

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

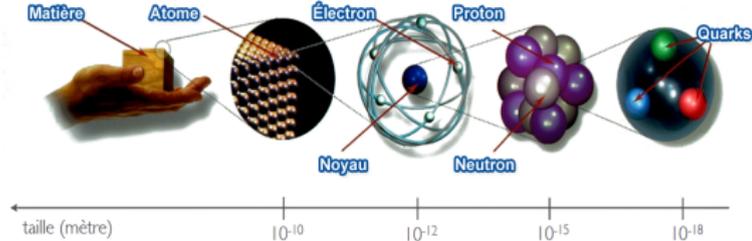
Simulation d'ALERT

Conclusion

Introduction

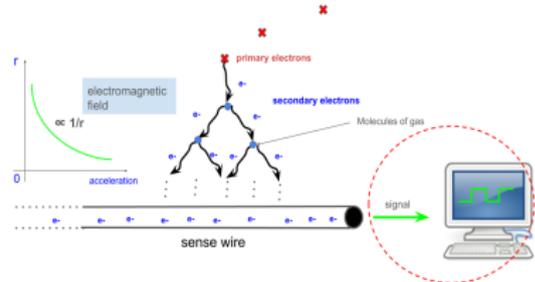
► C'est quoi ALERT ?

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



Source-image : Sciences Claires - Les particules élémentaires

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



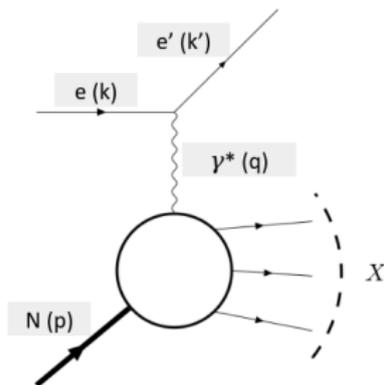
Organisation d'accueil

- ▶ 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 $\lambda = 1/\sqrt{Q^2}$

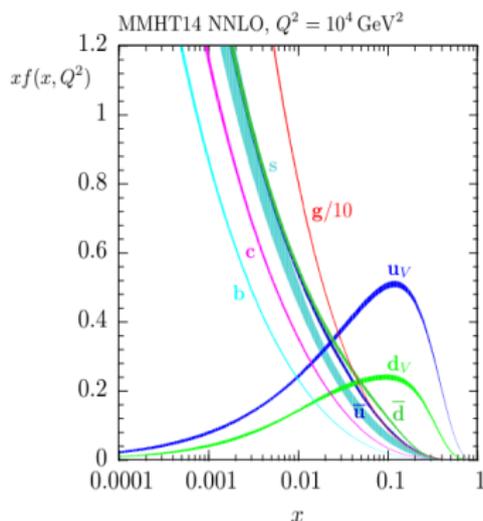
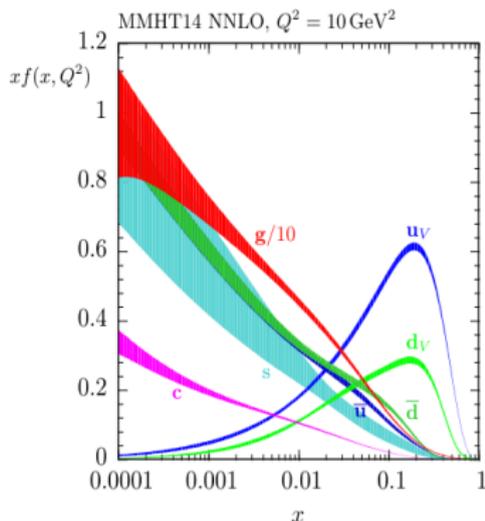
2 conditions :

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

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

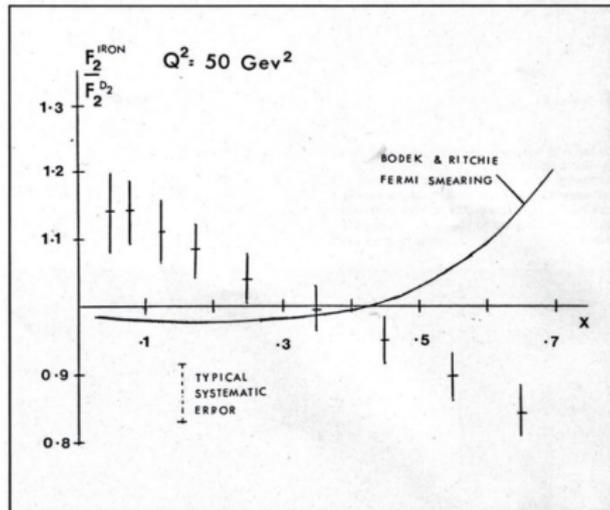
Motivation pour la physique 2/4

- 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

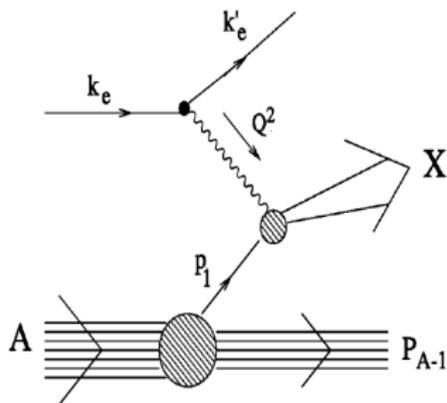
- Un objectif de la physique hadronique ?
 - Décrire la structure du nucléon en termes de quarks et gluons
 - Noyaux $A > 1$ ($E_{binding}^{nucleon} \ll E_{mass}^{nucleon}$)
 - l'Effet EMC (*European Muon Collaboration*) depuis 1982
 - de nombreuses théories associées mais aucun consensus



