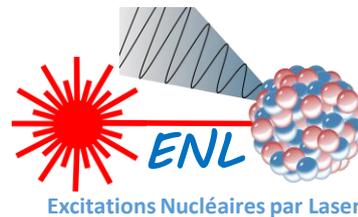


Activités du groupe ENL 2018-2023 et prospective à 5 ans



Conseil scientifique du LP2IB

M. Tarisien

Plan

- Introduction
- Accélération Laser Plasma de particules
- Formation de radioisotopes
- Détection en environnement perturbé

INTRODUCTION

Le laser de puissance

LULI 2000

Grosses installations
(Infrastructure de Recherche)

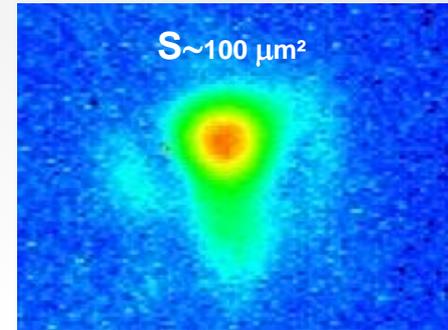
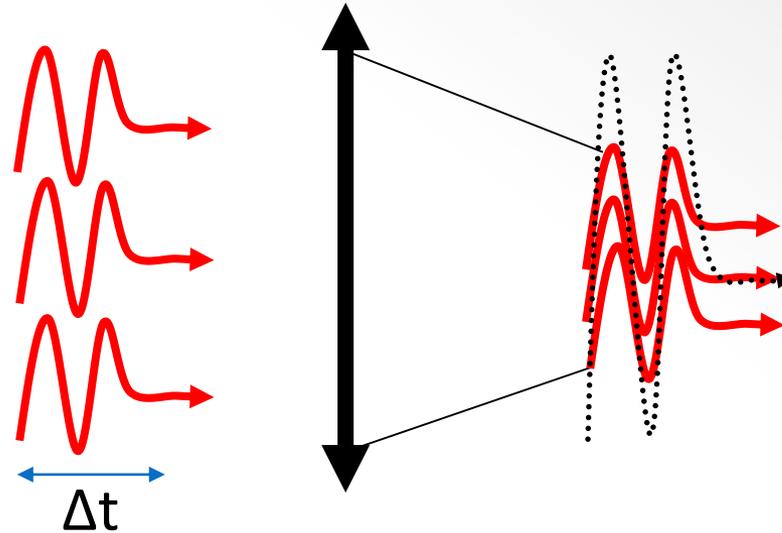
Accès avec PAC
Fort taux de pression
=> ~une manip par an

Une manip dure ~3 semaines



Le laser de puissance

$\lambda = 800 \text{ nm}$
 $T = 2.7 \text{ fs}$
 $\Leftrightarrow 1.5 \text{ eV}$



Puissance $P = \frac{E}{\Delta t}$

Intensité $I = \frac{E}{\Delta t \cdot S}$

Typiquement 100 TW à 10 PW

Typiquement $10^{18-22} \text{ W.cm}^{-2}$



$10^{19} \text{ W.cm}^{-2} \Leftrightarrow \approx 10^{11} \text{ V/cm}$

Quelques Lasers de puissance

Nouvelle génération de lasers de puissance en gras

Laser	Localisation	Energie (Joules)	Durée du pulse (fs)	Puissance (TW)	Intensité (W/cm ²)	Cadence (Hz)	a ₀
CENBG	Bordeaux	1	9000000	1,E-04	1E+13	10	0,003
Apollon F3	Paris-Saclay	200	1000000	0,2	1E+15	0,02	0,02
PHELIX long	Darmstadt	1 000	5000000	0,2	1E+15	0,0002	0,03
ELI-BL ATON L4	Prague	1 500	1000000	1,5	8E+15	0,02	0,06
MegaJoule	Bordeaux	1 300 000	3200000	406	6E+16	0,000006	0,07
LULI 2000	Paris-Saclay	1600	1500000	1,1	1E+16	0,0001	0,10
Eclipse 4	Bordeaux	1,5	30	50	3,E+19	1	3,7
TITAN	Livermore	210	5000	42	2E+19	0,0006	4,4
PICO 2000	Paris-Saclay	60	1000	60	5E+19	0,0003	6,0
ELI-BL HAPLS	Prague	30	30	1000	3E+20	10	12,1
PHELIX short	Darmstadt	130	500	260	4E+20	0,0002	18,1
VEGA3	Salamanque	30	30	1000	1E+21	1	24,3
VULCAN	Oxford	500	500	1000	1E+21	0,0002	31,9
Apollon F1	Paris-Saclay	150	15	10000	1E+22	0,02	80,6

Lasers de **grande énergie et impulsion longue** pour la production de plasmas chauds ($T \sim 0,1-1$ keV) et denses ($\sim 10^{-2}$ g/cm³)

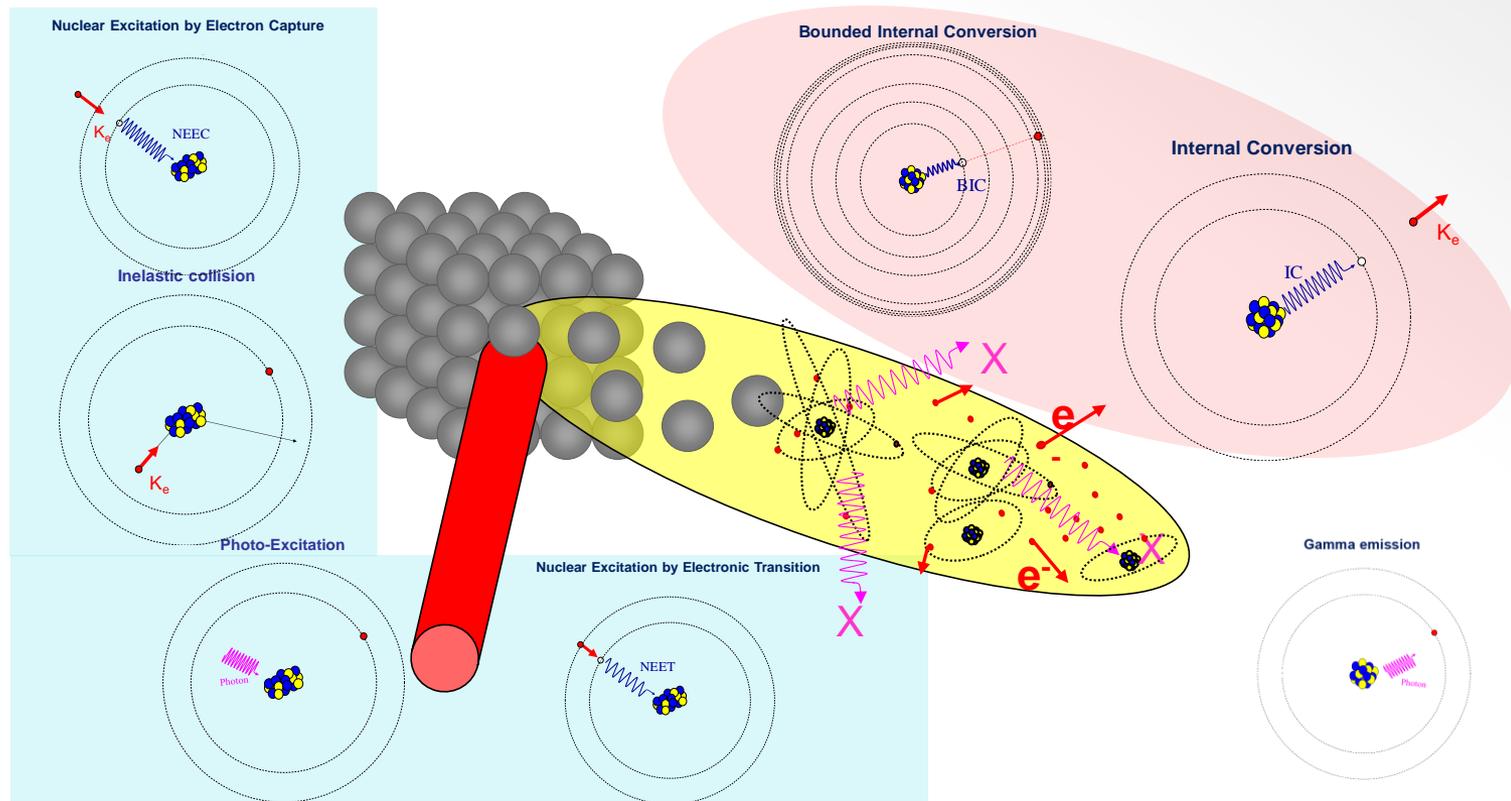
Lasers **intenses** pour l'accélération de particules :

- Electrons (dès années 90)
- Ions (à partir des années 2000)

Les noyaux ont-ils les mêmes propriétés dans un plasma que dans un solide?

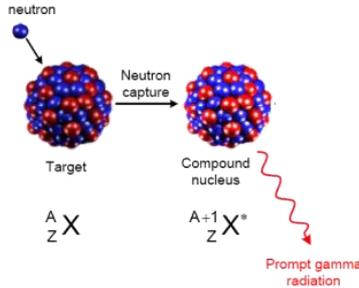
Excitations et désexcitations nucléaires

- Interactions entre le noyau et les particules libres du plasma
- Couplage entre le noyau et son propre cortège électronique



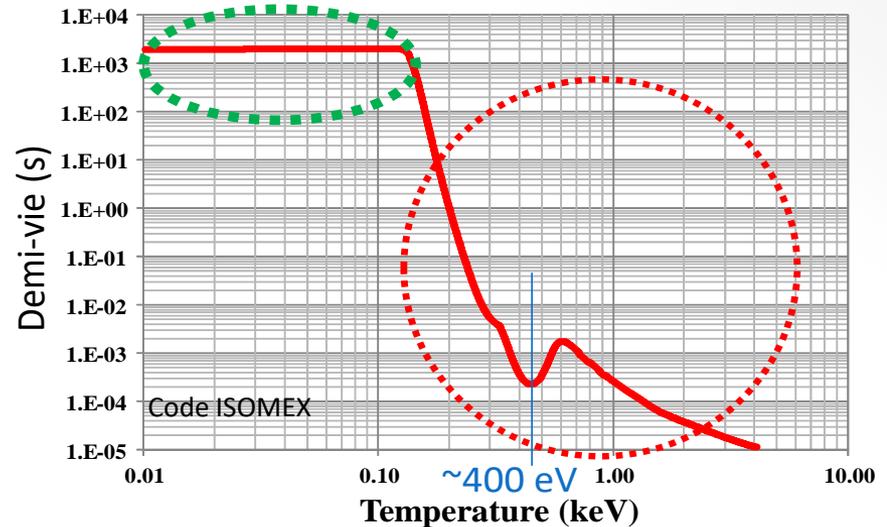
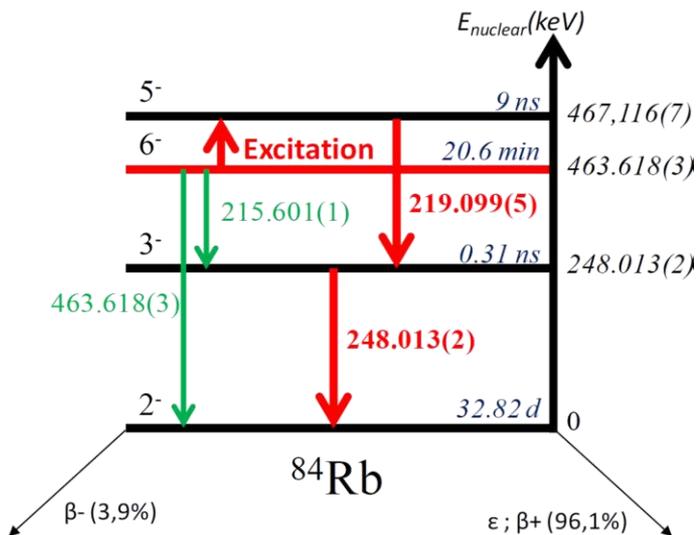
Les noyaux ont-ils les mêmes propriétés dans un plasma que dans un solide?

- Modification des sections efficaces de réactions nucléaires sur des états excités



Neutron energy	${}^{177m}\text{Lu}(n, \gamma){}^{178m}\text{Lu} / {}^{177}\text{Lu}(n, \gamma){}^{178m}\text{Lu}$
< 25 meV	0,47 +/- 0,07

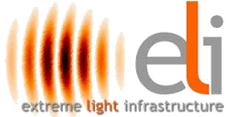
- Modification des durées de demi-vie apparentes



D. Denis-Petit, et al. Phys. Rev. C 96, 024604 (2017)

Expérience de modification de demi-vie apparente

Par exemple sur



ELI-Beamlines, Prague

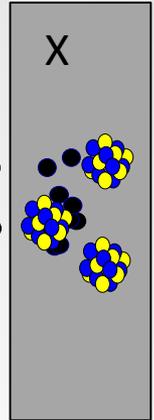
30J ; 30 fs @10Hz

Laser
« production »



Particules accélérées k

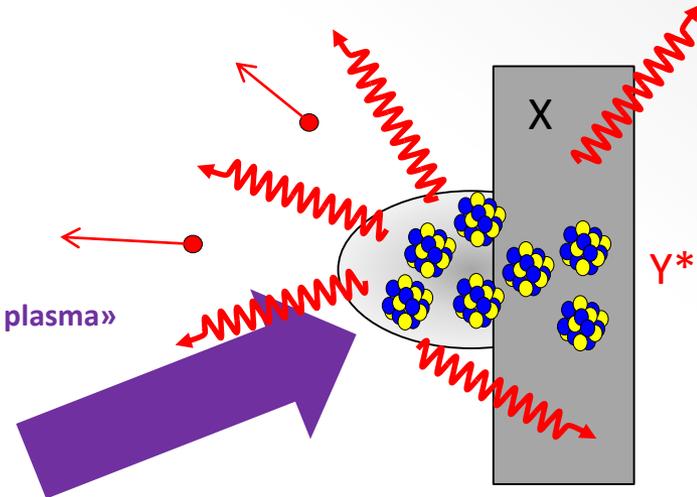
$X(k,r)Y^*$



1.5 kJ ; 1 ns @ 1 tir/min

- ✓ Etudes des durées de vie dans un plasma astrophysique

Laser « plasma »



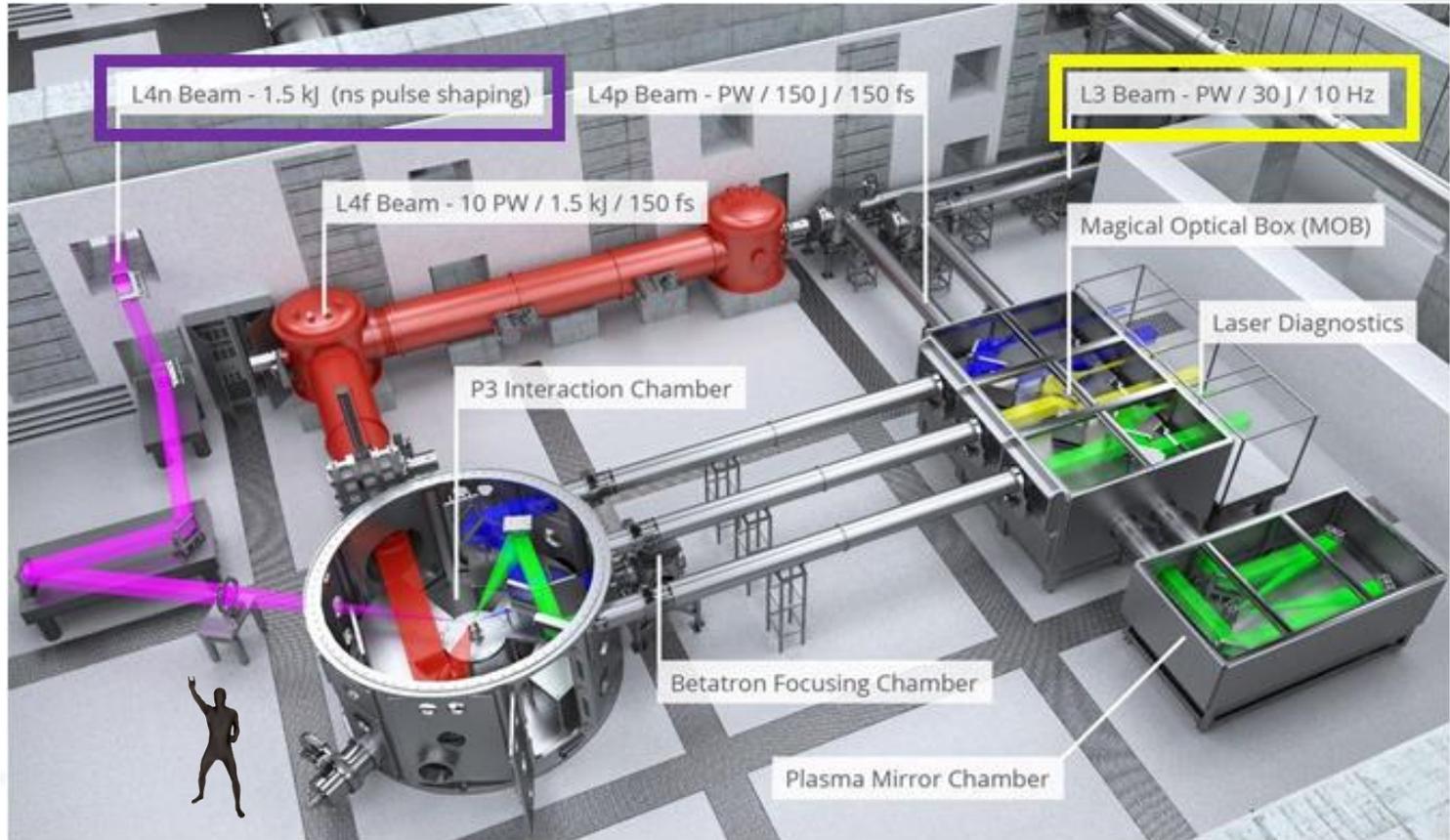
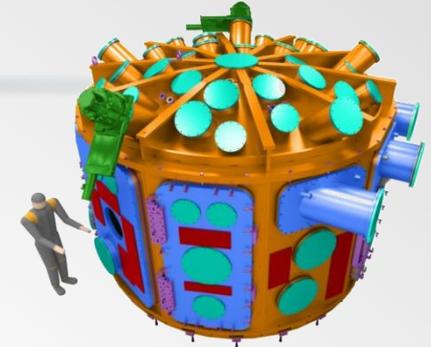
Expérience de modification de demi-vie apparente



