

# La source **ATTO** *Lab* FABP: interactions laser-plasma ultrarapides

Femto-Atto Plasma  
Beamline

Stefan Haessler, LOA, CNRS



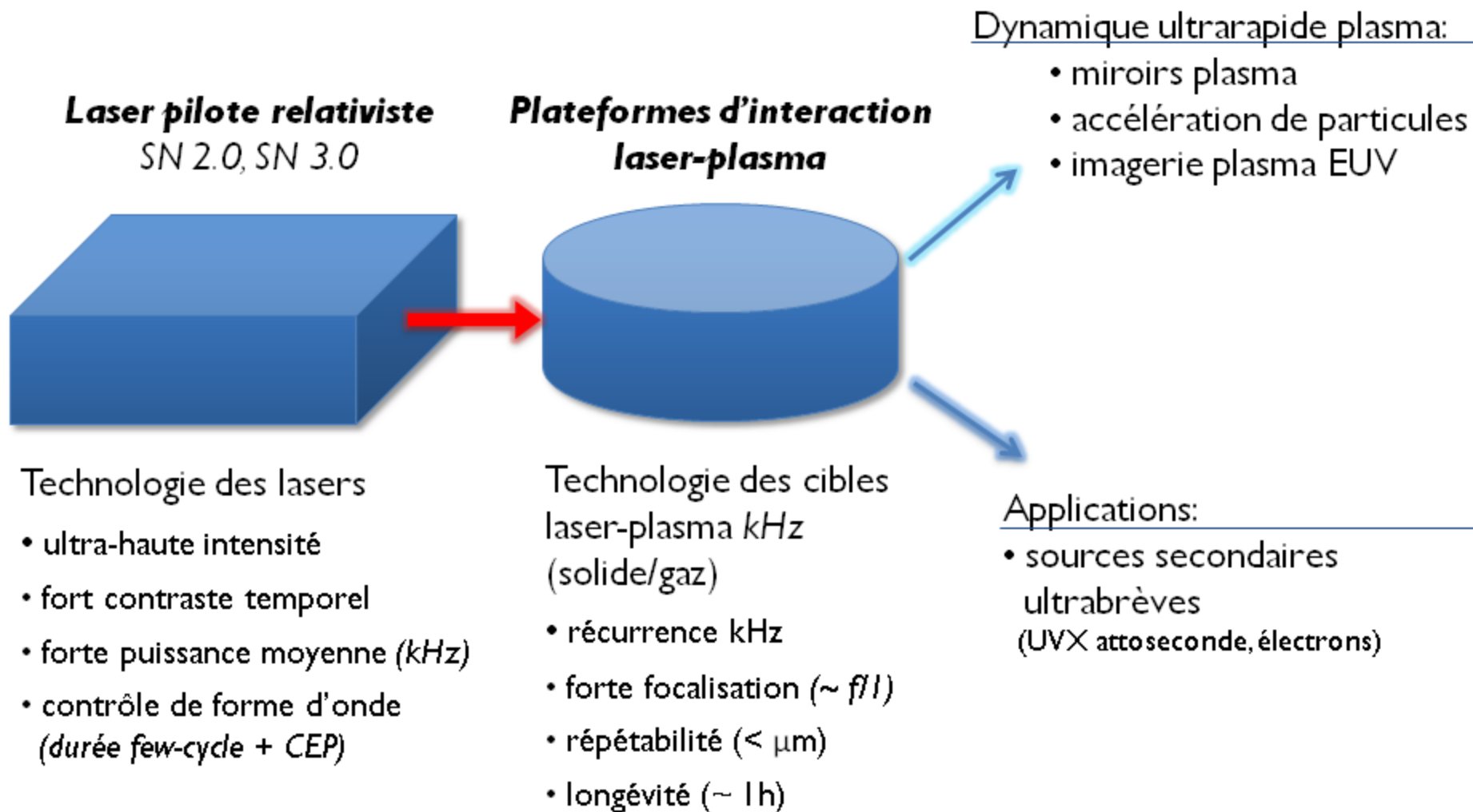
université  
PARIS-SACLAY



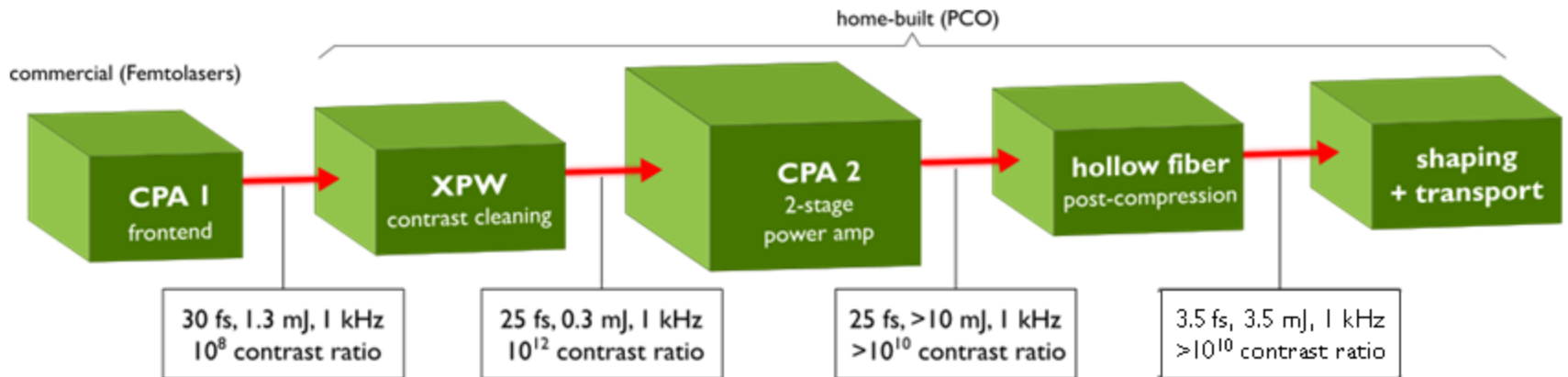
# ATTO *Lab* FABP - où est-ce?



**Au LOA. Là !**



laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
<b>SN 2.0</b>	2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	$<350$ mrad	1/10 tache	maintenant



**3.5 mJ compressed, 3.5 fs = near-single-cycle terawatt laser!**

# ATTO Lab FABP - Performances laser

laser    énergie /  
éclairage  
sur cible    Cadence    durée    contraste    CEP    pointing    disponibilité

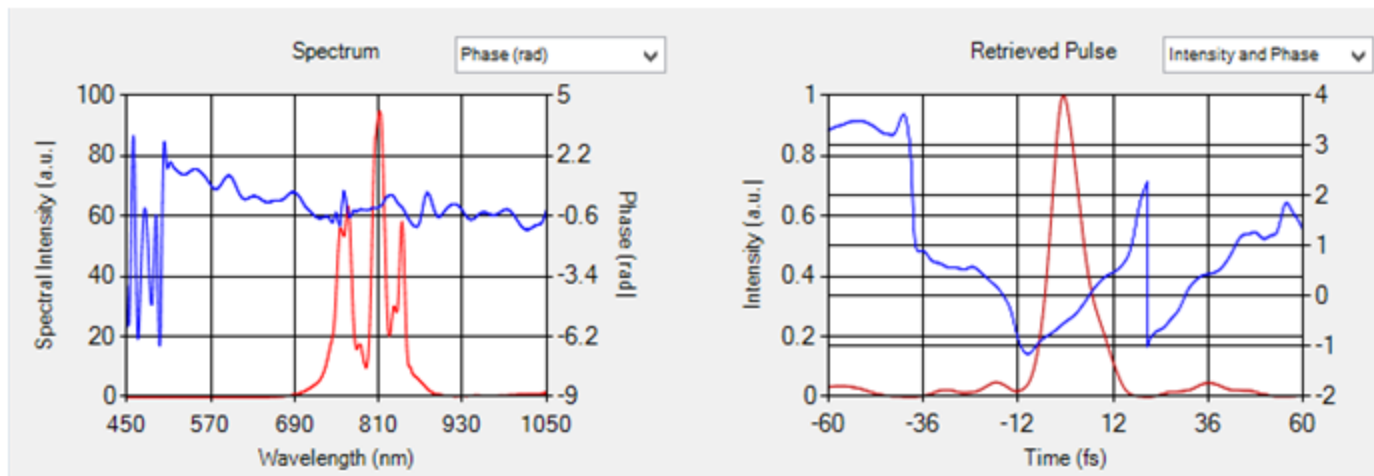
SN 2.0    2.5 mJ  
~ 10<sup>18</sup> W/cm<sup>2</sup>    1 kHz    24 fs    >10<sup>10</sup> @10 ps    <350 mrad    1/10 tache    maintenant

