

Vers une nouvelle imagerie médicale plus durable avec la caméra Compton XEMIS2



Journées Scientifiques

CL8 – Recherche et développement durable
en sciences, technologies et environnements

Nicolas Beaupère¹, Halim Benhabiles², Jean-Luc Béney¹, Théo Bossis¹, Thomas Carlier³, Michel Chérel³, Debora Giovagnoli⁴, Amaury Hervo¹, Jérôme Idier⁵, Vincent Jaouen¹, Françoise Kraeber-Bodéré⁶, Frédéric Lefevre¹, Olivier Lemaire¹, Patrick Leray¹, Eric Morteau¹, Patrice Pichot¹, Christophe Renard¹, Simon Stute³,
Jean-Sébastien Stutzmann¹ et Dominique Thers¹

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

² IMT Nord Europe

³ CRCI2NA – INSERM

⁴ IMT Atlantique Brest

⁵ LS2N – CNRS

⁶ CHU de Nantes

Contact : bossis@subatech.in2p3.fr

Radiopharmaceutiques

Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

Utilisation des radiopharmaceutiques à l'hôpital

Administration d'un **médicament radiopharmaceutique** :

- Ciblage d'une **fonction** ou d'un **organe**
- Radioactivité pour le **diagnostic** (imagerie) ou la **thérapie** (radiothérapie interne vectorisée, RIV)



En imagerie :

- La radioactivité **trace une fonction biologique** (γ)

En RIV :

- La radioactivité **délivre le traitement** (α , β , éventuellement γ)

Radiopharmaceutiques
Imagerie médicale nucléaire

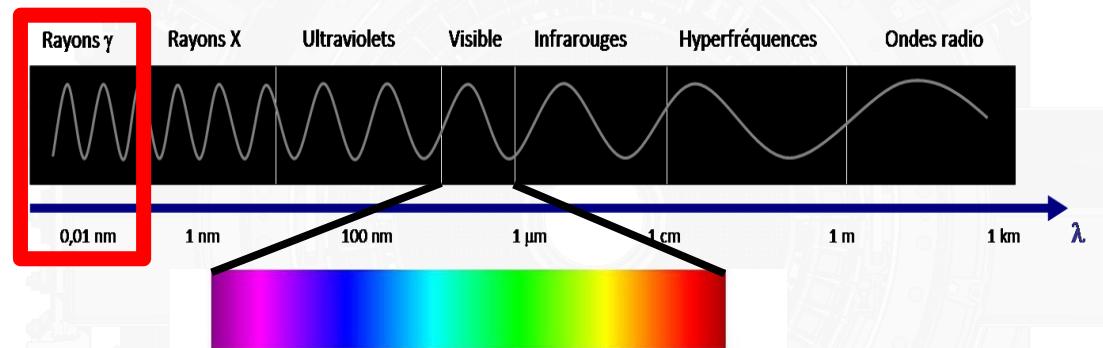
- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

Utilisation de détecteurs de rayonnement externes au patient :
→ Suivi de la distribution du radiopharmaceutique



Rayonnement gamma (γ) : propagation dans l'espace en ligne droite

Énergie γ : qq 100^{aines} de keV, fct^o de la profondeur des tissus imaginés

Radiopharmaceutiques
Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

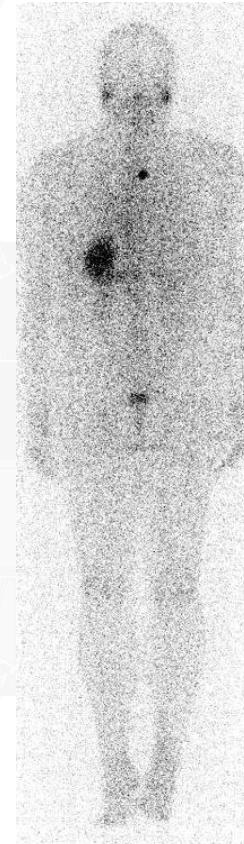
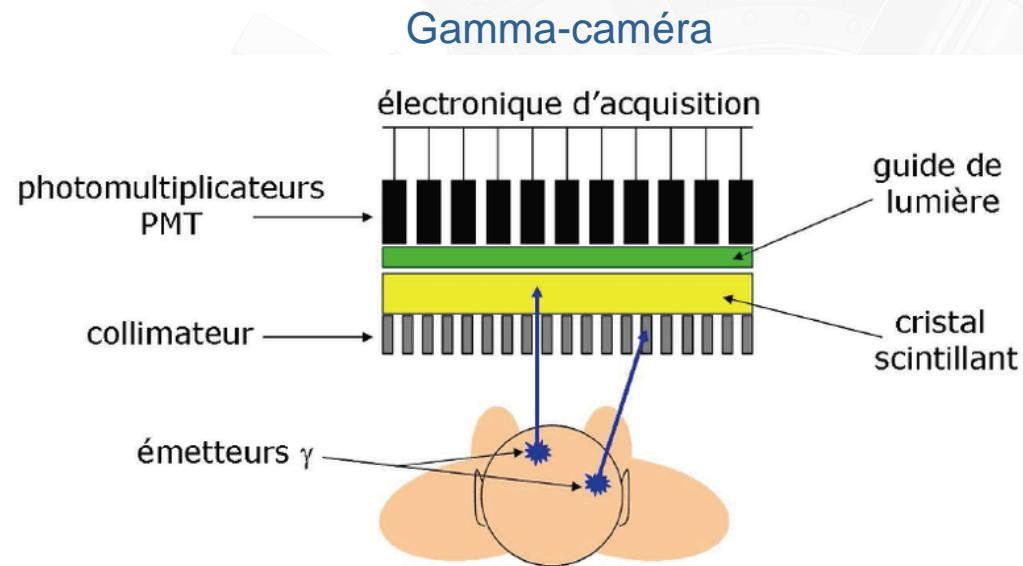