ELI-Beamlines, Prague

30J ; 30 fs @10Hz

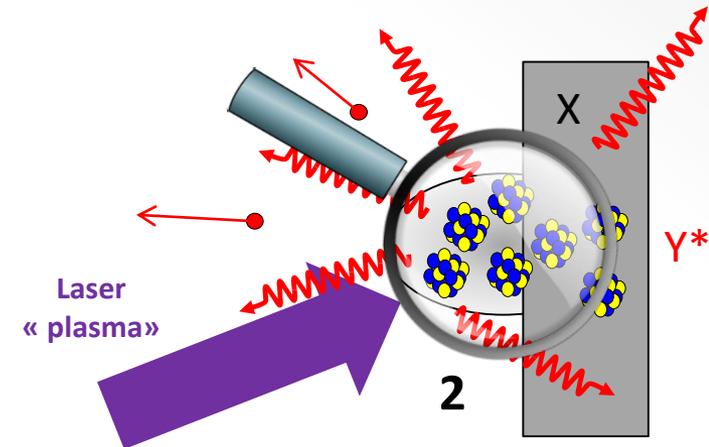
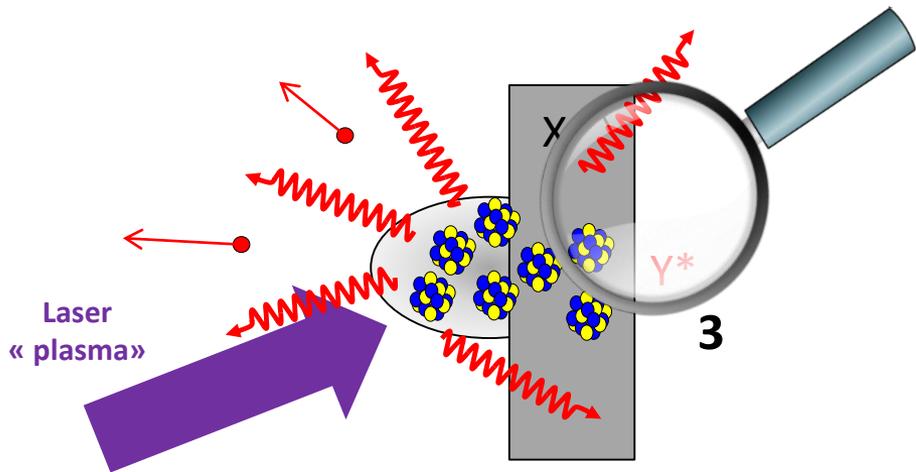
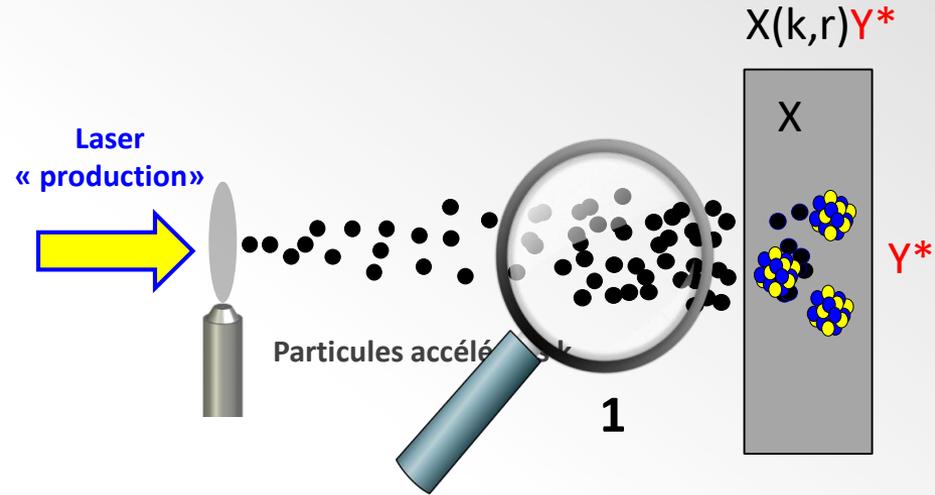
1.5 kJ ; 1 ns @ 1 tir/min



Expérience de modification de demi-vie apparente

Nécessitent :

1. Accélération Laser-Plasma de projectiles
 - Production
 - Caractérisation
2. Produire des Plasmas de type astrophysique
3. Détection d'observables nucléaires près d'un tir laser

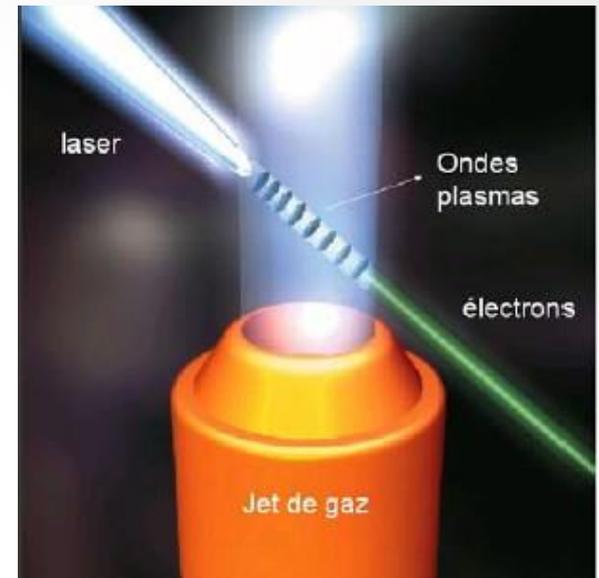
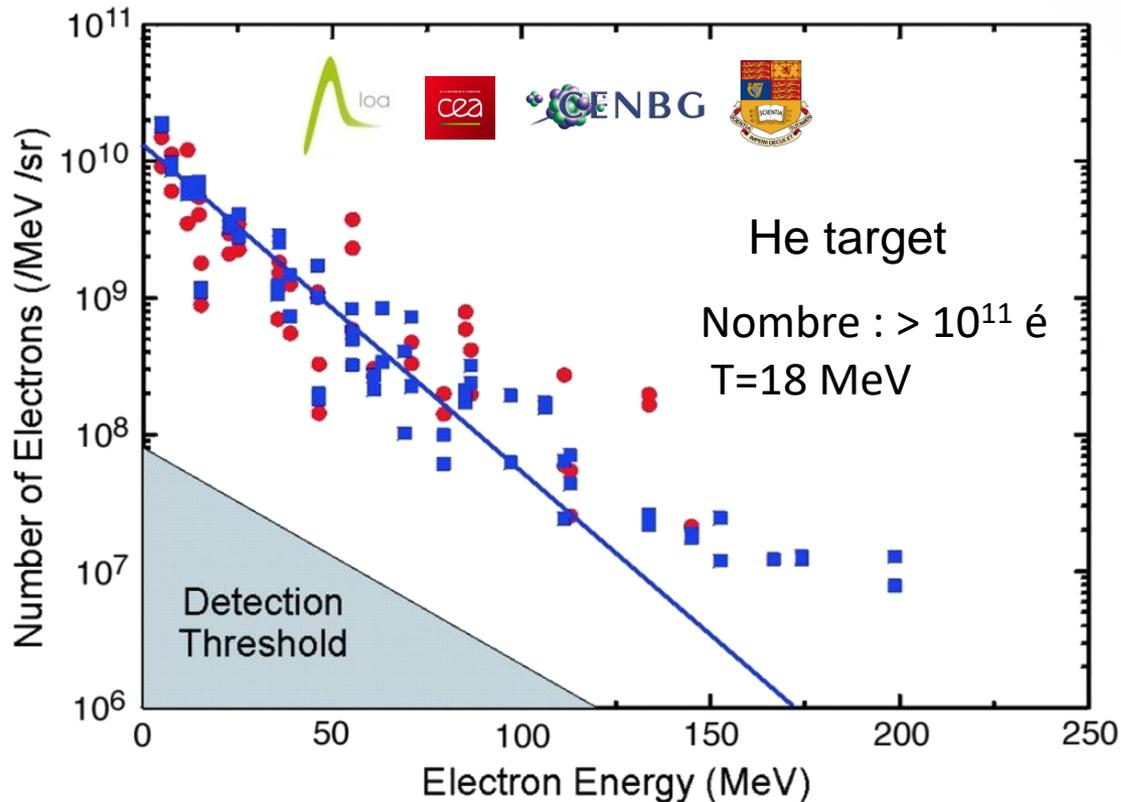


ACCÉLÉRATION LASER-PLASMA DE PARTICULES

- Des électrons et les γ de Bremsstrahlung associés
- Des ions
- Des neutrons

Accélération d'électrons par laser , source X

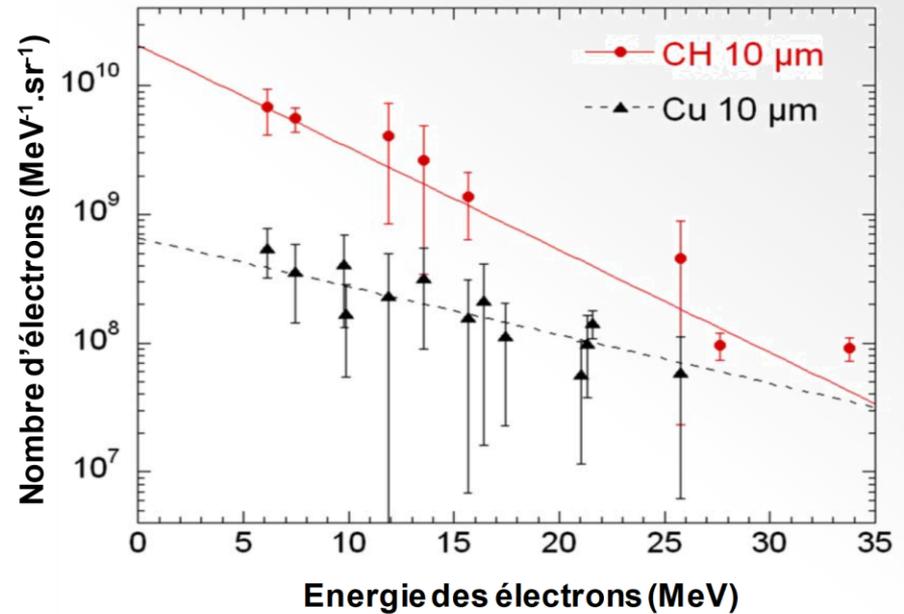
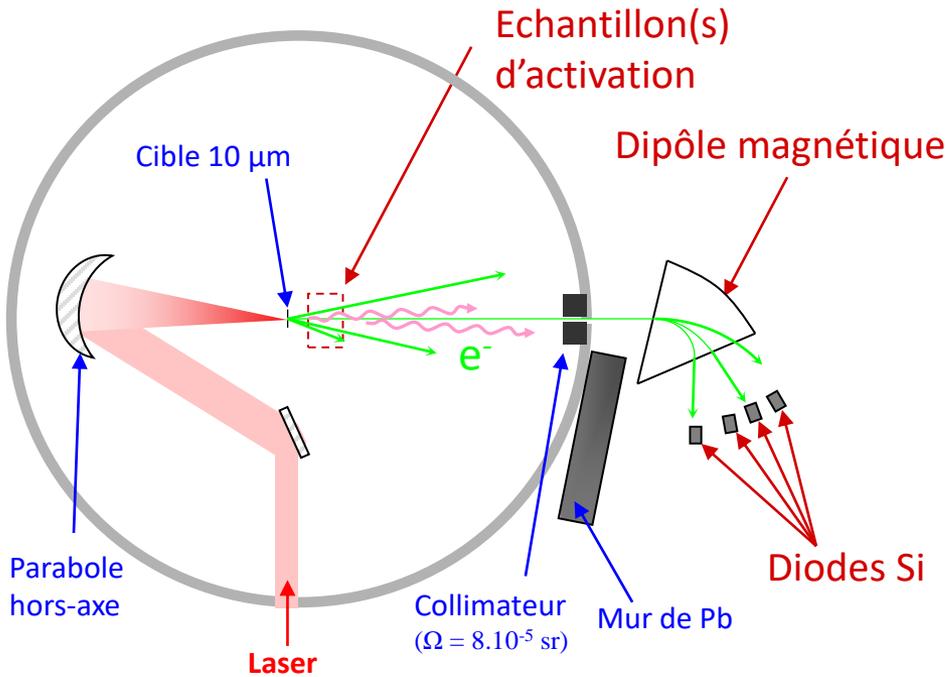
Laser	Energie (Joules)	Durée du pulse (fs)	Puissance (TW)	focal (μm)	Cadence (Hz)	Intensité (W/cm^2)
LOA salle jaune	1	30	33	25	10	7,E+18



Electrons accélérés à partir de cibles solides



Laser	Energie (Joules)	Durée du pulse (fs)	Puissance (TW)	focal (μm)	Cadence (Hz)	Intensité (W/cm^2)
LOA salle jaune	1	30	33	25	10	7,E+18

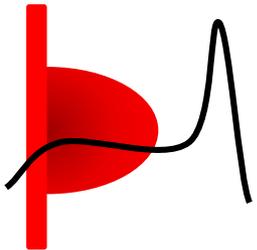


Cible de 10 μm	Température (MeV)
CH	5.9 ± 0.8
Cu	10 ± 2

Interaction Laser-cible solide ?

ASE :
Amplified
Spontaneous
Emission

Le prépulse crée un préplasma

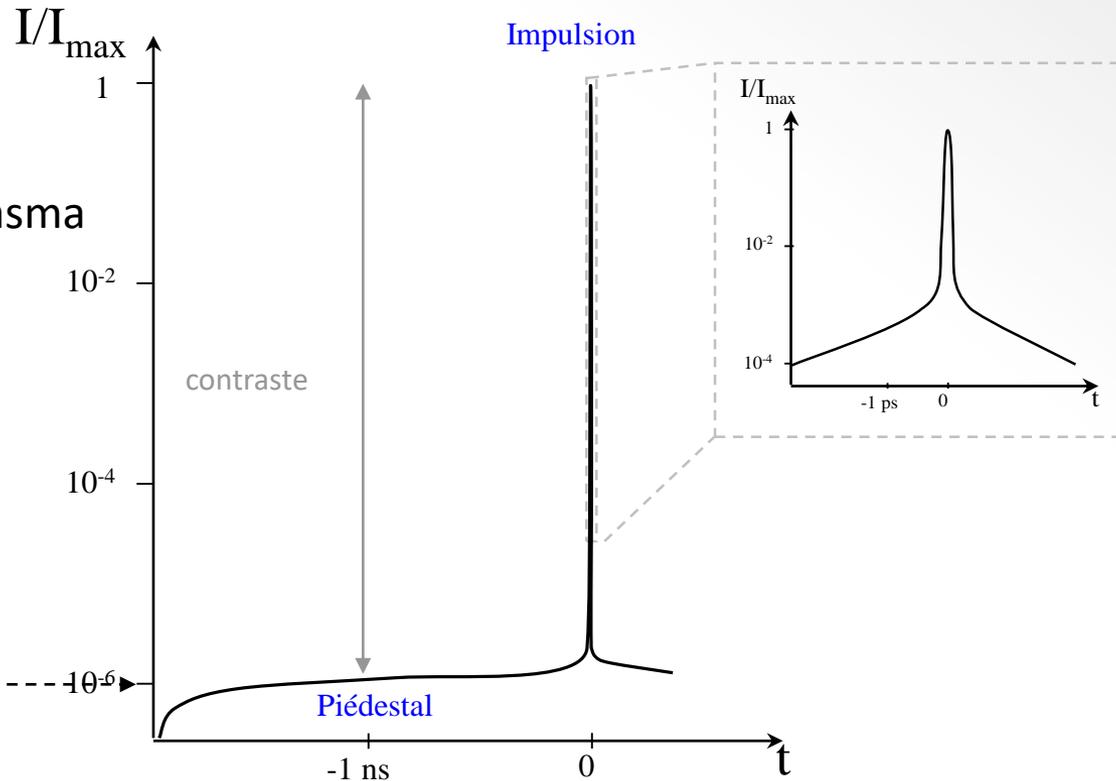


Seuil d'ionisation
 $\sim 10^{12} \text{ W.cm}^{-2}$

$$I = \frac{E}{\Delta t \cdot S}$$

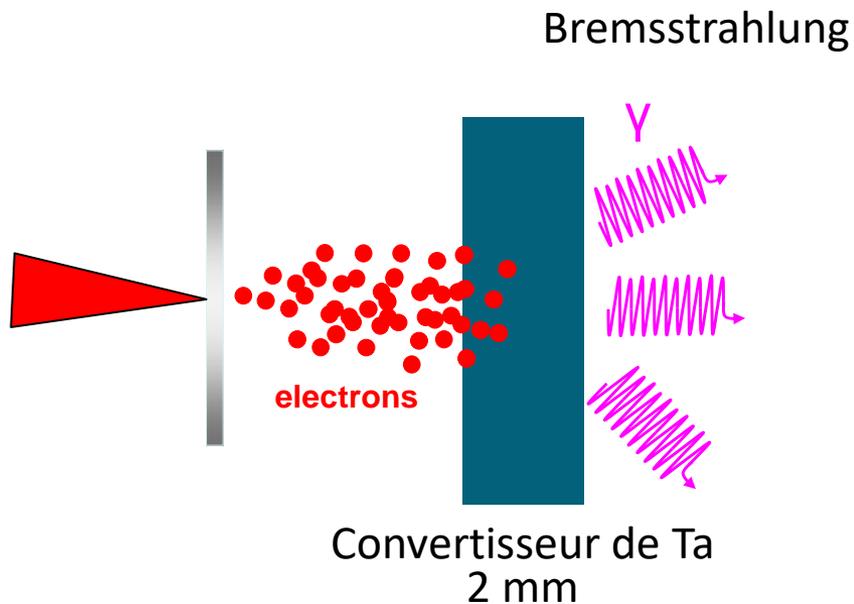
$$I_0 \sim 10^{20} \text{ W/cm}^2$$

Δt FWHM d'un pulse gaussien



Source de photons de grande énergie

Pour faire des réactions nucléaires, les γ sont intéressants

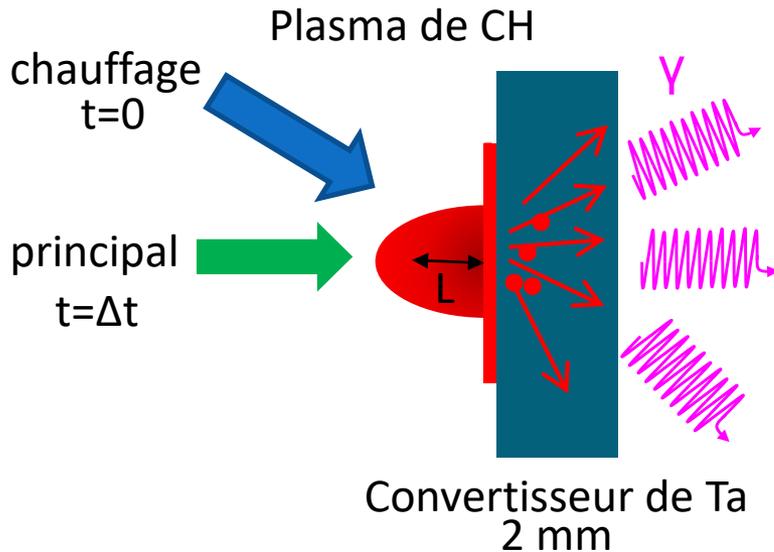


Source de photons de grande énergie

Laser	Energie (Joules)	Durée du pulse (ps)	Puissance (TW)	focal (μm)	Cadence (1/min)	Intensité (W/cm^2)
Chauffage	40	600	0,07	160	1/20	3,3E+14
Principal	7	0,4	17,5	17	1/20	8.E+18

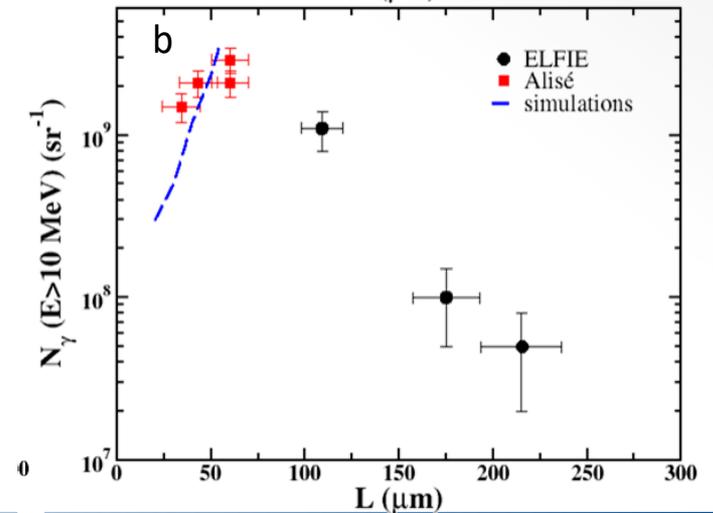
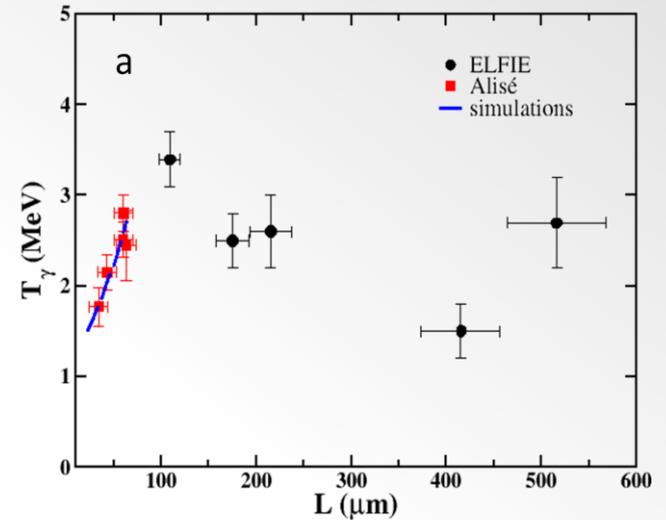


