

# Génération de sources de neutrons pilotées par le laser PETAL à partir de convertisseurs double-couche

Lucas Ribotte<sup>1,2</sup>, R. Lelièvre<sup>3</sup>, G. Boutoux<sup>1</sup>,  
C. Rousseaux<sup>1</sup>, X. Davoine<sup>1,4</sup>, L. Gremillet<sup>1,4</sup>,  
I. Lantuéjou<sup>1</sup>, B. Vauzour<sup>1</sup>, V. Hénou<sup>1</sup>, O. Landoas<sup>1</sup>,  
T. Ferraro<sup>1</sup>, V. Mary<sup>1</sup>, P. Romain<sup>1</sup>, N. Blanchot<sup>5</sup>,  
C. Chappuis<sup>5</sup>, R. du Jeu<sup>5</sup>, B. Etchessahar<sup>5</sup>, B.  
Mahieu<sup>1</sup>, M. Bardon<sup>2</sup>, D. Raffestin<sup>2</sup>, P. Nicolai<sup>2</sup>, E.  
d'Humières<sup>2</sup>, and J. Fuchs<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpaçon, France

<sup>2</sup>CELIA, Université de Bordeaux-CNRS-CEA, UMR 5107, 33405 Talence, France

<sup>3</sup>LULI, F-91128 Palaiseau, France

<sup>4</sup>Université Paris-Saclay, CEA, LMCE, 91680 Bruyères-le-Châtel, France

<sup>5</sup>CEA, DAM, CESTA, F-33116 Le Barp, France





# 1. Introduction

Sources de neutrons pilotées par laser

# Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)

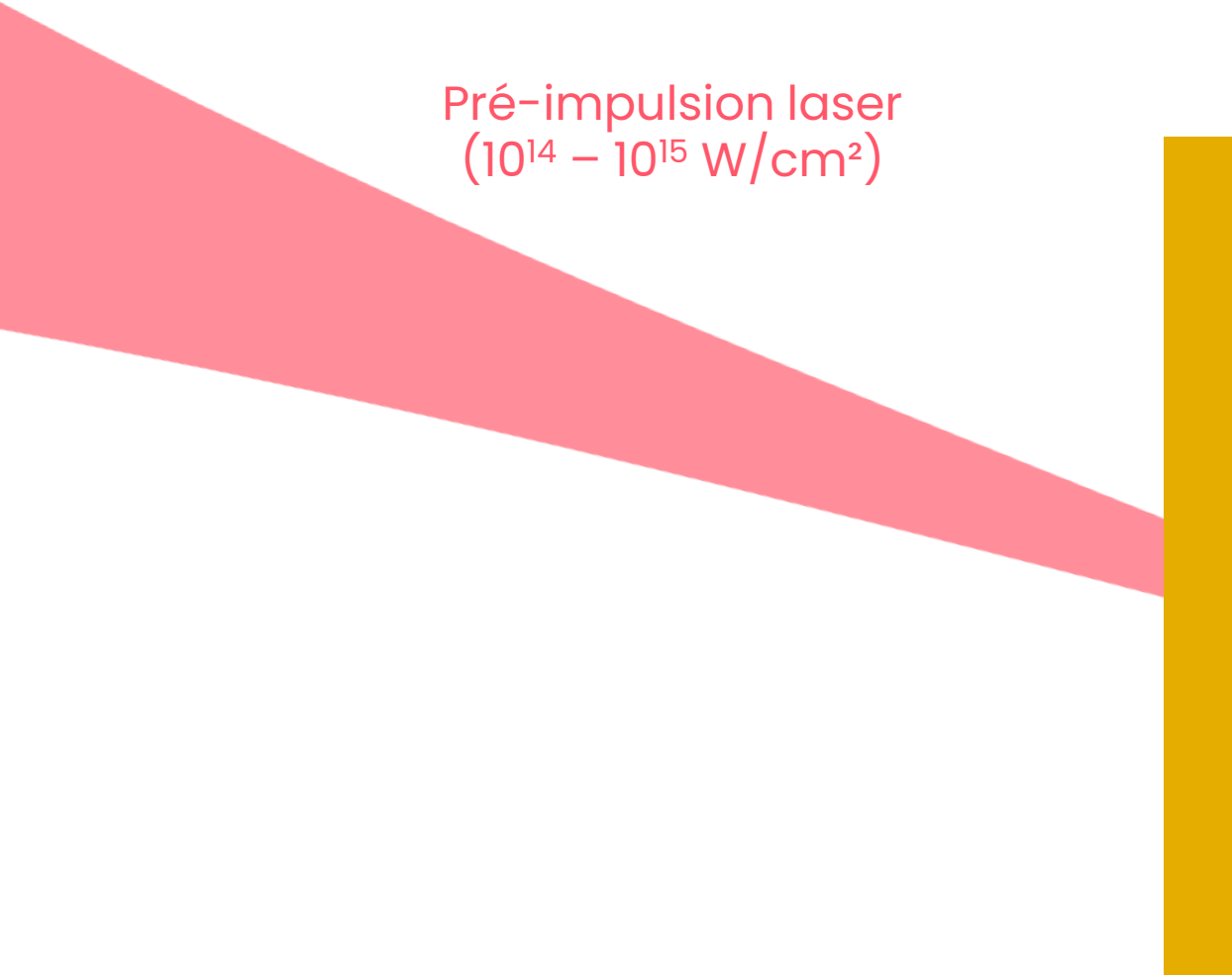


Cible fine (nm,  $\mu\text{m}$ )

# Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)

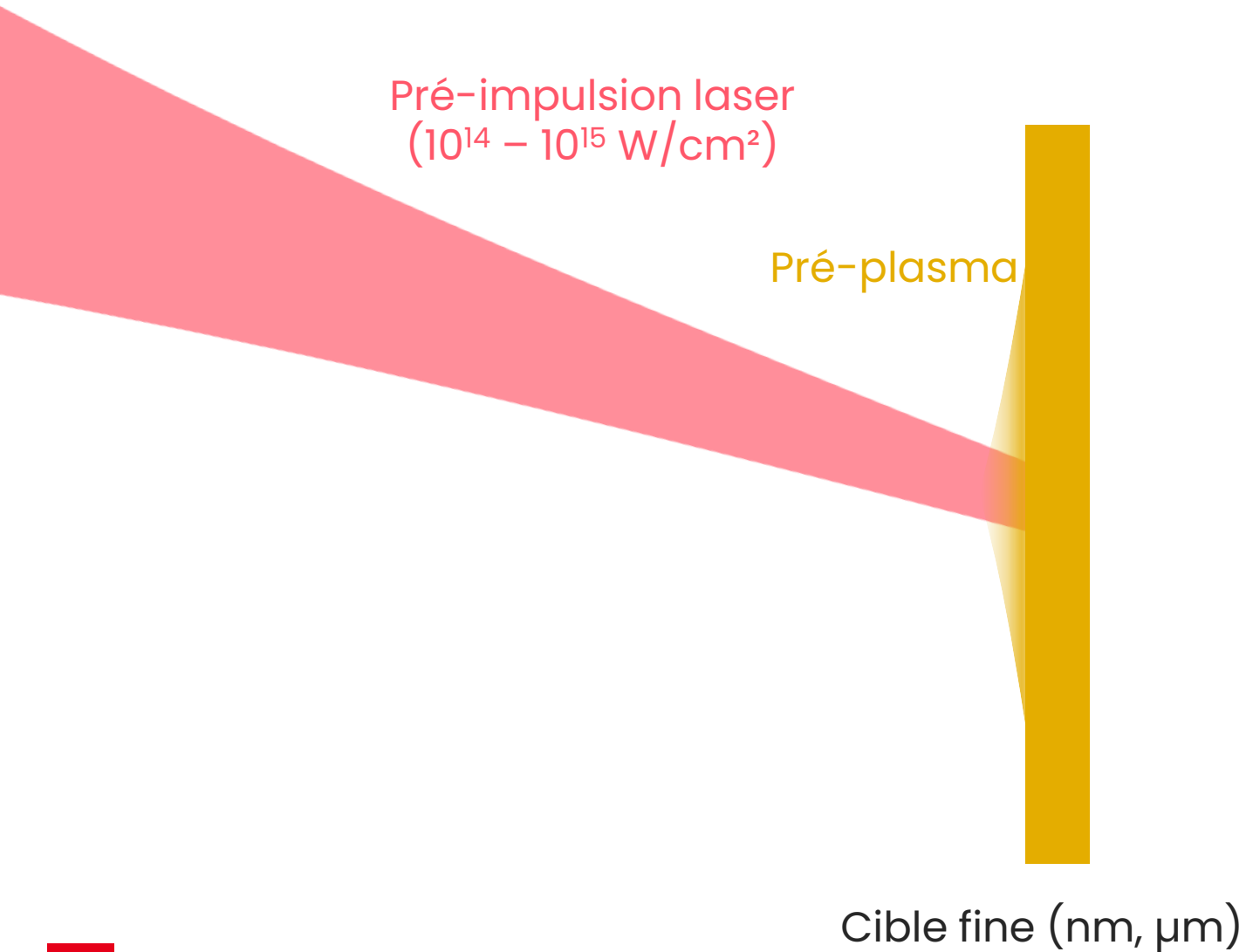


Pré-impulsion laser  
( $10^{14} - 10^{15} \text{ W/cm}^2$ )

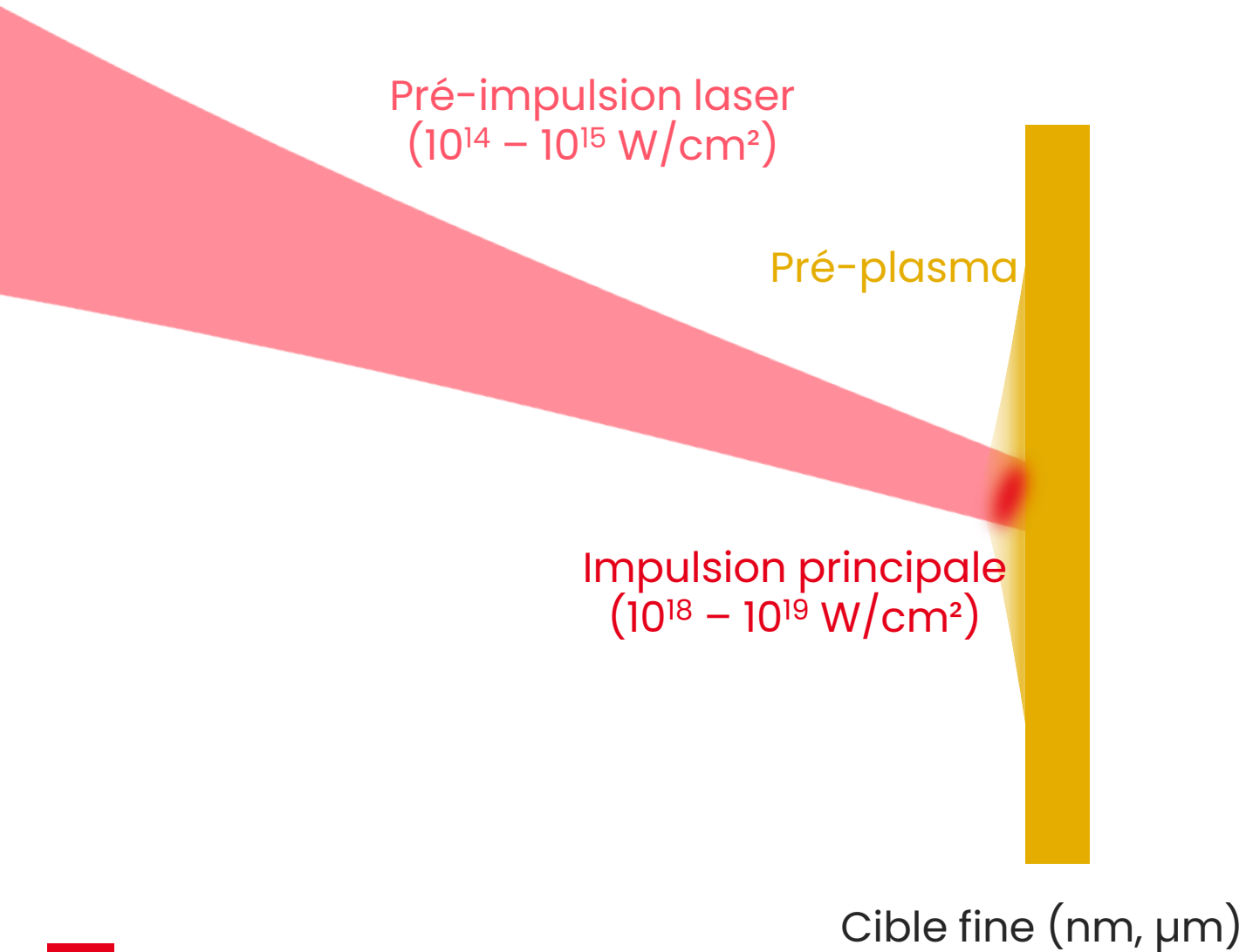


Cible fine (nm,  $\mu\text{m}$ )