**24 fs (fibre sans gaz)  
2.5 mJ sur cible**



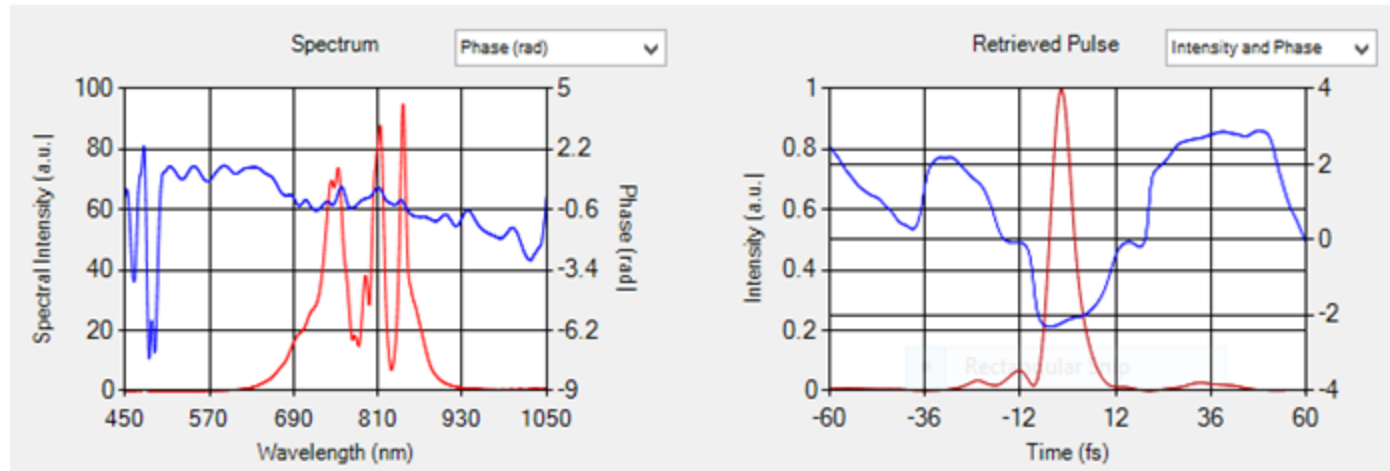
laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	9 fs	$>10^{10}$ @10 ps	$<350$ mrad	1/10 tache	maintenant

**9 fs (300 mbar He)  
2.5 mJ sur cible**



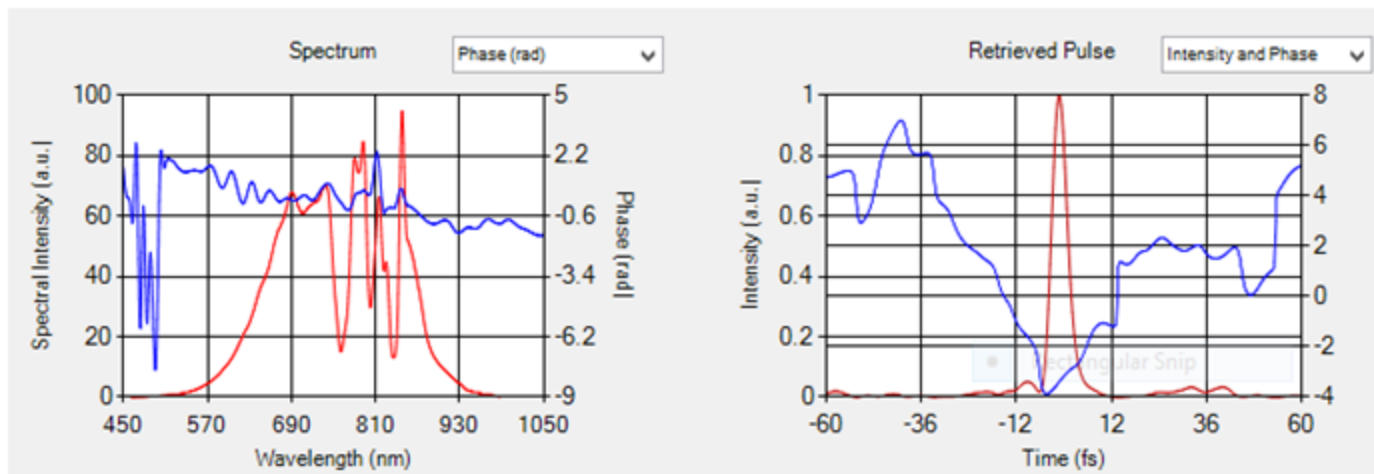
laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
<b>SN 2.0</b>	2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	6.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	$<350$ mrad	1/10 tache	maintenant

**6.5 fs (600 mbar He)  
2.5 mJ sur cible**



laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	4.3 fs	$>10^{10}$ @10 ps	$<350$ mrad	1/10 tache	maintenant

**4.3 fs (900 mbar He)  
2.5 mJ sur cible**

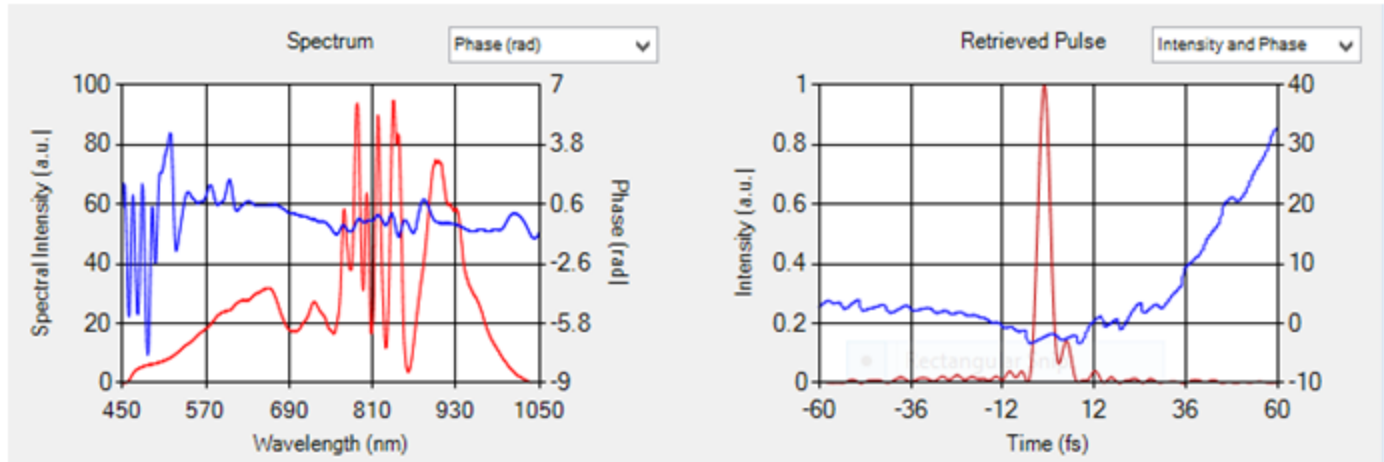




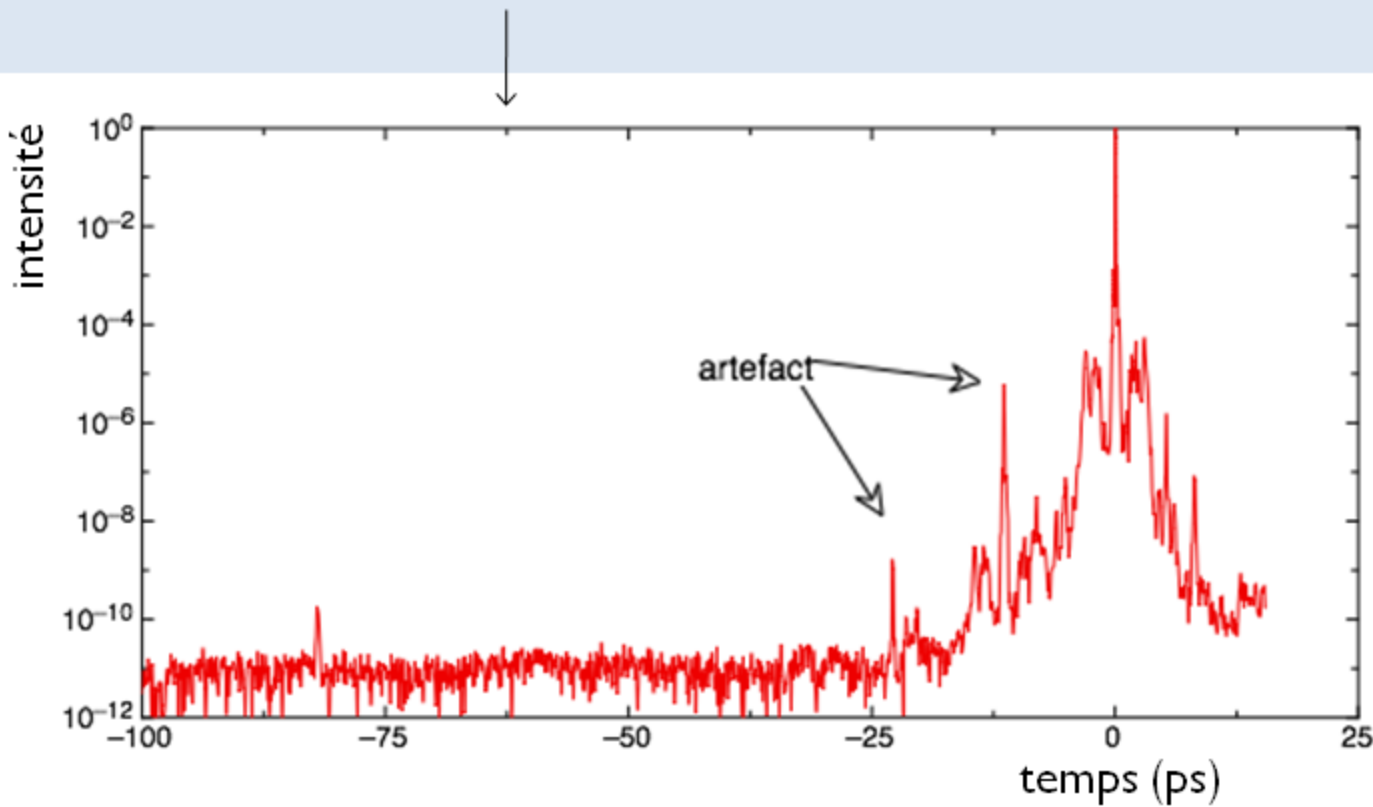
laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
-------	-------------------------------------	---------	-------	-----------	-----	----------	---------------