Thèse Th. Bonnet 2013
Université de Bordeaux



Source de photons optimale (nombre et température)

$L \approx 100 \mu\text{m}$



C. Courtois et al., *Physics of Plasmas* 16, 013105(2009)

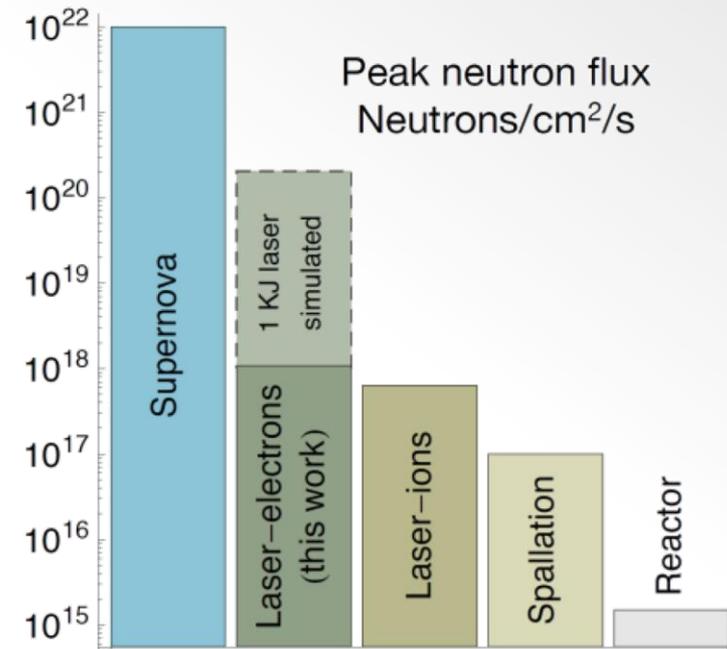
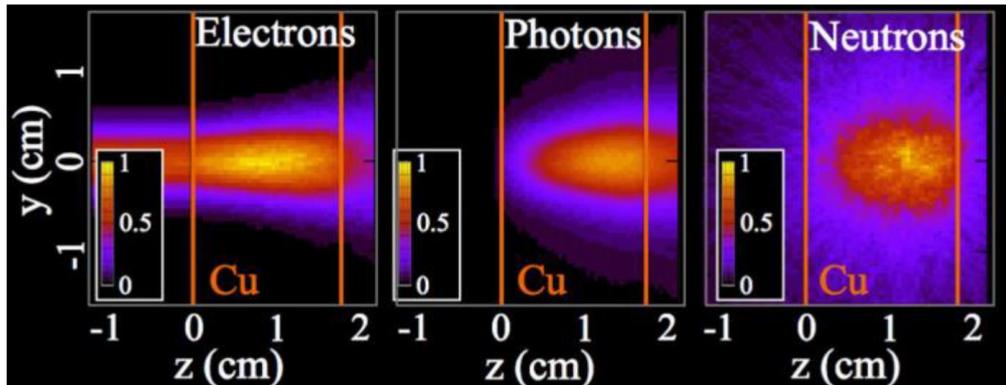
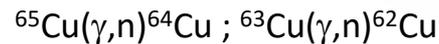
A. Compant La Fontaine et al., *Physics of Plasmas* 26, 113109 (2019)

C. Courtois et al., *Physics of Plasmas* Vol.27, Issue 11 (2020)

Neutrons produits par ALP

- Electrons (~ 100 nC) $\Rightarrow \gamma \Rightarrow$

90J ; 150 fs ; $2 \cdot 10^{20}$ W/cm²



Durée du pulse neutrons : 50 ps

$\sim 4 \times 10^7$ n/sr / tir

$\Leftrightarrow \sim 10^8$ n/cm² / tir à 50 cm de la source

$\Leftrightarrow \sim 10^{18}$ n/cm² / s en pic!

Mais en réalité @10Hz :

$\sim 10^{11}$ n/cm² /s à 5 cm

Besoin de plus d'électrons

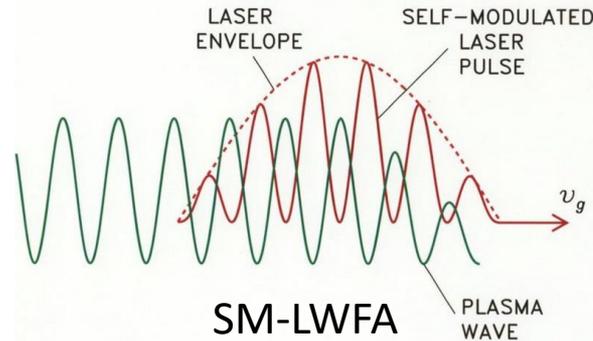
Direct Laser Acceleration d'électrons

22-PS-F6 ; JR Marques (LULI) (19 Juin – 7 Juillet 2023)

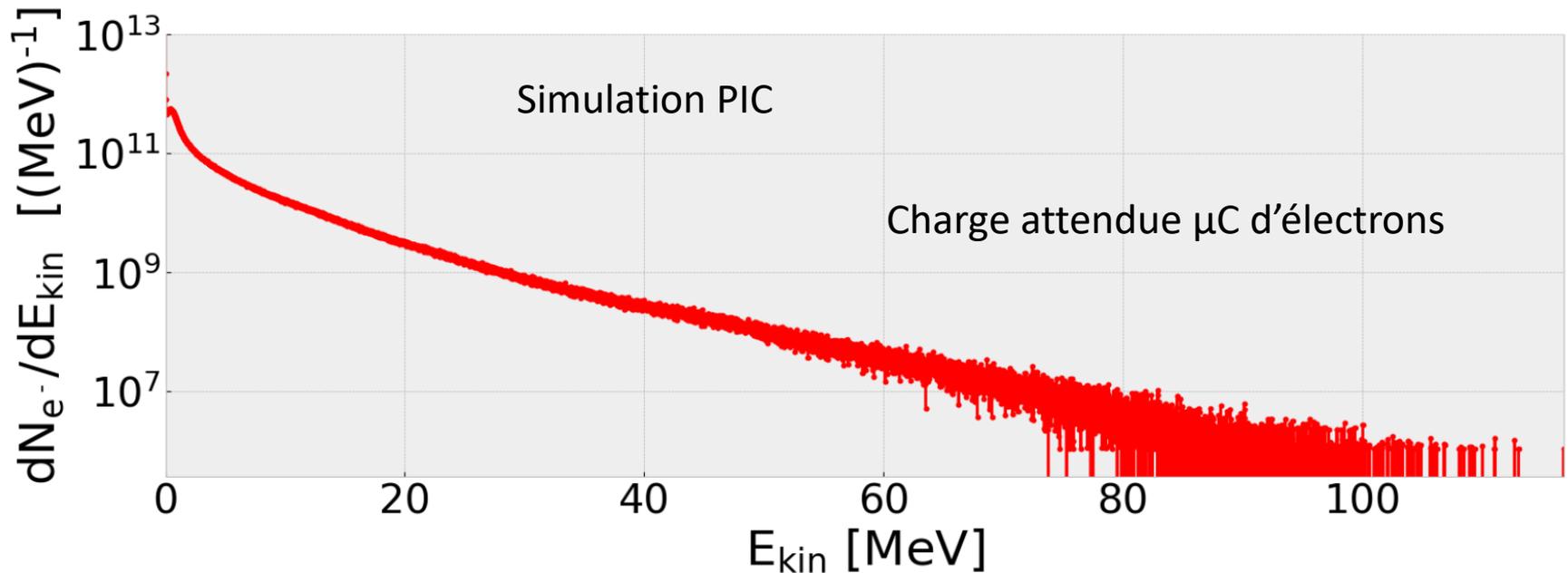
PICO 2000

60 J ; 1 ps ($L_{\text{laser}} \sim 300 \mu\text{m}$)

$5 \cdot 10^{19} \text{ W/cm}^2$



Jet de gaz de 10^{20} He/cm^3
Micrométrique ($L_{\text{onde-plas}} \sim 3 \mu\text{m}$)



Projet PALLAS



Prototype d'injecteur Laser-Plasma

- Staged effort:

phase 1 : laser optimization & control, target first electron characterization

phase 2 : laser and beamline upgrade electron beam optimization

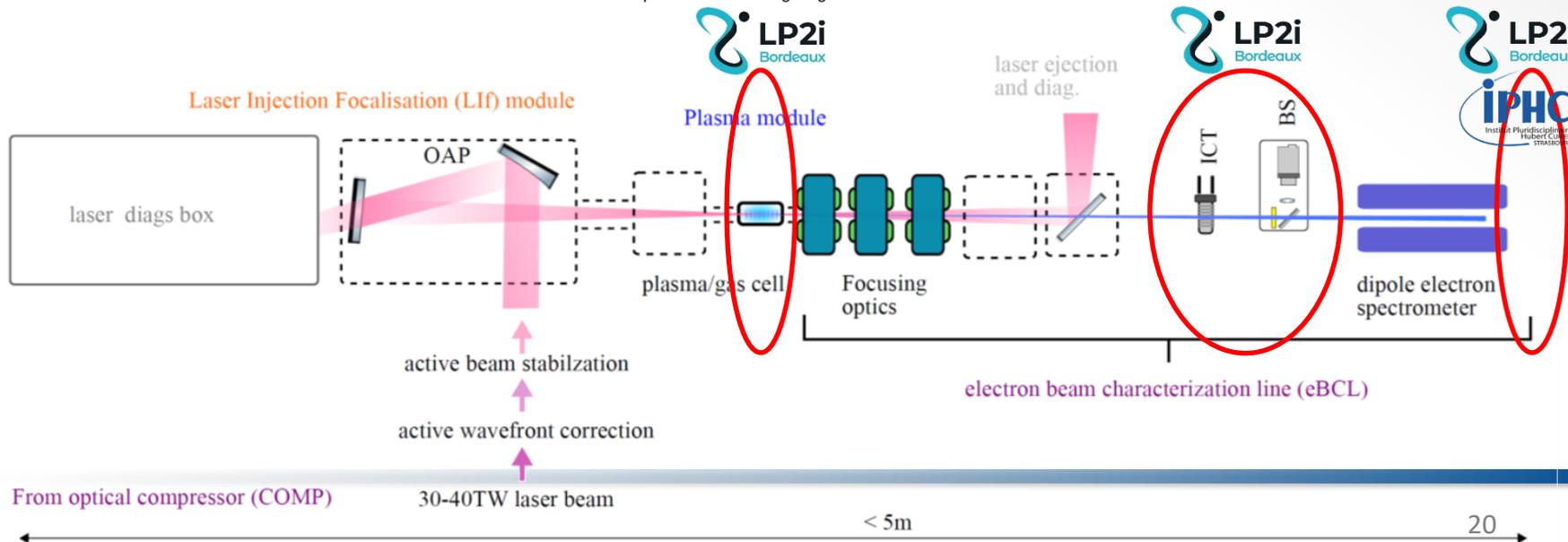
phase 3 : transport beamline full LPI optimization

- EuPRAXIA** parameters for technical design study 1

- continuous 10 Hz** beam to enable machine studies

Parameters	phase 1	phase 2	phase 3	unit
energy	150	200	200	MeV
charge	15-30	30	30	pC
frep	10	10	10	Hz
energy spread	<10%	< 5%	< 5%	peak (FWHM)
$\epsilon_{T,n}$	1	<1	<1	mm.mrad
stability	5%	3%	1%	-
reproducibility	5%	3%	3%	-

Nota bene : **value phase 3** are considered at the virtual entrance of a second laser-plasma accelerating stage.



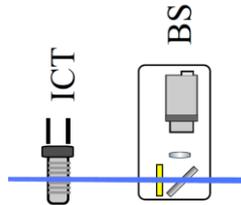
Projet PALLAS

Contributions du LP2IB

Workshop de prise de contact : 16 février 2023

- ✓ Modélisation FLUENT© écoulement de la cellule gazeuse (C.E. Demonchy)
- ✓ Participation aux premiers tir sur la cellule de gaz au LOA : 30 mai -7 Juin 2023 (A. Maitrallain)
- ✓ Modélisation G4 des Yag:Ce des Beam Stations (BS) (A. Huber)

ICT : Integrating Current Transformer

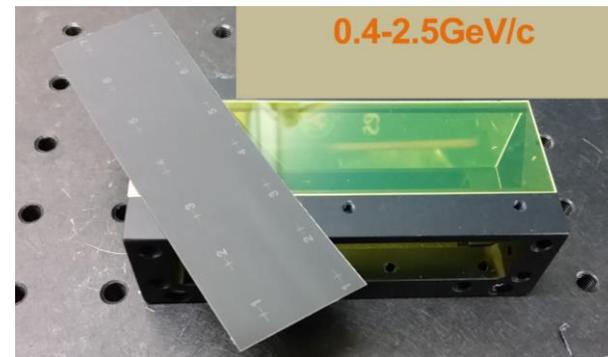
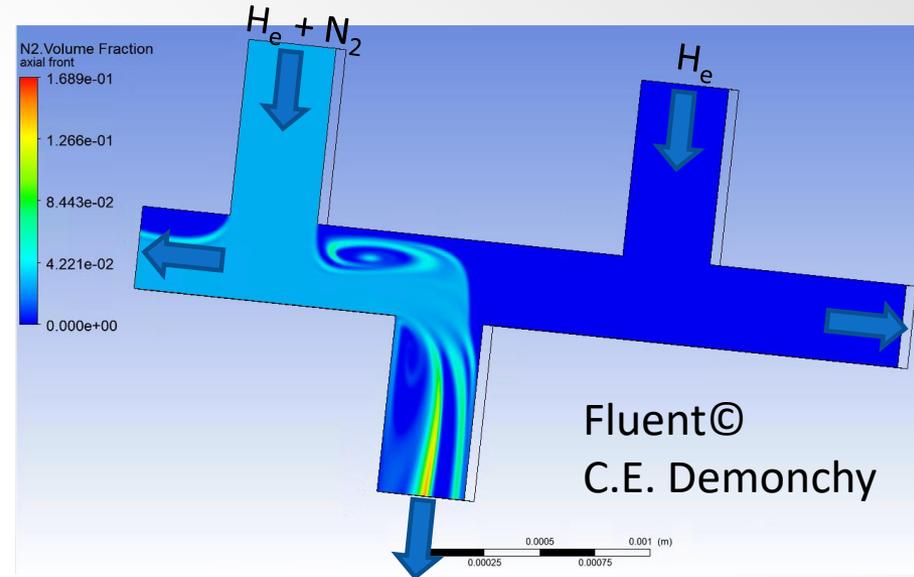


- ✓ Détection temps réel derrière le spectromètre dispersif (CMOS)



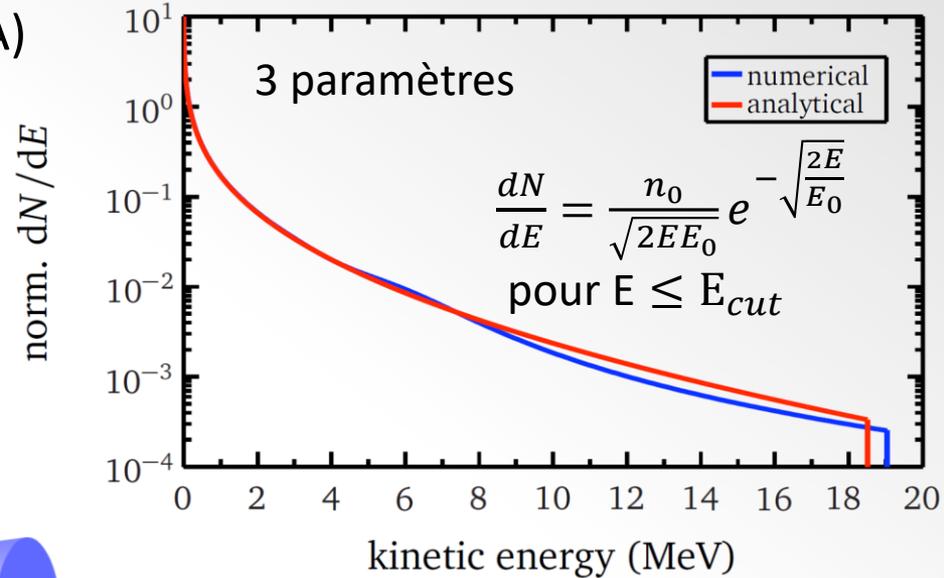
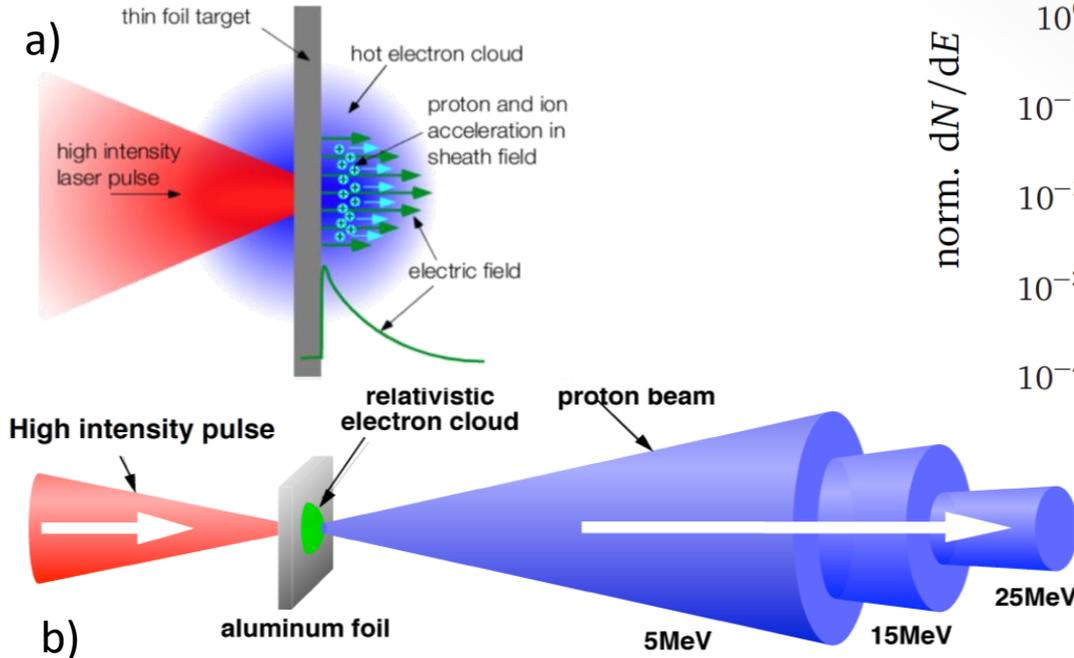
- ✓ Mesure de l'activation du collimateur

- ✓ Monitoring de l'interaction par les X produits ?



Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible solide

Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)

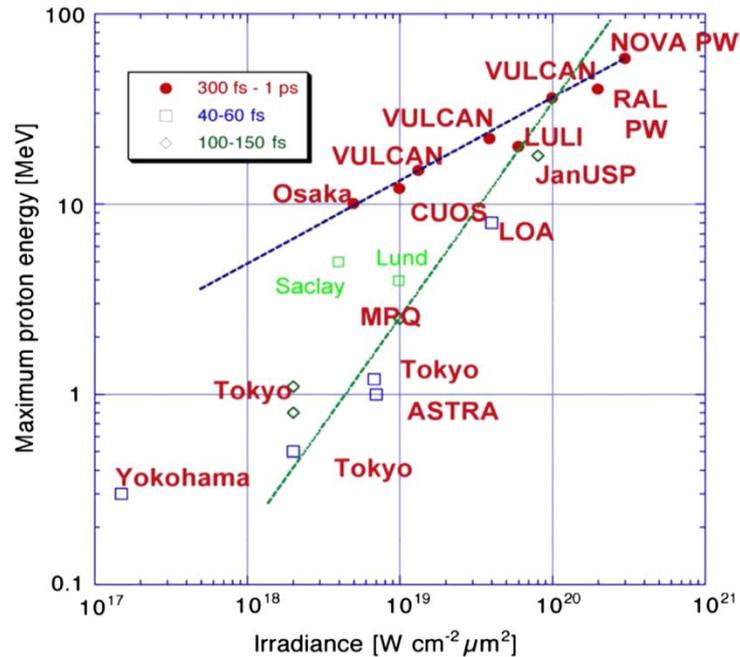


ROTH, Met al. Ion Acceleration—Target Normal Sheath Acceleration.
CERN Yellow Reports, [S.I.], v. 1, p. 231, feb. 2016.