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 étiqueté sur ^4He et ^2H
 - Mécanisme du spectateur ou PWIA

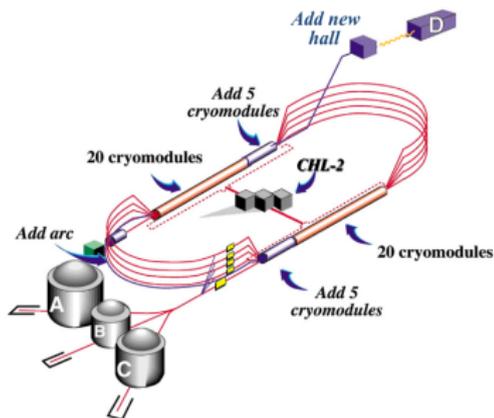


- ALERT est spécialement conçu pour détecter les noyaux spectateurs (^3He , ^3H , p)

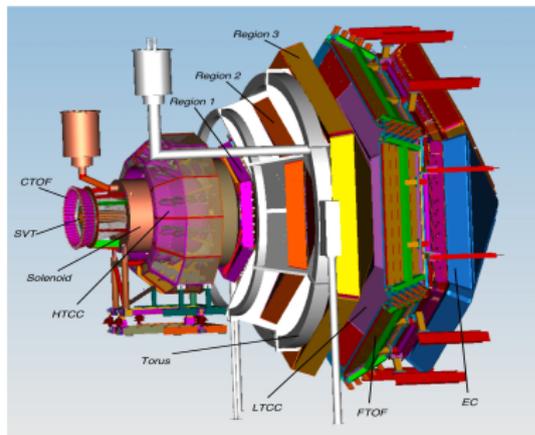
Dispositif expérimental 1/3

- ▶ 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

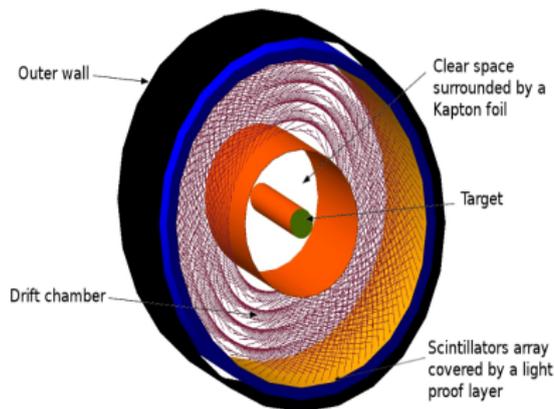


- Capable de délivrer un faisceau d'électrons polarisés en spin jusqu'à 12 GeV

Dispositif expérimental 2/3

► **A** **L**ow **E**nergy **R**ecoil **T**agger (ALERT)

→ Chambre à dérive hyperbolique + réseau de scintillateurs

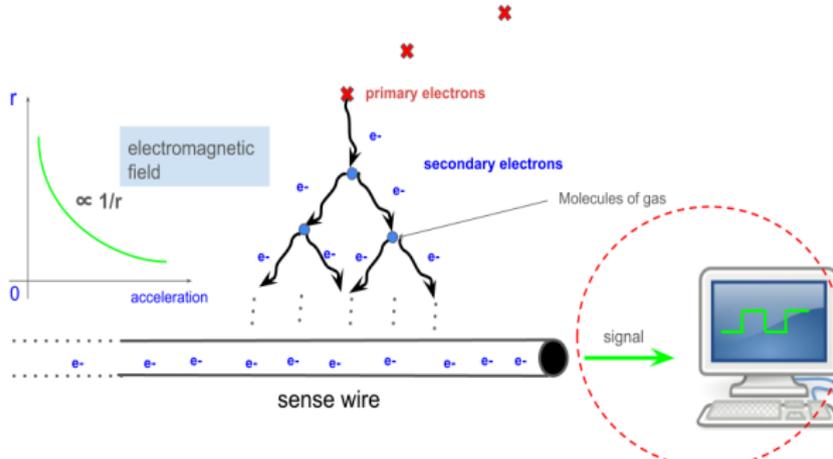
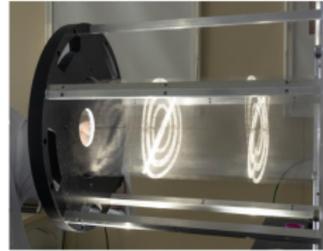
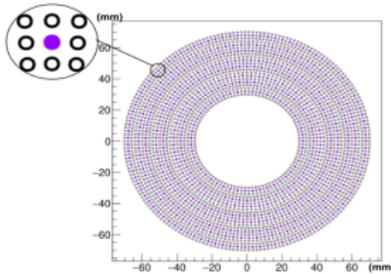