<b>SN 2.0</b>	2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	$<350$ mrad	1/10 tache	maintenant
---------------	--	-------	--------	-------------------	-------------	------------	------------

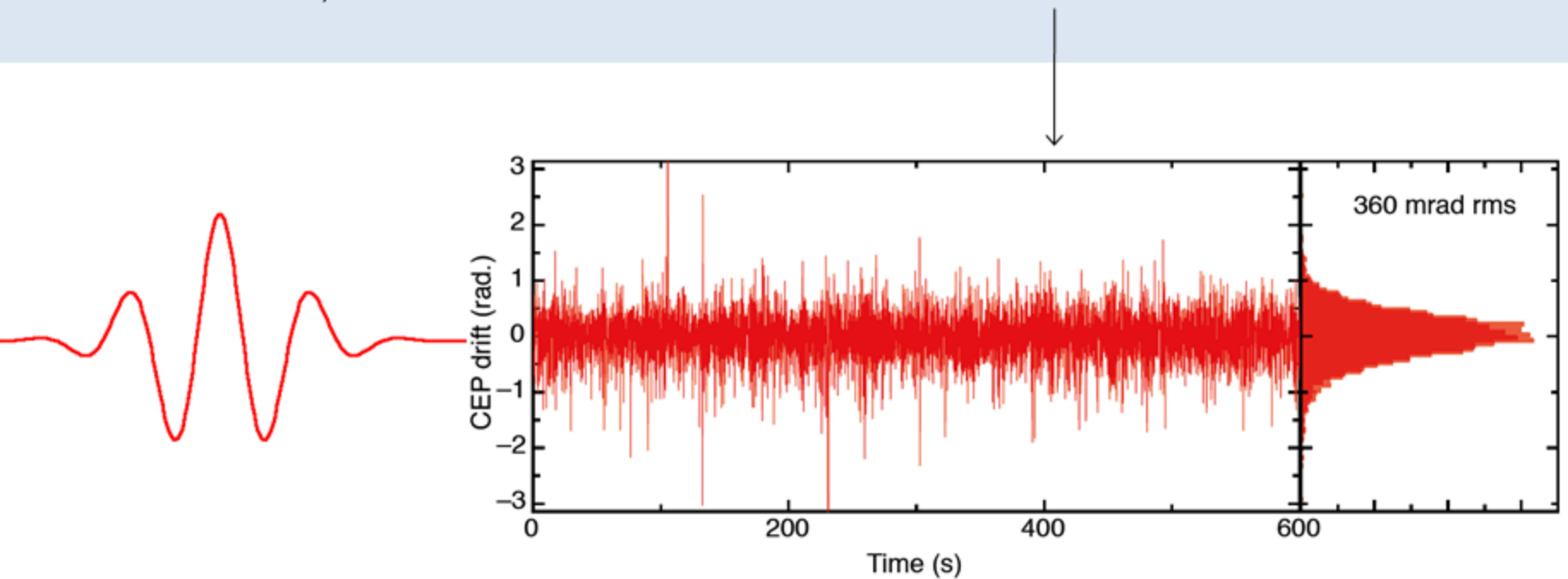
**3.5 fs (900 mbar He)  
2.5 mJ sur cible**



laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
<b>SN 2.0</b>	2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	$<350$ mrad	1/10 tache	maintenant



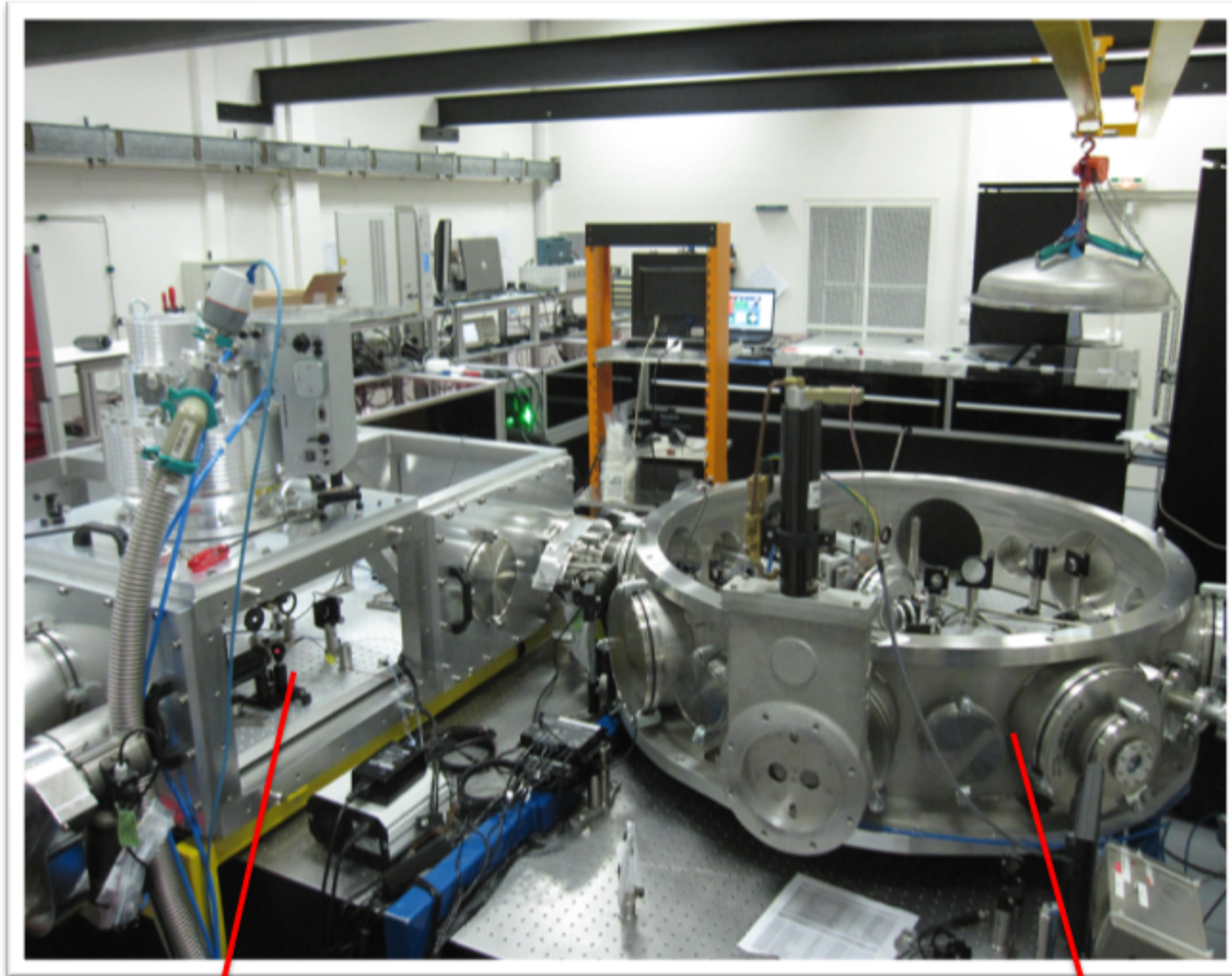
laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
<b>SN 2.0</b>	2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	$<350$ mrad	1/10 tache	maintenant