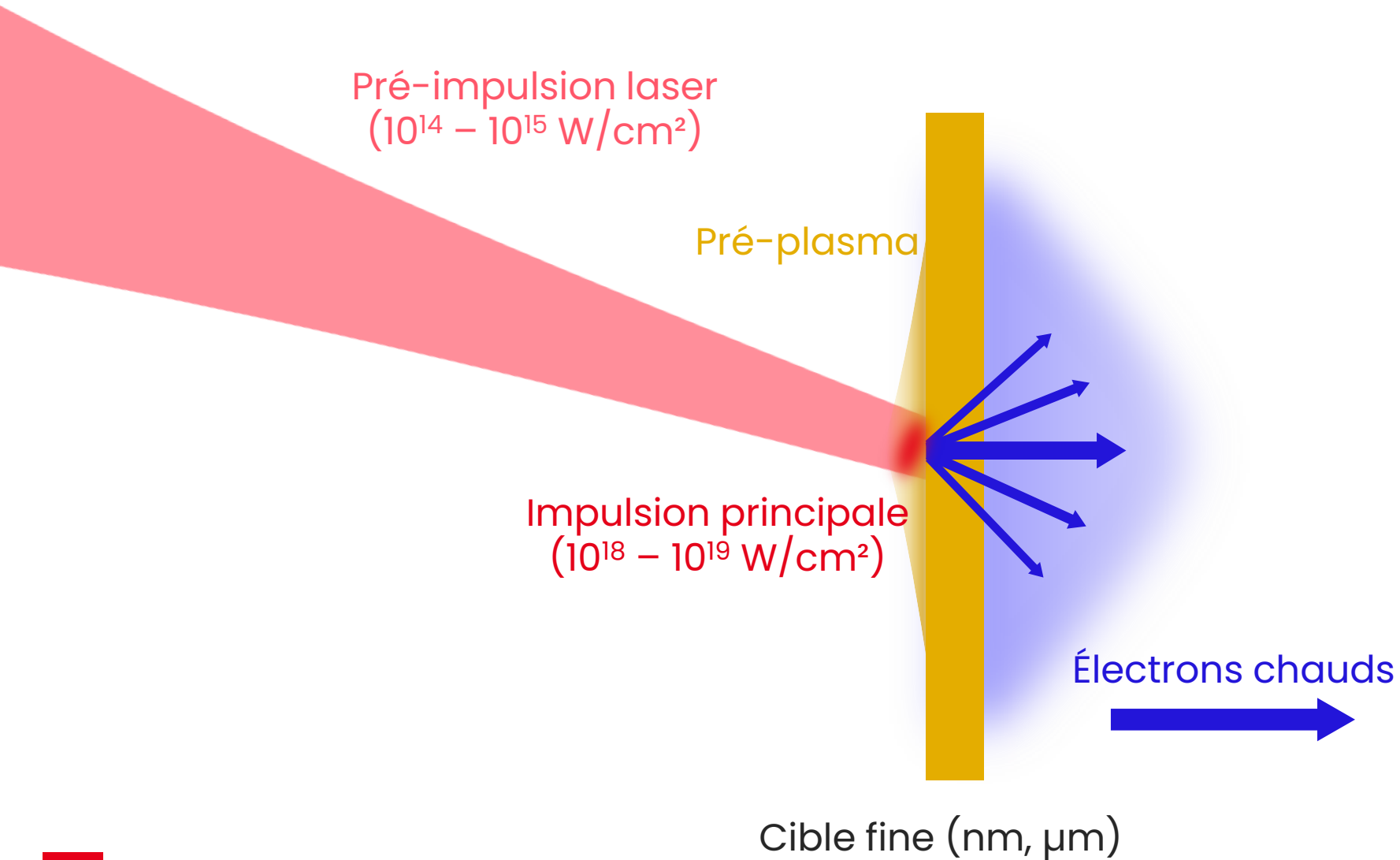
# Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)



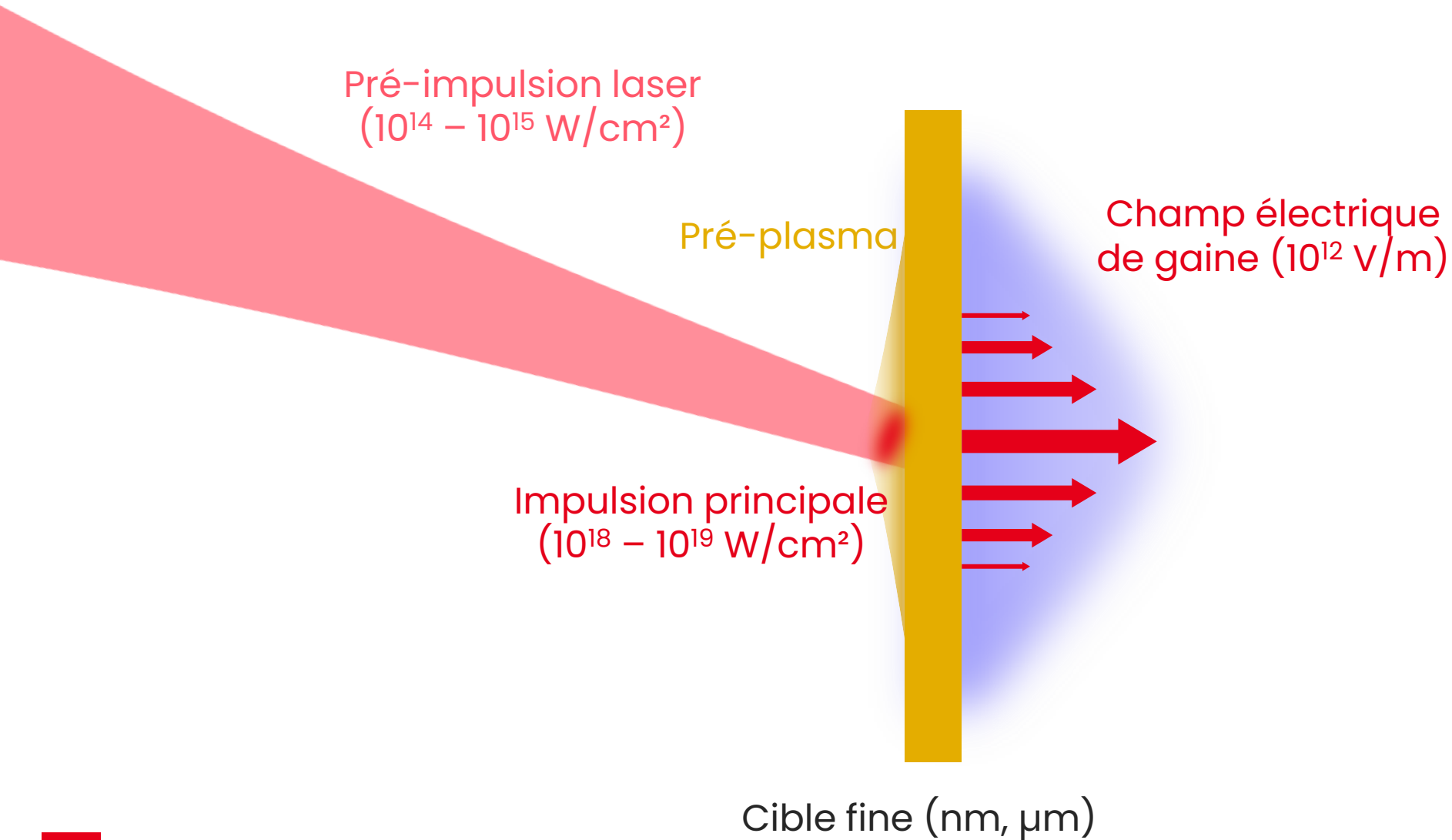
# Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)



# Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)

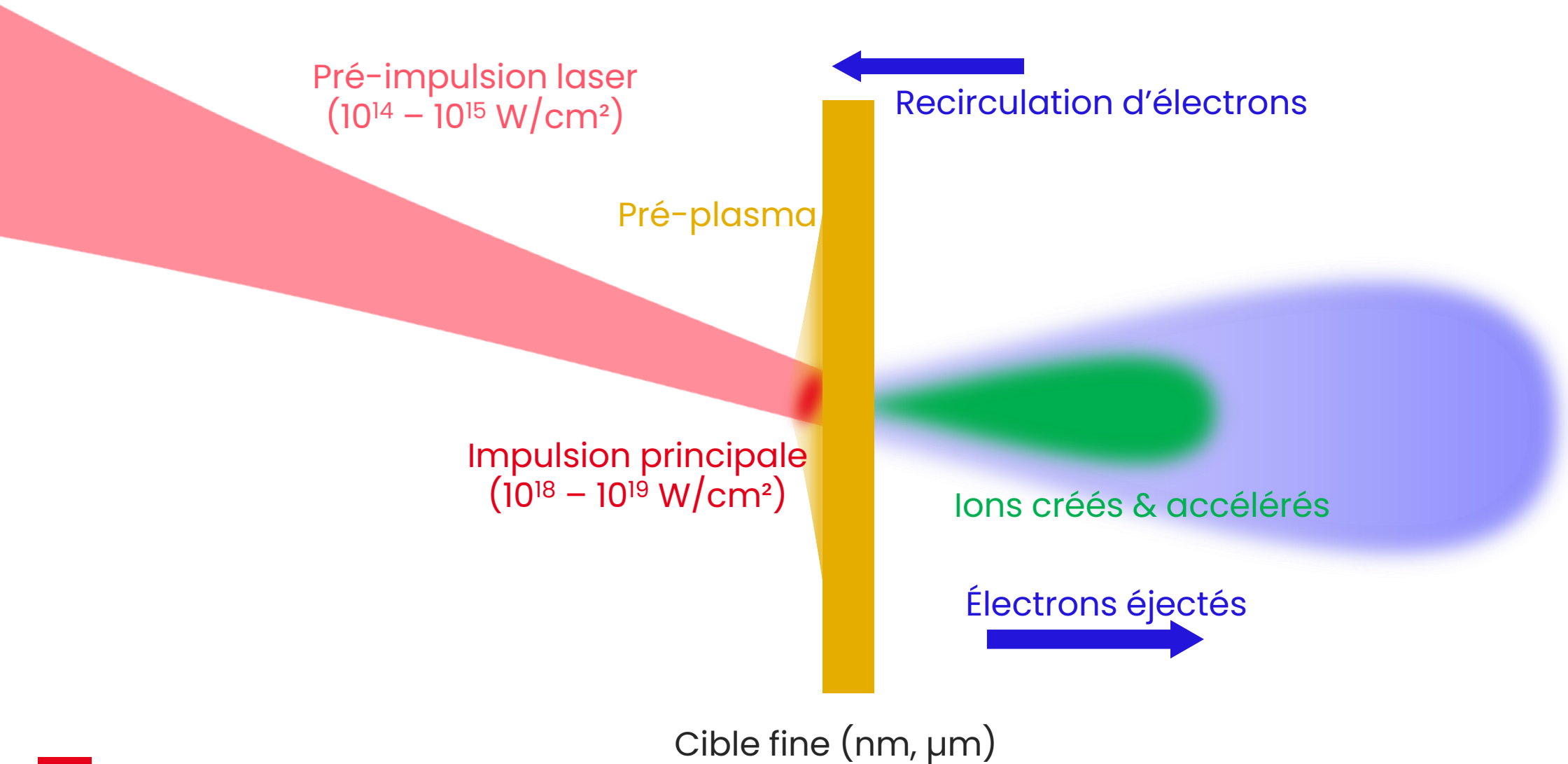


# Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)





# Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)



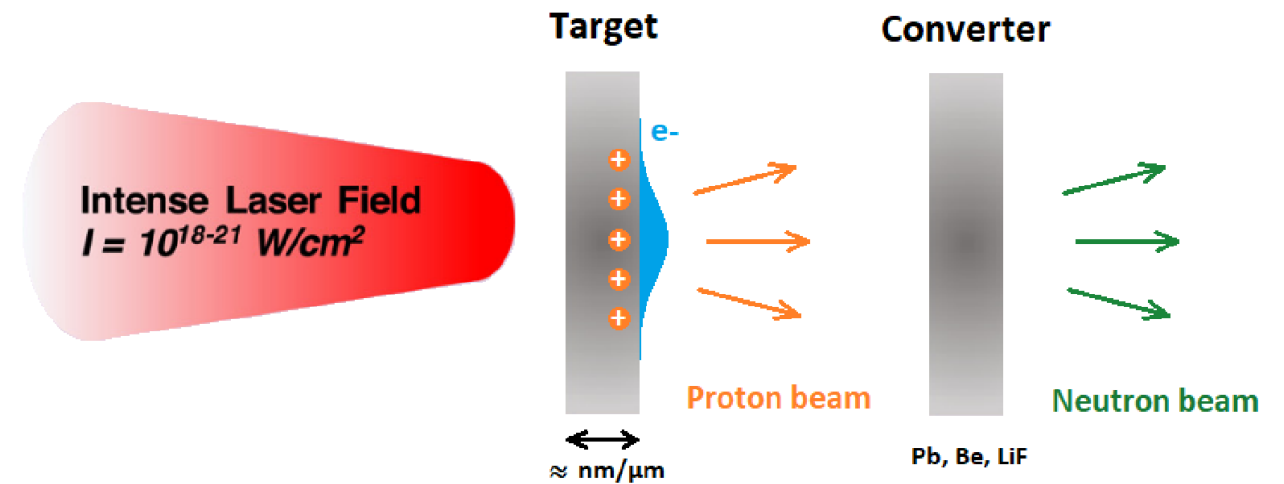
# Sources de neutrons secondaires

**Convertisseurs classiques:** Be, LiF, Pb ou plastique deutéré

Spectres TNSA: 0 –  $\approx 50$  MeV

- Au-delà de  $\approx 10$  MeV, LiF/Be ne sont plus efficaces
- Au-delà de  $\approx 10$  MeV, Pb est efficace

→ **Convertisseurs double-couches (LiF + Pb)** pour augmenter le nombre de neutrons produits [2,3]



[2] M. Zimmer *et al*, « Demonstration of non-destructive and isotope-sensitive material analysis using a short-pulsed laser-driven epi-thermal neutron source », *Nature Communications* 13, 1173 (2022)

[3] B. Martinez *et al*, « Numerical investigation of spallation neutrons generated from petawatt-scale laser-driven proton beams », *Matter Radiat. Extremes* 7, 024404 (2022), doi: 10.1063/5.0060582

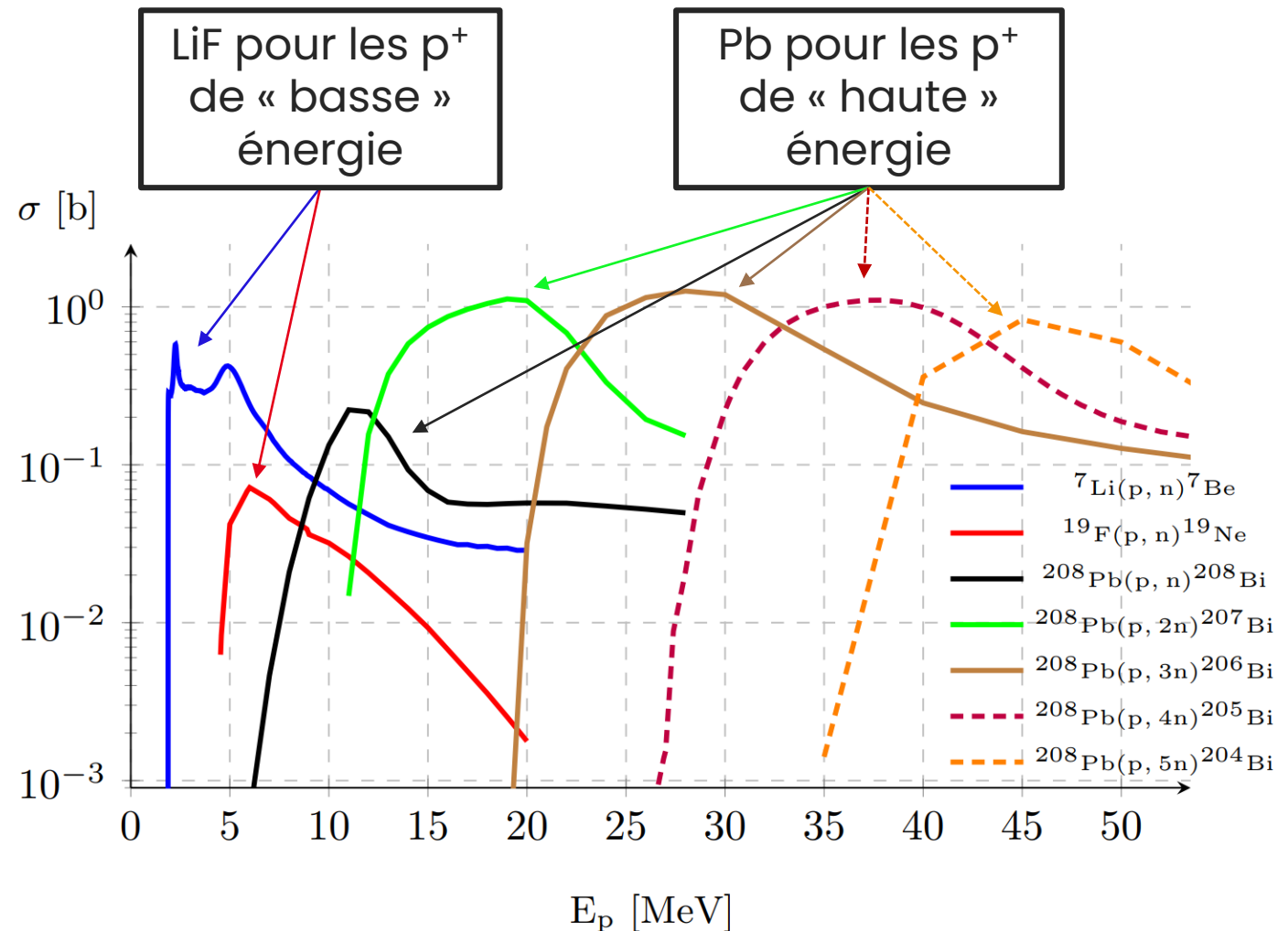
# Sources de neutrons secondaires

**Convertisseurs classiques:** Be, LiF, Pb ou plastique deutéré

Spectres TNSA: 0 – ~50 MeV

- Au-delà de ~10 MeV, LiF/Be ne sont plus efficaces
- Au-delà de ~10 MeV, Pb est efficace

→ **Convertisseurs double-couches (LiF + Pb)** pour augmenter le nombre de neutrons produits [2,3]



[2] M. Zimmer *et al*, « Demonstration of non-destructive and isotope-sensitive material analysis using a short-pulsed laser-driven epi-thermal neutron source », *Nature Communications* 13, 1173 (2022)

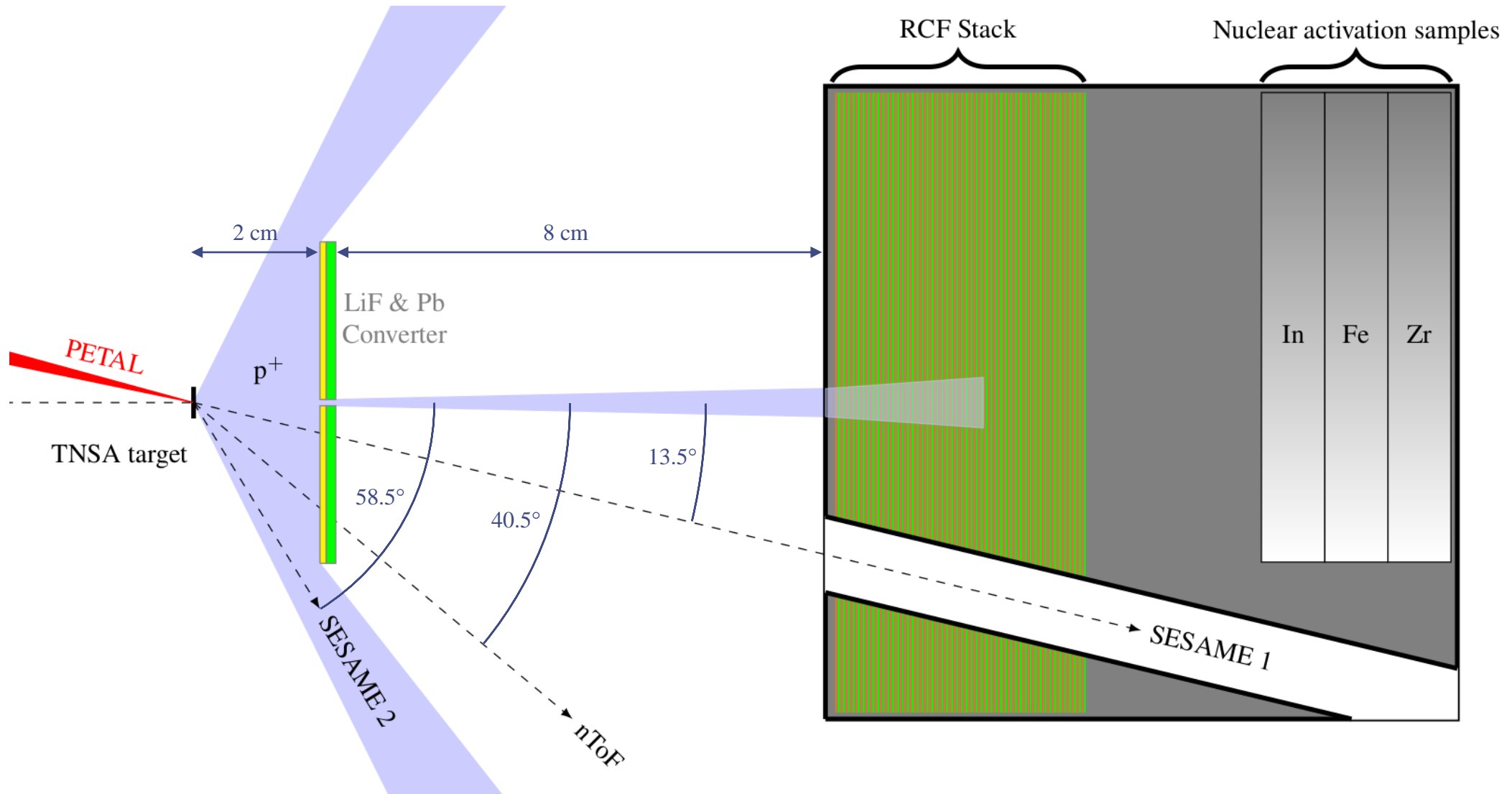
[3] B. Martinez *et al*, « Numerical investigation of spallation neutrons generated from petawatt-scale laser-driven proton beams », *Matter Radiat. Extremes* 7, 024404 (2022), doi: 10.1063/5.0060582