Image corps-entier à l'iode-123 d'un cancer de la thyroïde

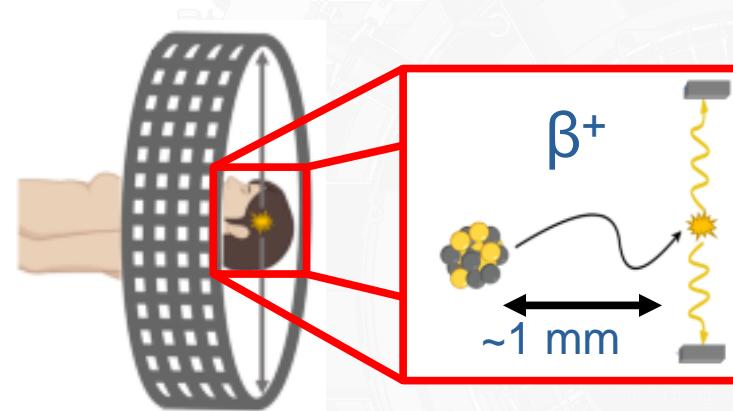
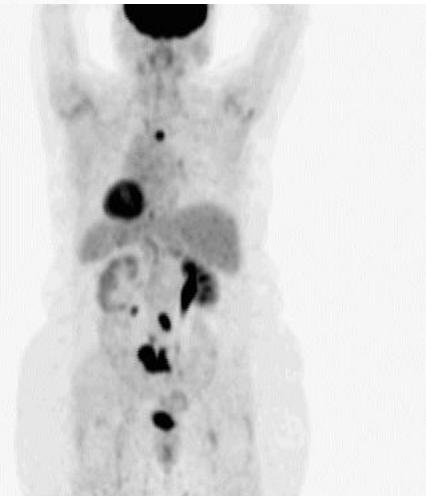
Radiopharmaceutiques
Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

Couronne de
détecteurs γ Image 3D au $^{18}\text{F-FDG}$

Radiopharmaceutiques

Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion



▪ Imagerie TEMP

Diagnostic :

- ^{99m}Tc (~150 keV)
- ^{201}TI (~150 keV)
- ^{123}I (~150 keV)

Thérapie :

- ^{177}Lu (200 keV)
- ^{131}I (~350 keV)

▪ Imagerie TEP

Diagnostic :

- ^{18}F (511 keV)
- ^{68}Ga (511 keV)

Radiopharmaceutiques
Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

XEMIS (Xenon Medical Imaging System)

Objectif : Proposer une nouvelle technologie de caméras pour l'imagerie Compton des gammas de haute énergie

