

Panorama sur l'avancement de la construction du détecteur XEMIS2

Nicolas Beaupère¹, Jean-Luc Béney¹, Théo Bossis¹, Thomas Carlier⁴, Michel Chérel⁴, Debora Giovagnoli⁵, Amaury Hervo¹, Jérôme Idier⁶, Françoise Kraeber-Bodéré⁷, Frédéric Lefevre¹, Olivier Lemaire¹, Patrick Leray¹, Eric Morteau¹, Patrice Pichot¹, Christophe Renard¹, Simon Stute⁴, Jean-Sébastien Stutzmann¹ et Dominique Thers¹

¹ Subatech, IMT Atlantique, CNRS/IN2P3, Nantes Université

⁴ CRCI2NA – INSERM

⁵ IMT Atlantique Brest

⁶ LS2N – CNRS

⁷ CHU de Nantes

Contact : bossis@subatech.in2p3.fr

Le projet XEMIS

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- Signal d'ionisation
 - › L'anode
 - › L'électronique froide
 - › La traversé froid-vide
 - › L'électronique sous vide
 - › Premier résultats
 - › Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - › Vue d'ensemble
 - › L'électronique
 - › La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions

XEMIS (Xenon Medical Imaging System)

Objectif : Produire des images de bonne résolution à partir de faibles activités radioactives sans augmenter le temps d'exposition

Ce qui est attendu : Par rapport aux caméras TEMP/TEP, l'activité injectée sera de l'ordre de 100 fois moins importante et la qualité d'image devrait être similaire

Preuve expérimentale de faisabilité : XEMIS2 pour le petit animal au CHU de Nantes

Moyens investigués : Grande efficacité de détection, revisite de l'imagerie Compton à grand champ de vue avec un télescope monolithique

Le projet XEMIS

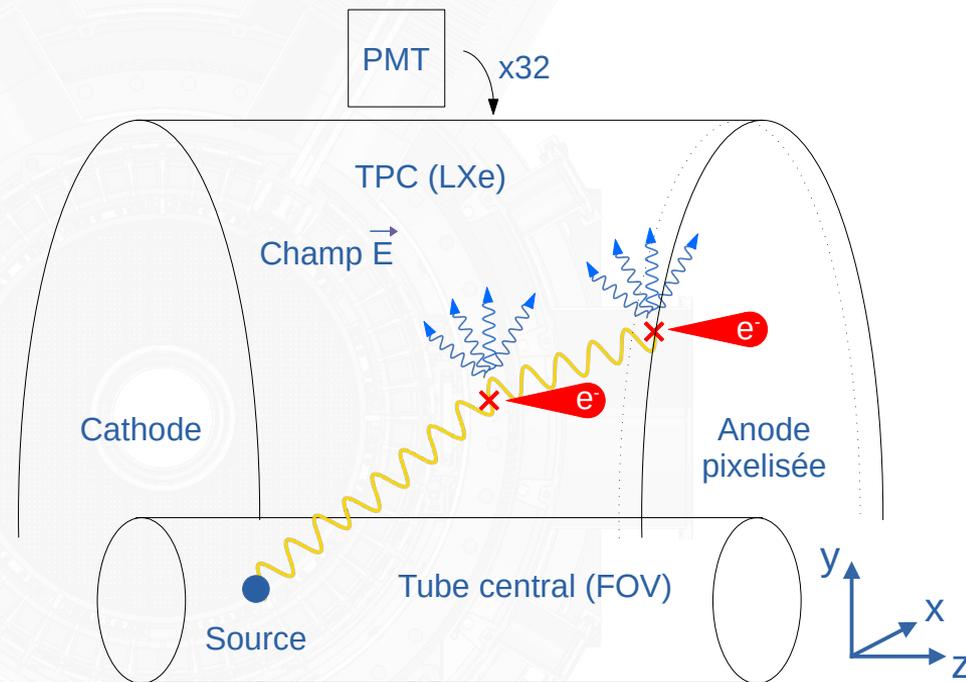
- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- Signal d'ionisation
 - ↳ L'anode
 - ↳ L'électronique froide
 - ↳ La traversé froid-vide
 - ↳ L'électronique sous vide
 - ↳ Premier résultats
 - ↳ Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - ↳ Vue d'ensemble
 - ↳ L'électronique
 - ↳ La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions

- Chambre à projection temporelle (TPC)
 - Minimum 1 Compton puis photoélectrique dans LXe
 - détecteur monolithique
- Scintillation : temps de l'évènement
- Ionisation : Position & énergie à chaque interaction
- Choix technologiques :
 - Lumière : 64 PMTs 1" installés sur XEMIS2
 - Charge : 20 000 pixels de 3x3 mm²



