

La source **ATTO** FABP: *~ Lab* interactions laser-plasma ultrarapide

Femto-Atto Plasma
Beamline

Stefan Haessler, LOA, CNRS



université
PARIS-SACLAY

«NewUni»?



ATTO *Lab* FABP - où est-ce?



Au LOA. Là !

Laser pilote relativiste
« Salle Noire 2.0 » (+ 3.0)



Technologie des lasers

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

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: *dynamique électronique collective attoseconde*
- accélération de particules
- imagerie plasma EUV

Applications:

- sources secondaires ultrabrèves (*UVX attoseconde, électrons*)

Laser pilote relativiste « Salle Noire 2.0 » (+ 3.0)



Technologie des lasers

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

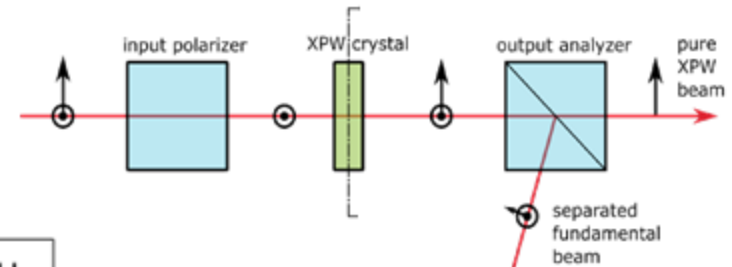
vital

sympa

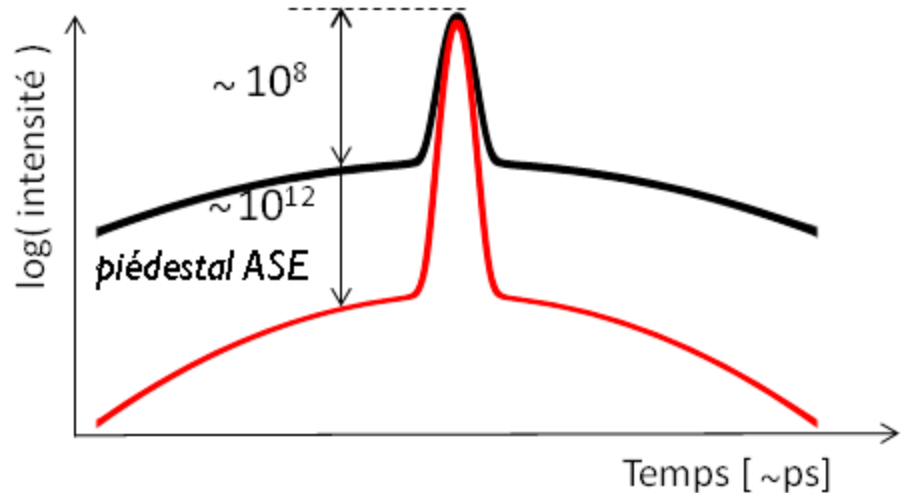
commercial (Femtolasers)



30 fs, 1.3 mJ, 1 kHz
 10^8 contrast ratio



$$I_{XPW}(t) \propto I_{in}^3(t)$$



commercial (Femtolasers)