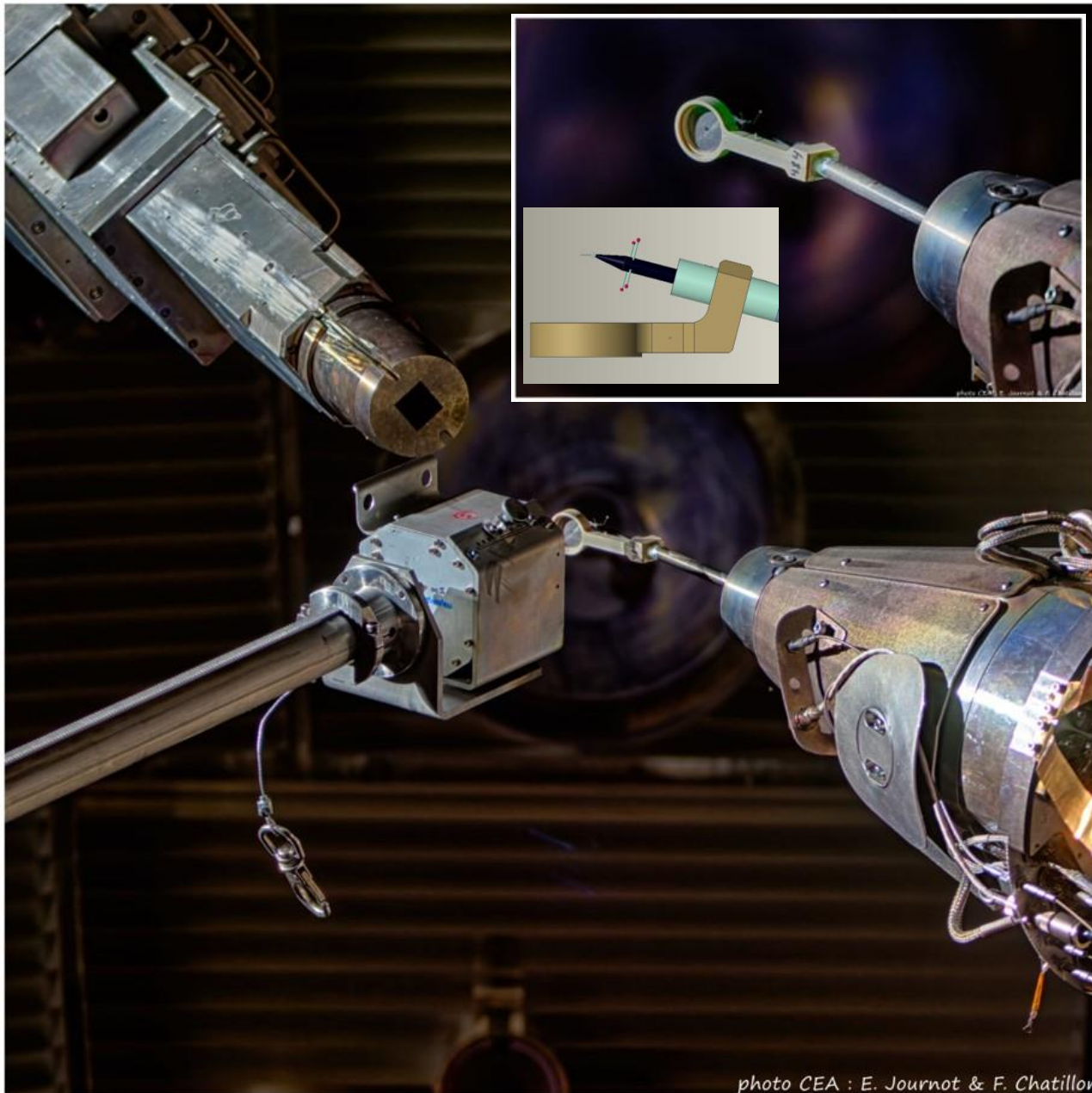
# 2. Implémentation

Sur l'installation LMJ-PETAL

# Configuration expérimentale

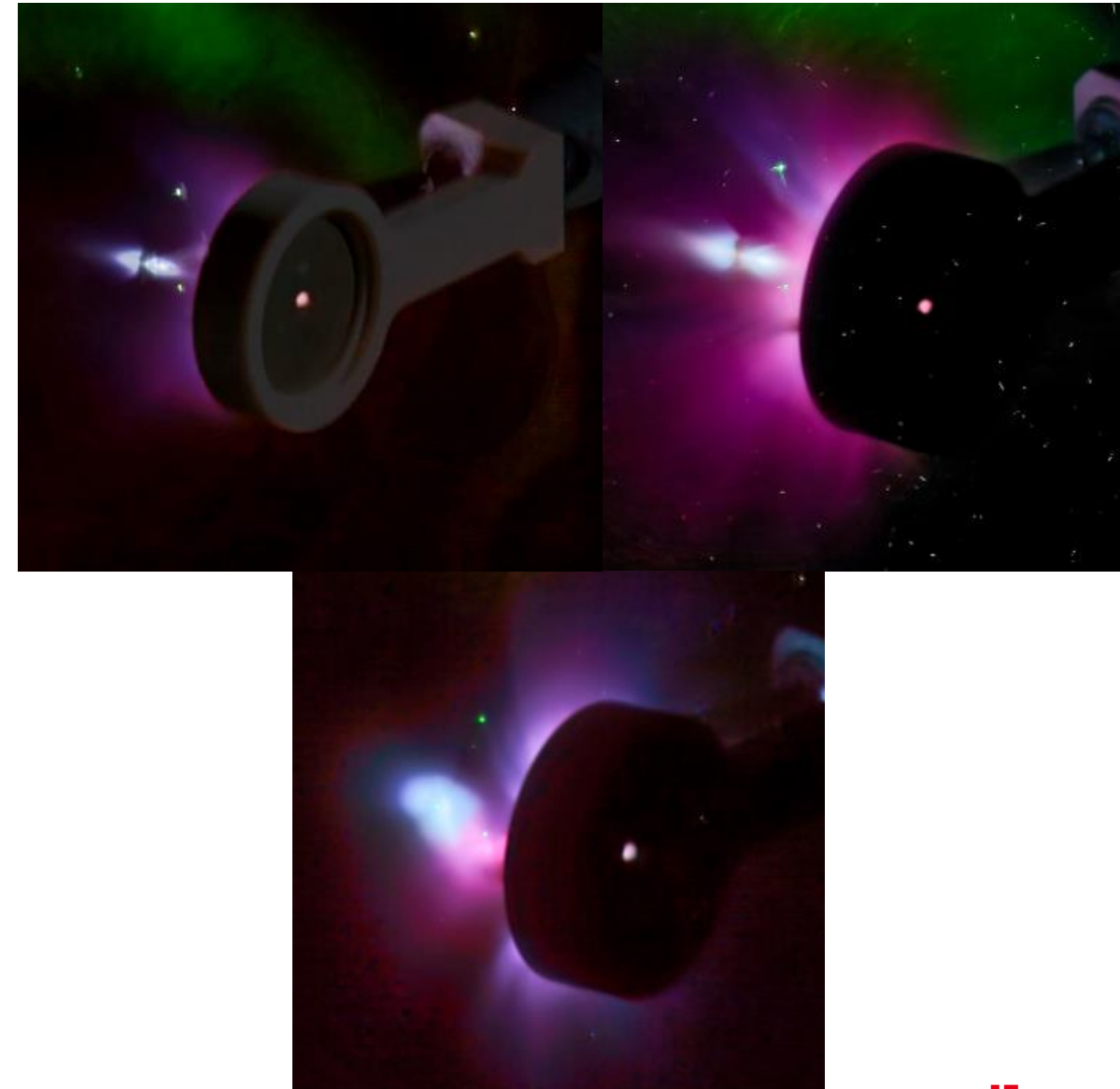
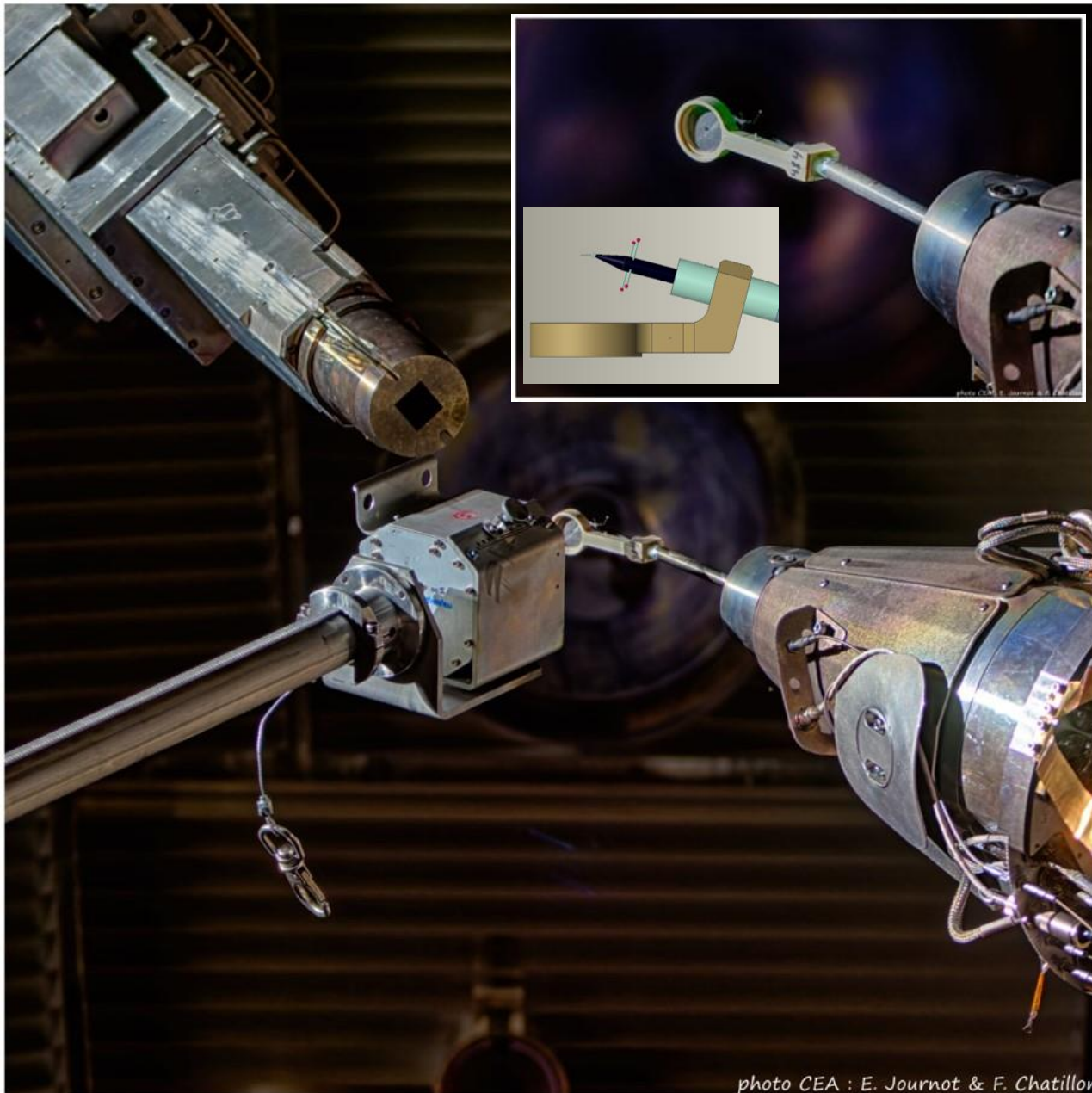