# ATTO *Lab* FABP - Interactions plasma solide



# ATTO *Lab* FABP - Interactions plasma solide



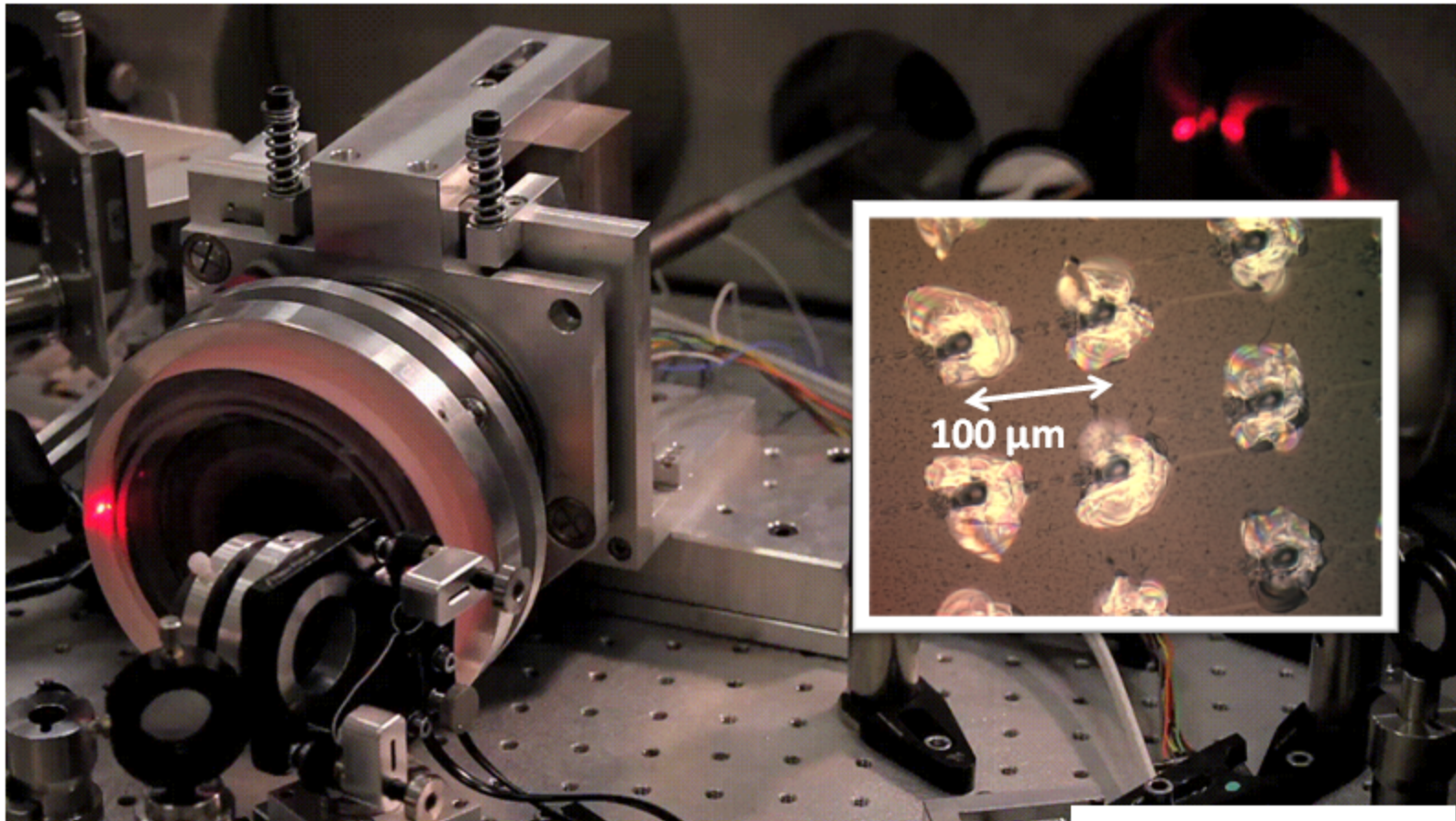
compression + mise-en-forme laser

interaction laser-solide



# ATTO *Lab* FABP - Interactions plasma solide

» **cible kHz stabilisé:** 1h @1 kHz, stabilisée activement:  $<1 \mu\text{m}$ ,  $<20 \mu\text{rad}$



» **cible kHz stabilisé:** 1h @1 kHz, stabilisée activement: <1  $\mu\text{m}$ , <20  $\mu\text{rad}$

» **contrôle du pré-plasma:**  $\lambda/100 < L < \lambda/2$  [Bocoum et al., Opt.Lett. **40**, 3009 (1015)]