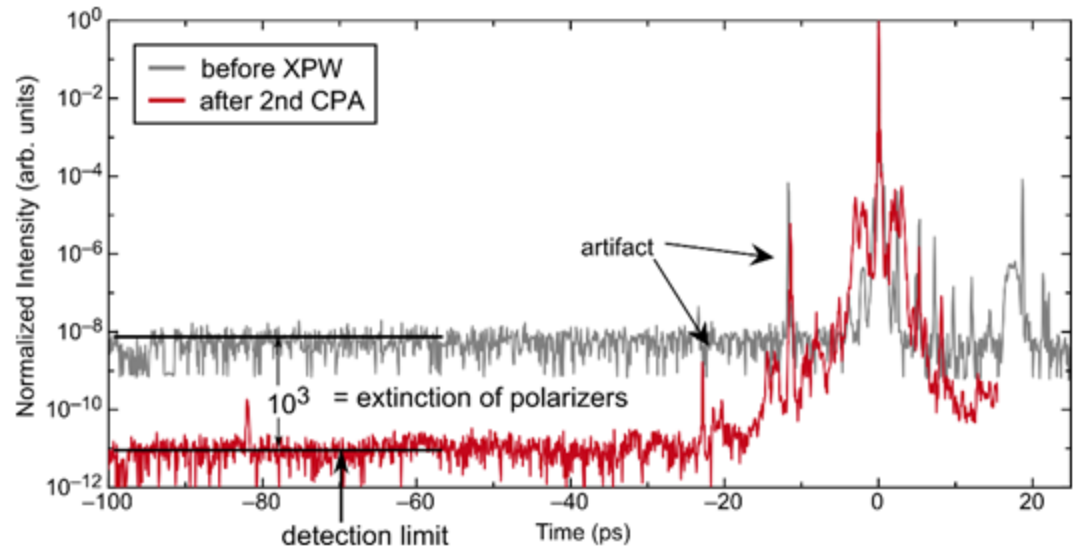


Laser pilote relativiste
« Salle Noire 2.0 » (+ 3.0)