Le projet XEMIS

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

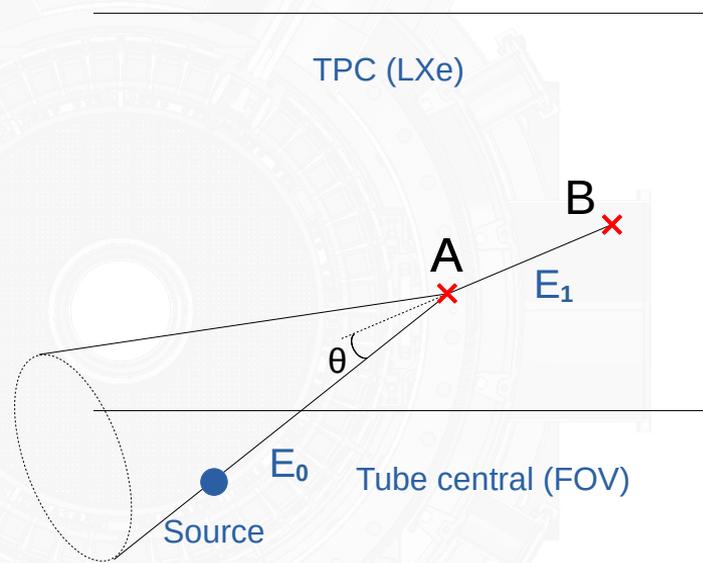
La caméra XEMIS2

- L'installation
- Signal d'ionisation
 - ↳ L'anode
 - ↳ L'électronique froide
 - ↳ La traversé froid-vide
 - ↳ L'électronique sous vide
 - ↳ Premier résultats
 - ↳ Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - ↳ Vue d'ensemble
 - ↳ L'électronique
 - ↳ La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions

- Minimum 1 Compton puis photoélectrique dans LXe
 - détecteur monolithique (80 % de Compton @ 511 keV, 96 % @ 1 MeV)
- Pour chaque évènement :
- Position (x,y,z) et E_{dep} à chaque interaction spatialement séparée
 - **Reconstruction 3D de la séquence Compton** (Tracking Compton spécifique aux instruments monolithiques)

$$\theta = \cos^{-1} [1 + m_e c^2 (E_0^{-1} - E_1^{-1})]$$



Le projet XEMIS

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- Signal d'ionisation
 - › L'anode
 - › L'électronique froide
 - › La traversé froid-vide
 - › L'électronique sous vide
 - › Premier résultats
 - › Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - › Vue d'ensemble
 - › L'électronique
 - › La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions

2010

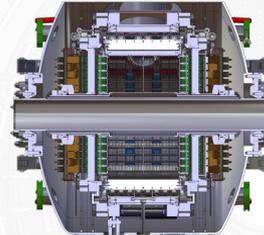


XEMIS1
R&D Prototype

30 kg
6 (12) cm
drift TPC

R&D en cours

2024

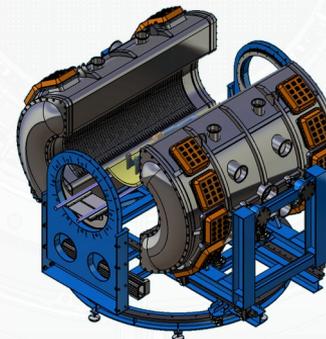


XEMIS2
Small animal imaging

200 kg
2 x 12 cm
drift TPC

Qualification fin 2024
Imagerie source, fantômes, petits
animaux à partir de 2025