# Configuration expérimentale





# Configuration expérimentale



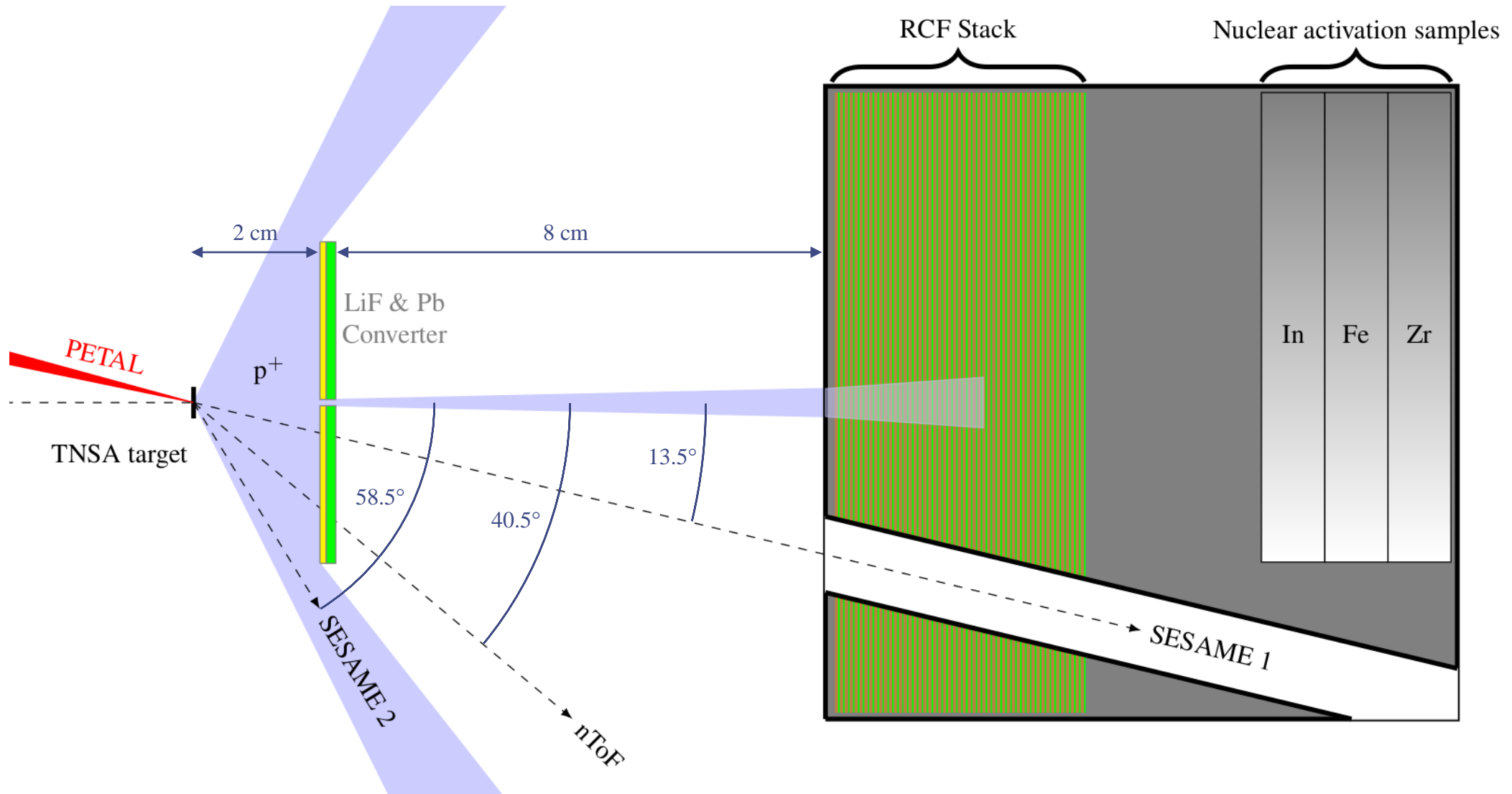


# 3 ■ Résultats

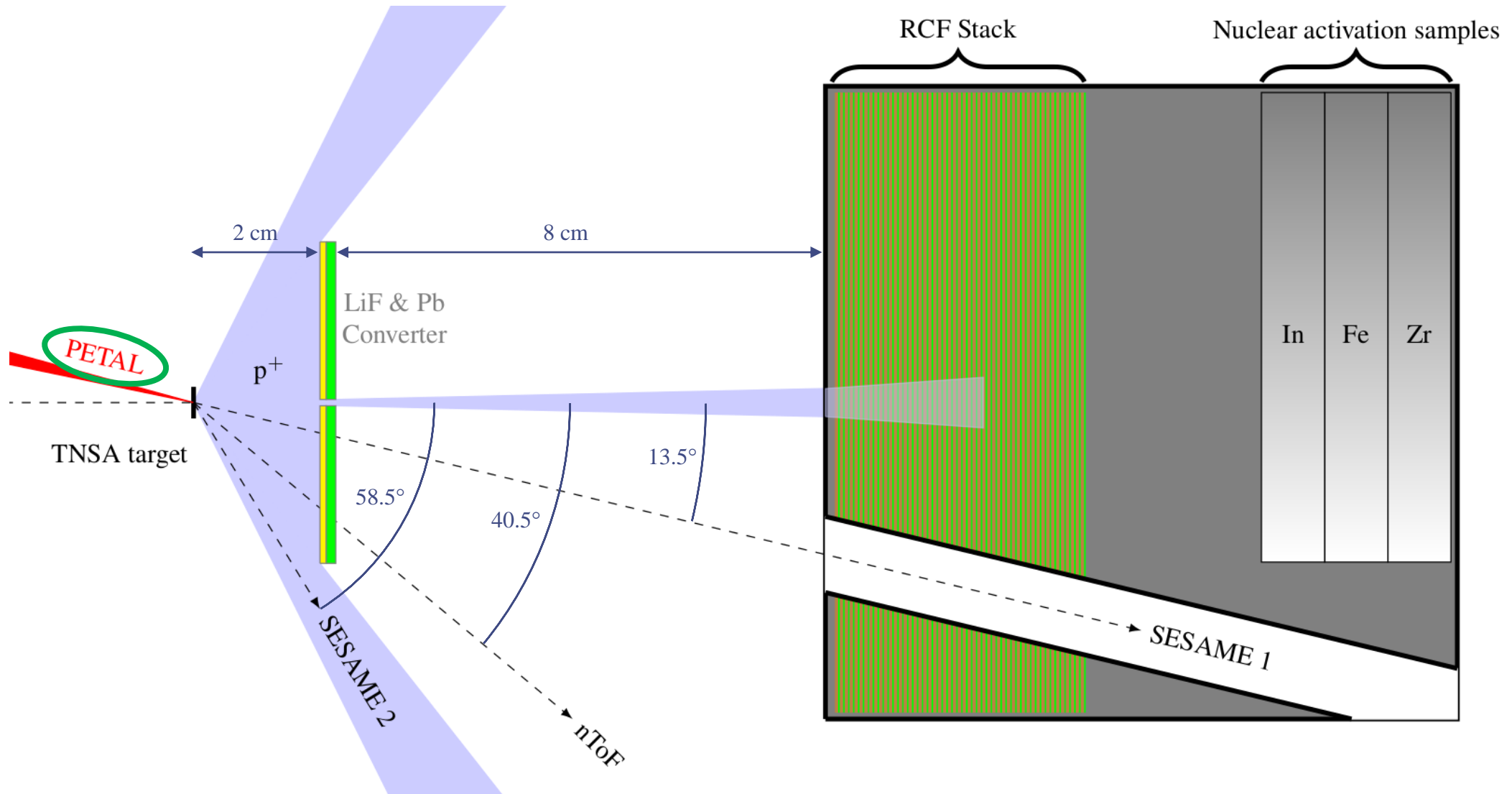
Propriétés des termes sources générés



# Paramètres laser

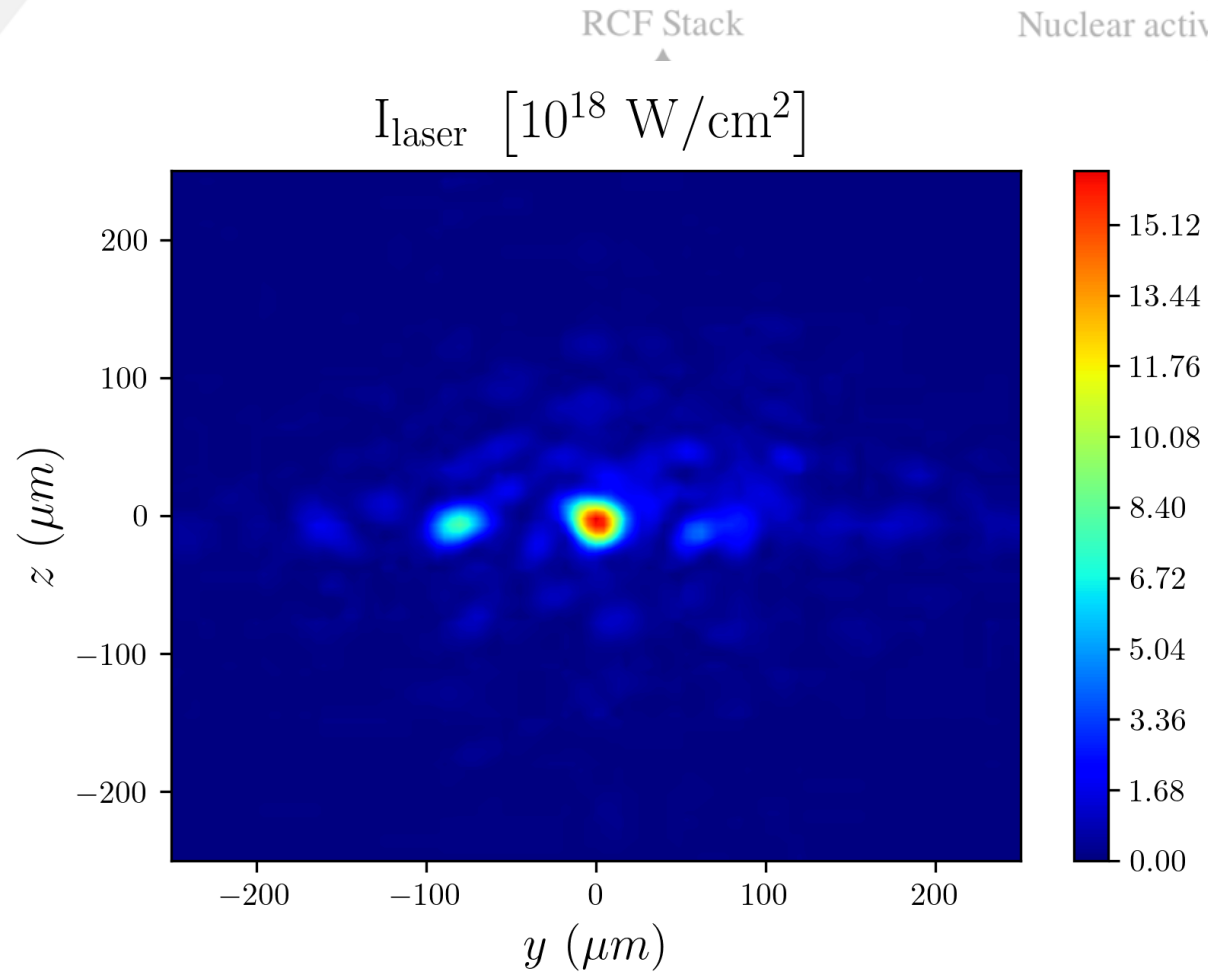
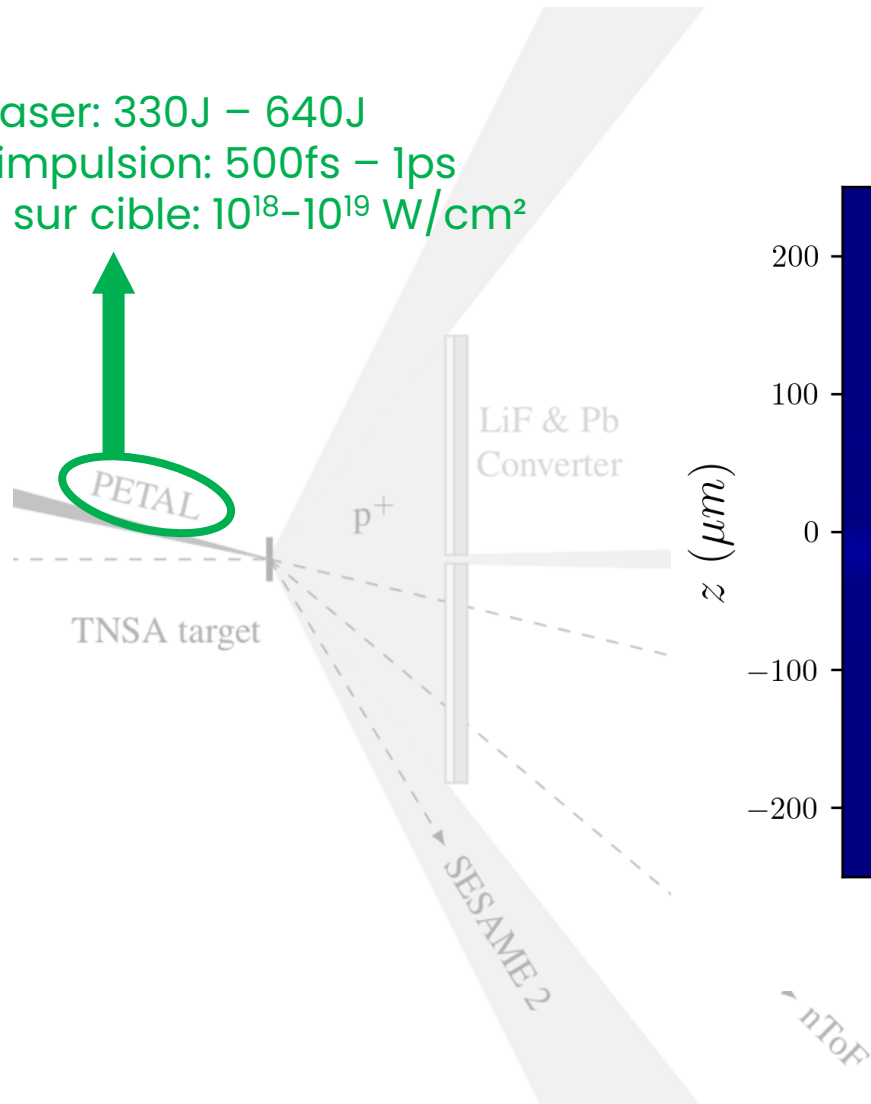