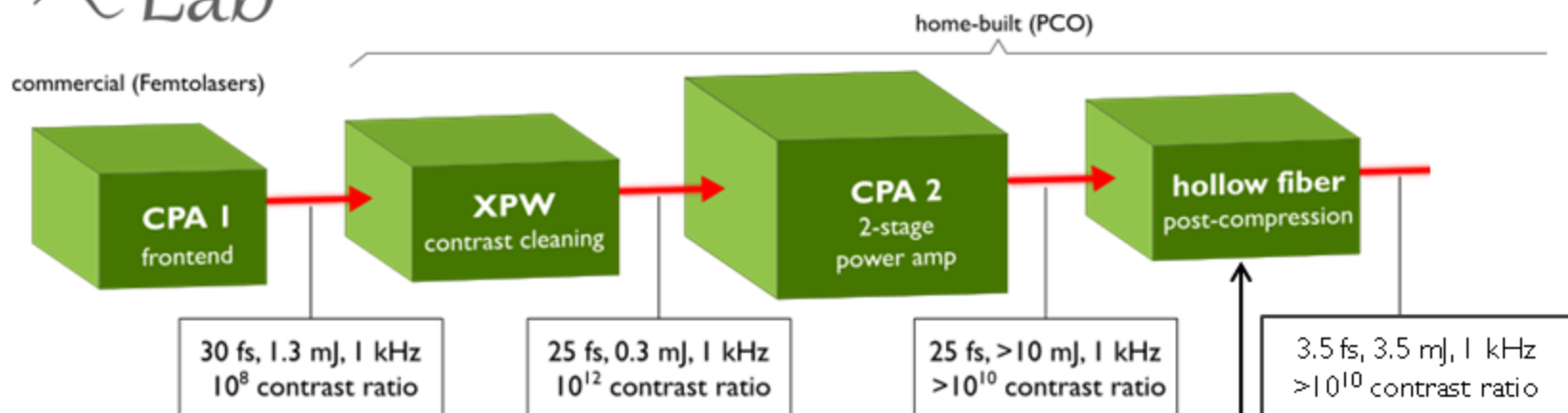
Technologie des lasers

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



vital

sympa

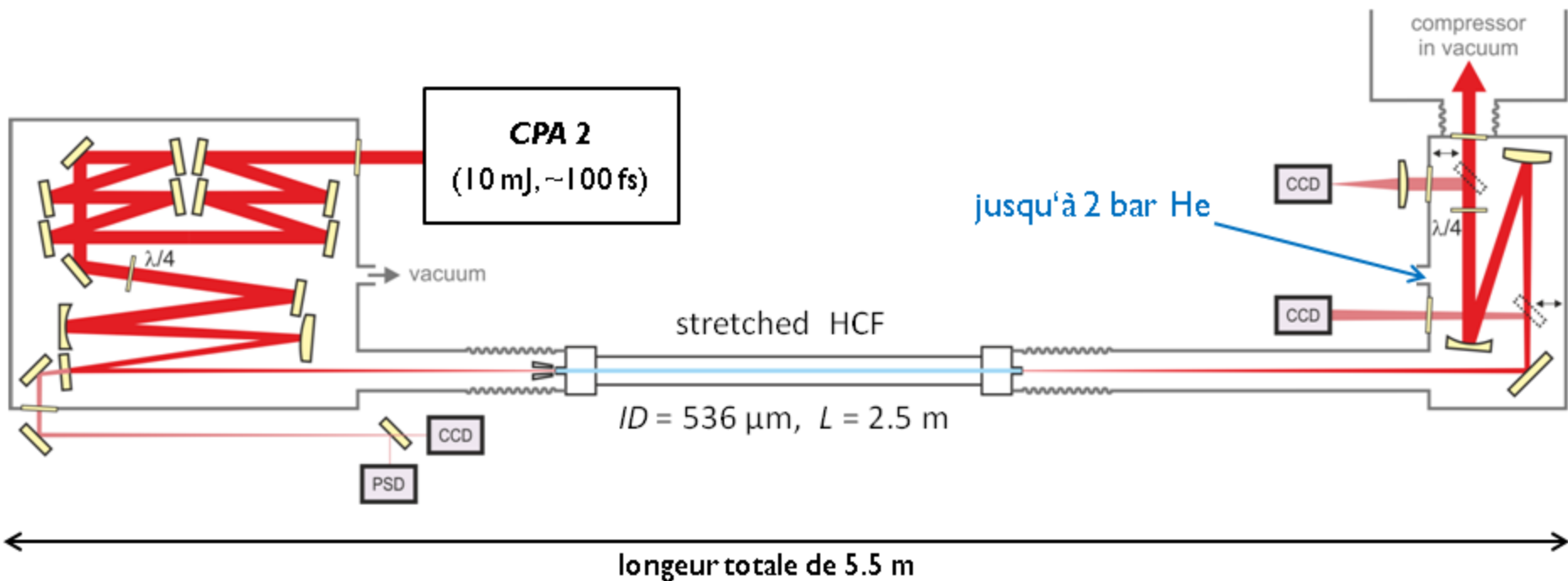
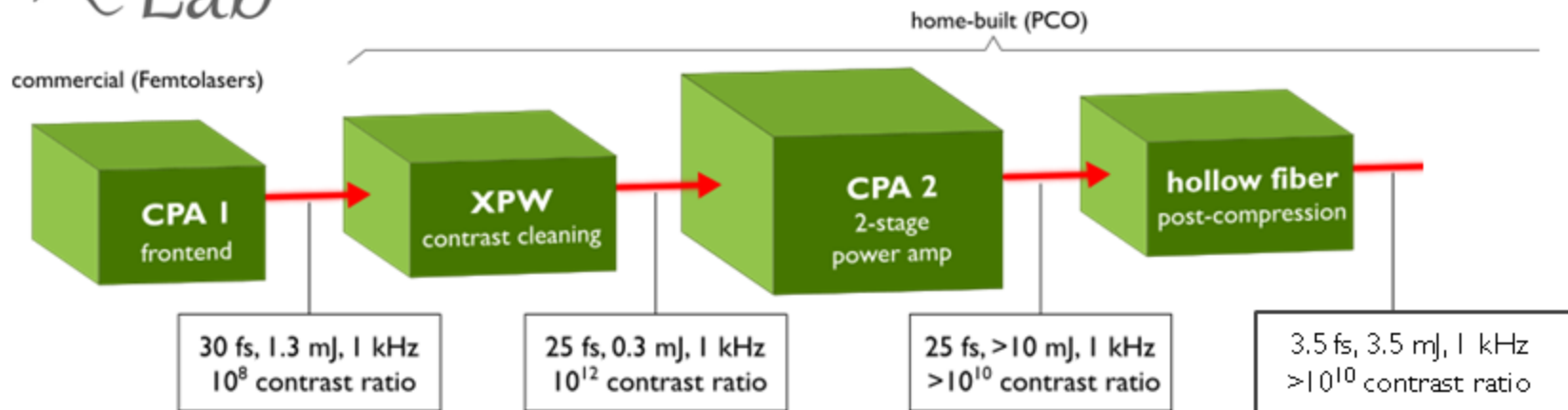