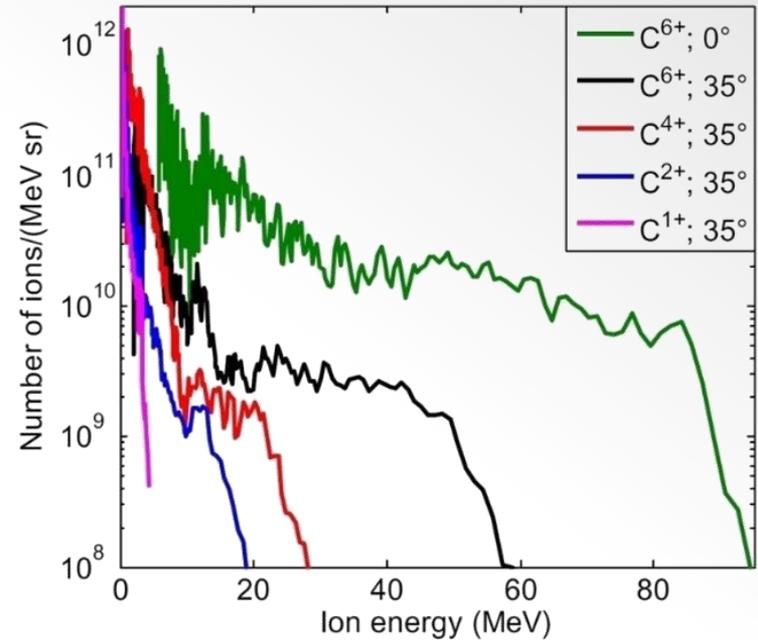
- **Cibles solides** utilisées depuis le début des années 2000 : mécanismes bien maîtrisés
- **Spectres** en énergie **continus** et distributions angulaires **larges** (jusqu'à un cône de $\sim 40^\circ$)

Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible solide

Protons accélérés par laser dans le monde



Macchi et al. *Rev. Mod. Phys.*, **85**, 751 (2013)



Carroll, D. C et al., *New Journal of Physics* **12** (2010) 045020 (15pp)

Astra-Gemini Laser : 115 TW ; 6 J ; 50 fs $\Rightarrow 7 \times 10^{20} \text{Wcm}^{-2}$

Nous avons choisi d'explorer l'accélération laser-plasma d'ions à partir d'un jet de gaz dense

Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible gazeuse : pourquoi ?

A cause des nouveaux laser à hauts taux de répétition

- Grandes infrastructures de recherche PW (10 Hz – 1 tir/min)

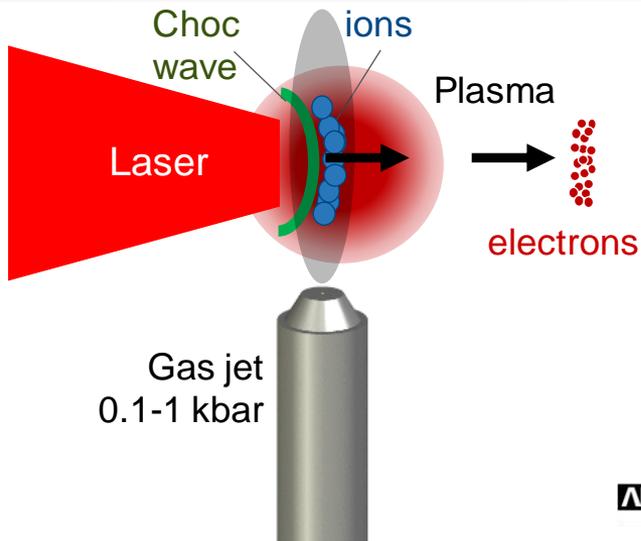


- Lasers commerciaux de qq 100 TW @ 10 Hz (Thales, Amplitude, etc...)

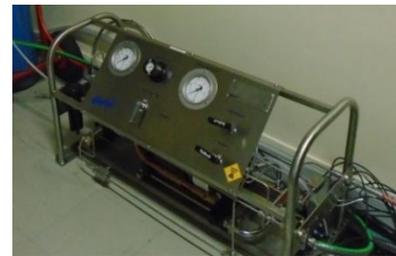
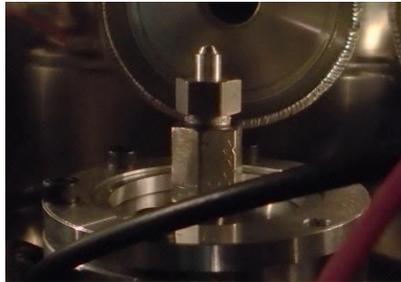
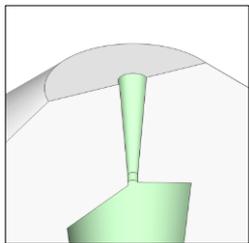
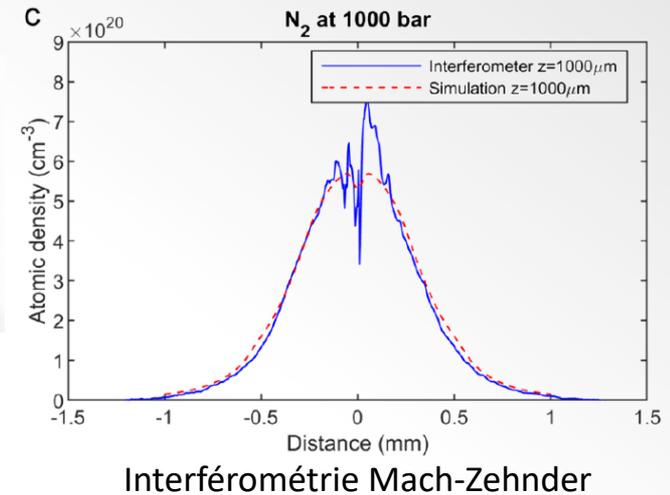
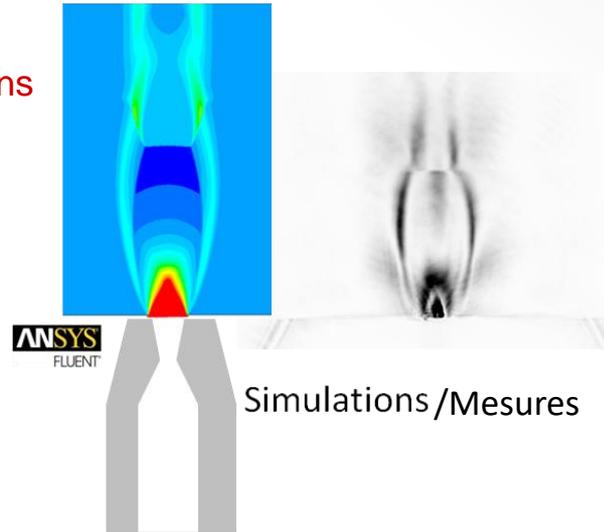
Donc cible jet de gaz pour

- ✓ Régénération et positionnement précis de la cible
- ✓ Répétabilité de la cible tir à tir
- ✓ Production de débris limitée
- ✓ Accès facile à différents types d'ions
- ✓ Processus d'accélération prometteurs : ~ 100 MeV, $> 10^{12}$ ions, mono-énergétique?

Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible gazeuse : la cible



• Design et caractérisation des jets de gaz au laboratoire



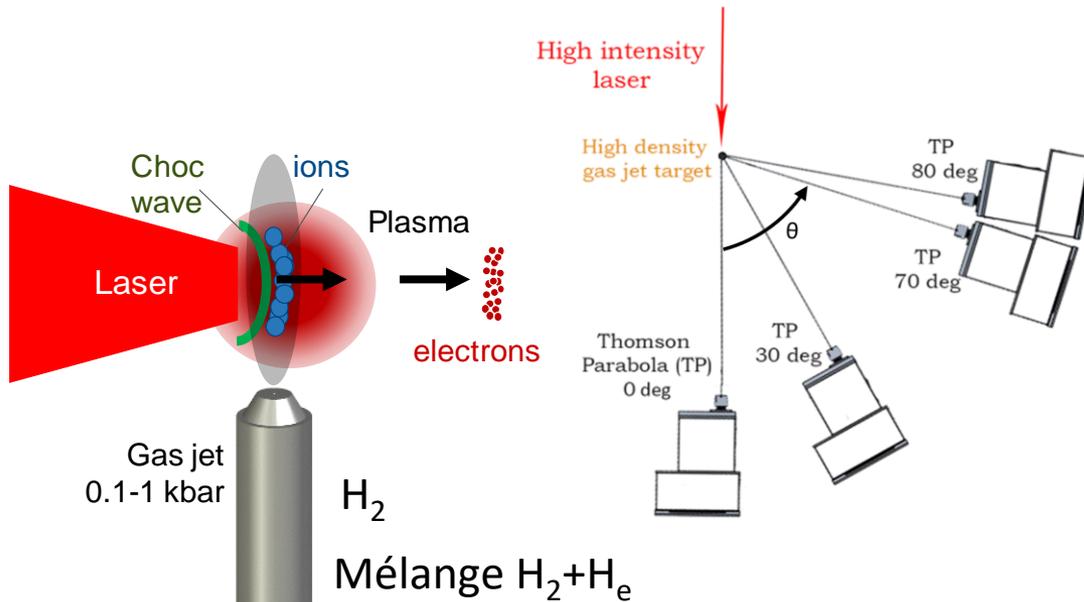
- J.L. Henares (2016-2019)
- Thèse P. Puyuelo-Valdes (2017-2020)

Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible gazeuse : l'expérience

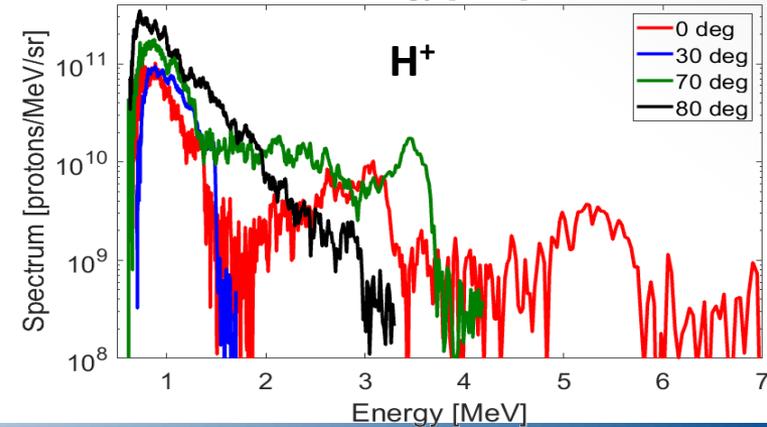
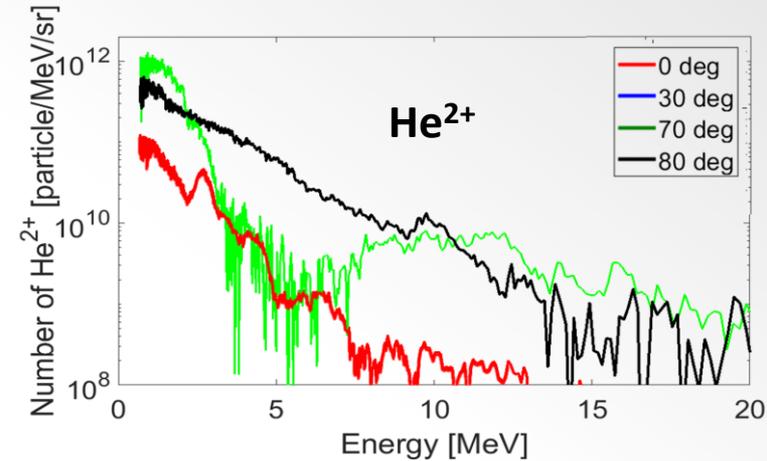
Expériences en février et Juillet 2018



Laser	Energie (Joules)	Durée du pulse (ps)	Puissance (TW)	focal (μm)	Intensité (W/cm^2)
PICO 2000	60	1	60	13	5E+19



Thèse P. Puyuelo-Valdès 2020



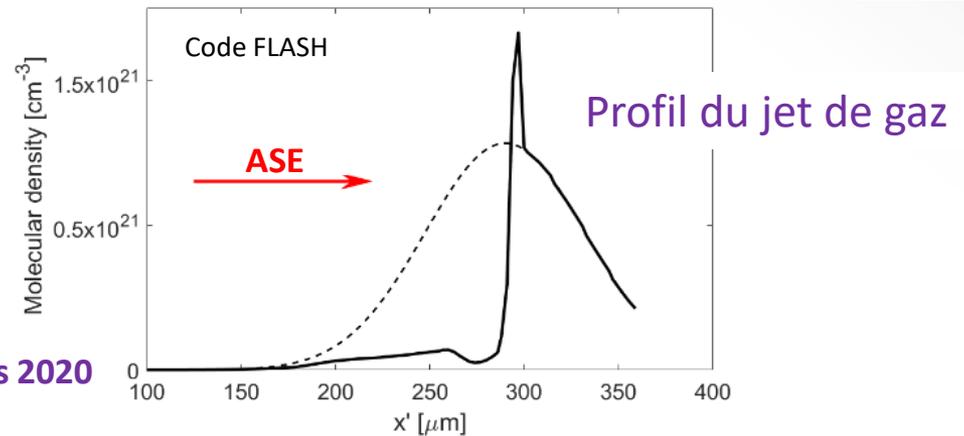
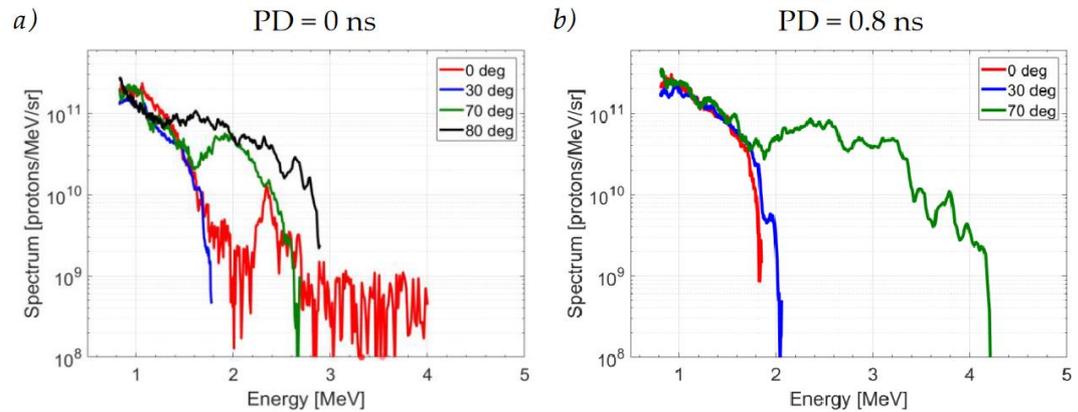
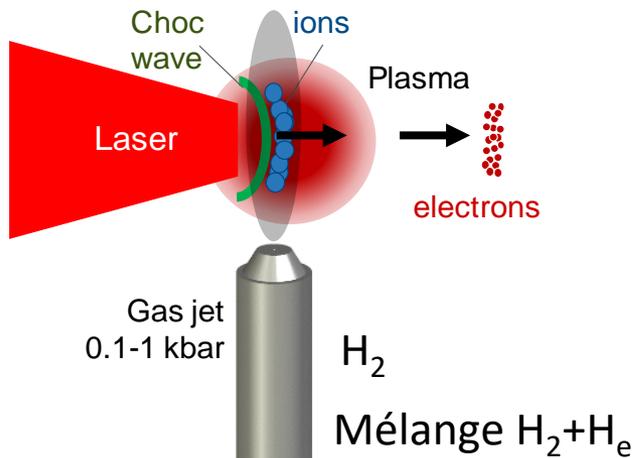
Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible gazeuse : l'expérience

Expériences en février et Juillet 2018



Laser	Energie (Joules)	Durée du pulse (ps)	Puissance (TW)	focal (μm)	Intensité (W/cm^2)
PICO 2000	60	1	60	13	5E+19

Rôle de l'ASE (prepulse)

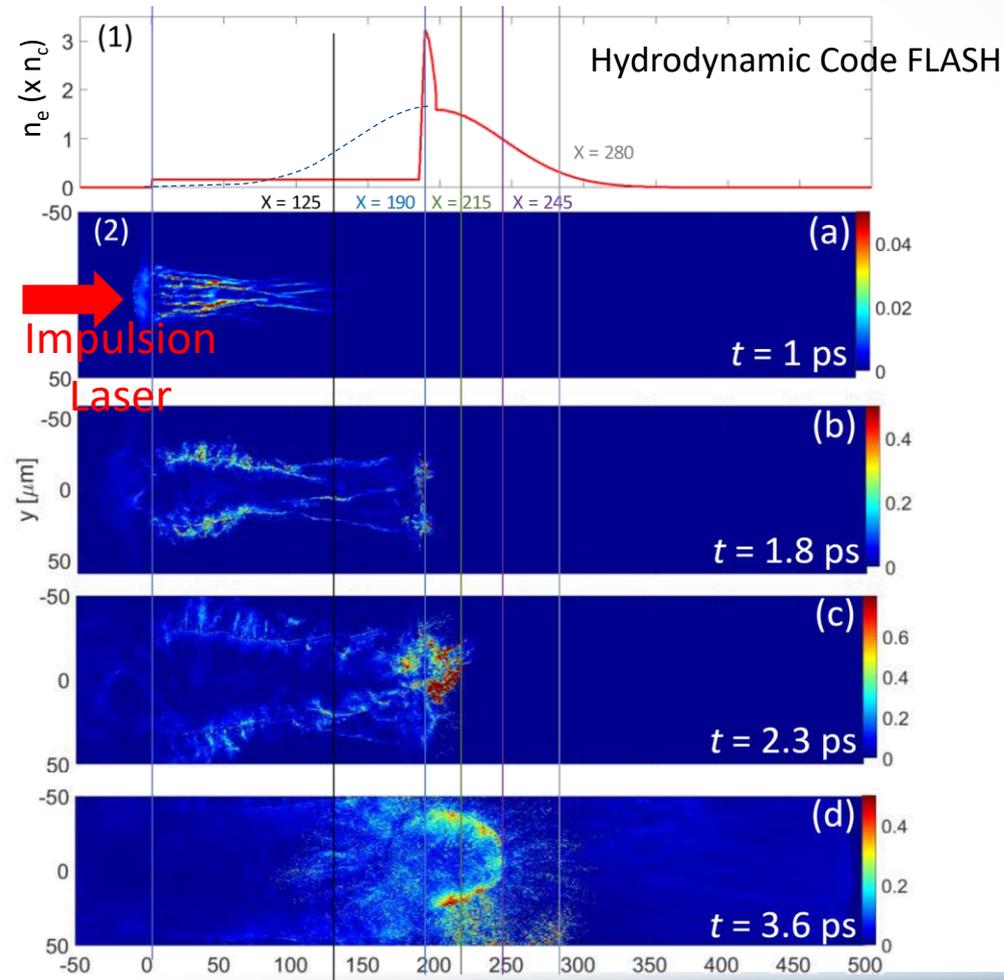


Thèse P. Puyuelo-Valdès 2020

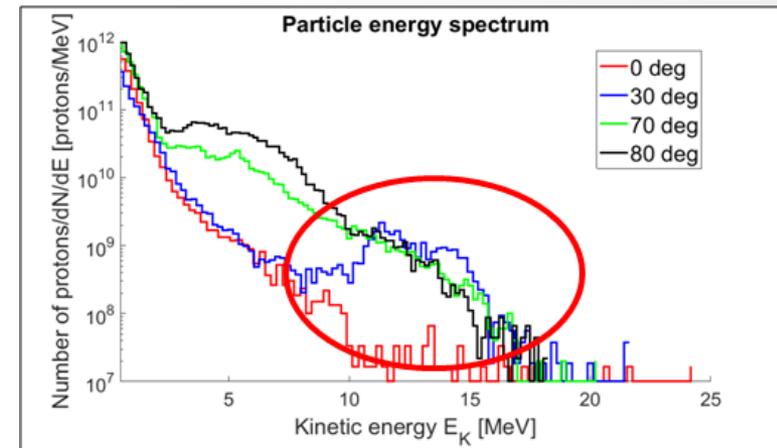
Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible gazeuse : la simulation