■ À présent : focus sur la chambre à dérive

Dispositif expérimental 3/3

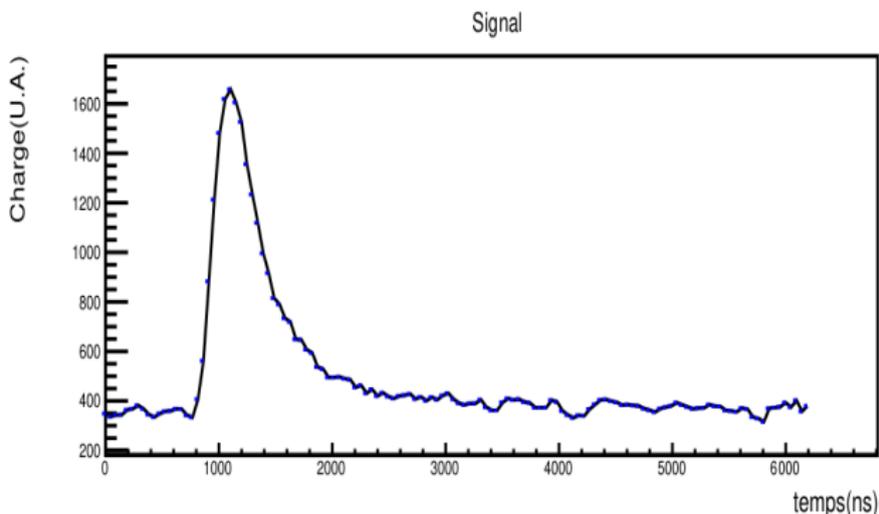
► La chambre à dérive d'ALERT

- détecteur gazeux : He (80 %) + CO₂ (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

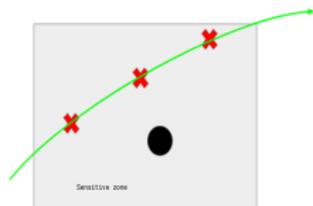
- Ce stage : retrouver ce type de signal en simulation

Simulation d'ALERT 2/14

- ▶ Point de départ

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

- ▶ 1^{er} réflexe : utiliser Geant4

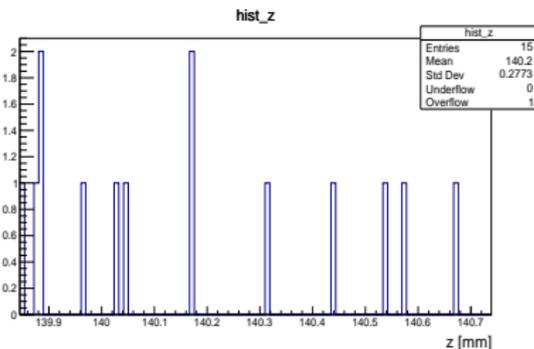
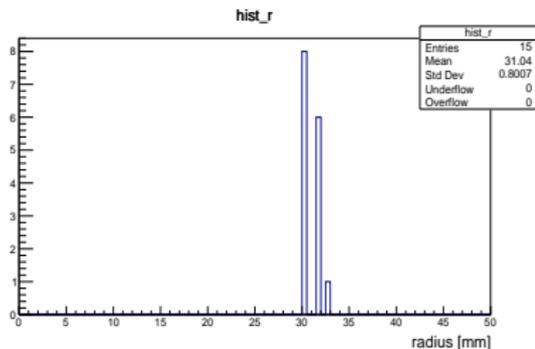
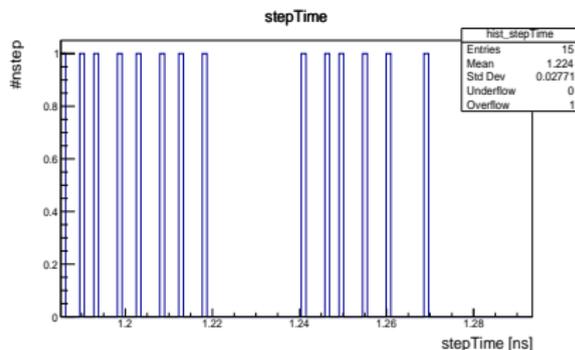
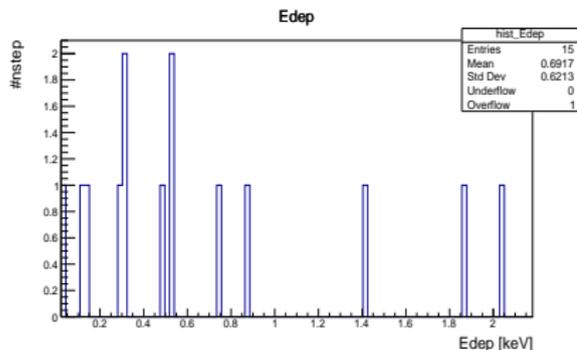


- Trajectoire décomposée en "étapes" de calcul
- "étape" \leftrightarrow objet C++
- "étape" $\supset \{ \Delta E_{dep}, x, y, z, p_x, p_y, p_z, Id_{vol} \}$