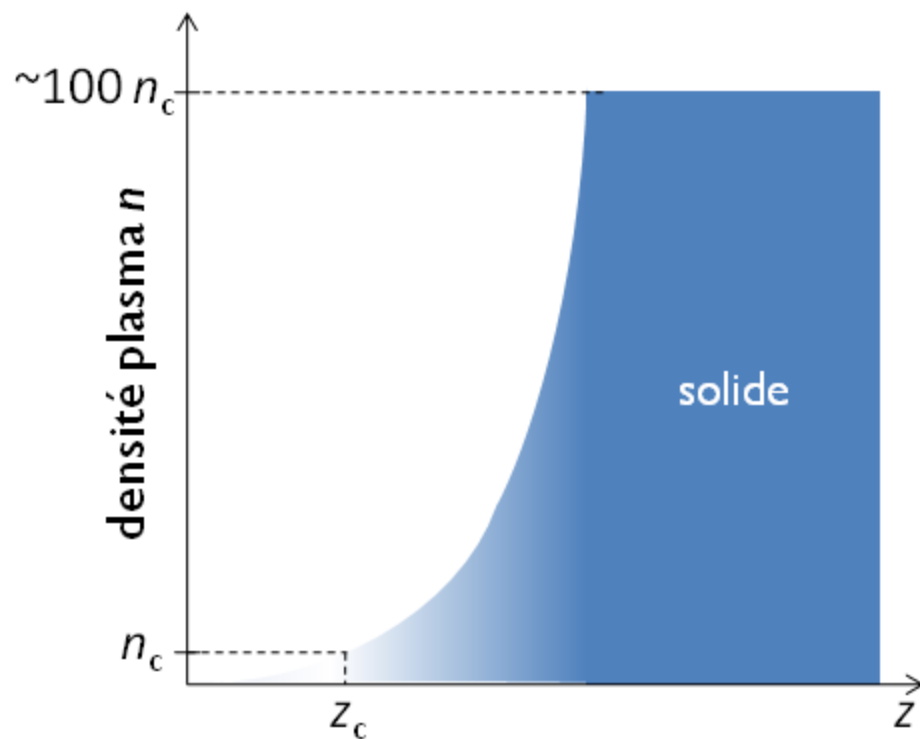
densité critique      surface critique

↓                                  ↓

$$n(z) = n_c \exp \left[ - \frac{z - z_c(t)}{L(t)} \right]$$

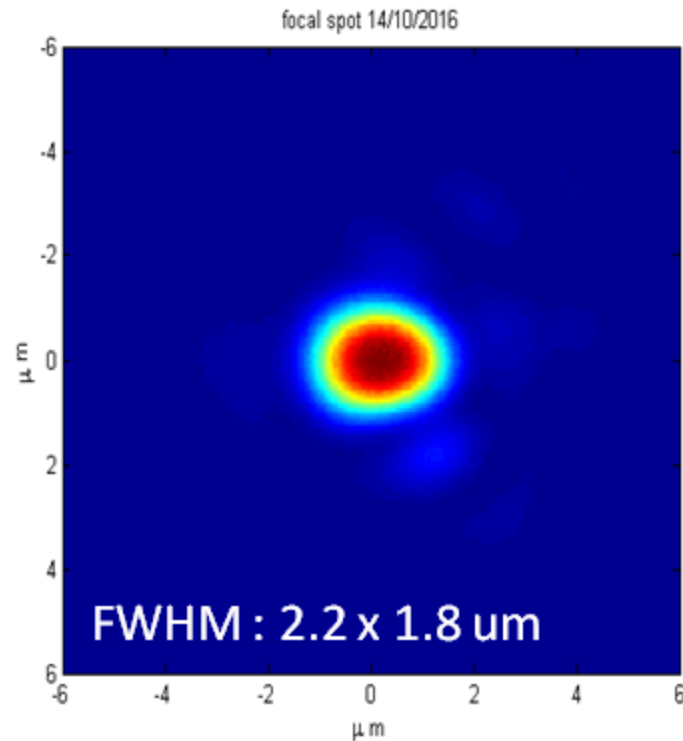
↑

gradient



# ATTO *Lab* FABP - Interactions plasma solide

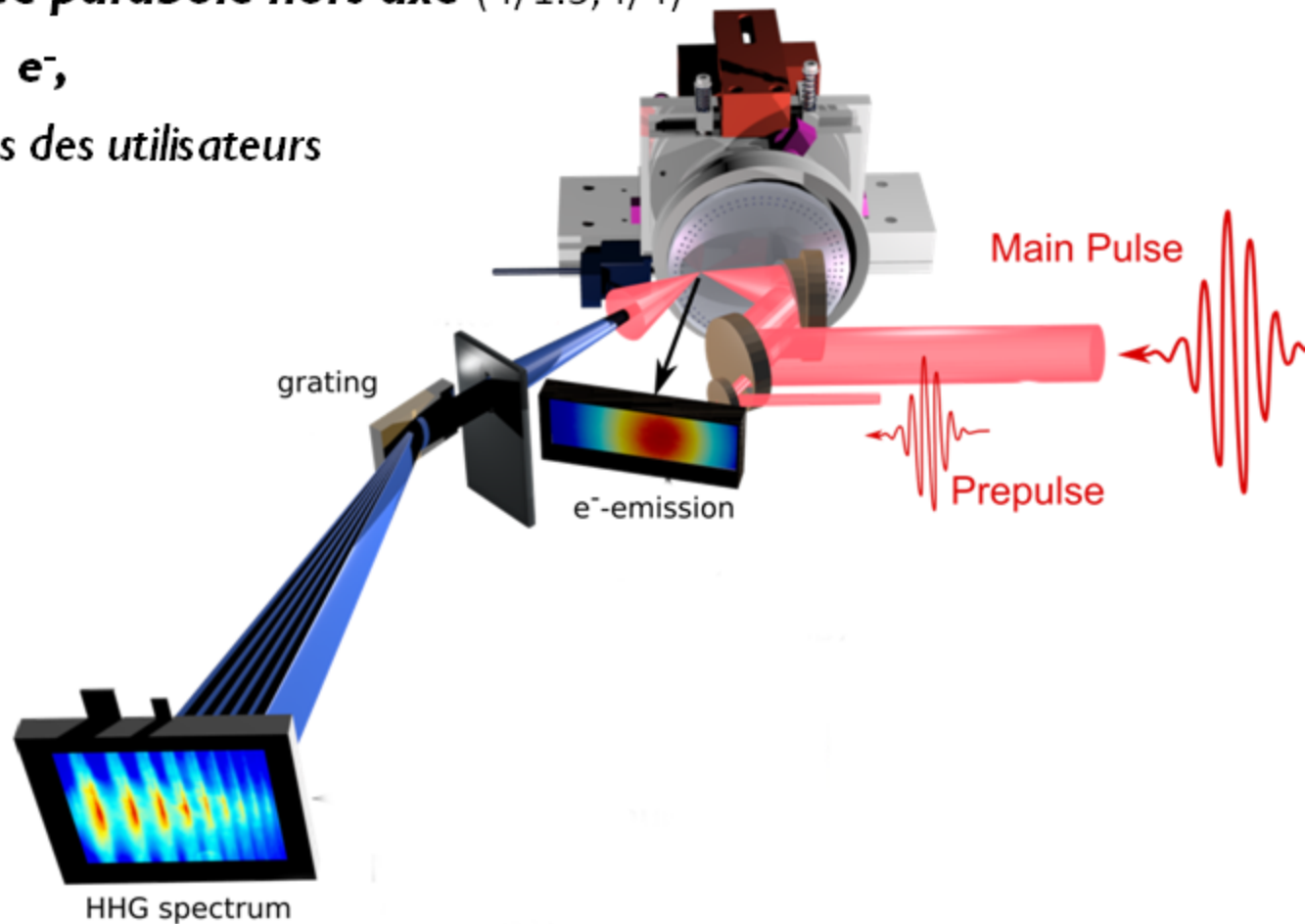
- » **cible kHz stabilisé:** 1h @1 kHz, stabilisée activement:  $<1 \mu\text{m}$ ,  $<20 \mu\text{rad}$
- » **contrôle du pré-plasma:**  $\lambda/100 < L < \lambda/2$  [Bocoum et al., Opt.Lett. 40, 3009 (1015)]
- » **focalisation dure avec parabole hors axe** ( f/1.5, f/4)





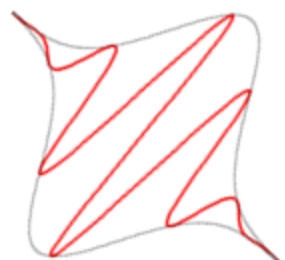
# ATTO Lab FABP - Interactions plasma solide

- » **cible kHz stabilisé:** 1h @1 kHz, stabilisée activement:  $<1 \mu\text{m}$ ,  $<20 \mu\text{rad}$
- » **contrôle du pré-plasma:**  $\lambda/100 < L < \lambda/2$  [Bocoum et al., Opt.Lett. 40, 3009 (1015)]
- » **focalisation dure avec parabole hors axe** ( f/1.5, f/4)
- » **co-détection HHG + e<sup>-</sup>,**  
et bien sûr les détecteurs des utilisateurs

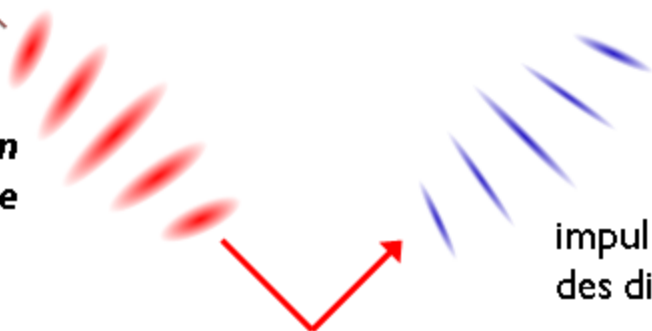


**phare attoseconde**

Vincenti et al., Phys. Rev. Lett. 2012.



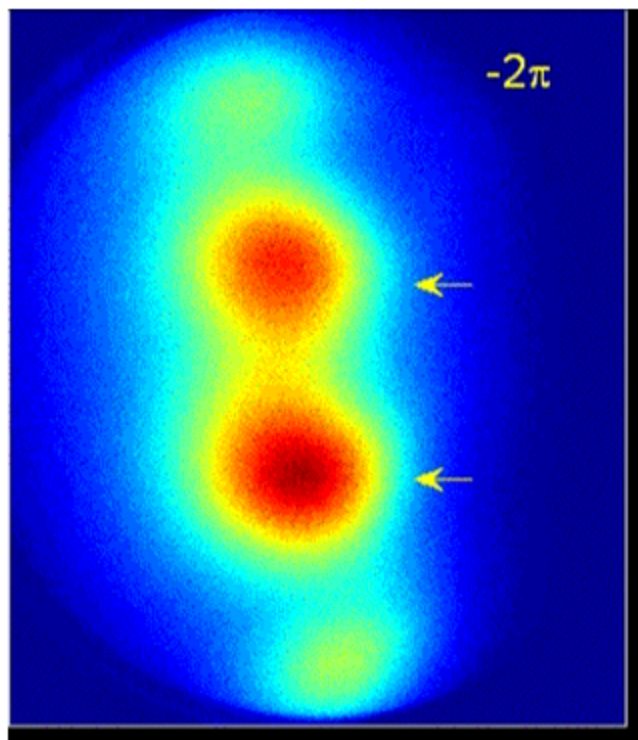
laser avec **rotation de fronts d'onde**