Ce qui est attendu : Imagerie multimodale TEMP haute-énergie, TEP et 3-gammes

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

Radiopharmaceutiques
Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

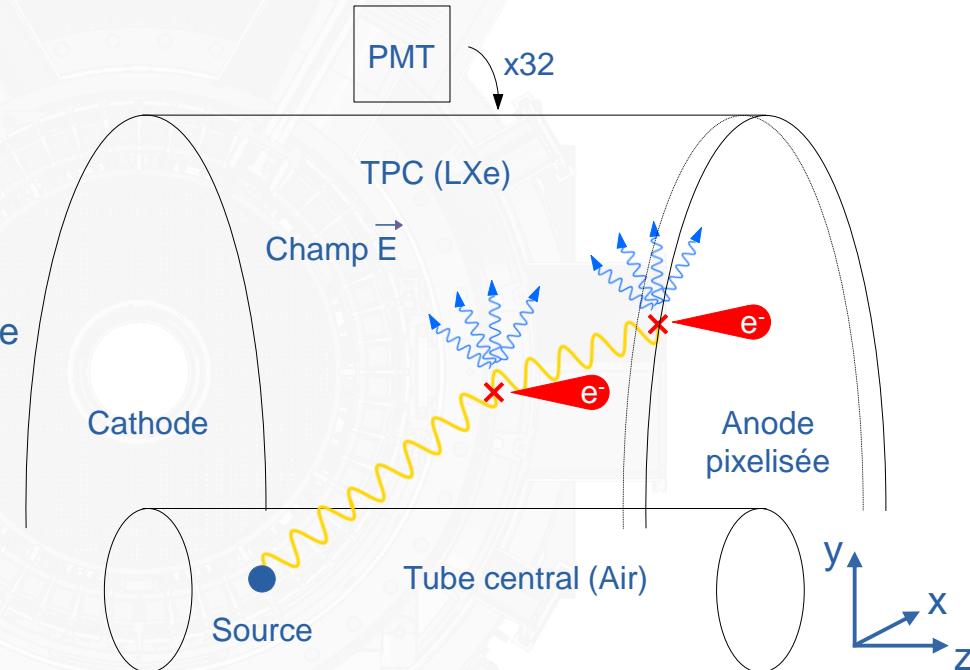
Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

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



Radiopharmaceutiques
Imagerie médicale nucléaire

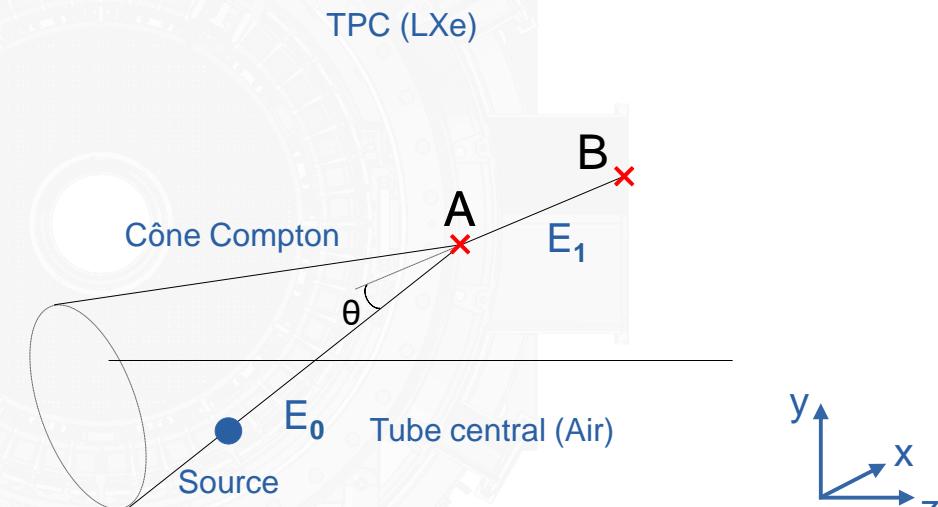
- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

- 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)