vital

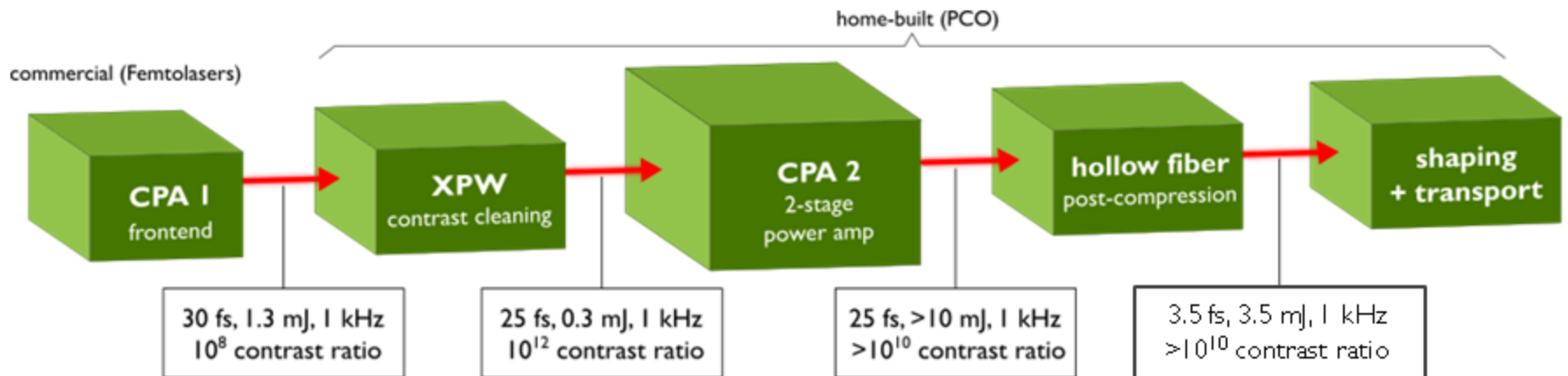
Technologie des lasers

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

sympa



laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\sim 10^{19}$ W/cm ²	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 /
éclairement
sur cible Cadence durée contraste CEP pointing disponibilité

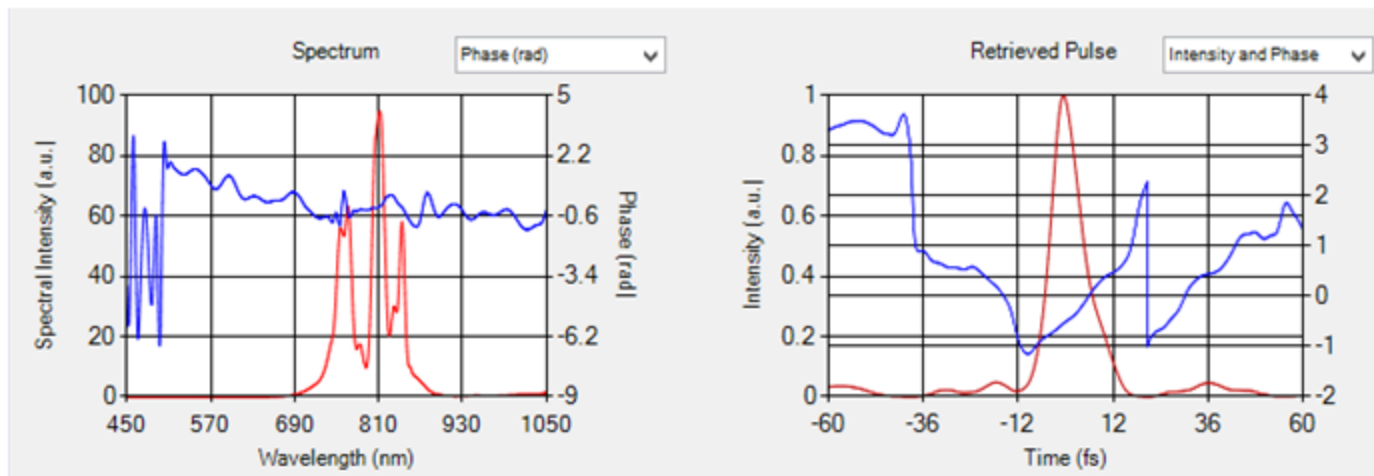
SN 2.0 2.5 mJ
 $\sim 10^{18}$ W/cm² 1 kHz 24 fs $>10^{10}$ @10 ps <350 mrad 1/10 tache maintenant