impulsions attoseconde émises dans des directions différentes

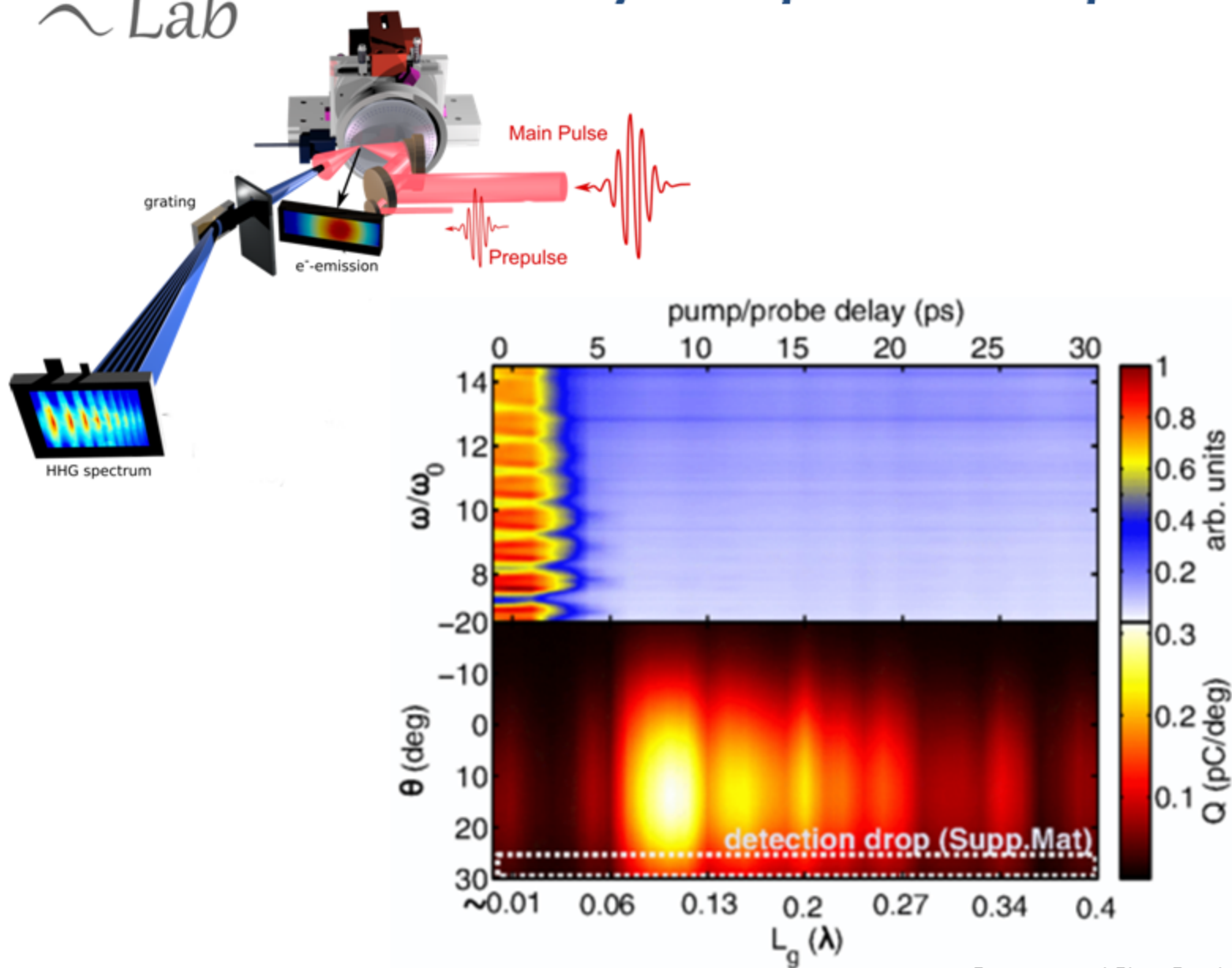
**Plasma sur-dense**

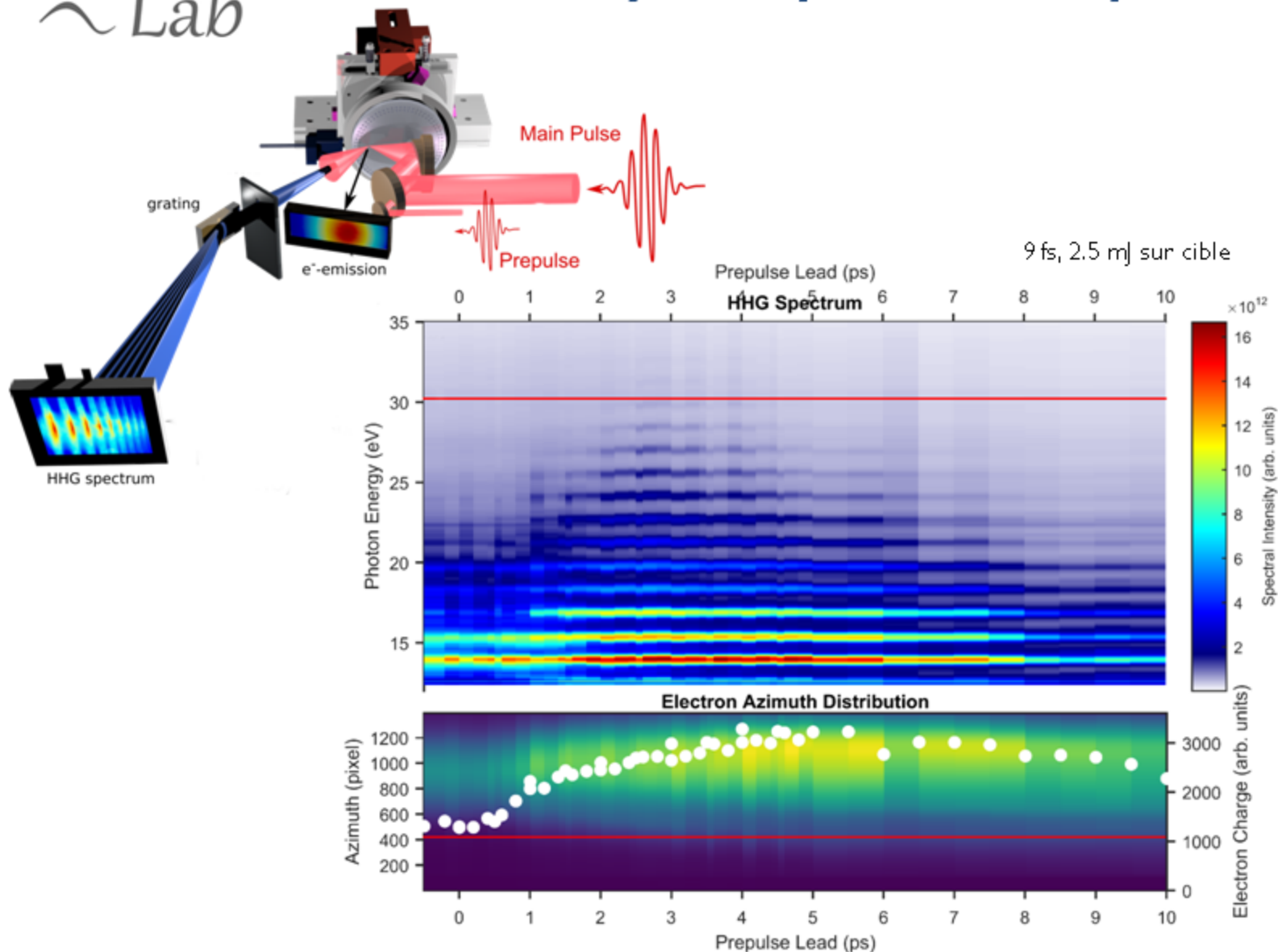
**impulsions attoseconde spatialement isolées**



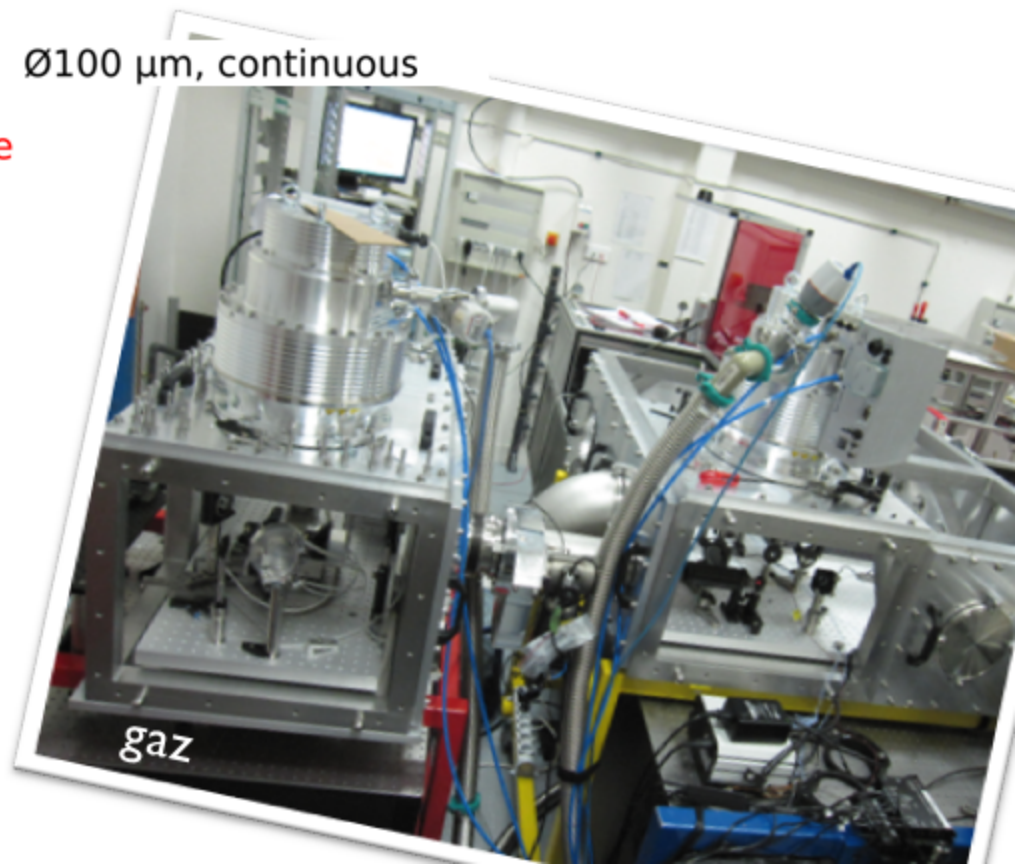
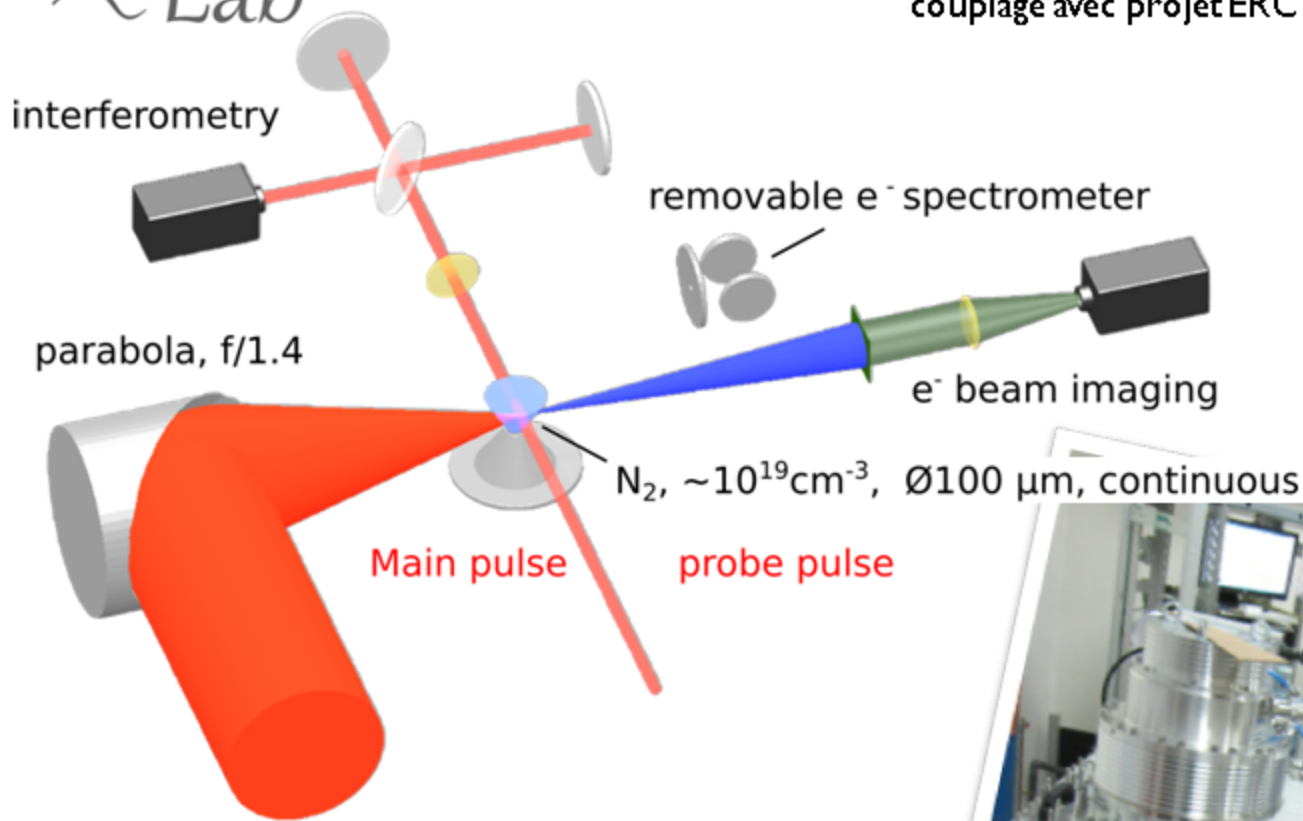
Wheeler et al, Nature Photonics 2012