# Paramètres laser

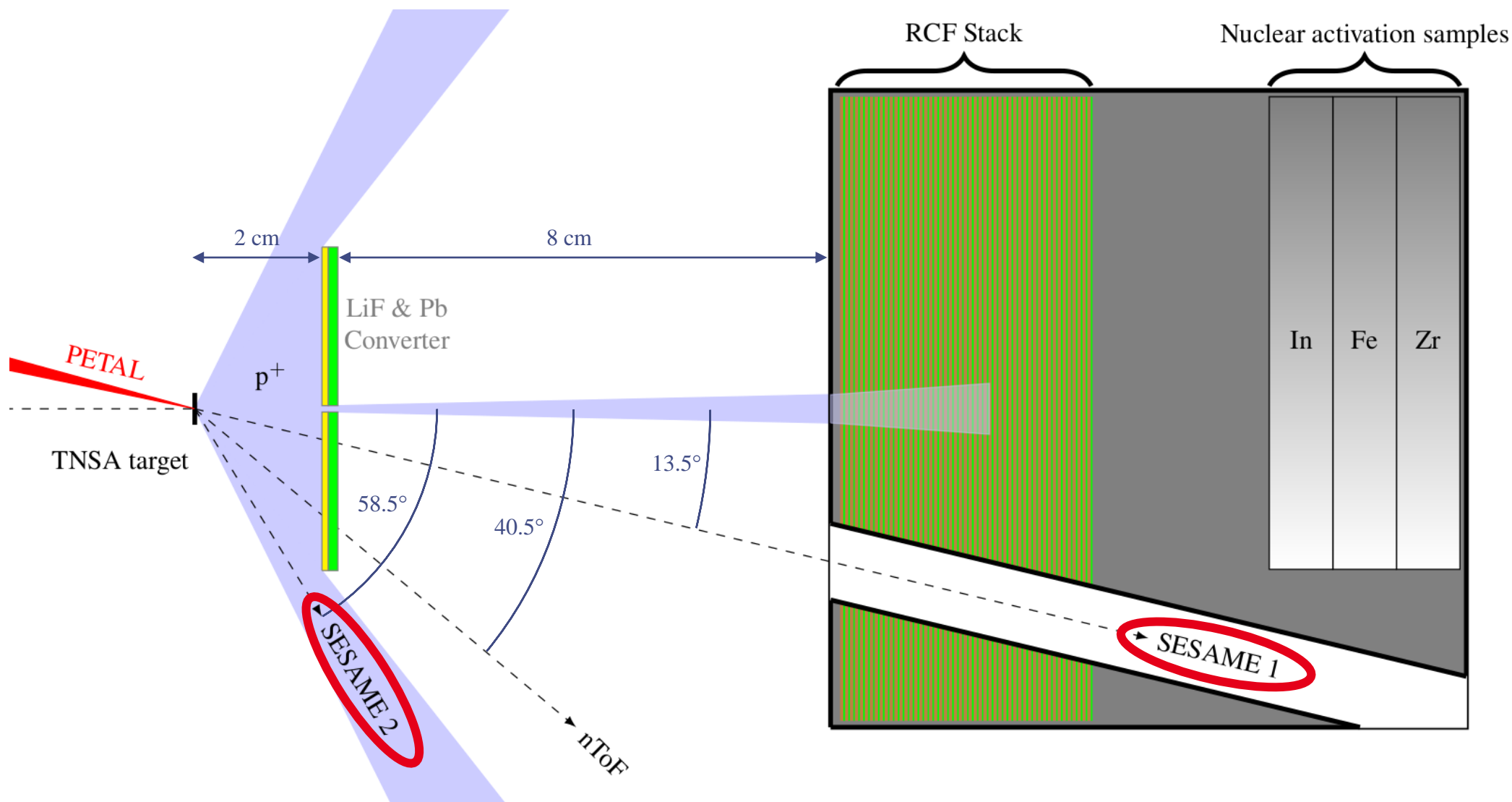


# Paramètres laser

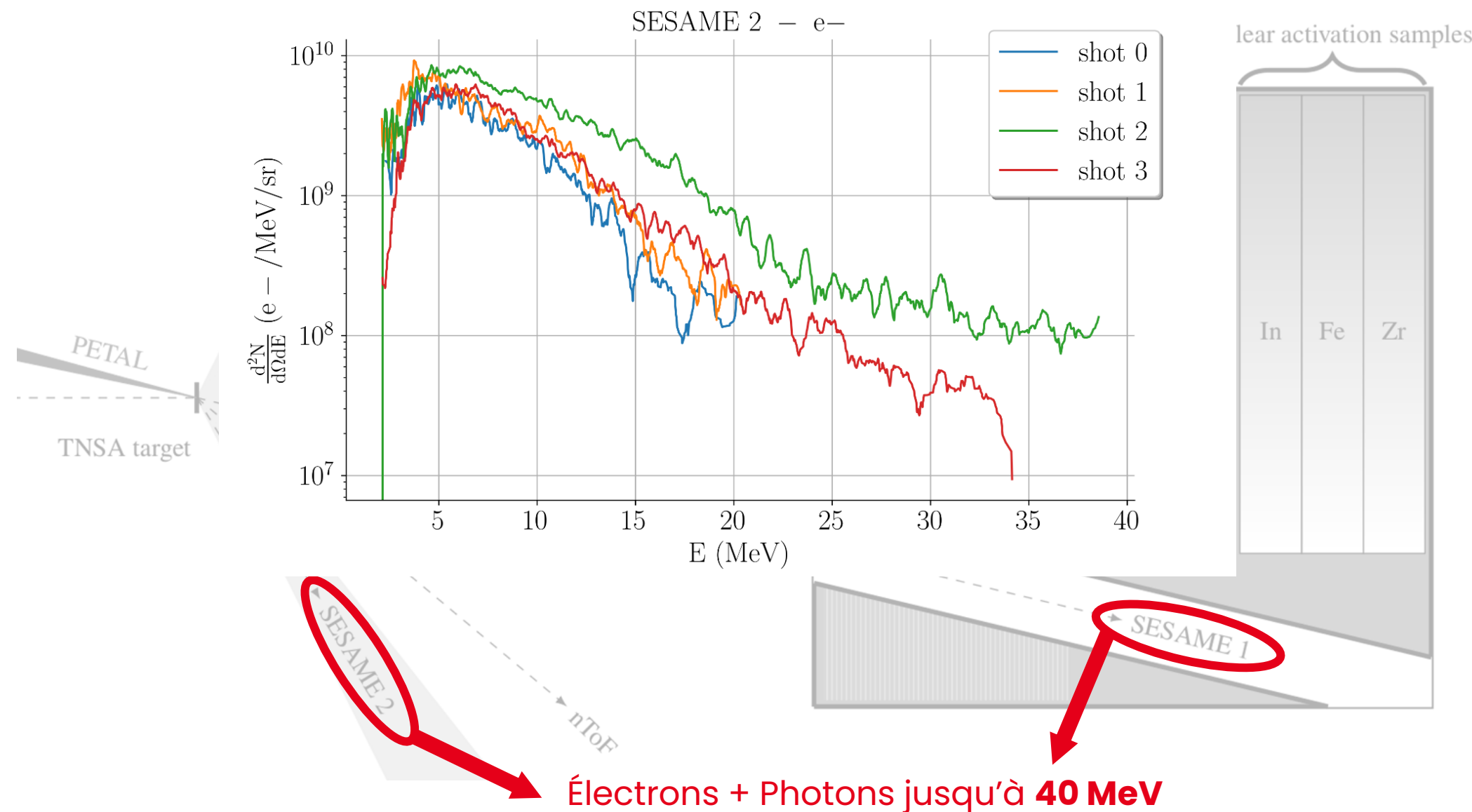
Énergie laser: 330J – 640J  
Durée d'impulsion: 500fs – 1ps  
Intensité sur cible:  $10^{18}$ – $10^{19}$  W/cm<sup>2</sup>