Simulations Hydrodynamiques (FLASH) et Particle-In-Cell (PIC)

Code Particle In Cell : PICLS



Les distributions en énergies reconstruites à partir des simulations PIC reproduisent les structures observées



Altération de l'impulsion laser dans la zone de faible densité

Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible gazeuse : Le façonnage optique

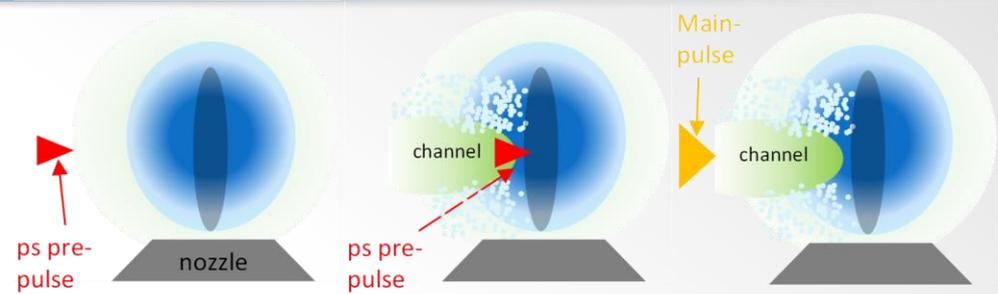
Longitudinal

Thèse K. Bontemps (2022-2025)



1000 fois moins d'ASE que PICO2000

Bouger les électrons

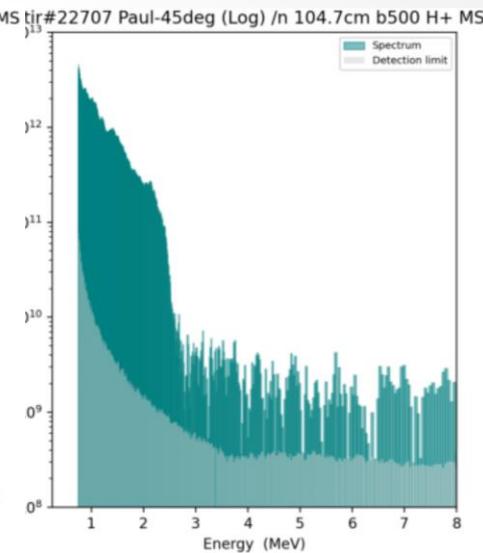
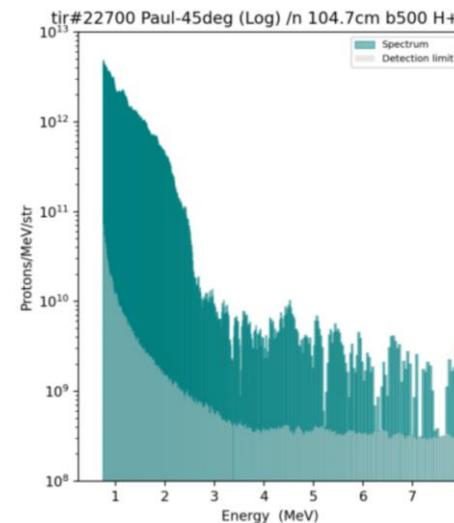
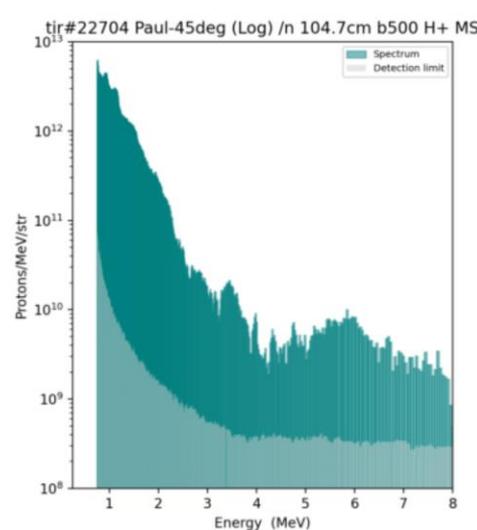
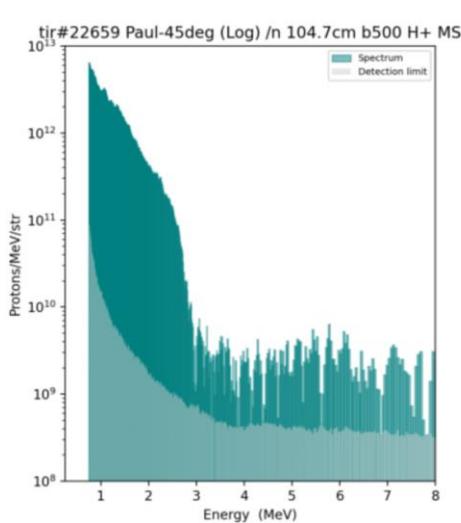


Prépulse	0 J ; 0 ps
Main pulse	92,8 J

Prépulse	0,1 J ; -10 ps
Main pulse	96,1 J

Prépulse	0,1 J ; -100 ps
Main pulse	88,1 J

Prépulse	0,1 J ; -250 ps
Main pulse	91,2 J

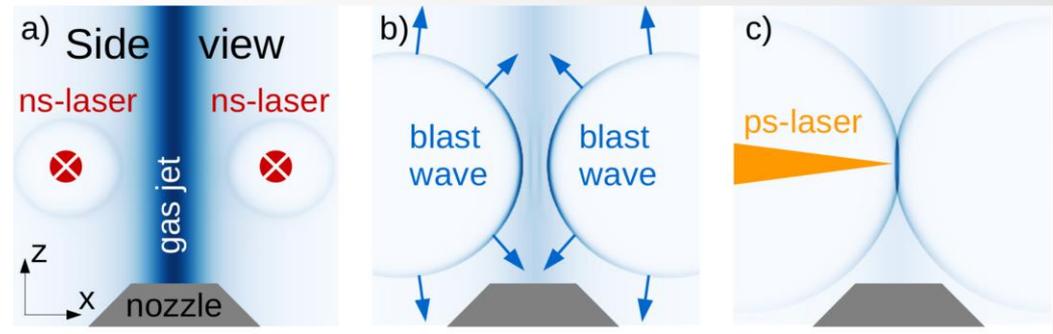


Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible gazeuse : Le façonnage optique

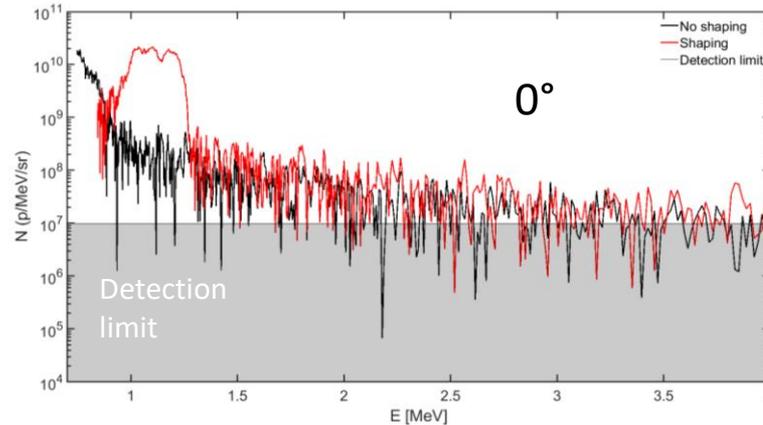
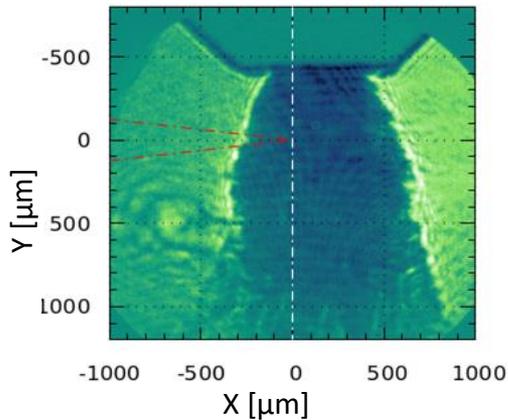
Transverse

ns beams : 4-6 J x2 [-6 ; -1,8] ns
avant le ps-laser

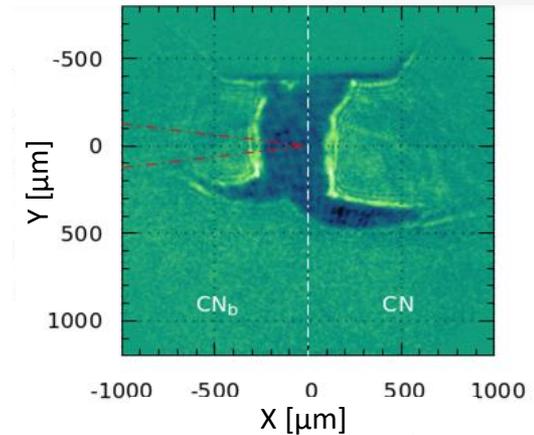
Bouger les ions



No shaping at 800 bar



Shaping at 200 bar

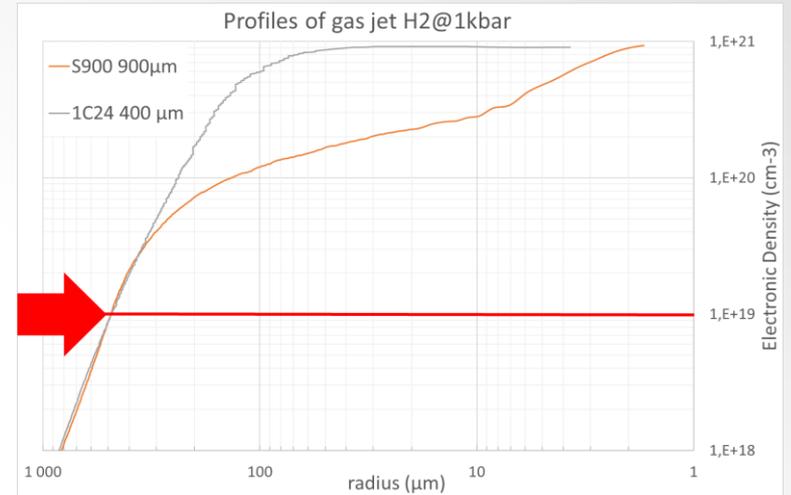
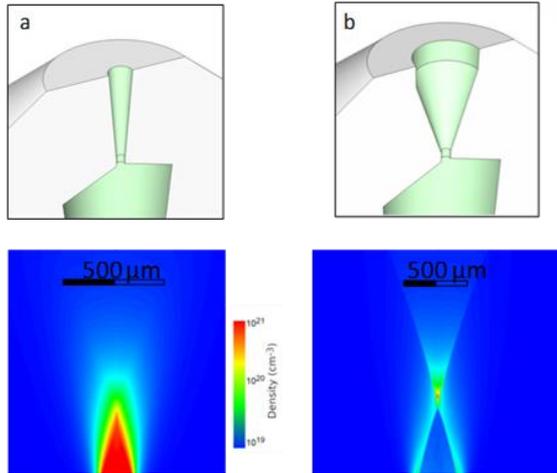


- Besoin d'études paramétriques de l'accélération → hauts taux de répétition

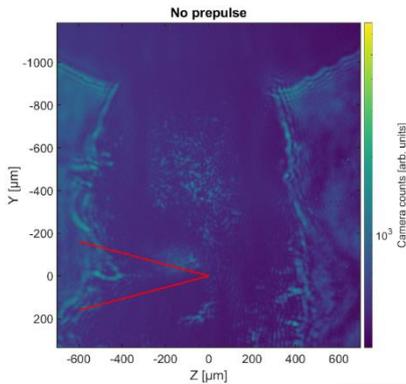
Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible gazeuse : Le façonnage optique

des Buses à choc

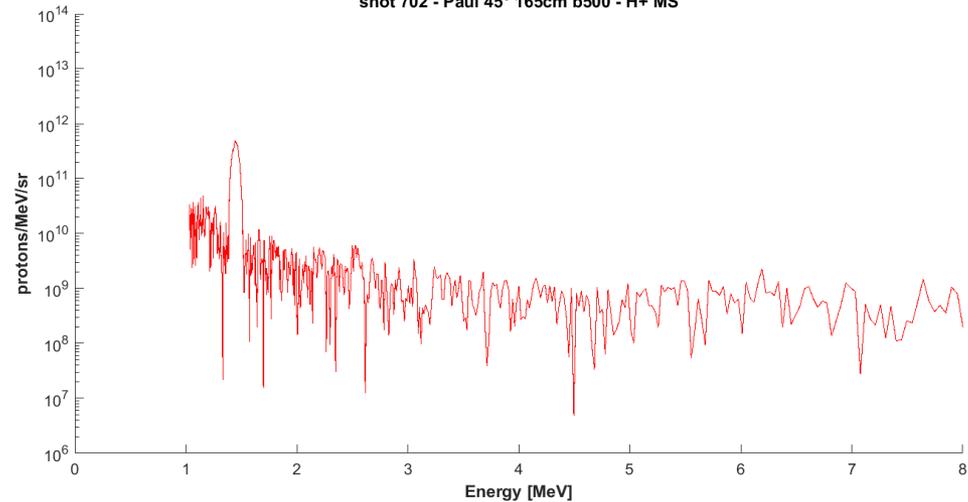
Thèse K. Bontemps (2022-2025)



Tir sans prépulse @1
kbar 104 J (probe +312 ps)



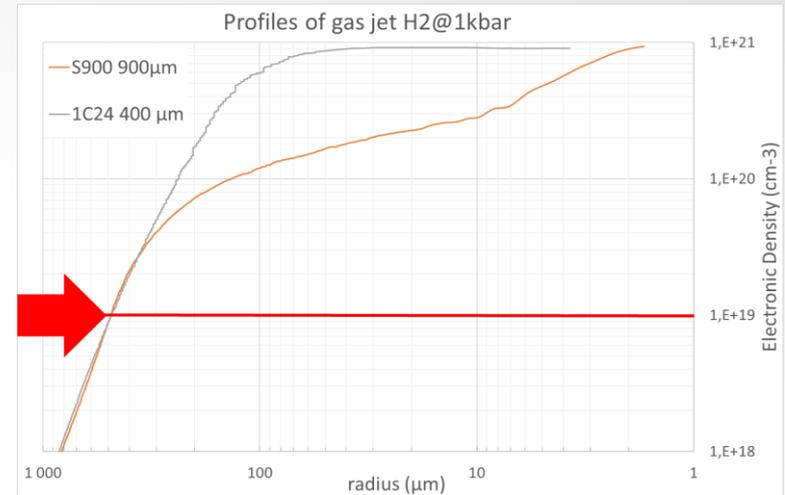
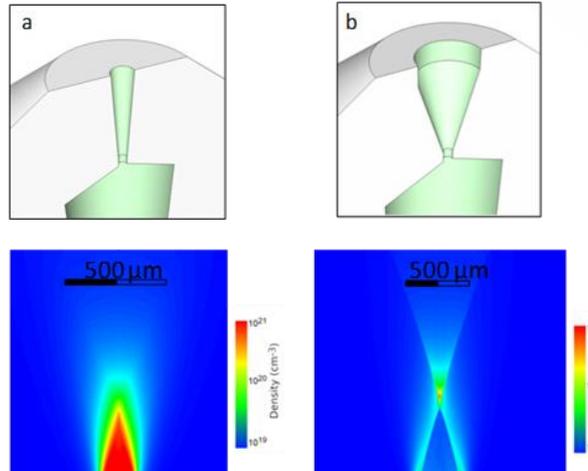
shot 702 - Paul 45° 165cm b500 - H+ MS



Faisceaux d'ions accélérés par laser sur cible gazeuse : Le façonnage optique

Buse à choc :

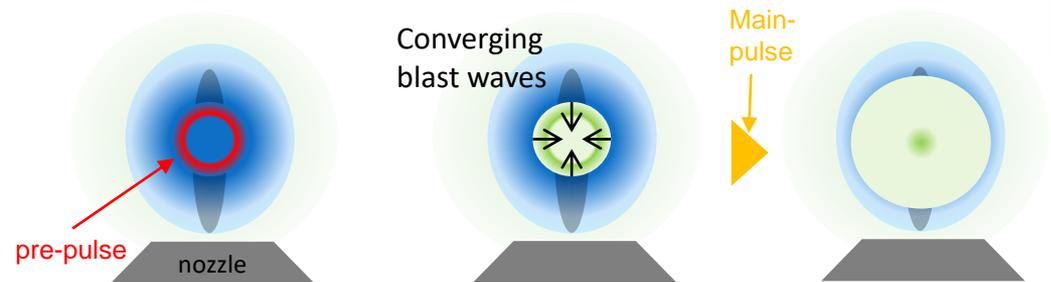
Thèse K. Bontemps (2022-2025)



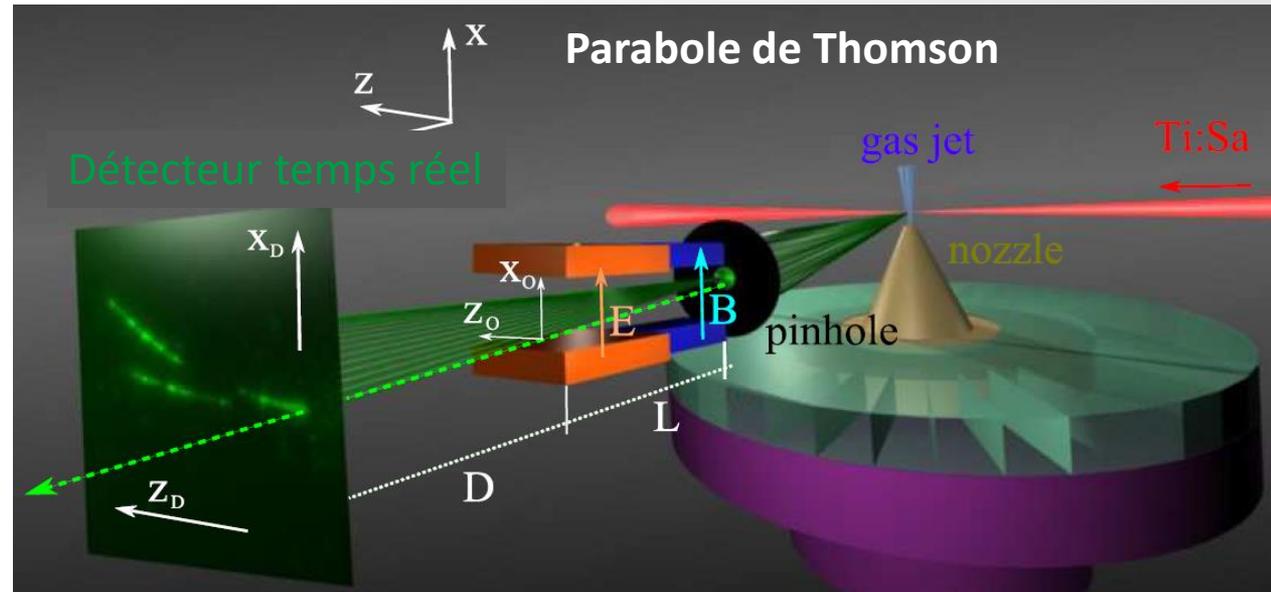
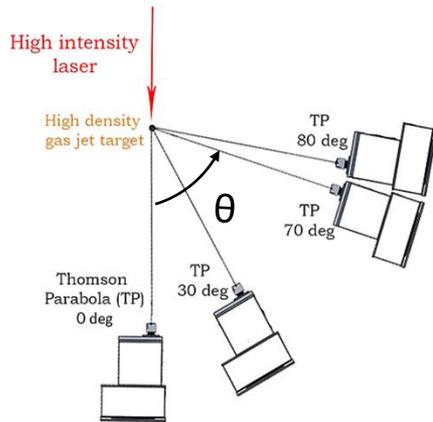
- ✓ Baisser la pression à 100 bar au lieu de 1000 bars
- ✓ Densifier le cœur de la cible par utilisation d'un faisceau annulaire OAM (Orbital Angular momentum)