A long terme



XEMIS3
Total body imaging
Hadron therapy
monitoring

2 tons
2 m long
12 cm drift TPC

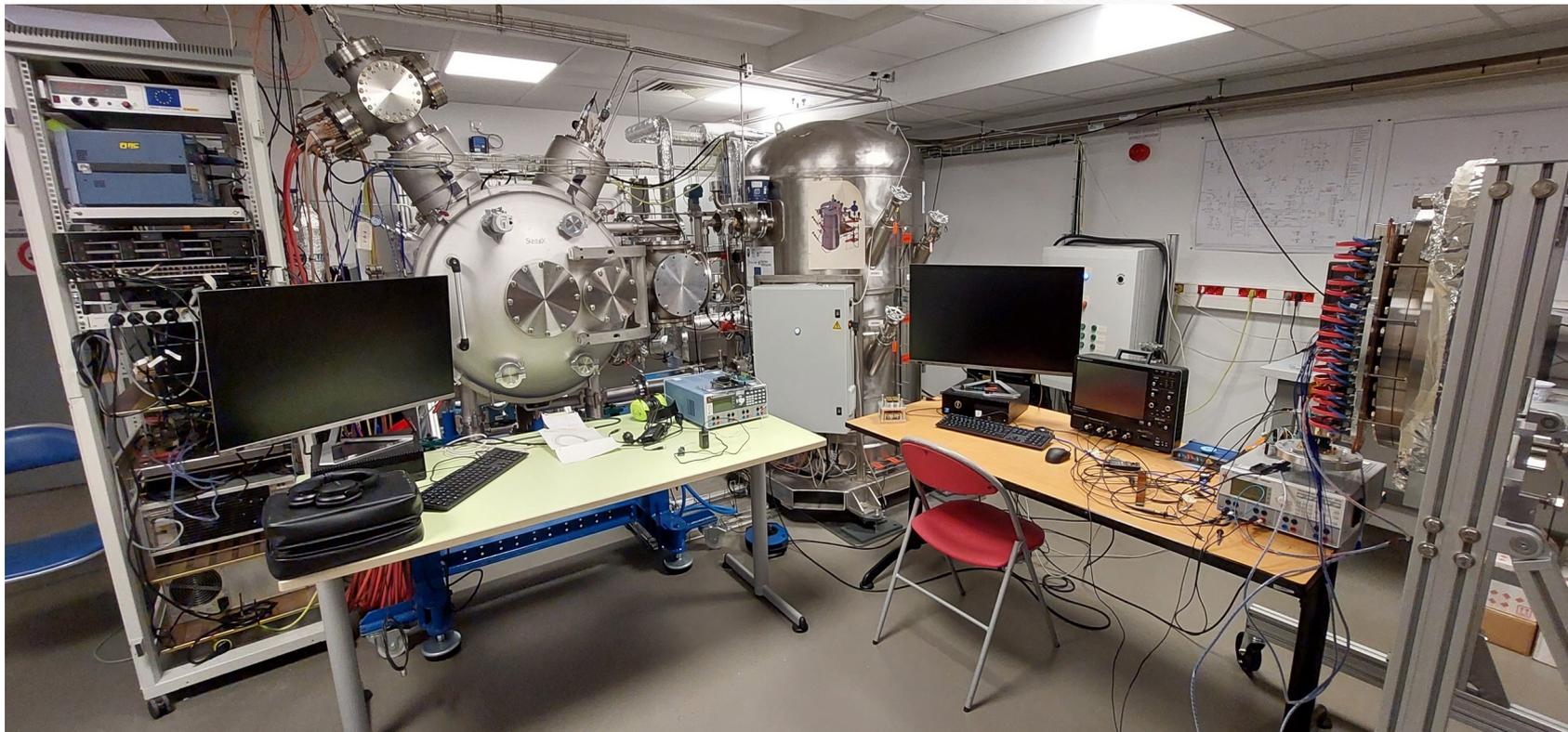
Le projet XEMIS

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- Signal d'ionisation
 - ↳ L'anode
 - ↳ L'électronique froide
 - ↳ La traversé froid-vide
 - ↳ L'électronique sous vide
 - ↳ Premier résultats
 - ↳ Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - ↳ Vue d'ensemble
 - ↳ L'électronique
 - ↳ La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions



Le projet XEMIS

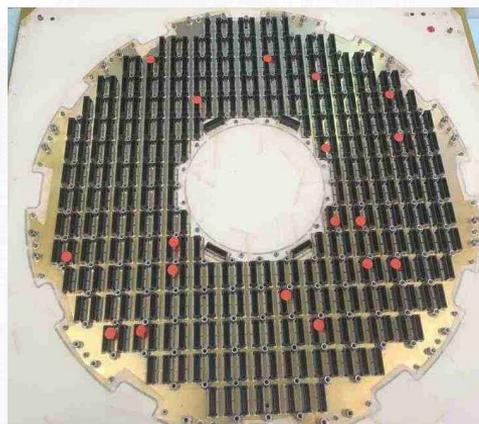
- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- **Signal d'ionisation**
 - L'anode
 - L'électronique froide
 - La traversé froid-vide
 - L'électronique sous vide
 - Premier résultats
 - Anneaux de champ
- **Signal de lumière**
 - Vue d'ensemble
 - L'électronique
 - La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions

Anode MIMELI
Imaginée & conçue @ CERN
(service détecteurs gazeux
micro-pattern)