# ATTO Lab FABP - Dynamique atto du plasma solide



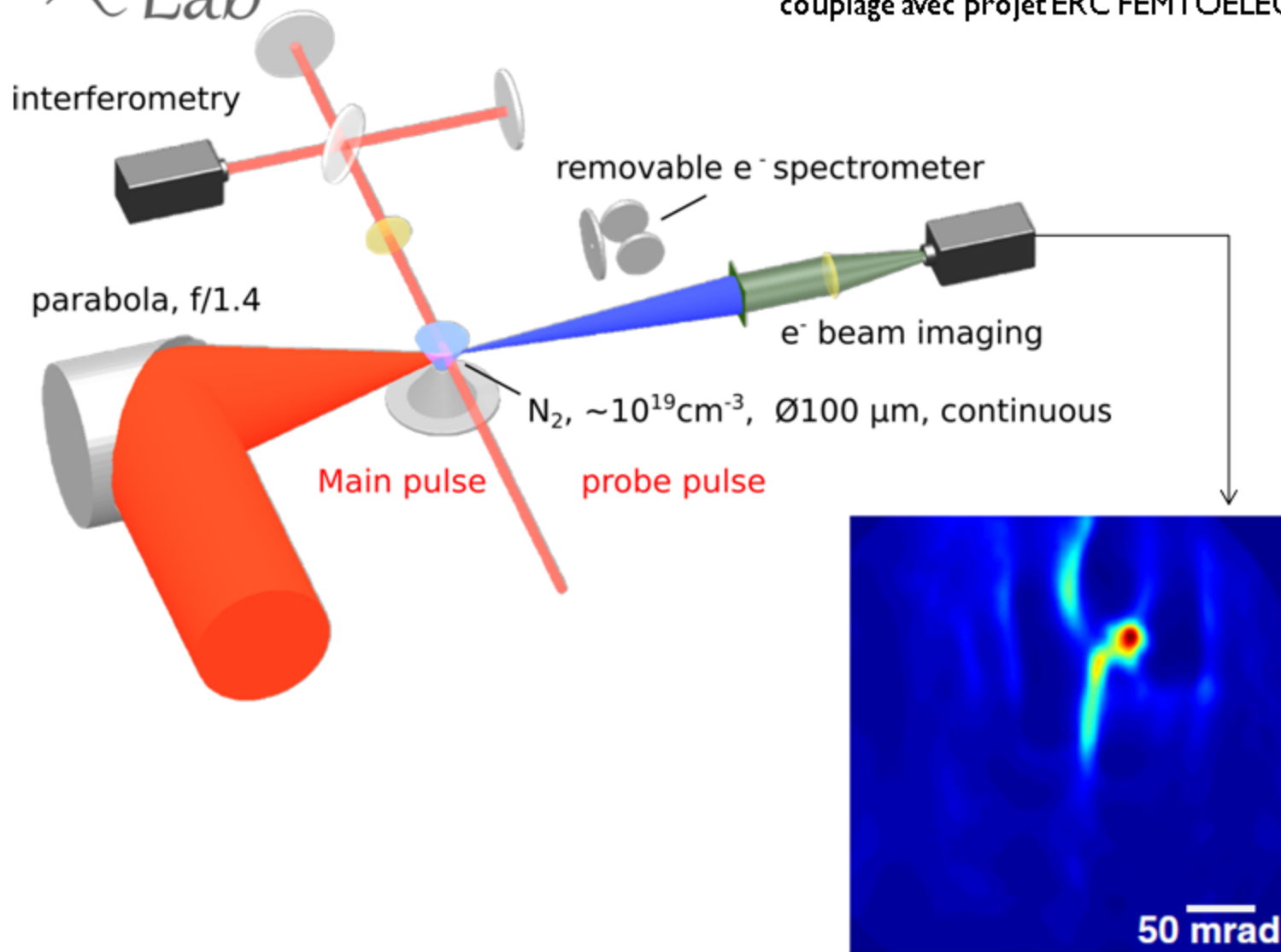


**Relativistic laser-plasma interaction at kHz repetition rate**



# ATTO Lab FABP - Dynamique du plasma gaz

couplage avec projet ERC FEMTOELEC de Jérôme Faure (LOA)

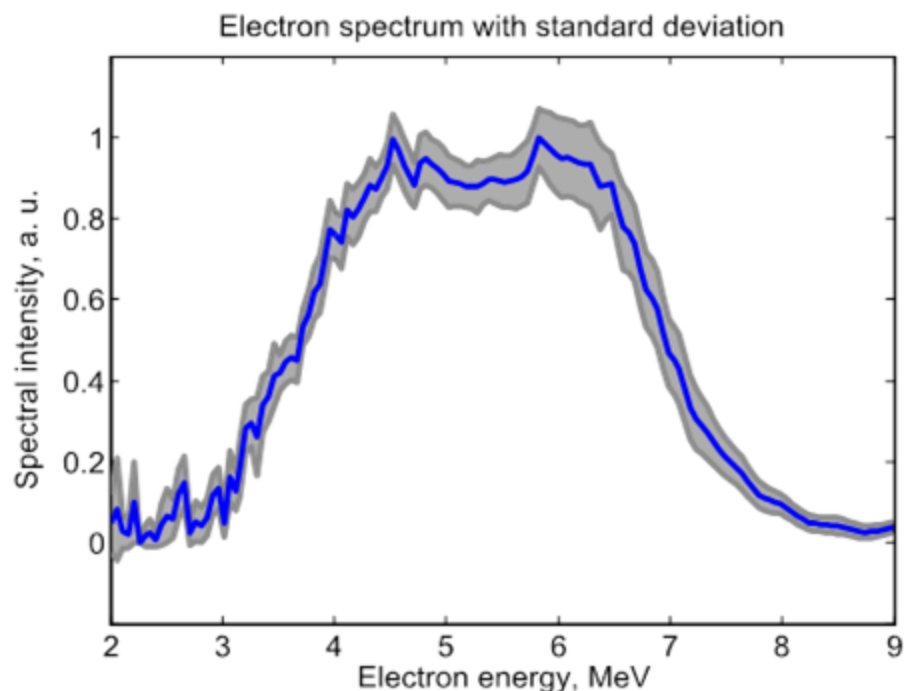
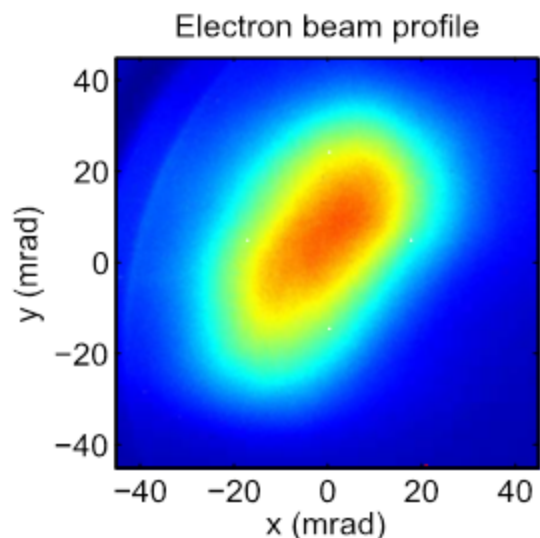


profil du faisceaux d'électrons ( $\leq 100$  keV)