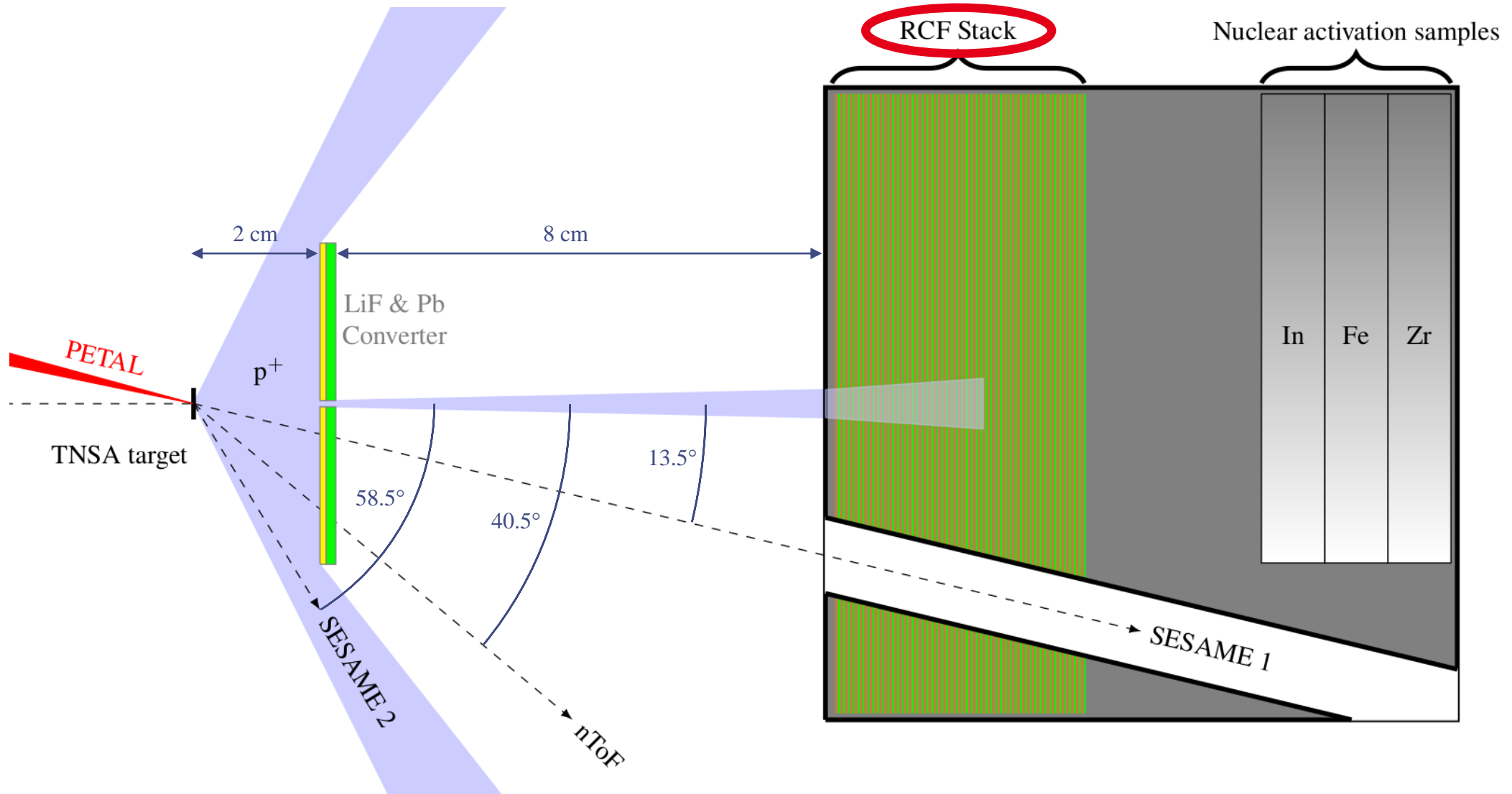
# Spectromètres magnétiques



# Spectromètres magnétiques



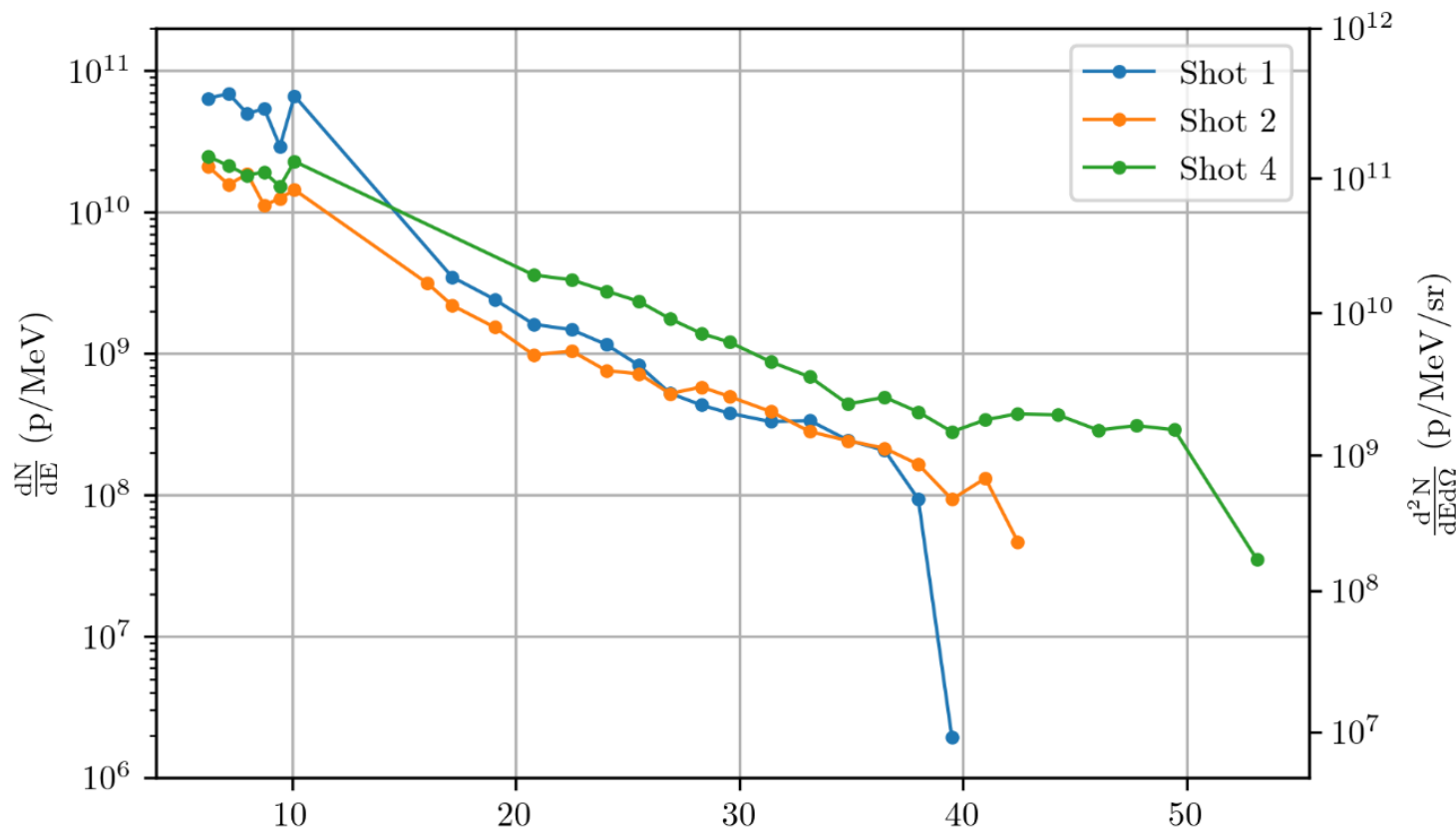
# Empilements de films radiochromiques (RCFs)



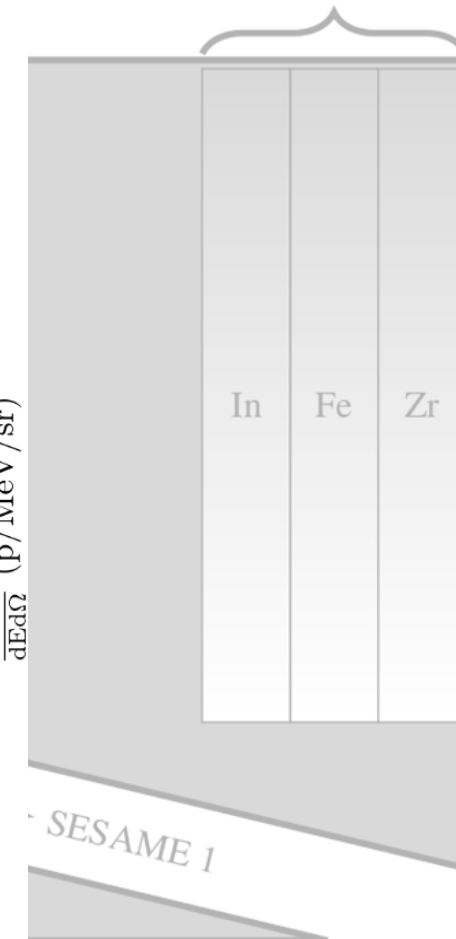
# Empilements de films radiochromiques (RCFs)