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



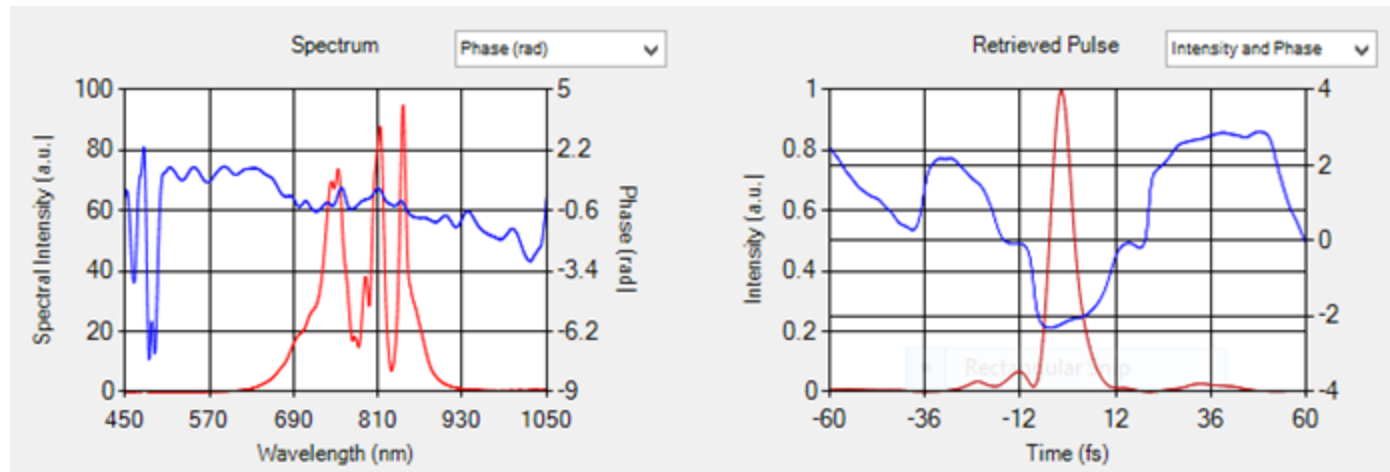
laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm ²	1 kHz	9 fs	$>10^{10}$ @10 ps	<350 mrad	1/10 tache	maintenant

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



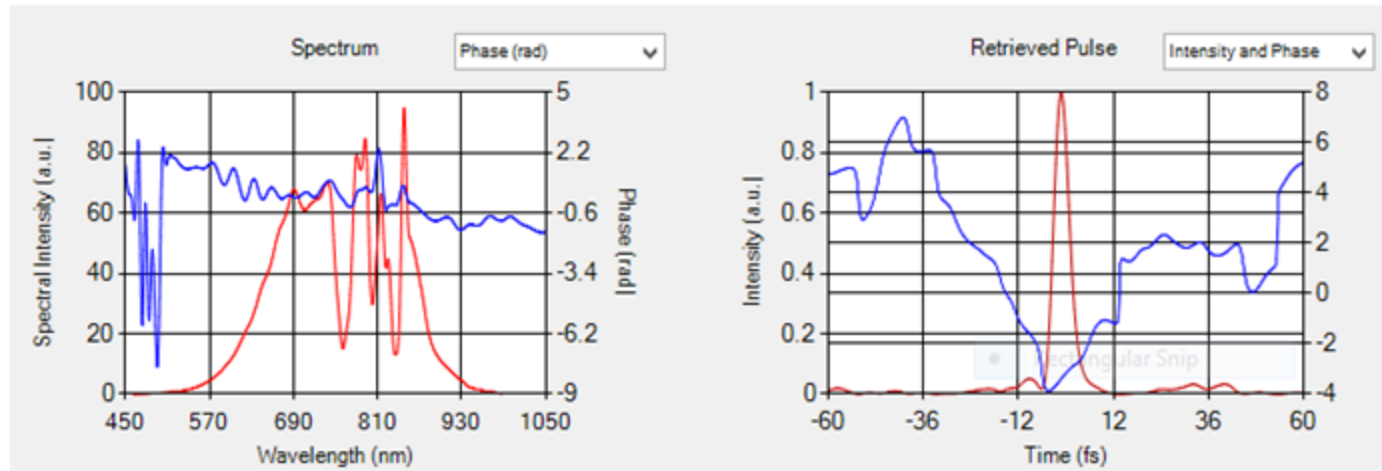
laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm ²	1 kHz	6.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	<350 mrad	1/10 tache	maintenant

**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 $\sim 10^{19}$ W/cm ²	1 kHz	4.3 fs	$>10^{10}$ @10 ps	<350 mrad	1/10 tache	maintenant