■ 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

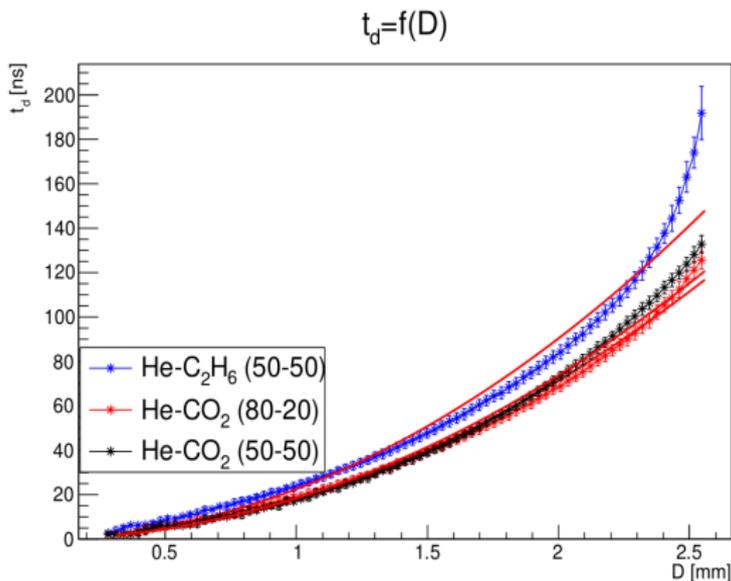
- Distributions des données contenues dans une collection de hit



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

Simulation d'ALERT 4/14

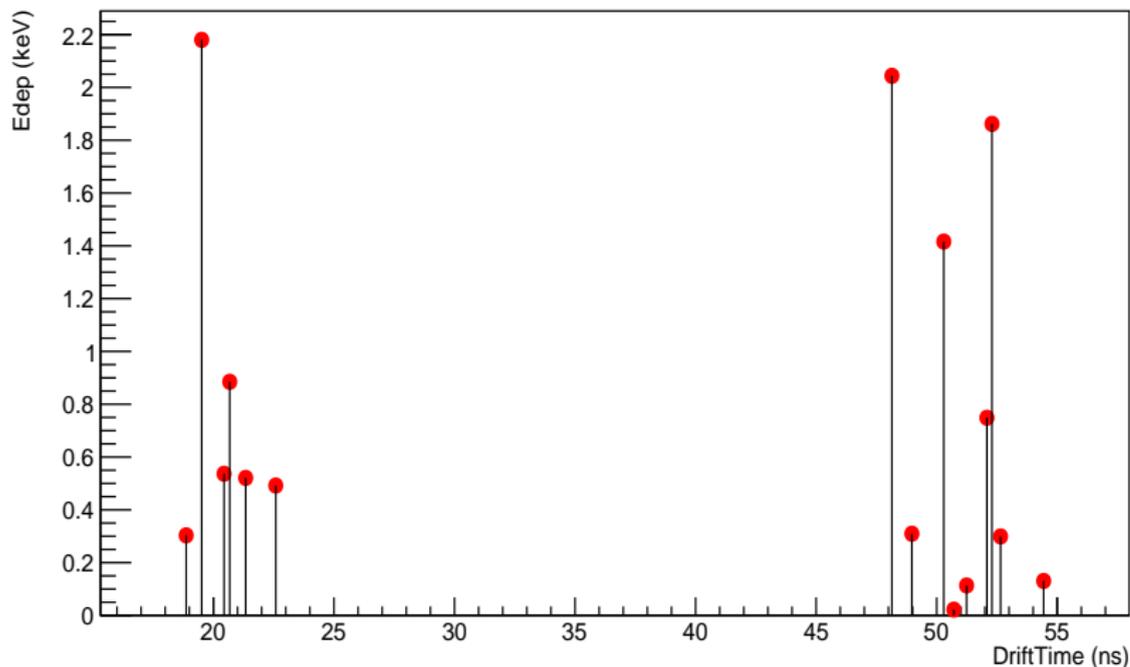
- Approche phénoménologique
- ▶ Relation temps de dérive VS distance