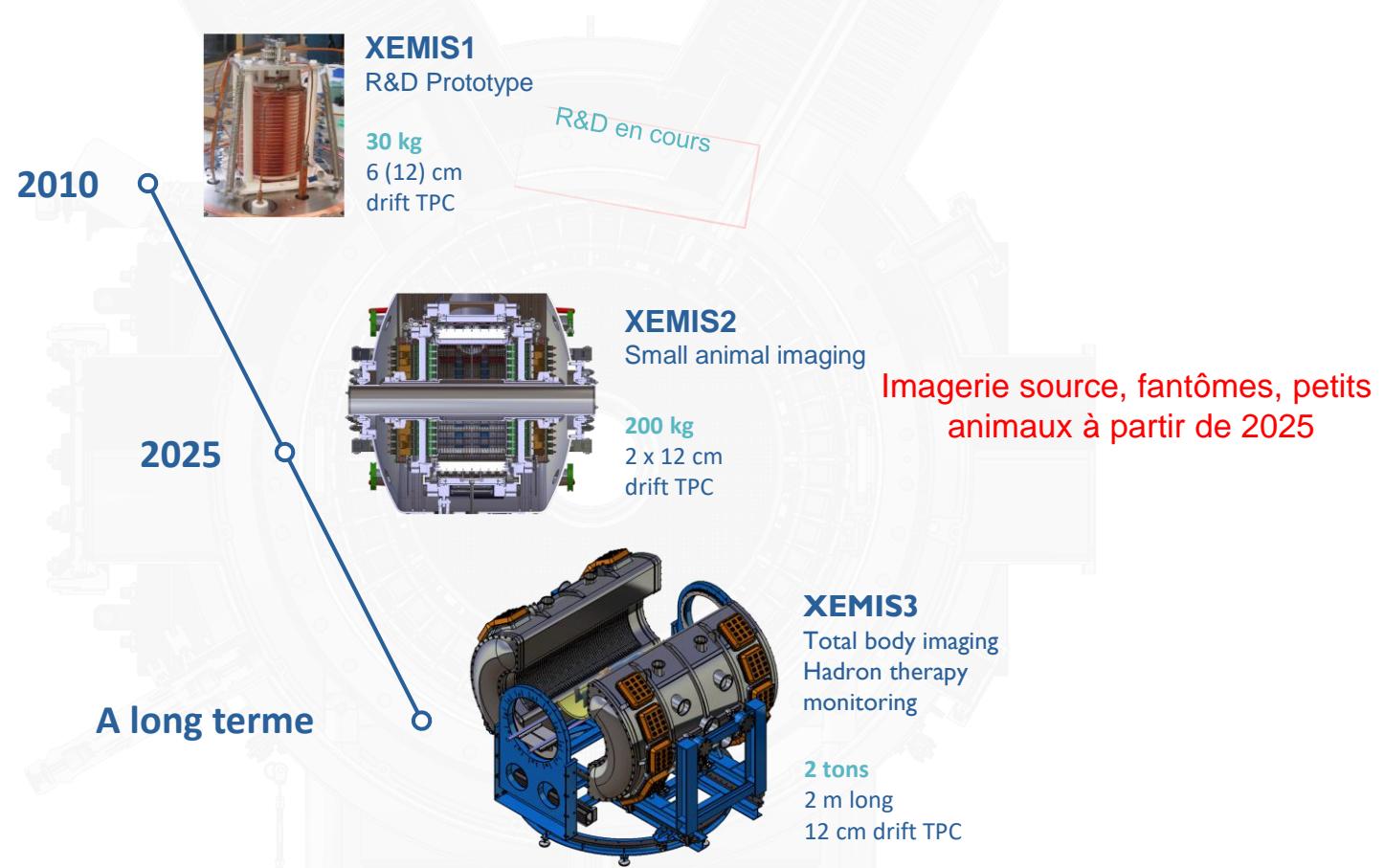
Radiopharmaceutiques Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion



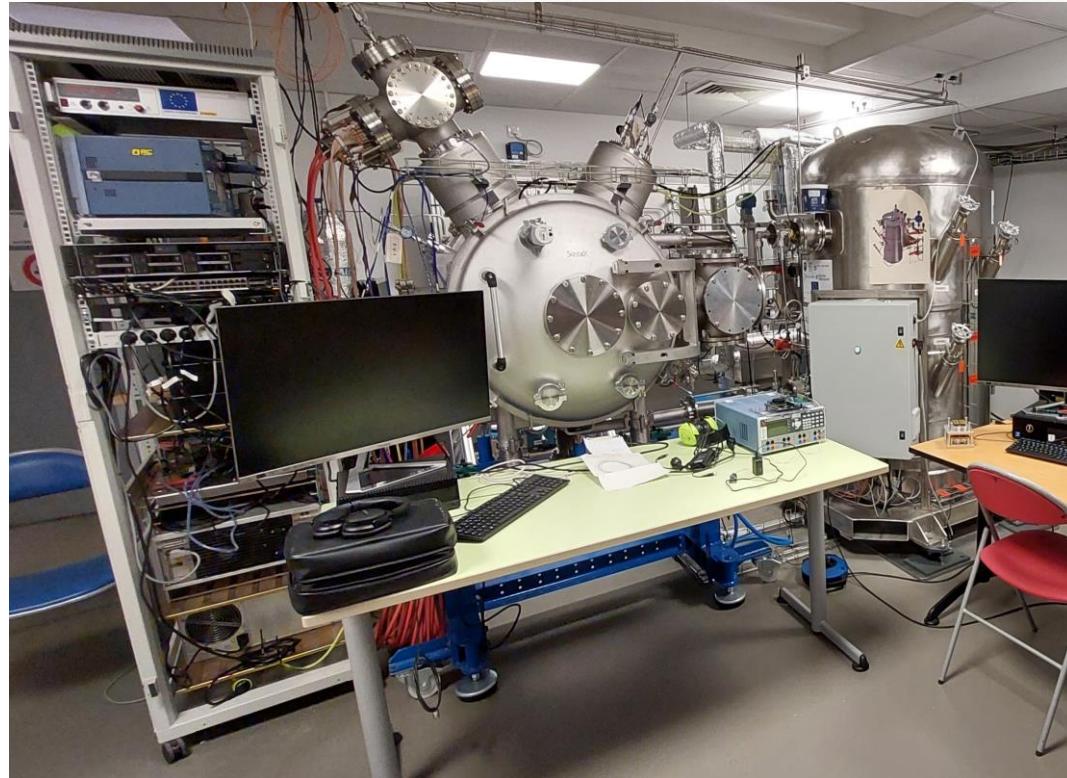
Radiopharmaceutiques Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU de Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion



XEMIS2



Micro-PET
commercial

Radiopharmaceutiques
Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

Imagerie multi-modale ET multi-traceurs :

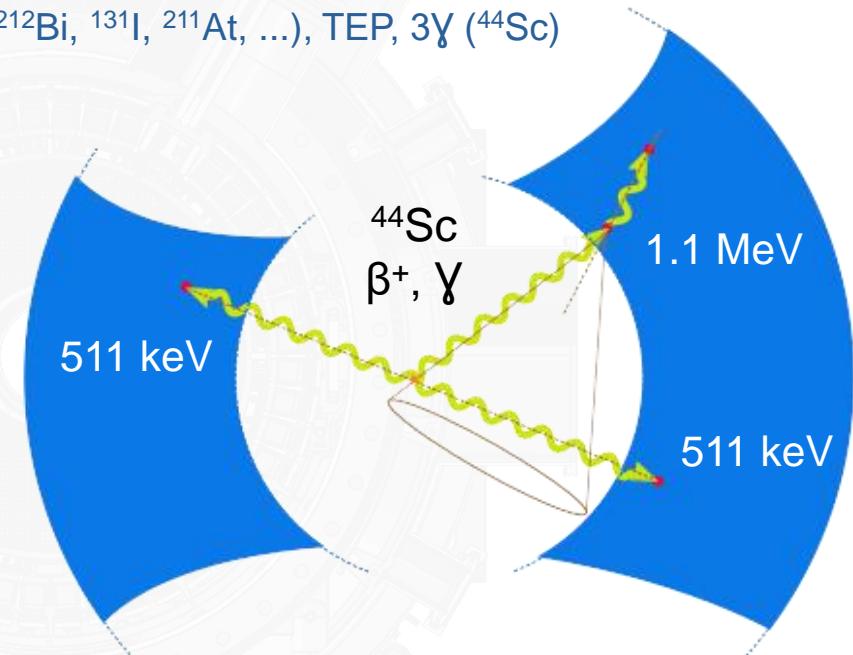
- $E_\gamma > 500$ keV → TEMP haute-énergie (^{212}Bi , ^{131}I , ^{211}At , ...), TEP, 3γ (^{44}Sc)

Imagerie 3γ :

- 100 fois moins de radioactivité
- Image 100 fois plus rapide
 - Volume patient augmenté
 - Études dynamiques

Xénon liquide :

- Présent dans l'atmosphère
- Gaz noble, pas de vieillissement



Radiopharmaceutiques Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

	Multi-modalité	Multi-traceur	$^{3\gamma}$	Xénon liquide
Sobriété énergétique	✓	✓	✓	✓
Efficacité matérielle	✓	✓	✓	✓
Technologie durable				✓
Assurer la santé et le bien-être de tous	✓	✓	✓	

Radiopharmaceutiques Imagerie médicale nucléaire

- TEMP
- TEP
- Imagerie en routine clinique

Projet XEMIS

- Télescope Compton
- Phases du projet
- Installation @ CHU Nantes
- Intérêt de XEMIS
- XEMIS & ODD

Conclusion

XEMIS2, beaucoup de travaux en cours pour un fort impact attendu :

- **2025 : Fin de l'installation et début de la qualification**
- **2025-2026 : Première images avec de multiples sources, fantômes et un petit animal le plus rapidement possible**
- **2026-2040 : Vaste programme d'imagerie et de contrôle nucléaire**
 - → **Instrument à haut potentiel scientifique & large impact grâce à l'imagerie :**
 - Multi-modale
 - Multi-traceurs
 - Haute sensibilité
- **Panel de diagnostic et d'imagerie plus large : RIV, hadronthérapie, ...**



Journées Scientifiques

CL8 – Recherche et développement durable
en sciences, technologies et environnements

Merci pour votre attention !