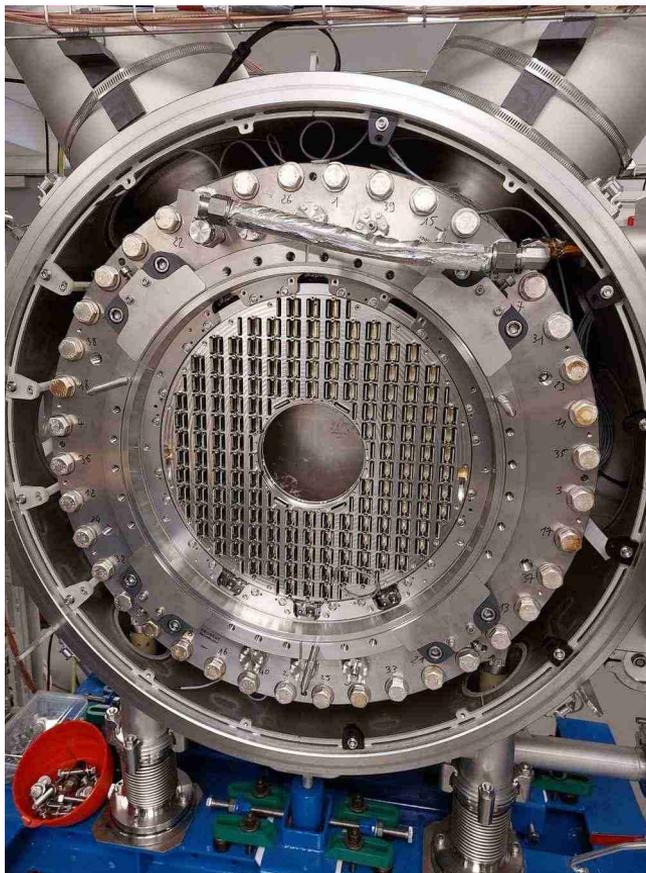
Le projet XEMIS2

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- **Signal d'ionisation**
 - ↳ L'anode
 - ↳ **L'électronique froide**
 - ↳ La traversé froid-vide
 - ↳ L'électronique sous vide
 - ↳ Premier résultats
 - ↳ Anneaux de champ
- **Signal de lumière**
 - ↳ Vue d'ensemble
 - ↳ L'électronique
 - ↳ La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions



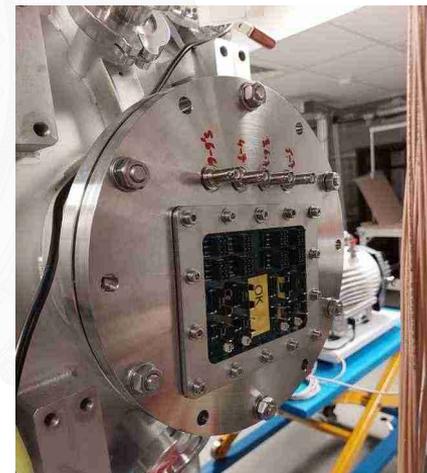
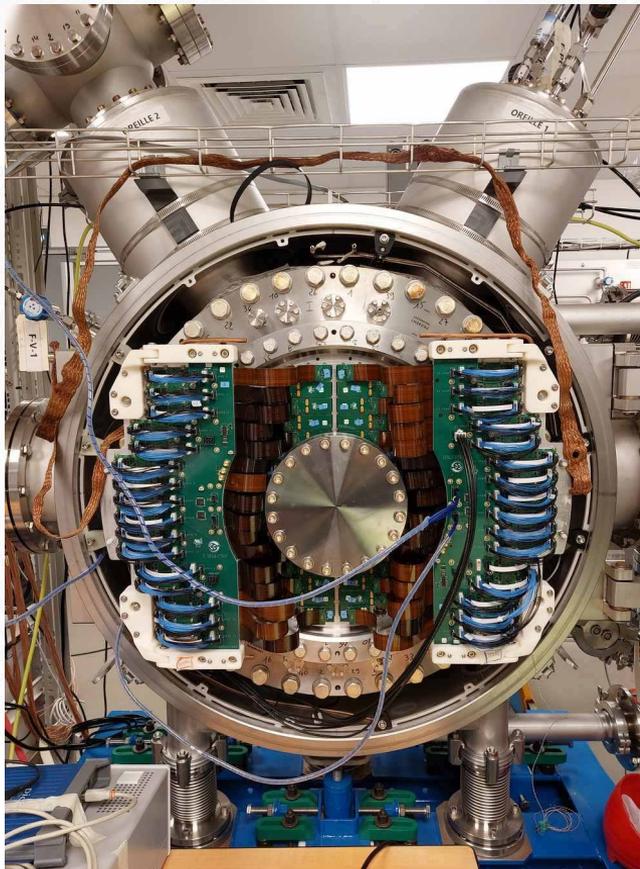
Le projet XEMIS2

