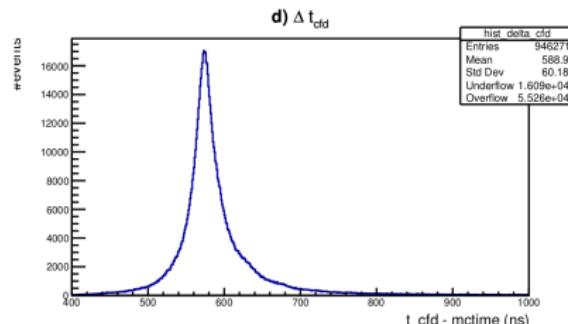
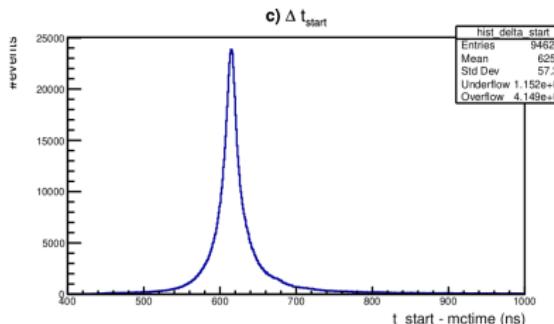
⇒ définition de convention pour résister à des situations très exotiques



# Simulation d'ALERT 13/14

## ► Analyse

- ⇒ Test de l'efficacité du décodage
- ⇒ Qualité des temps reconstruits ( $t_{\text{start}}$ ,  $t_{\text{cf}}d$ )
- ⇒ 100 000 événements
- ⇒ 946 271 signaux

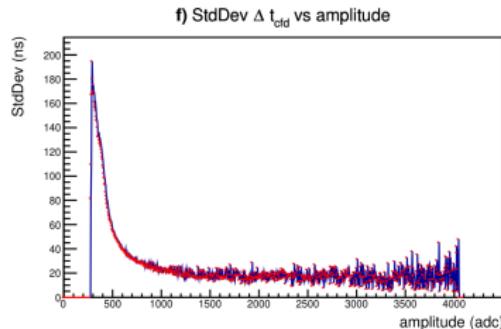
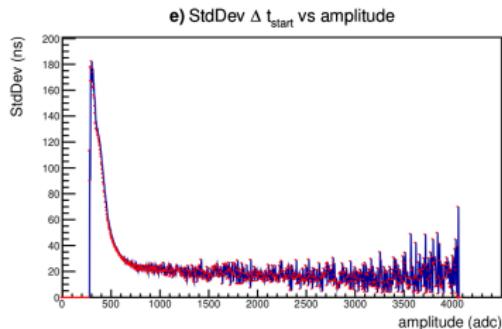
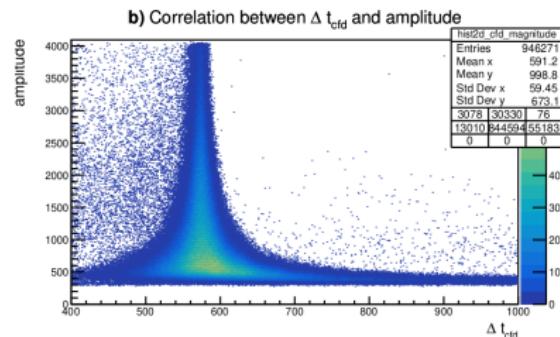
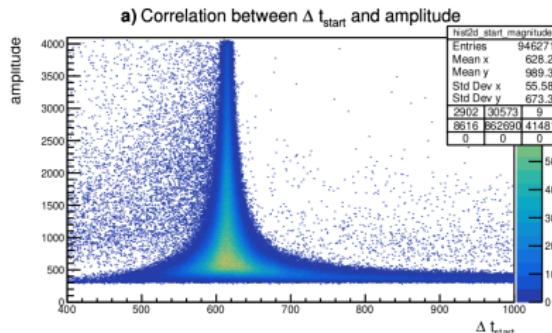


# Simulation d'ALERT 14/14

## ► Analyse

⇒ Test de l'efficacité du décodage

⇒ Qualité des temps reconstruits ( $t_{\text{start}}$ ,  $t_{\text{cfid}}$ )



# Conclusion

## ► ALERT

- Contribuer à une meilleure compréhension de la structure du nucléon
- Simulation ⇒ permet de développer des algorithmes robustes et efficaces
- Les algorithmes dépendent de paramètres qui peuvent être optimisés  
⇒ optimisation uniquement possible sur des données réelles