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

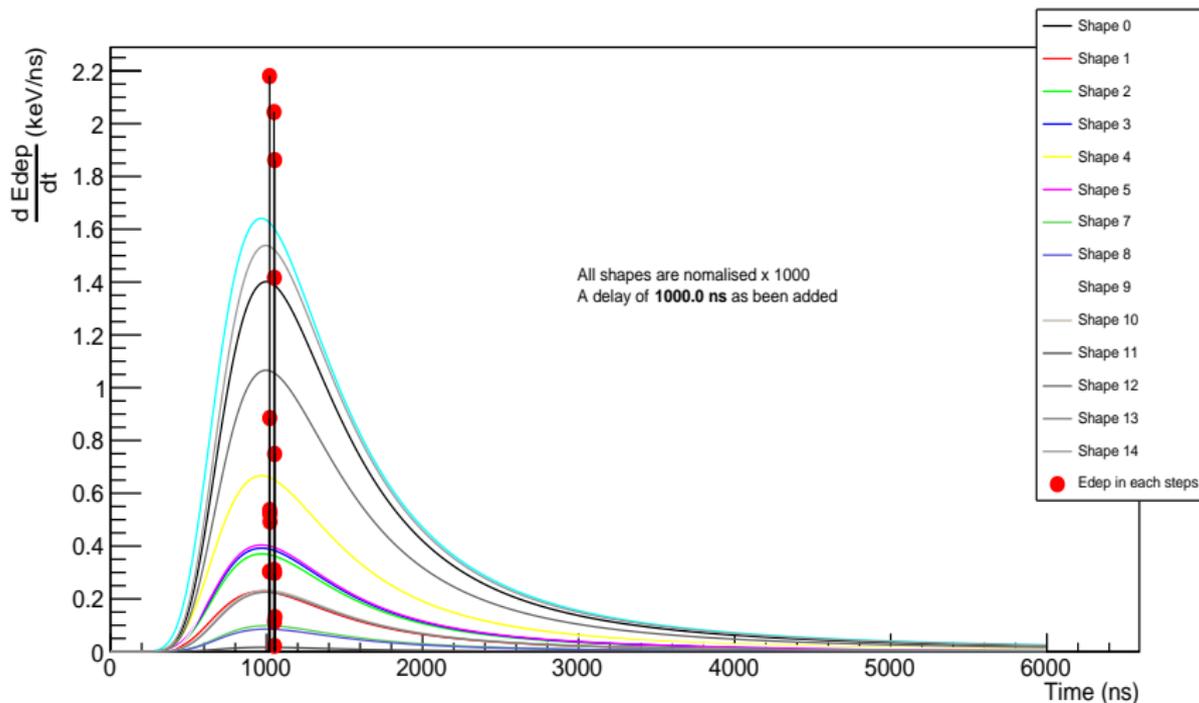
Simulation d'ALERT 5/14

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



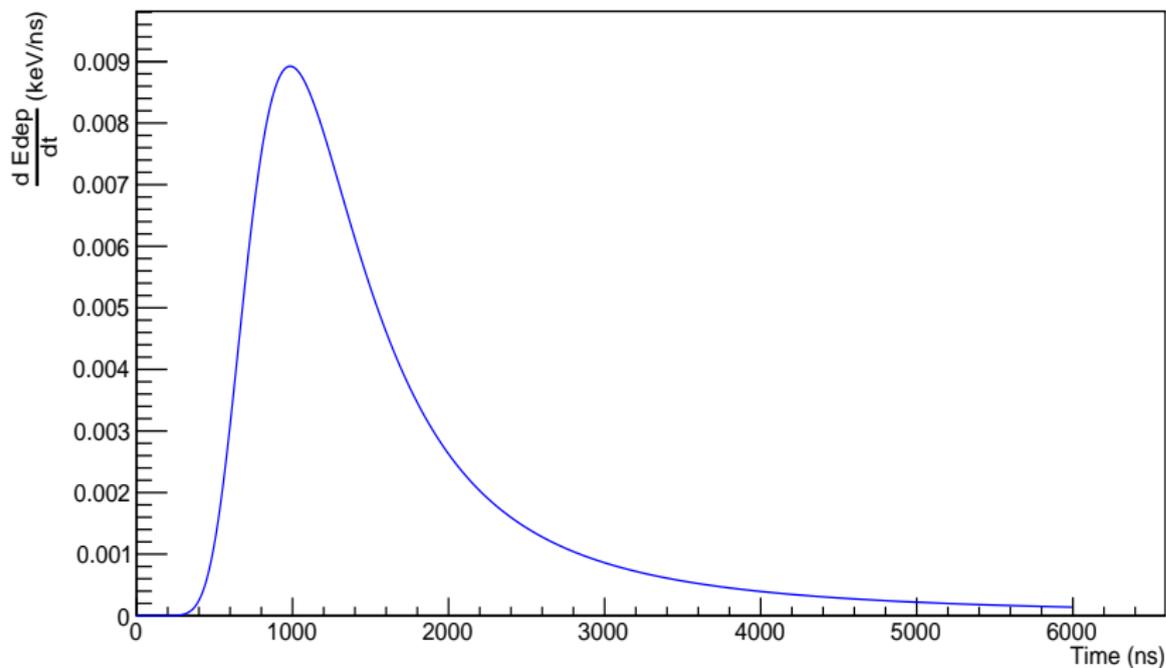
Simulation d'ALERT 6/14

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



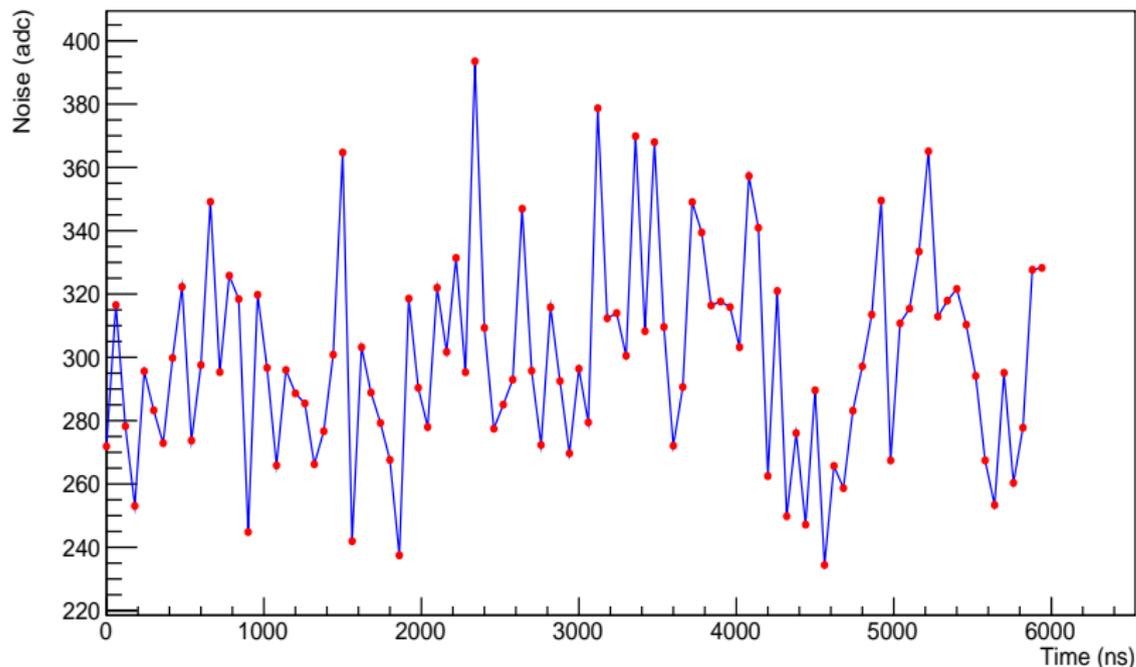
Simulation d'ALERT 7/14