Etudes de façonnage ns
faites au LP2IB

- **A. Maitrallain (2021-2023)**



Spectromètre dispersif à hauts taux de répétition



- Utilisation de détecteur passifs incompatible avec les hauts taux de répétition
- Besoin d'un détecteur à localisation temps réel derrière le spectromètre

□ CMOS directement dans plan image

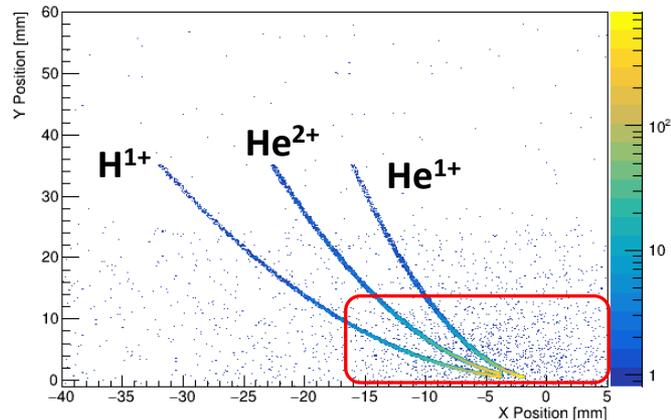
→ Collaboration avec Maciej Kachel

Spectromètre dispersif à hauts taux de répétition

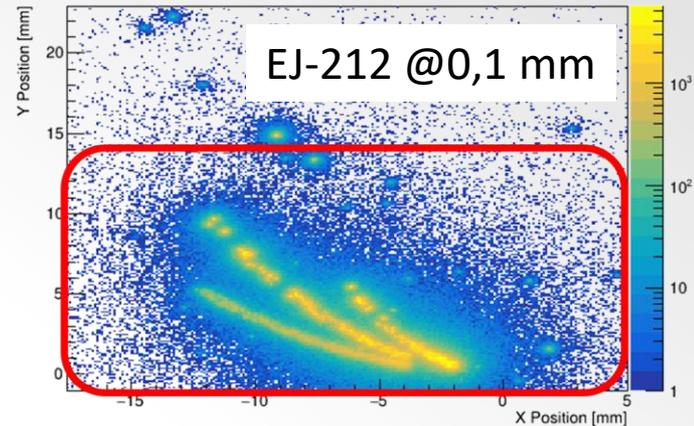
A. Huber (2022-2024)

Utilisation d'un scintillateur lu par un CMOS

- Simulation Geant4
 - Trajectoire de la particule dans le spectromètre
 - Scintillation
 - Trajectoire des photons émis par le scintillateur

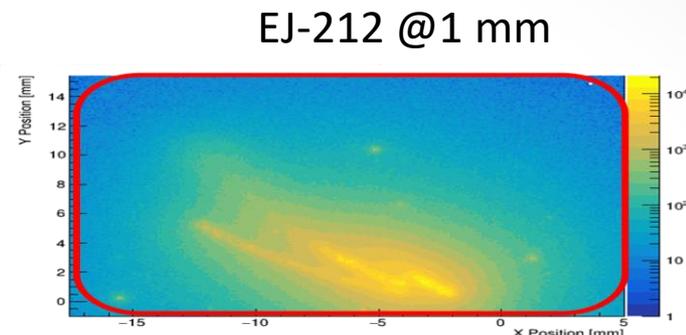


IP like



Epaisseur du scintillateur ↗

- Nombre de photons générés ↗
- Elargissement des traces ↗
- A haute et basse énergies le signal ↘



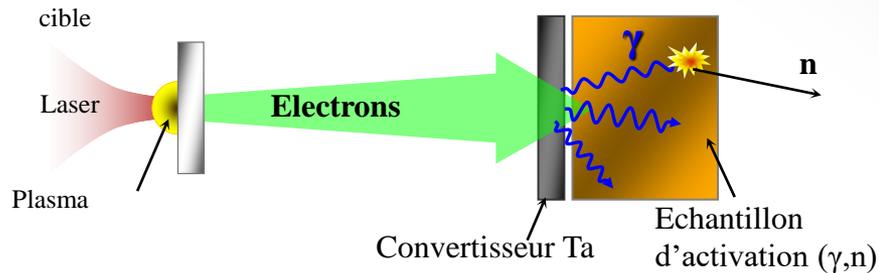
LA FORMATION DE RADIOISOTOPES

- Caractériser les faisceaux de particules.
- Applications médicales

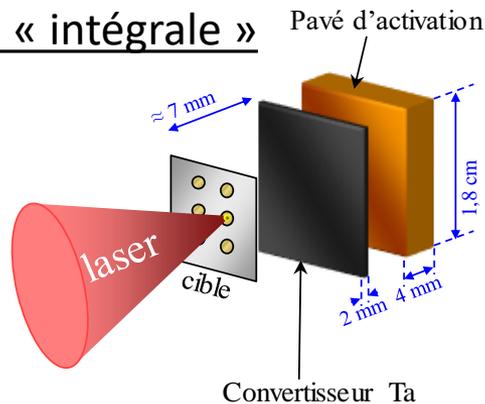
Caractériser les faisceaux d'électrons

Activation nucléaire

M. Gerbaux (2004-2007)

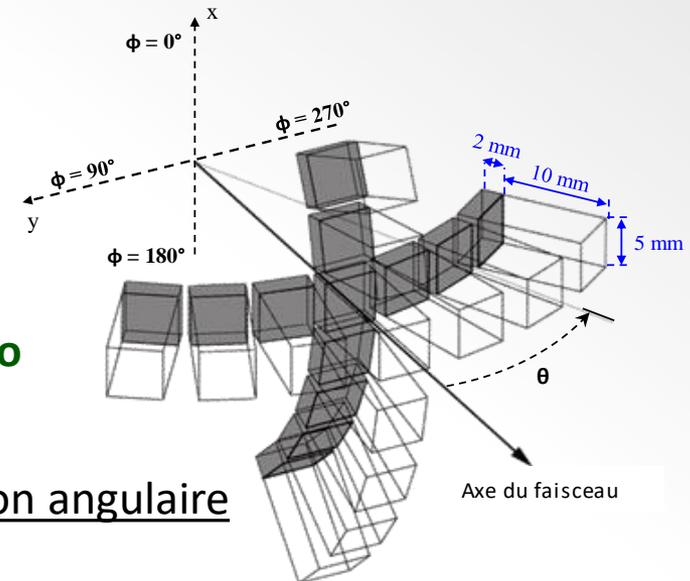


Activation « intégrale »



GEANT3
Code Monte-Carlo

Distribution angulaire

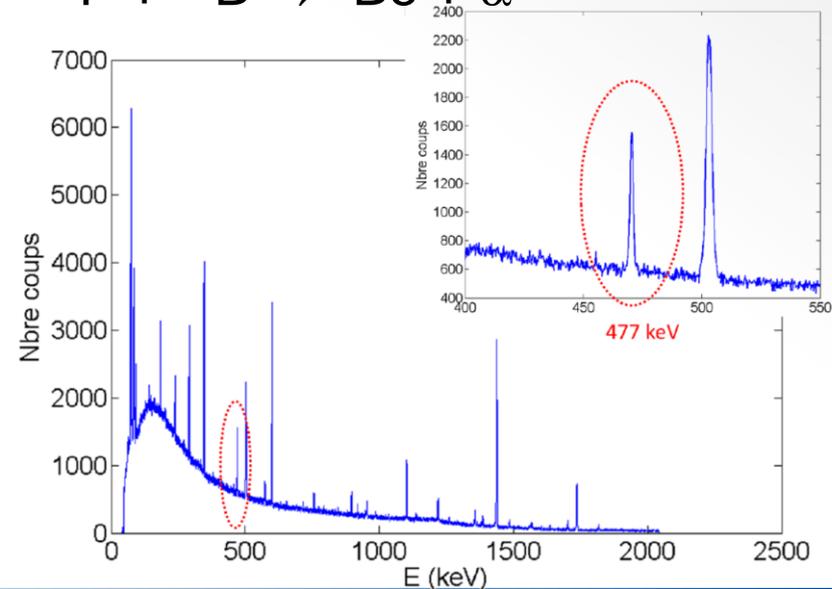
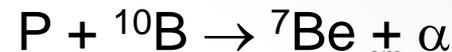
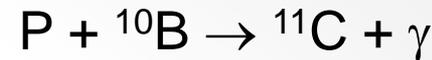
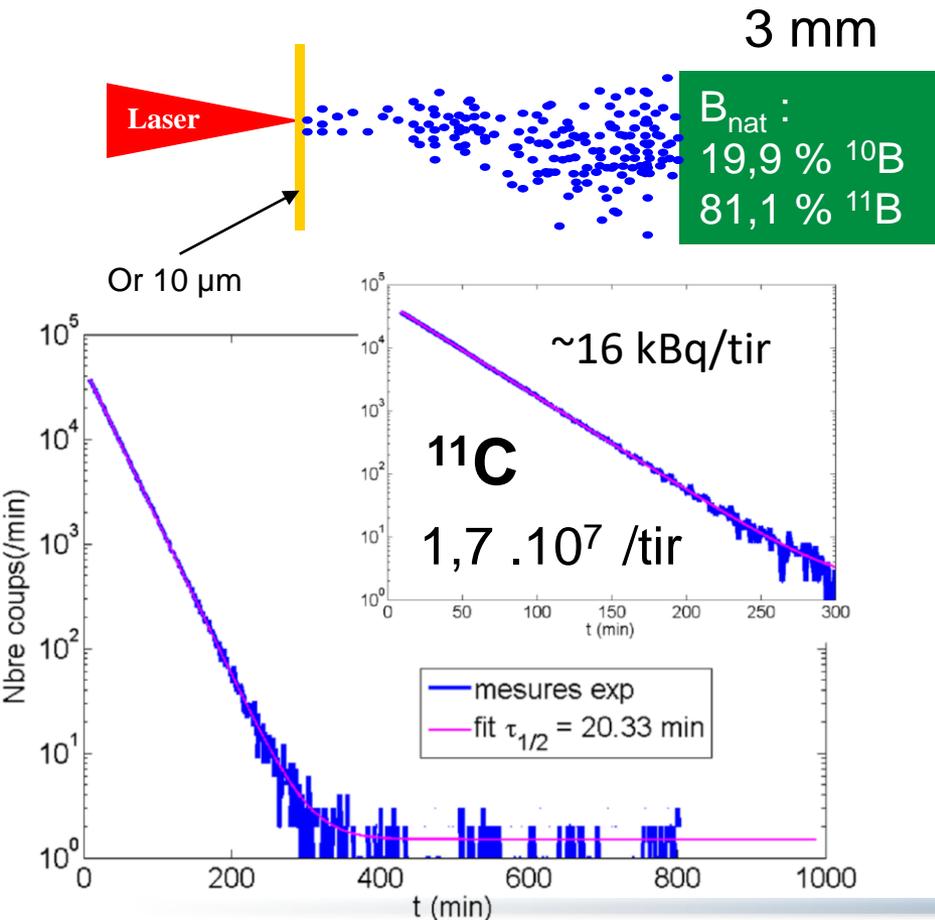


Cible de 10 μm	Température (MeV)	Nombre d'électrons de plus de 10 MeV	Angle Θ ($^\circ$ FWHM)
CH	5.9 ± 0.8	$(1.60 \pm 0.14) \times 10^9$	13 ± 2
Cu	10 ± 2	$(1.94 \pm 0.28) \times 10^9$	32 ± 2

Caractériser les faisceaux de protons

Activation nucléaire

Laser	Energie (Joules)	Durée du pulse (ps)	Puissance (TW)	focal (μm)	Intensité (W/cm^2)
LULI Elfie	20	0,35	57	25	1,E+19

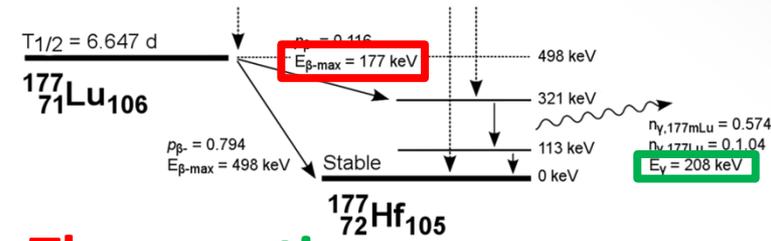


Production de radio isotopes médicaux

PRODUCTION DE RADIOELEMENTS POUR APPLICATION MEDICALE

ORIGINE	DIAGNOSTIQUE		THERAPIE	
Cyclotrons	Isotope	Demi-vie	Isotope	Demi-vie
	Gallium-68	67.8 min	Palladium-103	17 days
	Indium-111	2,8 days	At-211	7.2 hours
	Iode-123	13,3 hours	Cuivre-67	2.58 days
	Thallium-201	3,0 days		
	Krypton-81	13 seconds		
	Germanium-68	271 days		
Test reacteurs	Isotope	Demi-vie	Isotope	Demi-vie
	Chrom-51	27,7 days	Césium-137	30,0 years
	Fer-59	44,5 days	Cobalt-60	5,3 years
	Iode-131	8,0 days	Erbium-169	9,5 days
	Iode-125	59,9 days	Iode-131	8,0 days
	Xénon-133	5,2 days	Iridium-192	74,0 days
	Indium-113	1,6 hours	Palladium-103	17 days
	Technétium-99m	6,2 hours	Phosphore-32	14,3 days
			Rhénium-186	3,7 days
			Rhénium-188	16,9 hours
			Samarium-153	1,95 days
		Strontium-85	64,8 days	
		Strontium-89	50,5 days	
		Lutetium-177	6,7 days	
		Yttrium-90	2,7 days	

¹⁷⁷Lu-DOTATATE (Lutathera – AAA)
(Images à 24h; émission γ 208 keV)

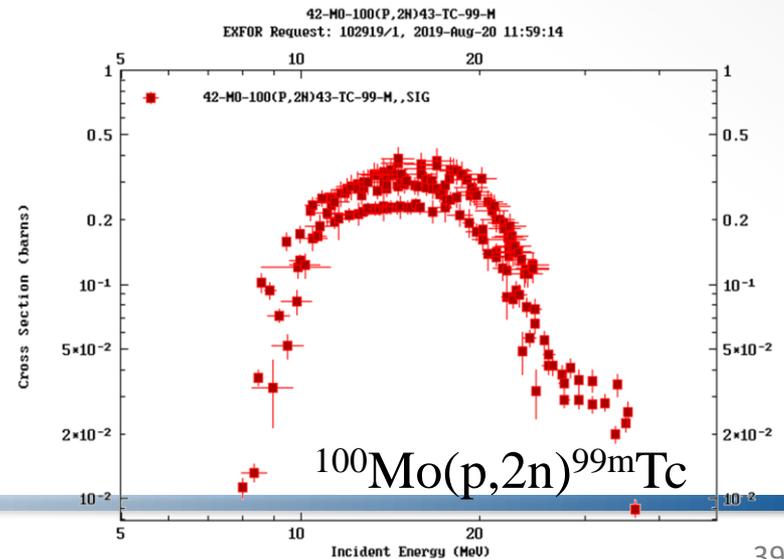
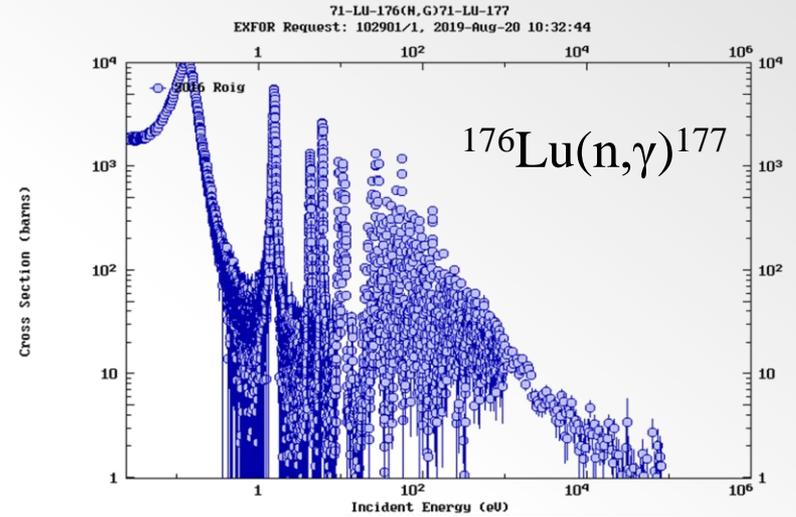
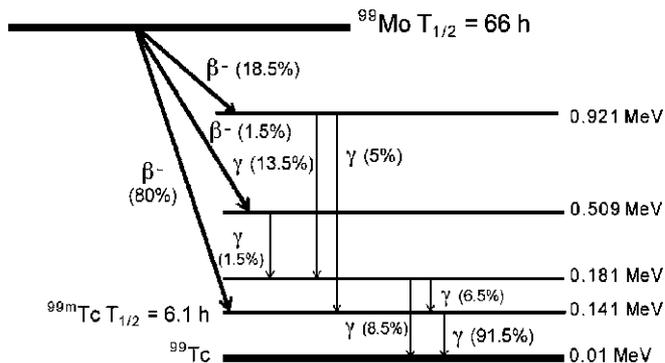
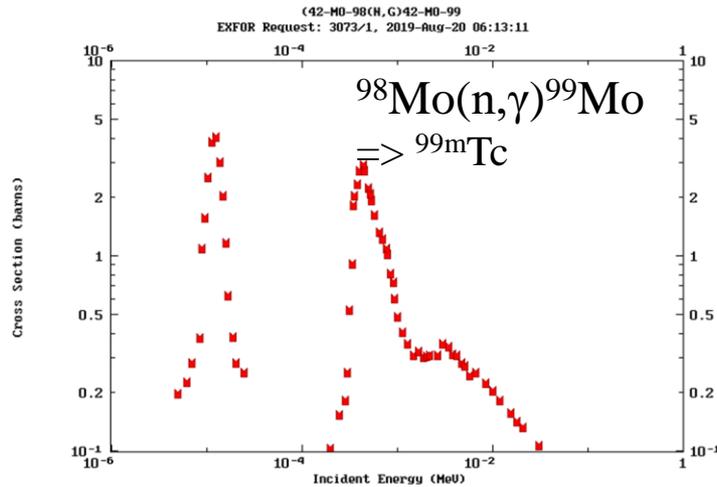


Theranostics

Production de radio isotopes médicaux

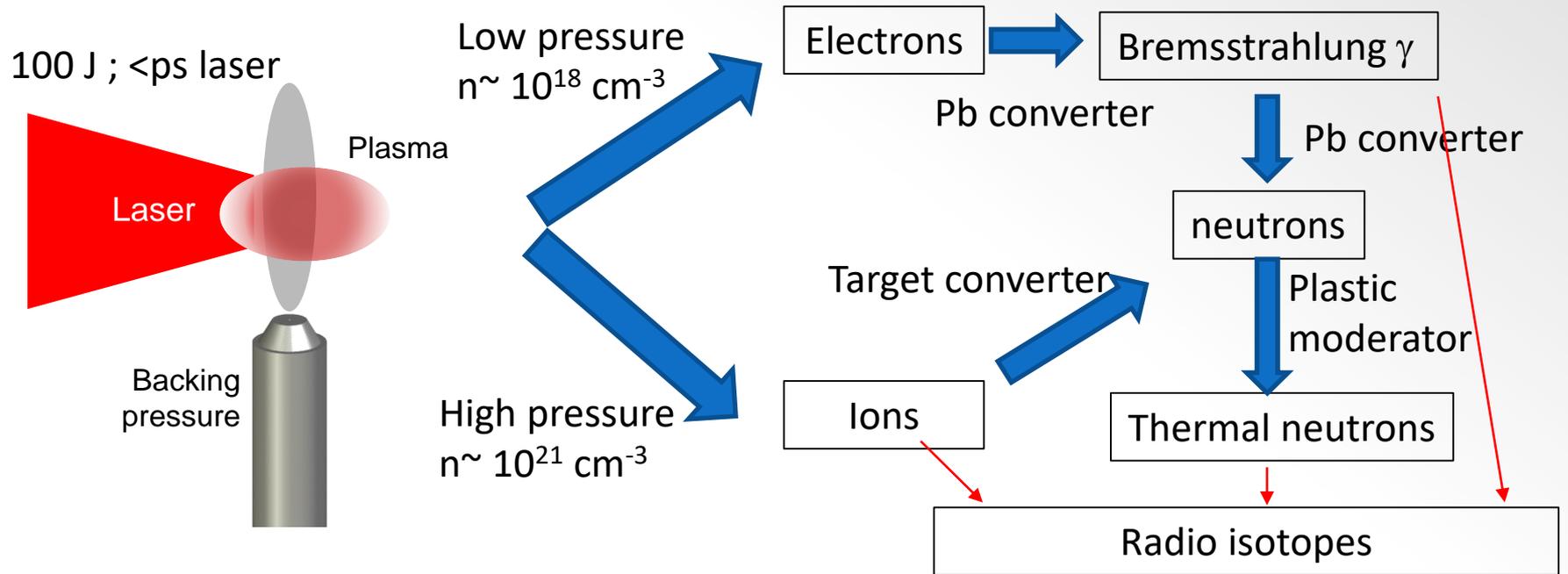
Utilisation de neutrons produits par ALP