Jusqu'à  $10^{14}$  protons ( $> 2$  MeV)  
Énergie maximale: **53 MeV**

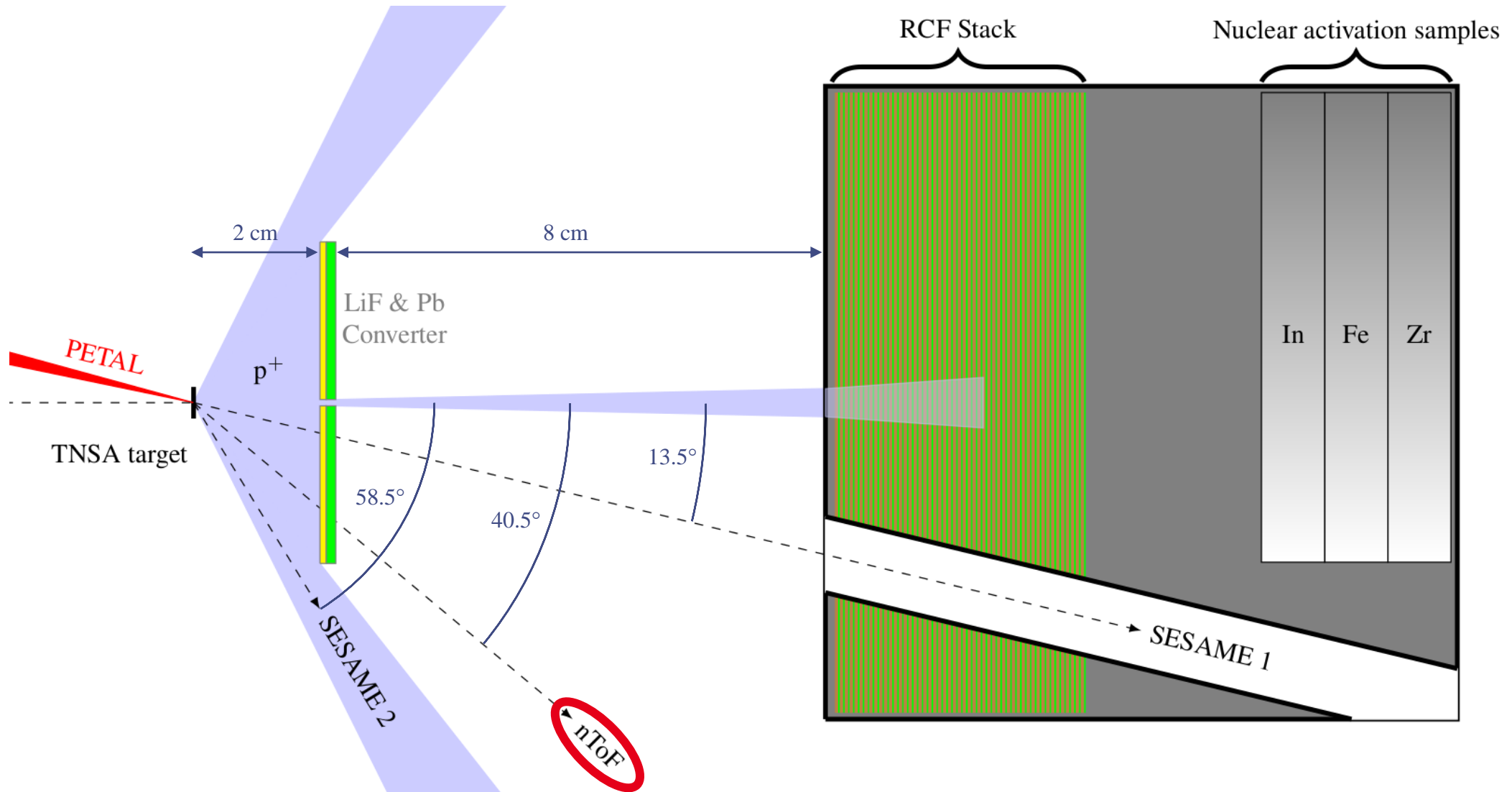
RCF Stack



Nuclear activation samples

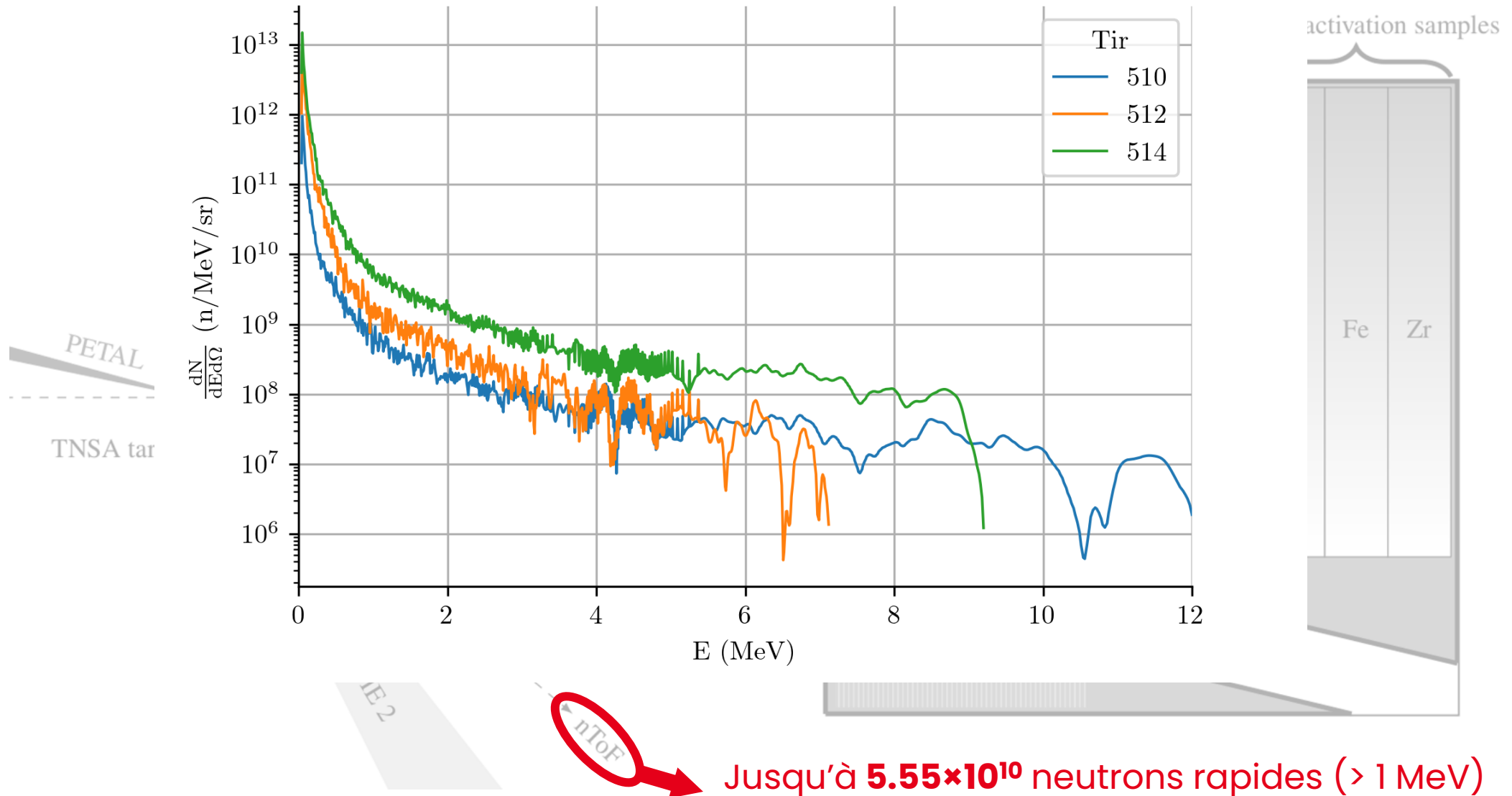


# Détecteurs temps de vol neutrons (nToF)



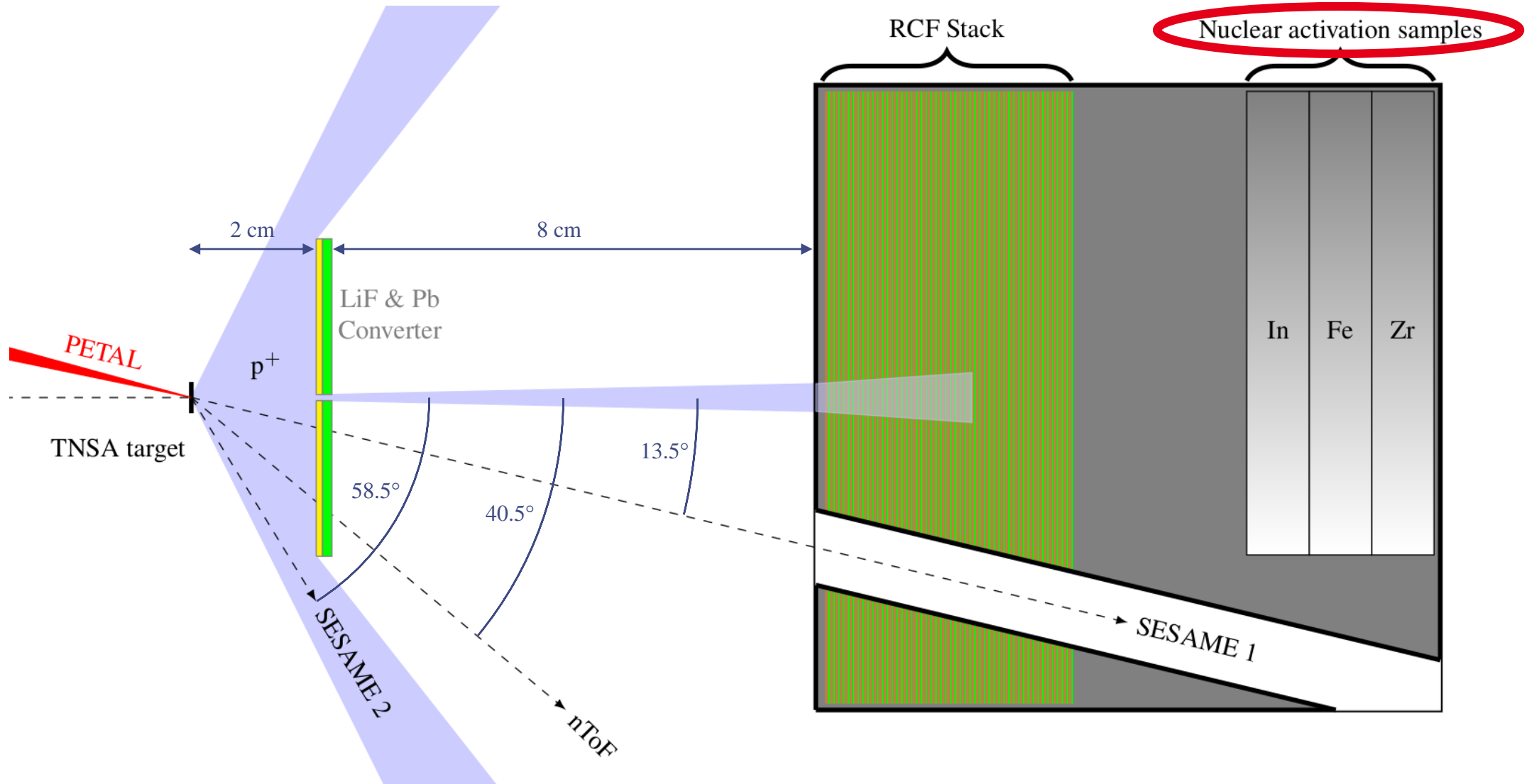


# Détecteurs temps de vol neutrons (nToF)



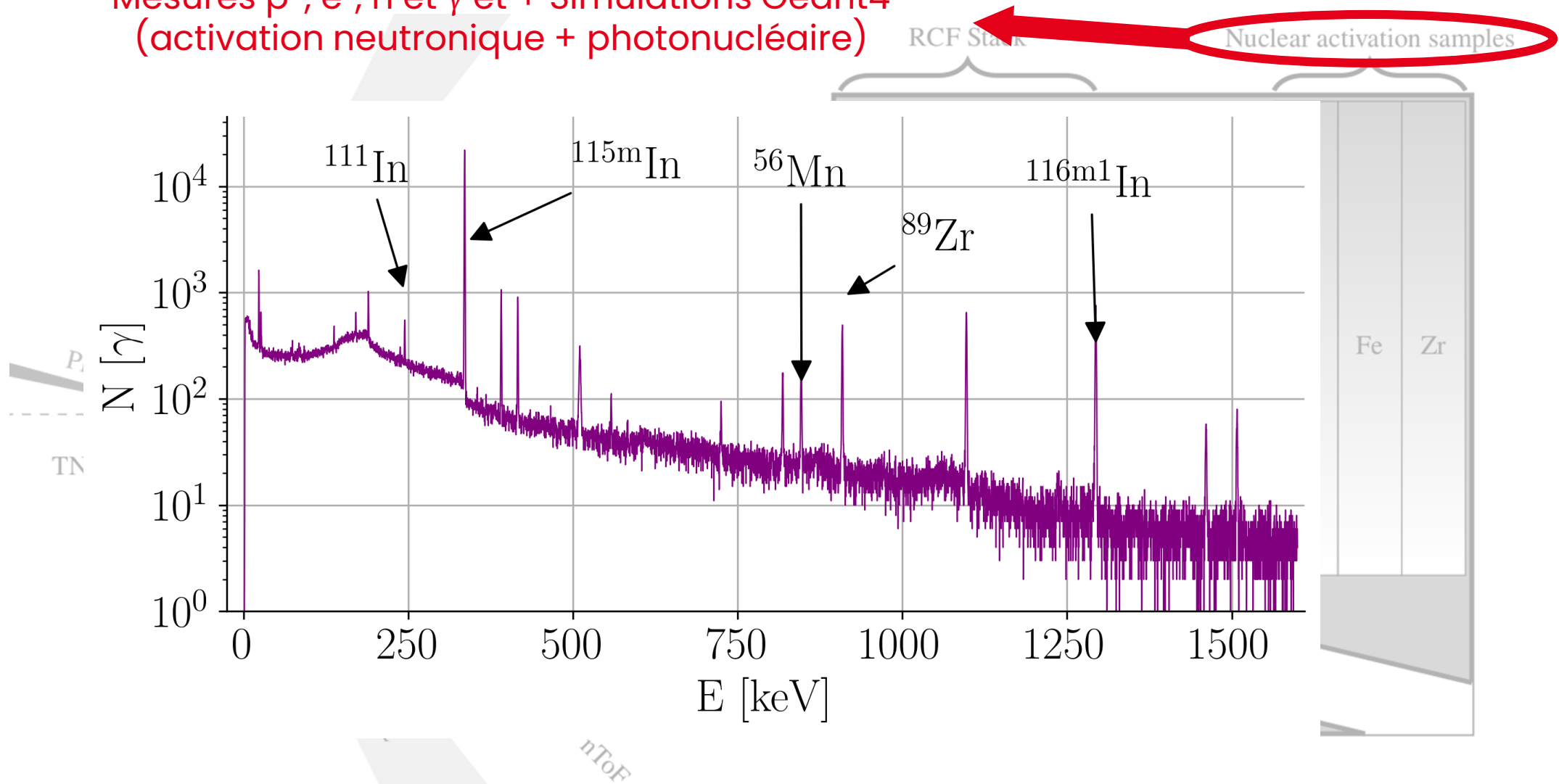
Jusqu'à  $5.55 \times 10^{10}$  neutrons rapides ( $> 1$  MeV)  
Énergie maximale: **30 MeV**

# Pastilles d'activation nucléaire



# Pastilles d'activation nucléaire

Mesures  $p^+$ ,  $e^-$ ,  $n$  et  $\gamma$  et + Simulations Geant4  
(activation neutronique + photonucléaire)

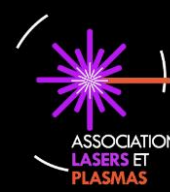




# Merci de votre attention

Mail: [lucas.ribotte@cea.fr](mailto:lucas.ribotte@cea.fr)

## Soutiens PETAL:



Le projet PETAL a été mis en œuvre par le CEA grâce aux financements de la région Nouvelle-Aquitaine (maître d'ouvrage), du gouvernement français et de l'Union Européenne. Ce travail est soutenu par la région Nouvelle-Aquitaine dans le cadre du projet PETAL-Upgrade (contrats #13532820, #22577420 et #42979220).