- ▶ Changer chaque masse par une distribution étalée au cours du temps
 - ⇒ après sommation
 - ⇒ en général, résultat $\neq \mathcal{L}$ andau



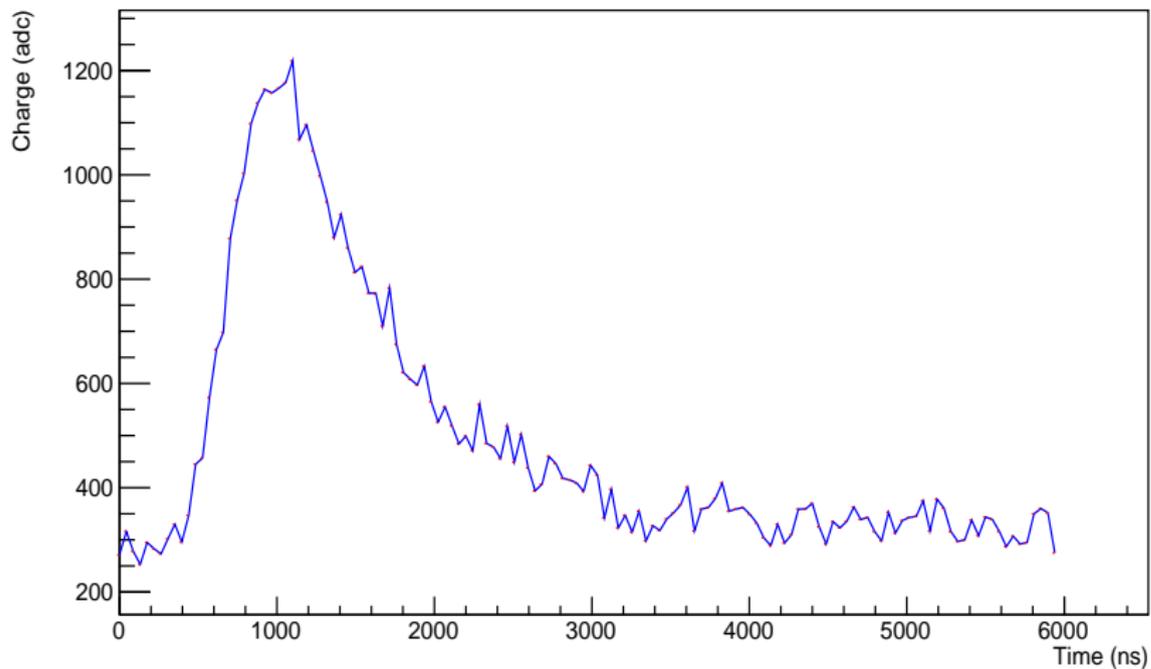
Simulation d'ALERT 8/14

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



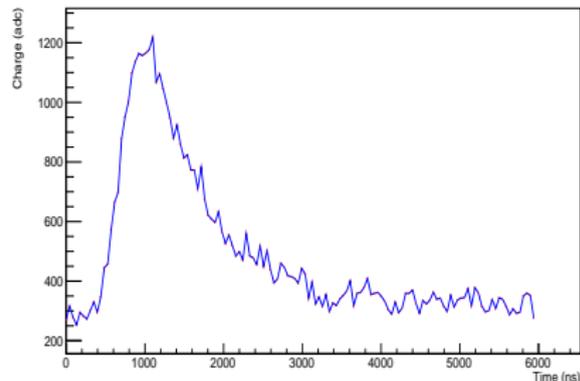
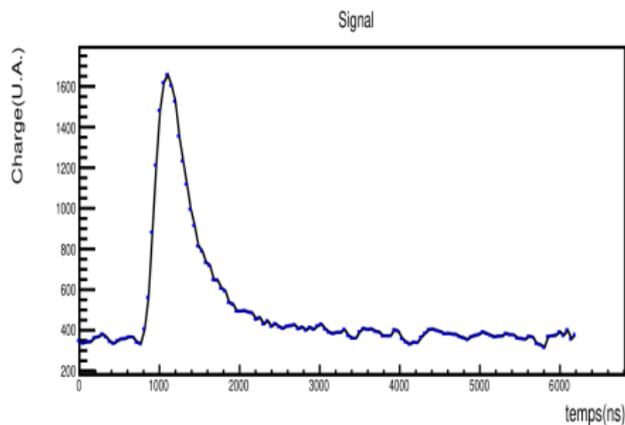
Simulation d'ALERT 9/14