Modérer les neutrons après leur création ⇔ réacteur de recherche miniature



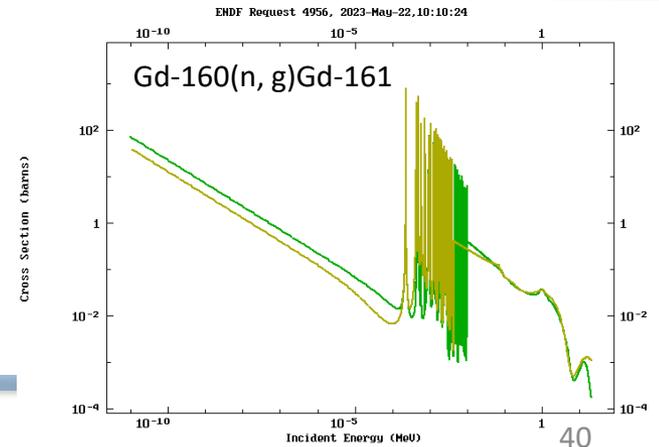
Production de radio isotopes médicaux

Une source versatile



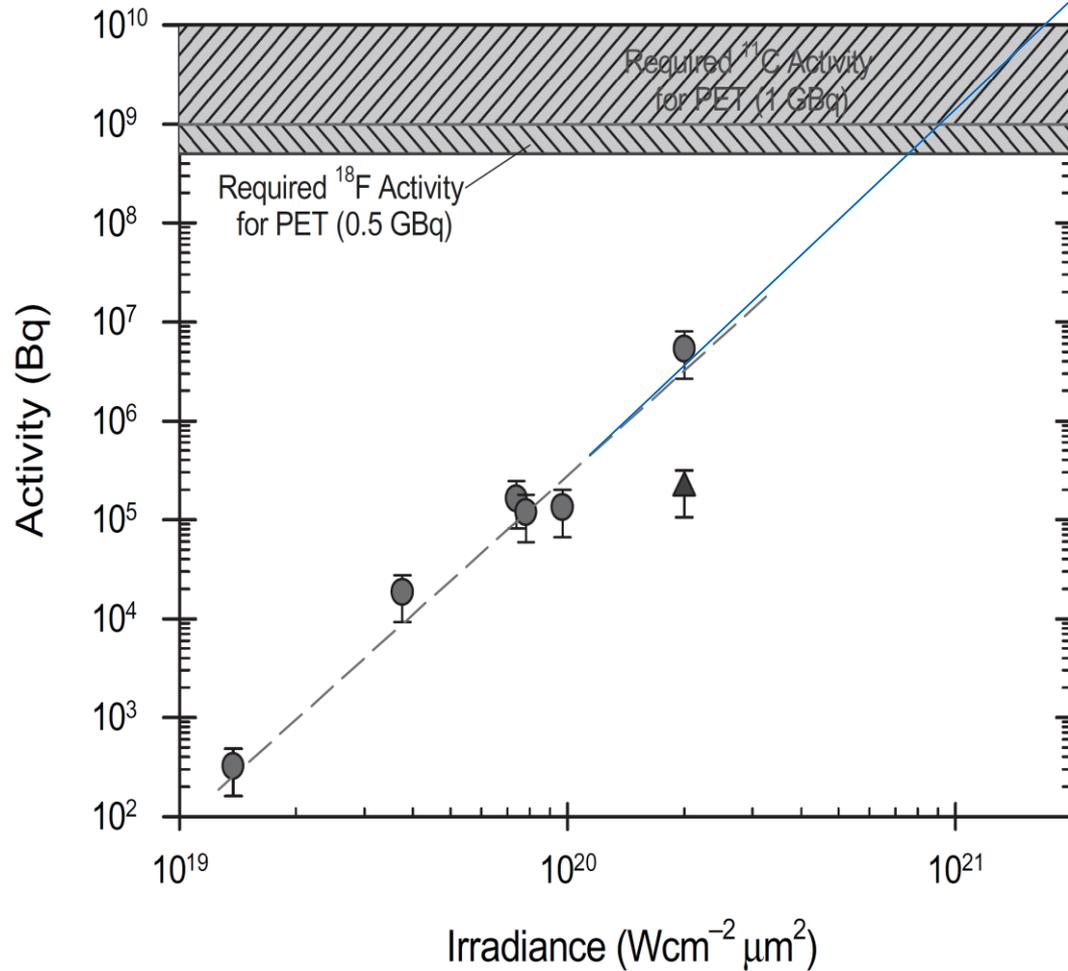
Scandium-43 et 47 ; Theranostics : $\alpha > 12 \text{ MeV}$. Sources rares et couteuses.

Terbium-161 produit par $\text{Gd-160}(n, g)\text{Gd-161}$ puis $\text{Gd-161} \rightarrow \text{Tb-160} + \beta^- + \nu$



Production de radio isotopes médicaux

● Apollon F1



Activité totale de ^{11}C (cercles) et ^{18}F (triangle) générée par **un seul tir laser** en fonction de son irradiance ($I \lambda_L^2$). La partie grisée supérieure représente les activités utilisées en médecine.

K.W.D. Ledingham and W. Galster,
New Journal of Physics **12**, 045005
(2010)

ALP pour produire des radioisotopes?

- Pas encore assez d'intensité :
 - 👍 Sur Arronax pour fabriquer radio isotopes
 - 🤔 10^{12} protons / tir @ 10 Hz \Leftrightarrow 1,6 μ A
- Distribution énergie :
 - 👍 ok en TNSA (cible cryogénique compatible 1Hz) mais nécessite un tri en énergie (spectromètres magnétiques)
 - 🤔 Encore faible en jet de gaz (CSA), mais des simulations encourageantes
- 👍 Miniaturisation des zones contrôlées d'irradiations => possibilité de produire des radio isotopes au plus près des patients ; démentèlement plus facile.
- 👍 Versatilité : Pas que des ions! Plein de γ de Bremsstrahlung
 - => Production de radioisotopes par (γ, x)
 - => Production de neutrons par (γ, n) , (p, n) , (d, n)

Extracted	Energy (MeV)	Max. current (μ A)
H ⁺	30 – 70	2 x 375
D ⁺	15 – 35	2 x 50
He ²⁺	68	70
HH ⁺	17	50

=>Aujourd'hui adapté à la recherche médicale

Demain à la production?

DÉTECTION EN ENVIRONNEMENT PERTURBÉ

Détecter les particules lors d'un tir laser

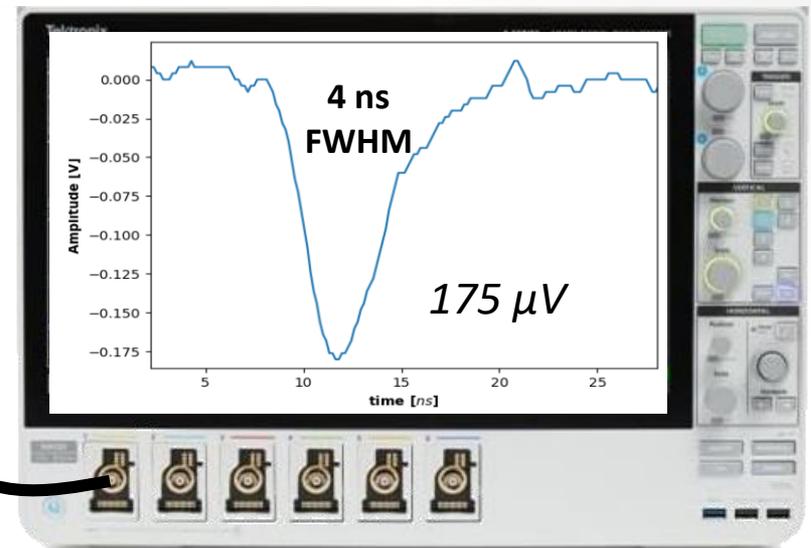
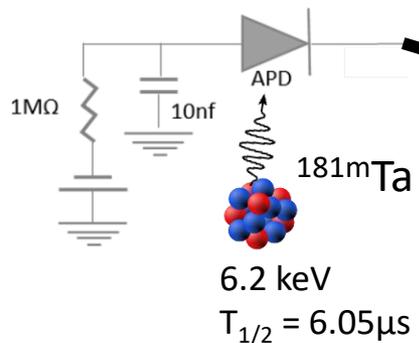
Les détecteurs de particules et de spectroscopie γ sont éblouis après un tir laser

- ✓ 4 thèses ont abordées cette problématique
- M.Gerbaux (2007) : activation nucléaire avec Multi-détecteur γ
- C.Plaisir (2010) : activation nucléaire de RCF
- Th.Bonnet (2013) : écrans photo-stimulables (IP)
- **E.Atukpor (2023)** : scintillateurs et semiconducteurs



Méthodes passives

Méthodes actives



M. Tarisien, et al. IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol 65, issue 8, p.2216 (2018)

F. Negoita, et al., AIP Conference Proceedings 1645, 228 (2015)

T. Bonnet, et al., Rev. Sci. Instrum. 84, 013508 (2013)

Détecter les particules lors d'un tir laser

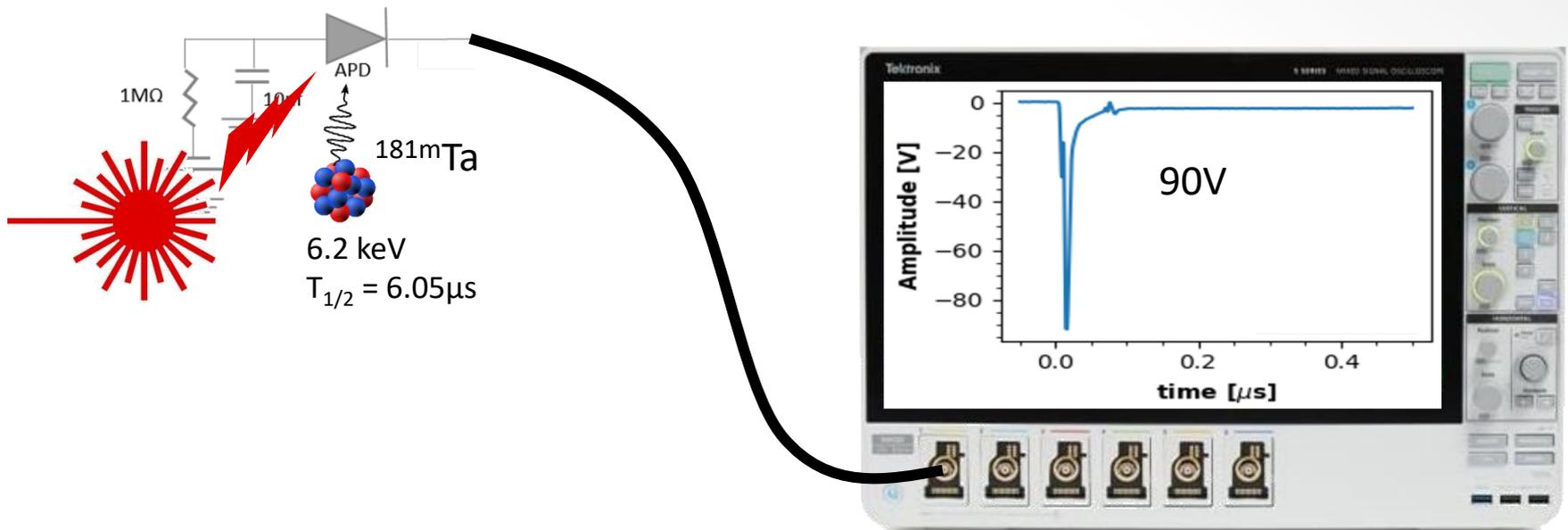
Les détecteurs de particules et de spectroscopie γ sont éblouis après un tir laser

- ✓ 4 thèses ont abordées cette problématique
- M.Gerbaux (2007) : activation nucléaire avec Multi-détecteur γ
- C.Plaisir (2010) : activation nucléaire de RCF
- Th.Bonnet (2013) : écrans photo-stimulables (IP)
- **E.Atukpor (2023)** : scintillateurs et semiconducteurs



Méthodes passives

Méthodes actives



M. Tarisien, et al. IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol 65, issue 8, p.2216 (2018)

F. Negoita, et al., AIP Conference Proceedings 1645, 228 (2015)

T. Bonnet, et al., Rev. Sci. Instrum. 84, 013508 (2013)

Détecter les particules lors d'un tir laser

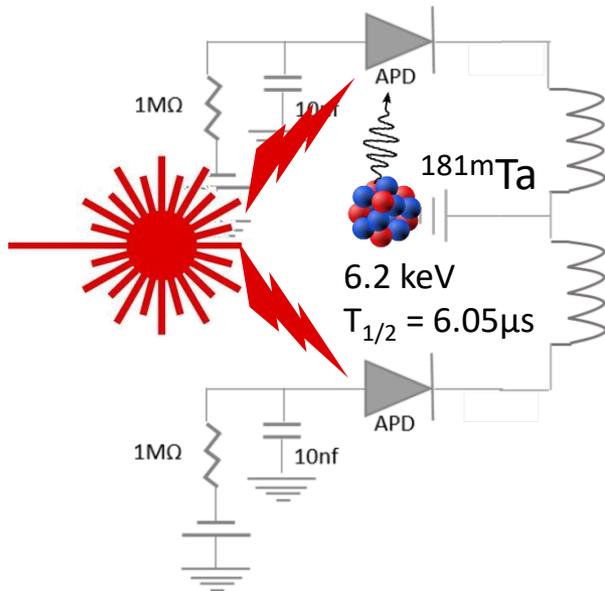
Les détecteurs de particules et de spectroscopie γ sont éblouis après un tir laser

- ✓ 4 thèses ont abordées cette problématique
- M.Gerbaux (2007) : activation nucléaire avec Multi-détecteur γ
- C.Plaisir (2010) : activation nucléaire de RCF
- Th.Bonnet (2013) : écrans photo-stimulables (IP)
- **E.Atukpor (2023)** : scintillateurs et semiconducteurs

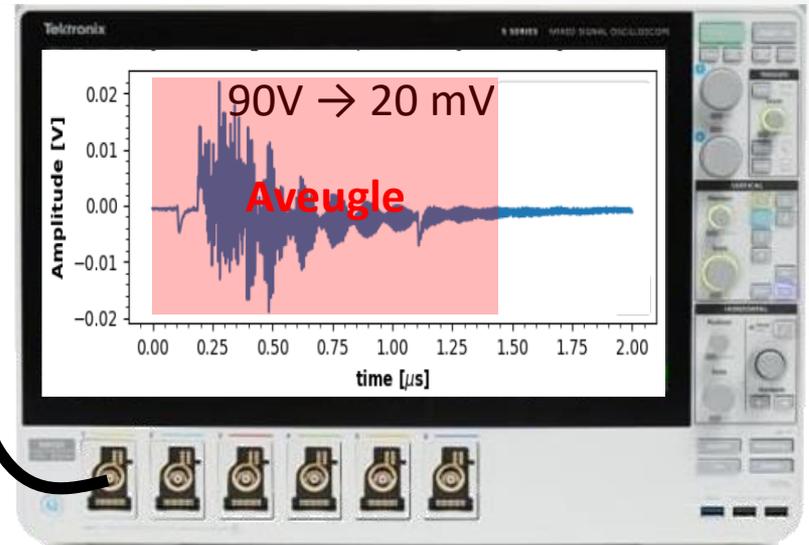


Méthodes passives

Méthodes actives



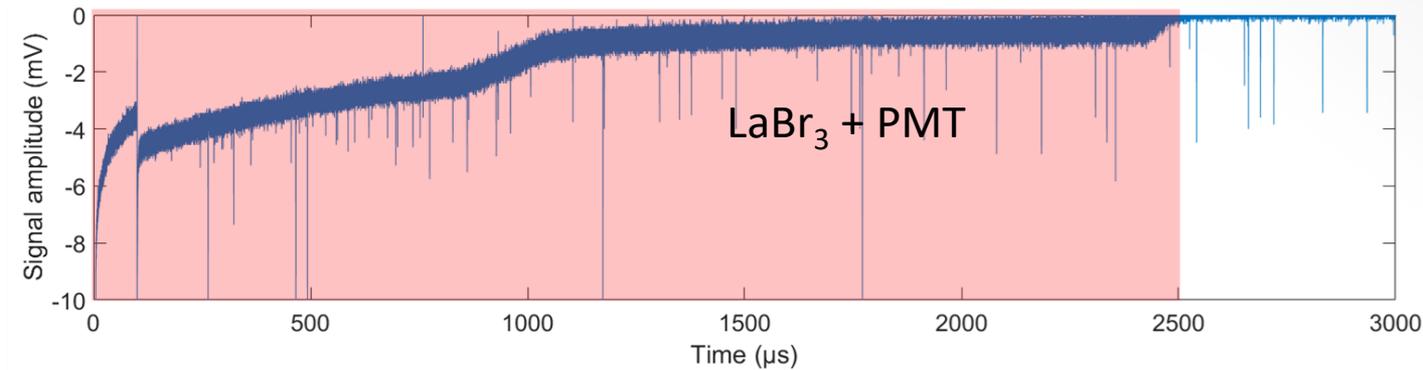
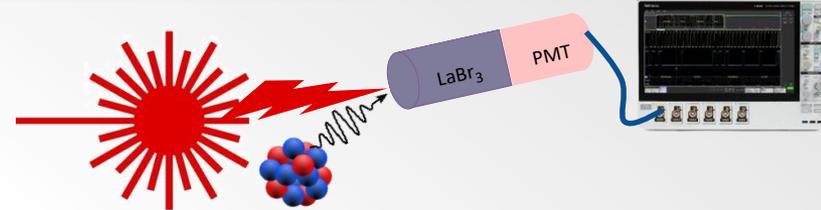
Final output



Détecter les particules lors d'un tir laser

Les détecteurs de particules et de spectroscopie γ sont éblouis après un tir laser