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- **Signal d'ionisation**
 - ↳ L'anode
 - ↳ L'électronique froide
 - ↳ La traversé froid-vide
 - ↳ **L'électronique sous vide**
 - ↳ Premier résultats
 - ↳ Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - ↳ Vue d'ensemble
 - ↳ L'électronique
 - ↳ La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions



Le projet XEMIS2

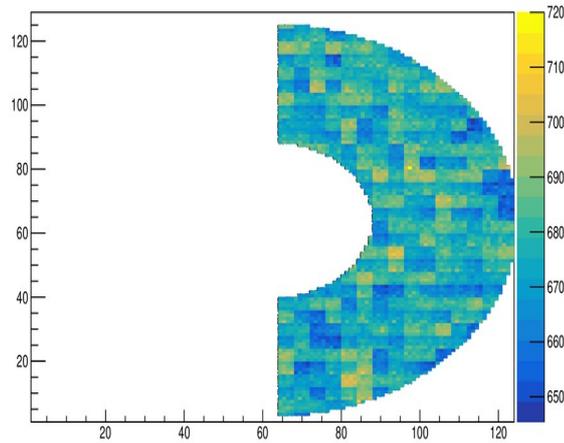
- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

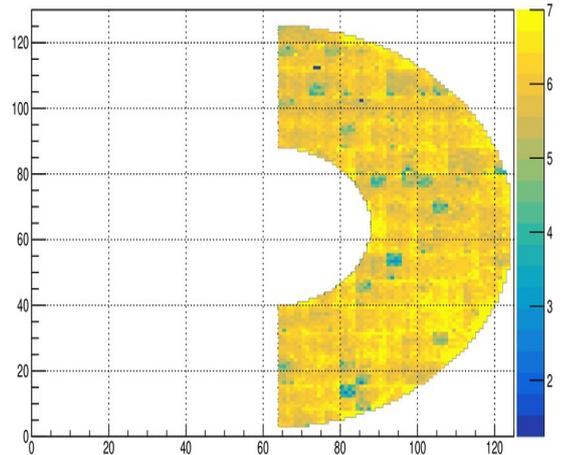
- L'installation
- **Signal d'ionisation**
 - L'anode
 - L'électronique froide
 - La traversé froid-vide
 - L'électronique sous vide
 - **Premier résultats**
 - Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - Vue d'ensemble
 - L'électronique
 - La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions

Quart de chambre

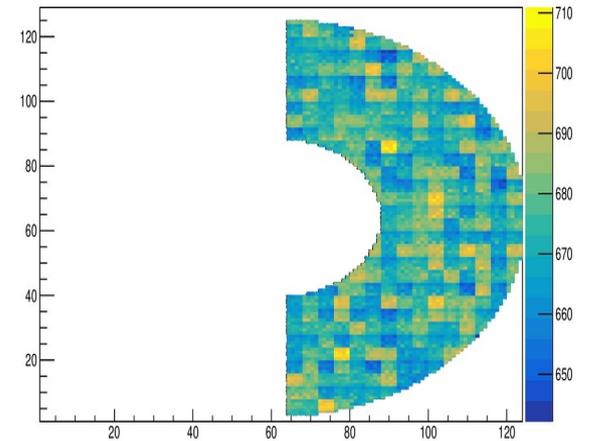


map of pixel noise

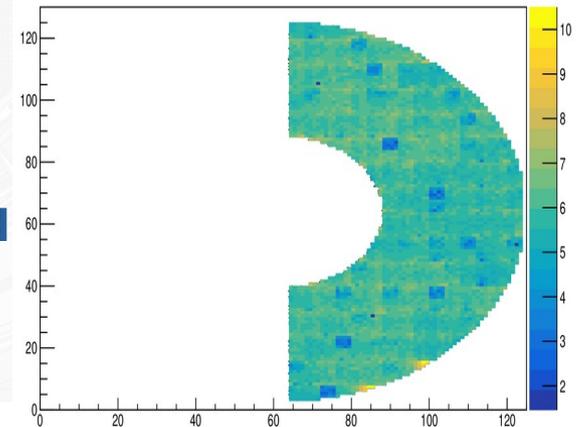


Piédestaux

Quart de chambre



map of pixel noise



Bruit
140 e⁻ à chaud

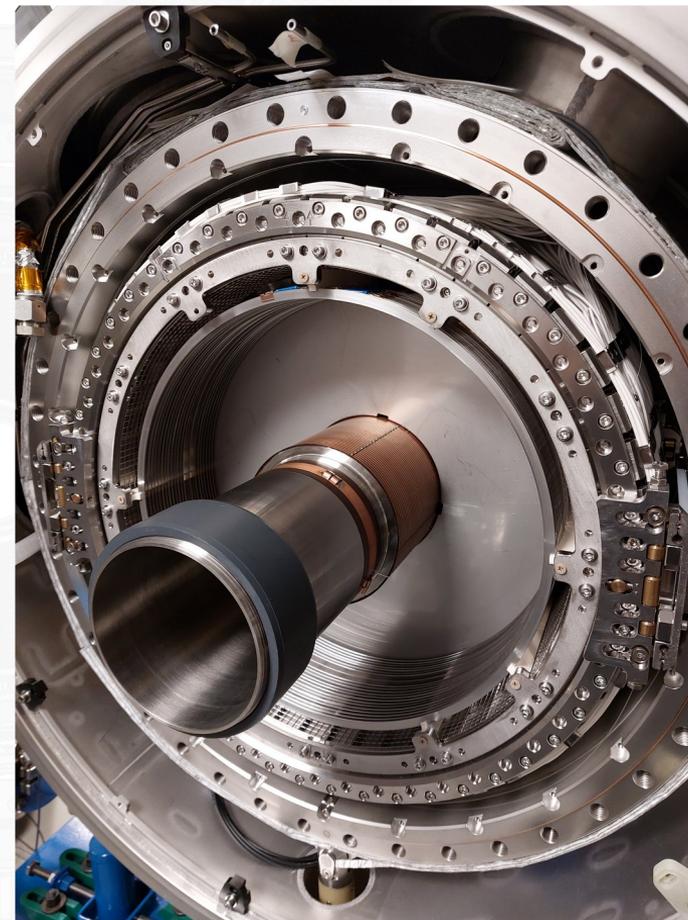
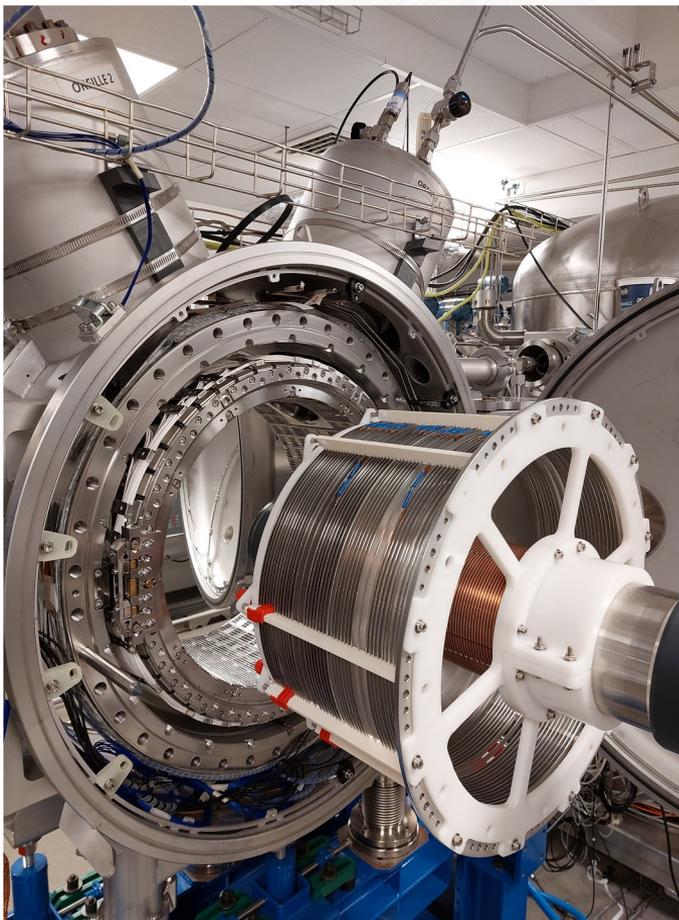
Le projet XEMIS2

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- **Signal d'ionisation**
 - L'anode
 - L'électronique froide
 - La traversé froid-vide
 - L'électronique sous vide
 - Premiers résultats
 - **Anneaux de champ**
- Signal de lumière
 - Vue d'ensemble
 - L'électronique
 - La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions



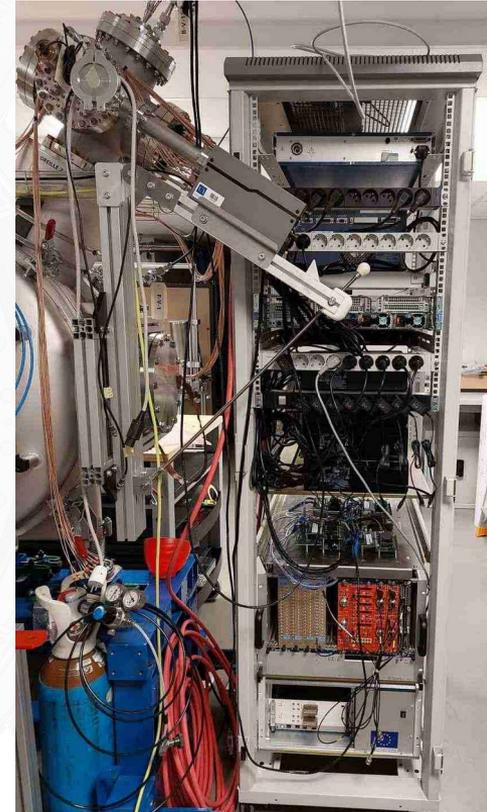
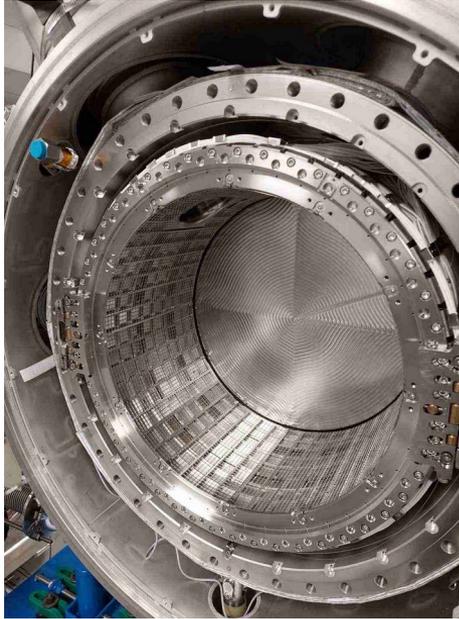
Le projet XEMIS

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- Signal d'ionisation
 - ↳ L'anode
 - ↳ L'électronique froide
 - ↳ La traversé froid-vide
 - ↳ L'électronique sous vide
 - ↳ Premier résultats
 - ↳ Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - ↳ Vue d'ensemble
 - ↳ L'électronique
 - ↳ La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions



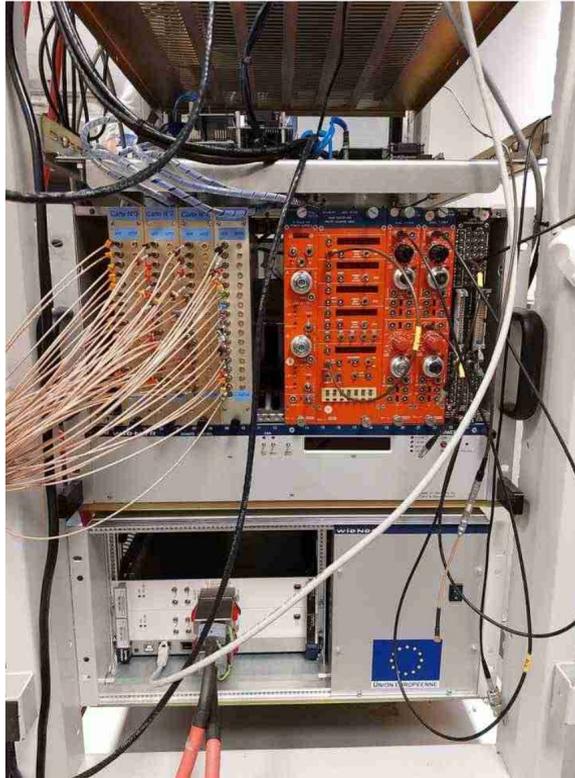
Le projet XEMIS2

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- Signal d'ionisation
 - ↳ L'anode
 - ↳ L'électronique froide
 - ↳ La traversé froid-vide
 - ↳ L'électronique sous vide
 - ↳ Premier résultats
 - ↳ Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - ↳ Vue d'ensemble
 - ↳ L'électronique
 - ↳ La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions



- 4 FPGA synchronisés à 200 MHz
- DAq Lumière @ 1 Mcps/voie stockés sur disque

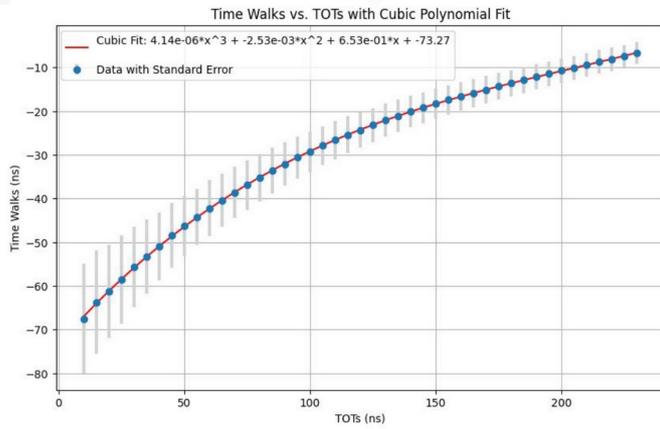
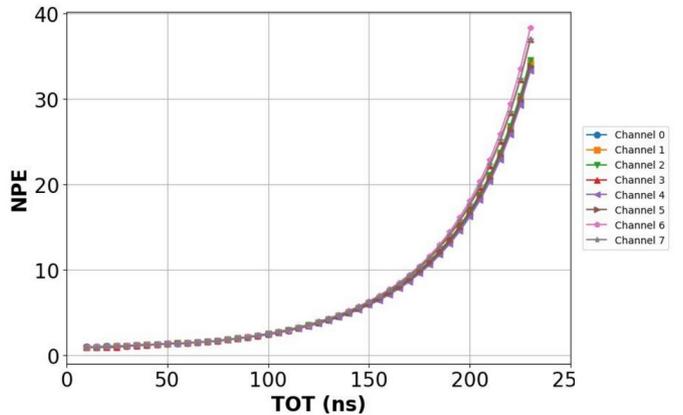
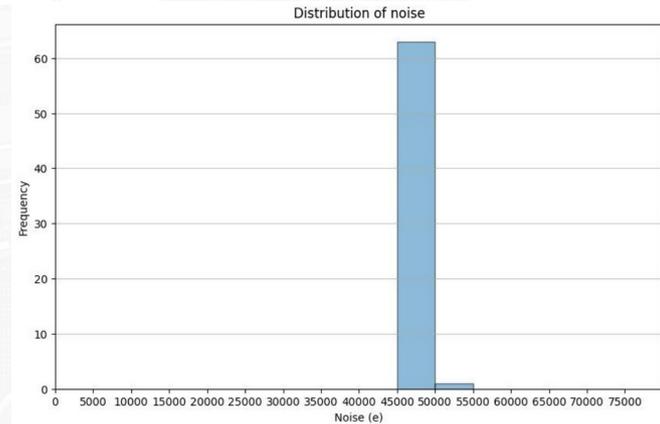
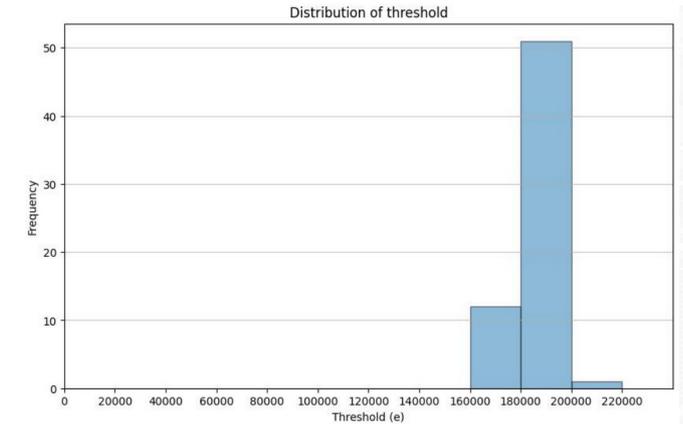
Le projet XEMIS

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- Signal d'ionisation
 - L'anode
 - L'électronique froide
 - La traversé froid-vide
 - L'électronique sous vide
 - Premier résultats
 - Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - Vue d'ensemble
 - L'électronique
 - La calibration
- Prochaines étapes

Conclusions



Le projet XEMIS

- L'objectif
- Intérêt XEMIS2
- Les 3 phases

La caméra XEMIS2

- L'installation
- Signal d'ionisation
 - › L'anode
 - › L'électronique froide
 - › La traversé froid-vide
 - › L'électronique sous vide
 - › Premier résultats
 - › Anneaux de champ
- Signal de lumière
 - › Vue d'ensemble
 - › L'électronique
 - › La calibration
- Les prochains défis

Conclusions

XEMIS2, beaucoup de travaux en cours :

- **Fin de l'installation et début de la qualification en 2024**
- **A partir de 2025 : Première images avec de multiples sources, fantômes et un petit animal le plus rapidement possible**
- **A partir de 2028 : Déménagement CHU de Nantes**
 - **Réinstallation de XEMIS2 au nouveau CHU en 2031**
- **Discussions en cours pour la période 2028-2031**

Nous sommes ouverts aux collaborations pour exploiter XEMIS2 !