► Résultat final



Simulation d'ALERT 10/14

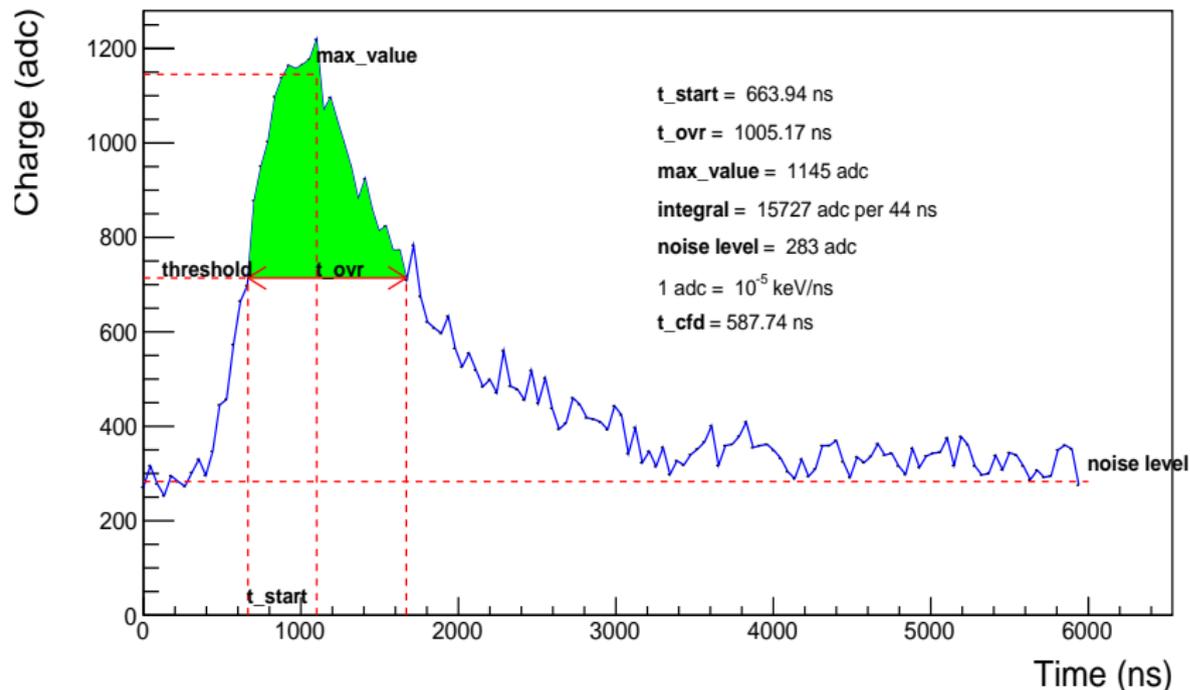
► Comparaison



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

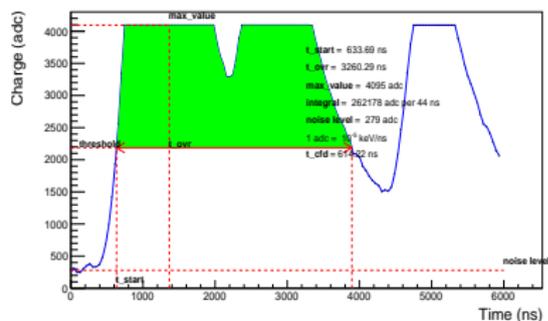
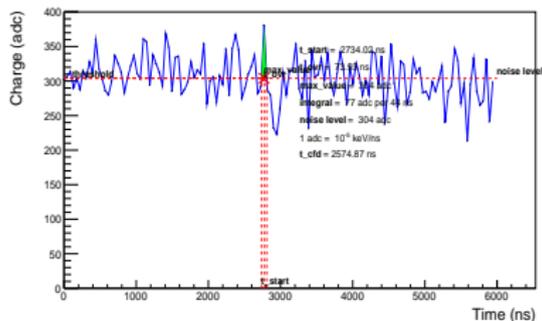
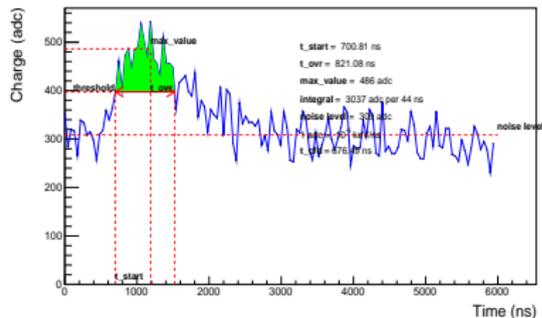
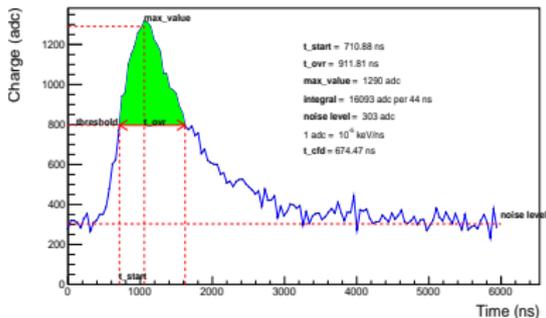
Simulation d'ALERT 11/14