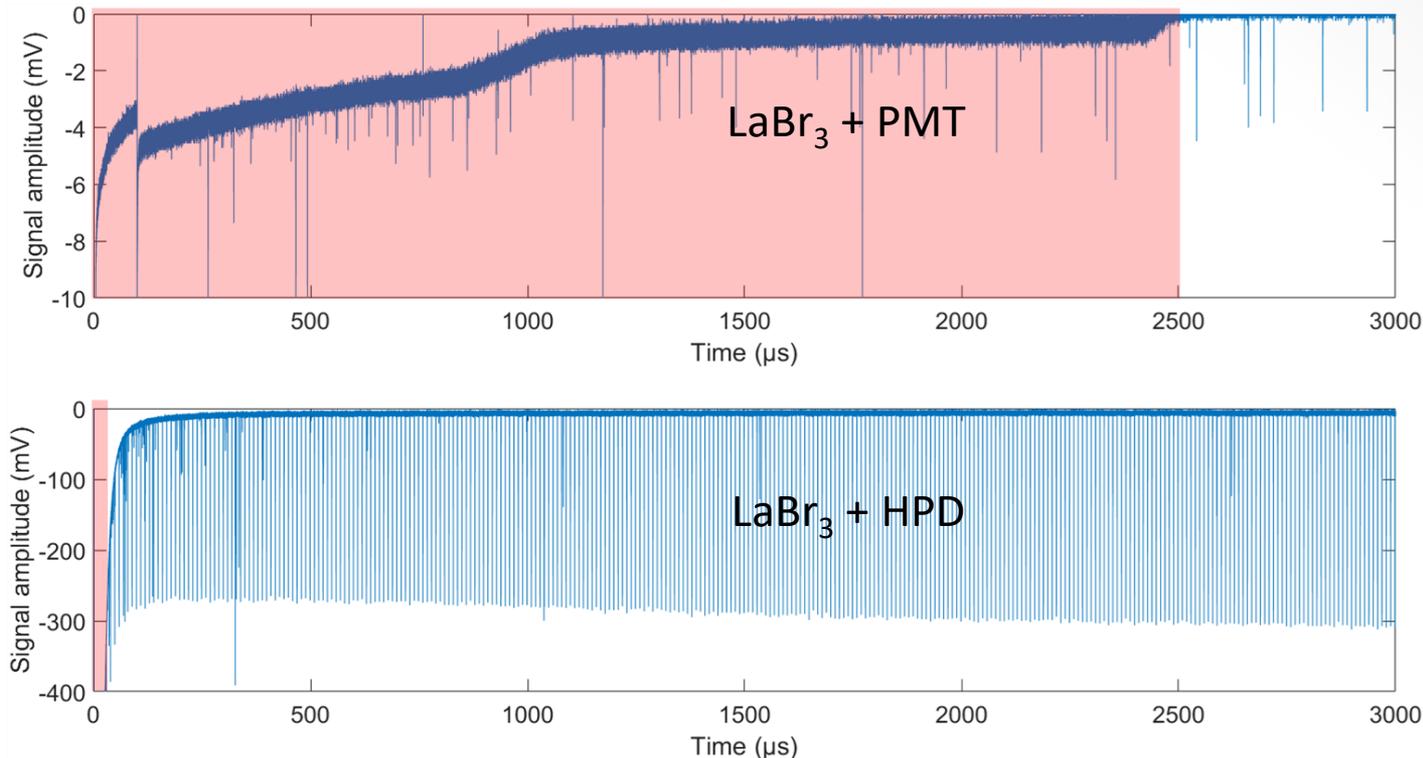
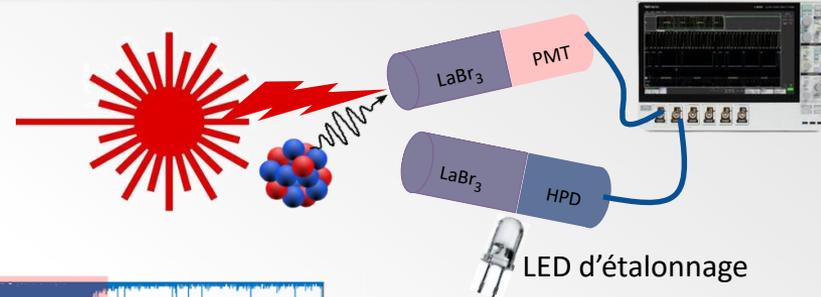
E.Atukpor (2023)



Détecter les particules lors d'un tir laser

Les détecteurs de particules et de spectroscopie γ sont éblouis après un tir laser

E.Atukpor (2023)

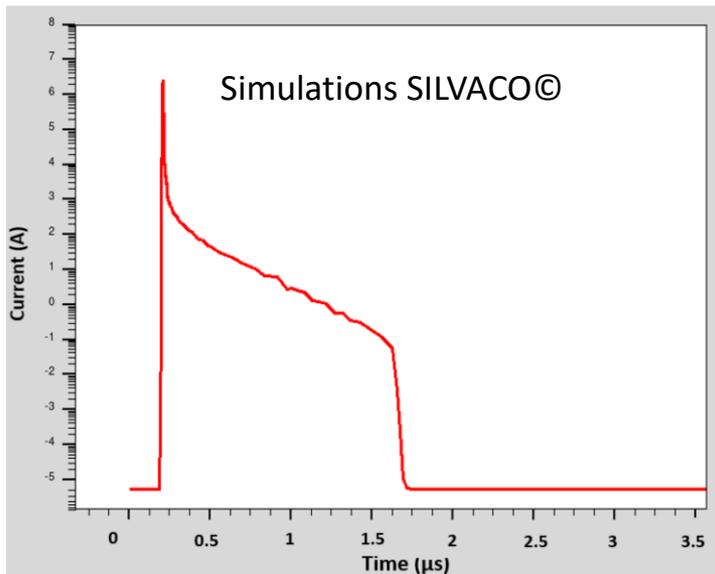


- Réduction de la durée d'aveuglement à **15 μ s** avec Hybrid Photo Diode (HPD) et traitement de données
- Photodétecteur ou Afterglow responsable de la durée d'aveuglement?

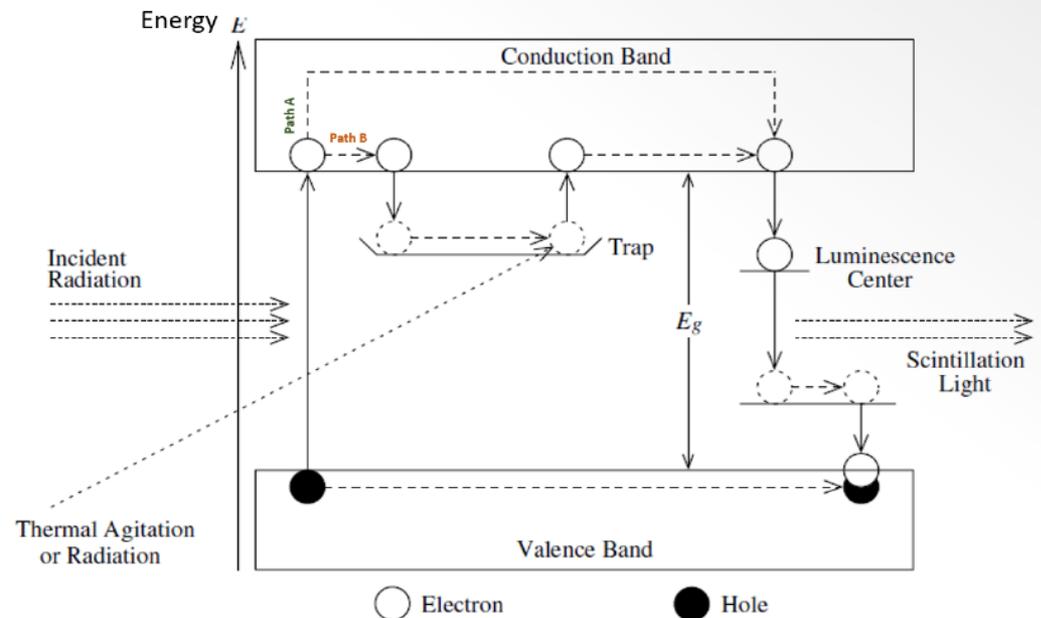
Détecter les particules lors d'un tir laser

Les détecteurs de particules et de spectroscopie γ sont éblouis après un tir laser

La HPD récupère en $\sim 1 \mu\text{s}$



Afterglow du scintillateur coupable

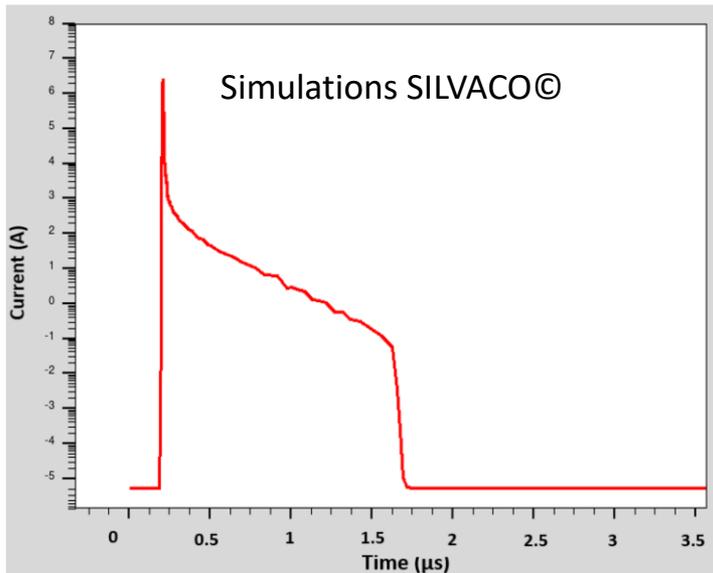


Détecter les particules lors d'un tir laser

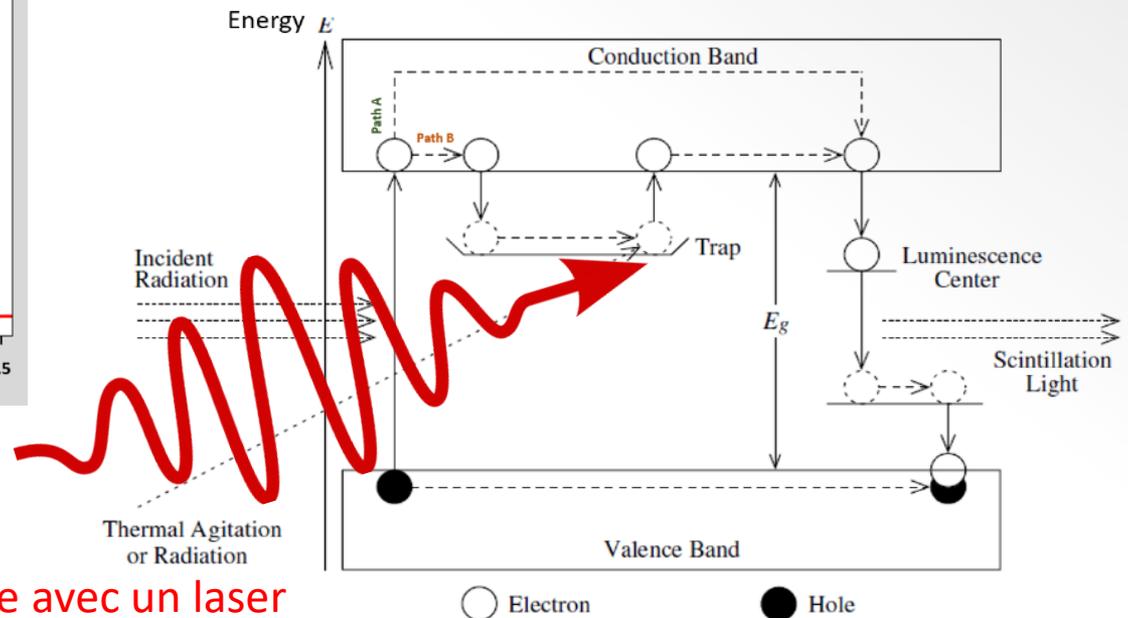
Les détecteurs de particules et de spectroscopie γ sont éblouis après un tir laser



La HPD récupère en $\sim 1 \mu\text{s}$



Afterglow du scintillateur coupable



Stimulation photonique avec un laser

BILAN DES RESSOURCES

Collaborations

Labo	# perm	Compétences / rôle
LP2IB	2	* Expertise en interaction particules / matière et physique nucléaire * Développement cibles * Développement des diagnostics * Mesure de radioisotopes * Analyse de données * Campagnes expérimentales * Simulations FLUENT et Geant4
IJCLab	~3	* Accélération d'électrons * Diagnostics optique faisceaux électrons * Installation PALLAS
IPHC	1	* Détecteurs CMOS spécifiques
LULI	2	* Expertise interaction laser-plasma * Diagnostics optiques * Campagnes expérimentales * Installations laser PICO2000 et LULI2000
CELIA	6	* Expertise interaction laser-plasma * Campagnes expérimentales * Simulations PICS et Hydrodynamique
LYDIL	1	* Spectromètres dispersifs * Installation laser UHI100
CEA-DIF	1	* Simulation hydrodynamique
IFIN-HH ELI-NP	3	* Diagnostics en environnement laser * Expertise en physique nucléaire * Installation laser ELI-NP
GSI	2	* Expertise en Physique des plasmas et physique des lasers * Installation laser PHELIX
CLPU	1	* Développement de cibles jet de gaz et liquide * Installation laser PW VEGA3

GDR APPEL (2019-2023) =>



GDR Accélérateur (2023-2027)

IRL DMLab (2021)



Code PIC **Smilei**)

- Développé entre autre par IN2P3 (A. Beck – LLR)
- Tutoriels + workshops de prise en main => fait pour être facilement accessible
 - Th. Carrière utilise pour sa thèse (80%)
 - K. Bontemps utilise pour sa thèse (20%)

Ressources financières et RH

1an post doc = 1/2 thèse

				intégrale 2018-2023			
Financier	Ressources Financières	Ressources humaines	projet	Financière		RH	
Master Projet IN2P3	38,6%	35,3%	DONALD	38373	164434	0	3
			ALP-ions	126061		3	
CNRS	11,2%	0,0%	SBNA	30644	261761		5,5
			GDR APPEL	2000			
			PRIME 80	15000			
ANR	25,8%	0,0%	PINNACLE	110037			
Région	15,9%	17,6%	POPRA2	7580		0,5	
			VALERIA	60200		1	
Ubx	6,5%	41,2%	SMR	9700			
			ESPI	3000		1	
			GPR LIGHT	15000		2,5	
International	2,7%	5,9%	Laserlab	5000			
			DMLab	3600			
			IN2P3/GSI	3000			
			CLPU		0,5		
				total	426195		8,5

Conversion ALP d'ions vers électrons

~1/3 des ressources sont projets IN2P3

~2/3 sont hors projet

Ressources financières et RH

1an post doc = 1/2 thèse

LIGHT
Grand Programme
de Recherche

université
de **BORDEAUX**

- 14 laboratoires pour un total d'environ 104 ETP et 200 chercheurs et ingénieurs statutaires.
- ~8 M€ sur 8 ans (4+4 ans)
- Cofinancer des RH + 5k€ d'accompagnement

Oct 2023 : Thèse en cotutelle avec CLPU

Dec 2023 : 1 an de post doc A. Maitrallain

2024 : 1 an de post doc prévu.

ENL dans GPR Light

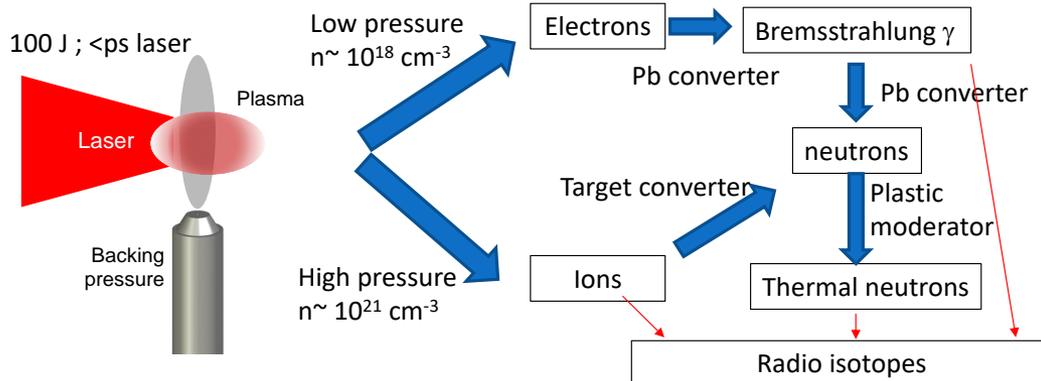
	Eq Thèse	contrat	nombre	accompagnement
2022	1,5	Thèse	2 x 0,5	5 k€
		Post doc	1	5 k€
2023	1	Thèse	0,5	5 k€
		Post doc	1	5 k€
2024	0,5 ?	Thèse		
		Post doc	1	5 k€
2025	0	Thèse		
		Post doc		
2026 : Evaluation mi-parcours pour renouvellement				
2026	1.5?	Thèse		
		Post doc		
2027	1?	Thèse		
		Post doc		
2028	0,5 ?	Thèse		
		Post doc		
2029	0	Thèse		
		Post doc		

Ressources financières et RH

Projet ambitieux

- ✓ 2023 : Demande de ANR : Montage de Réseaux Scientifiques Européens ou Internationaux (MRSEI)
 - Consortium pour la production de Radioisotopes par Accélération Laser d'Ions et d'Electrons (CORALIE) ; 35 k€**
 - Financement de workshops
 - Financement de missions entre partenaires
 - Cabinet de conseil pour écriture du projet

- ✓ 2024 demande: EIC Pathfinder Open: HORIZON-EIC-2023-PATHFINDEROPEN-01-01 ; entre 3 et 4 M€



Pays	Organisme d'appartenance
France	Université de Bordeaux/CNRS (LP2iB)
France	Université de Bordeaux/CEA/CNRS (CELIA)
France	CEA-DIF
France	CNRS / Ecole Polytechnique / U-Sorbonne/ CEA (LULI)
France	Thalès
France	SourceLAB
France	Centre Hospitalier Universitaire de Bordeaux
Spain	Centros de Laseres Pulsados (CLPU)/Universidad de Salamanca
Germany	Helmholtz-Institut Jena
Germany	Plasma Physik/PHELIX, GSI
United Kingdom	Strathclyde University, SILIS group

Ressources Humaines

Personne	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
M. Tarisien	Enseignant Chercheur											
F. Hannachi	DR CNRS					DR Emerite						
JLHenares	Post doc											
P.Puyuelo Valdes	PhD CNRS											
J. Domange	IR CNRS											
E. Atukpor	PhD (+covid) ESPI											
A. Huber					Post doc LIGHT	post doc CNRS	IR CNRS? (50%)					
A. Maitrallain					Post doc CNRS		post doc LIGHT	post doc LIGHT?				
K. Bontemps					PhD (80%) LIGHT/VALERIA							
Th. Carrière					PhD (20%) LIGHT/VALERIA							
xxxx					PhD (50%) LIGHT/CLPU							
zzzz ?								Post doc CNRS PALLAS?				
zzzz ?										PhD LIGHT ?		
zzzz ?										post doc LIGHT ?		
am ?										MCF ?		

PALLAS : Demande de post doc CNRS pour 2025

GPR LIGHT : Demande (2025-2029) de 1 PhD + 4 ans de post doc

UBx : Demande de MCF

CNRS : Présentation post blanc de A.Maitrallain en 2024

Projet EIC : Demande PhDs et post docs

Service	2018	2019	2020	2021
Instrumentation	17 sem	48 sem	17 sem	44 sem
Electronique	0 sem	11 sem	2 sem	20 sem
Mécanique	3 sem	28 sem	7 sem	16 sem
Administration	~5 sem	~5 sem	~5 sem	~5 sem
total	25 sem	92 sem	31 sem	85 sem
	0,54 ETP	2 ETP	0,7 ETP	1,8 ETP

Une année normale nous sollicitons ~2 ETP de service au laboratoire

Conclusions et perspectives

- Accélérer des particules par laser
 - ✓ Passage obligé pour faire de la physique nucléaire sur des cibles éphémères (plasmas, noyaux excités...)
 - ✓ Electrons et γ de Bremsstrahlung associés, ions, neutrons
 - ✓ Production de radio-isotopes cibles
 - ✓ Intensités pics ultra élevées pour faire des réactions nucléaires
- Détecter des particules juste après le tir laser
 - ✓ Pour faire de la physique nucléaire, mais aussi diagnostics en ligne
 - ✓ Pour des photons > 100 keV : utilisation de scintillateurs adaptés
 - ✓ Pour des photons < 100 keV : utilisation de semiconducteurs adaptés
 - ✓ Utilisation de détecteurs à localisation actifs (CMOS de l'IPHC) couplés à des scintillateurs
- Application sociétale
 - ✓ Participer à l'élaboration d'un accélérateur laser-plasma de particules (10^{13} à quelques 10aines MeV) pour création de radio-isotopes médicaux

MERCI DE VOTRE ATTENTION