He *et al.*, NJP **15**, 053016 (2013)

Beaurepaire *et al.*, Phys. Rev. X **5** 031012 (2015)





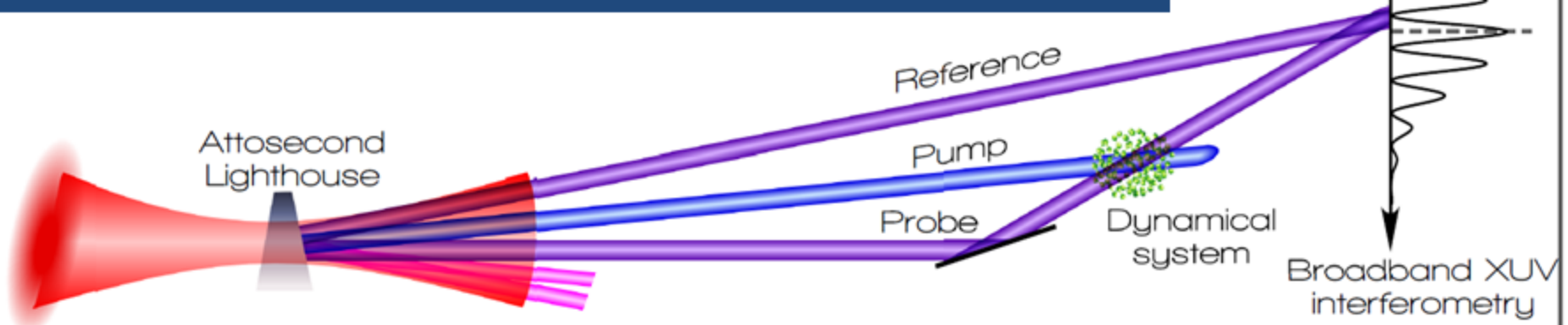
Divergence  $\sim 20$  mrad

Charge  $\sim 0.5$  pC / tir

Energie  $\sim 5$  MeV, stable

**Premiers faisceaux au MeV au kHz**

**plusieurs faisceaux VUV / UVX attoseconde (7 – 20 eV)**



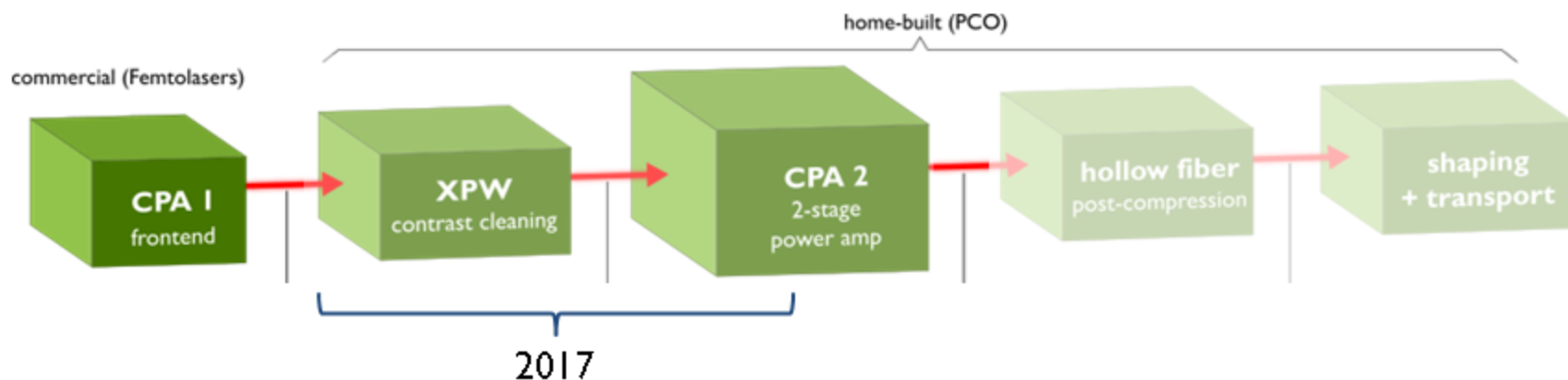
Revue: Quéré et al, J. Phys. B **47**, 124004 (2014)

**électrons femtoseconde (~ 0.1 - 5 MeV)**

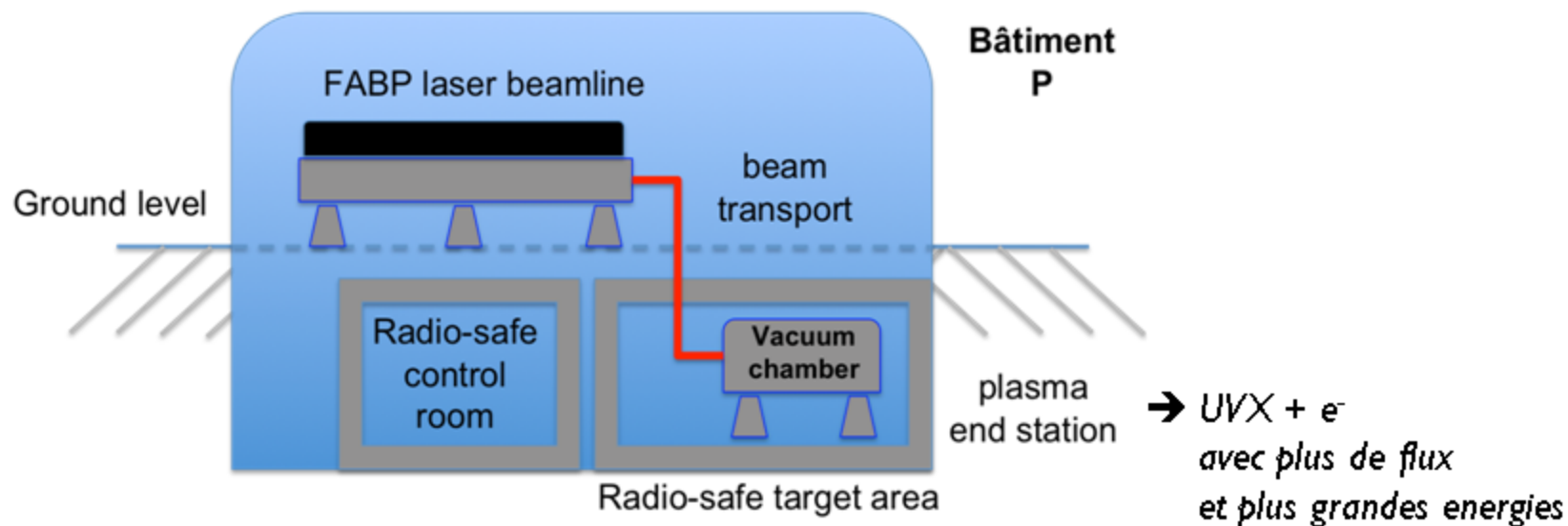
- » diffraction ultrarapide avec impulsions d'électrons femtoseconde
- + pompe IR femtoseconde
- ou même VUV/UVX attoseconde synchronisée



laser	énergie / éclairage sur cible	cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\leq 10^{18}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	$<350$ mrad	1/10 tache	maintenant
<b>SN 3.0</b>	10 mJ $\approx 10^{19}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	$< 5$ fs	$>10^{11}$ @10 ps $>10^8$ @1 ps	$<250$ mrad	1/10 tache	rentrée 2018

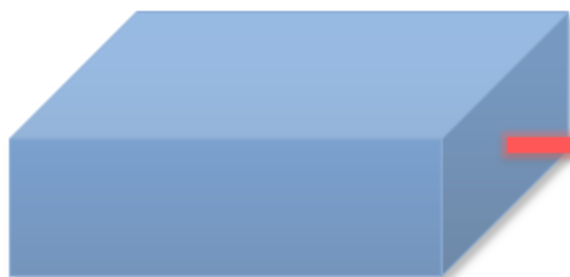


laser	énergie / éclairage sur cible	cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\leq 10^{18}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	<350 mrad	1/10 tache	maintenant
<b>SN 3.0</b>	10 mJ $\approx 10^{19}$ W/cm <sup>2</sup>	1 kHz	< 5 fs	$>10^{11}$ @10 ps $>10^8$ @1 ps	<250 mrad	1/10 tache	rentrée 2018



**future FABP pilotée par la « Salle Noire 3.0 »**

## Laser pilote relativiste SN 2.0, SN 3.0



Technologie des lasers

- ultra-haute intensité
- fort contraste temporel
- forte puissance moyenne (kHz)
- contrôle de forme d'onde (durée few-cycle + CEP)

## Plateformes d'interaction laser-plasma



Technologie des cibles  
laser-plasma kHz  
(solide/gaz)

- récurrence kHz
- forte focalisation ( $\sim f/1$ )
- répétabilité ( $< \mu\text{m}$ )
- longévité ( $\sim 1\text{h}$ )

## Dynamique ultrarapide plasma:

- miroirs plasma
- accélération de particules
- imagerie plasma EUV

## Applications:

- sources secondaires ultrabrèves (UVX attoseconde, électrons)

**- fin -**

**Merci !**