► Décodage



Simulation d'ALERT 12/14

- ▶ Décodage
⇒ définition de convention pour résister à des situations très exotiques



Simulation d'ALERT 13/14

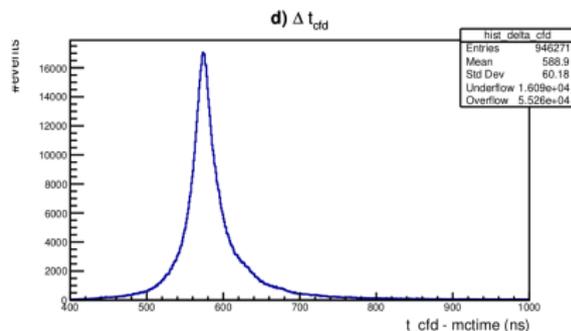
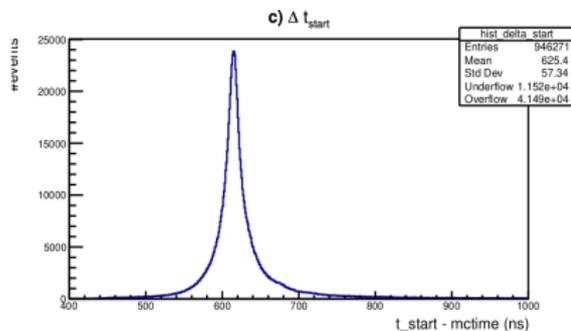
► Analyse

⇒ Test de l'efficacité du decodage

⇒ Qualité des temps reconstruits (t_{start} , t_{cfd})

⇒ 100 000 évènements

⇒ 946 271 signaux

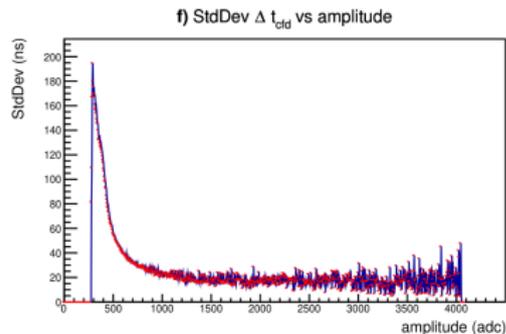
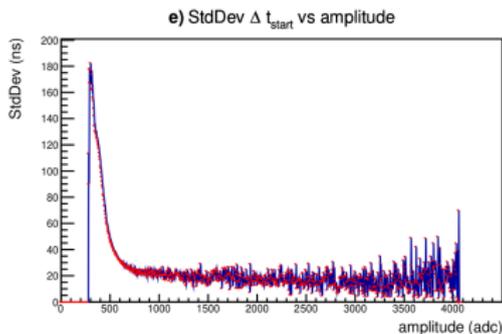
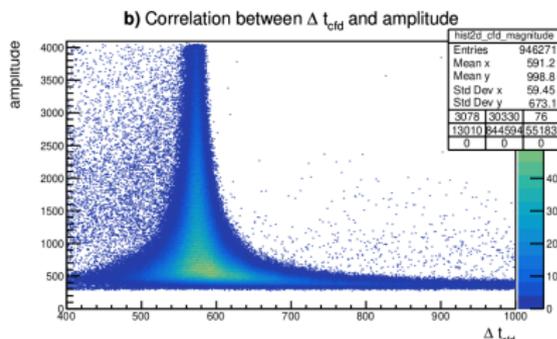
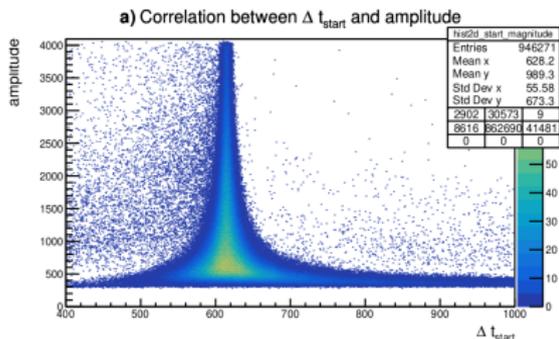


Simulation d'ALERT 14/14

► Analyse

⇒ Test de l'efficacité du décodage

⇒ Qualité des temps reconstruits (t_{start} , t_{cfd})



Conclusion

▶ ALERT

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