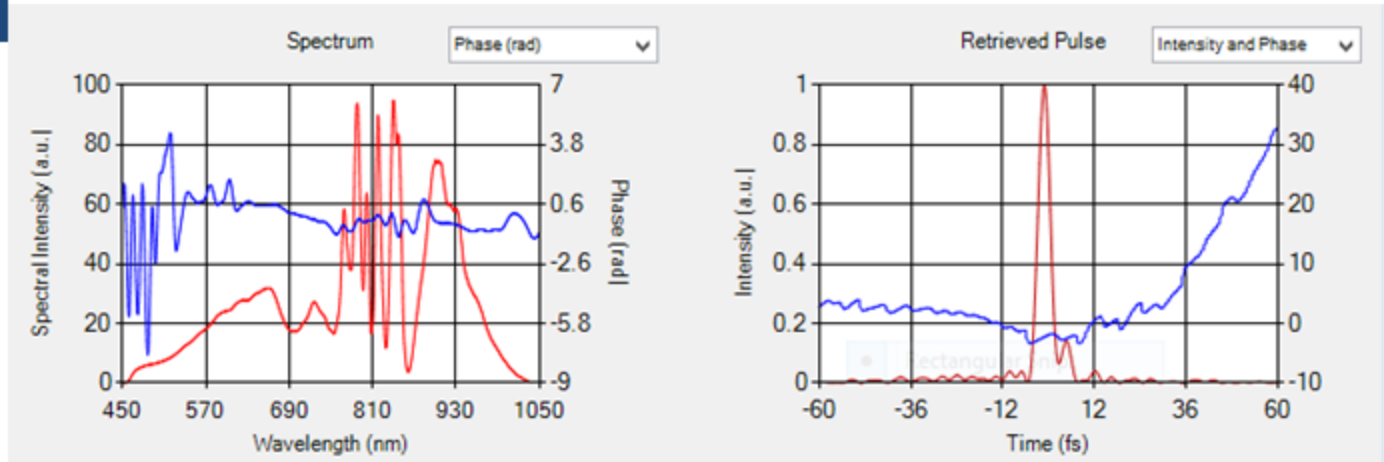
**4.3 fs (900 mbar He)
2.5 mJ sur cible**



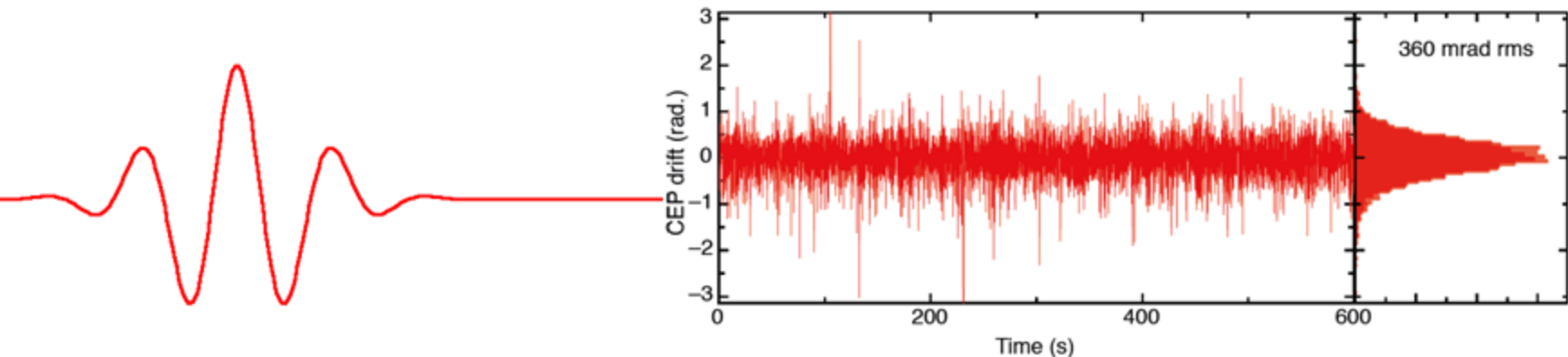
laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
-------	-------------------------------------	---------	-------	-----------	-----	----------	---------------

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

**3.5 fs (1200 mbar He)
2.5 mJ sur cible**



laser	énergie / éclairage sur cible	Cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\sim 10^{19}$ W/cm ²	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	(<350 mrad)	1/10 tache	maintenant



- 360mrad RMS @ 0.7 TW, dernièrement > 500 mrad rms
- depuis, nouvelle pompe pour front-end → 175 mrad rms single-shot au niveau front-end
- **mesure en fin de chaine en cours...**

Laser pilote relativiste
« Salle Noire 2.0 » (+ 3.0)



Technologie des lasers

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

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 ($\sim 1\text{h}$)

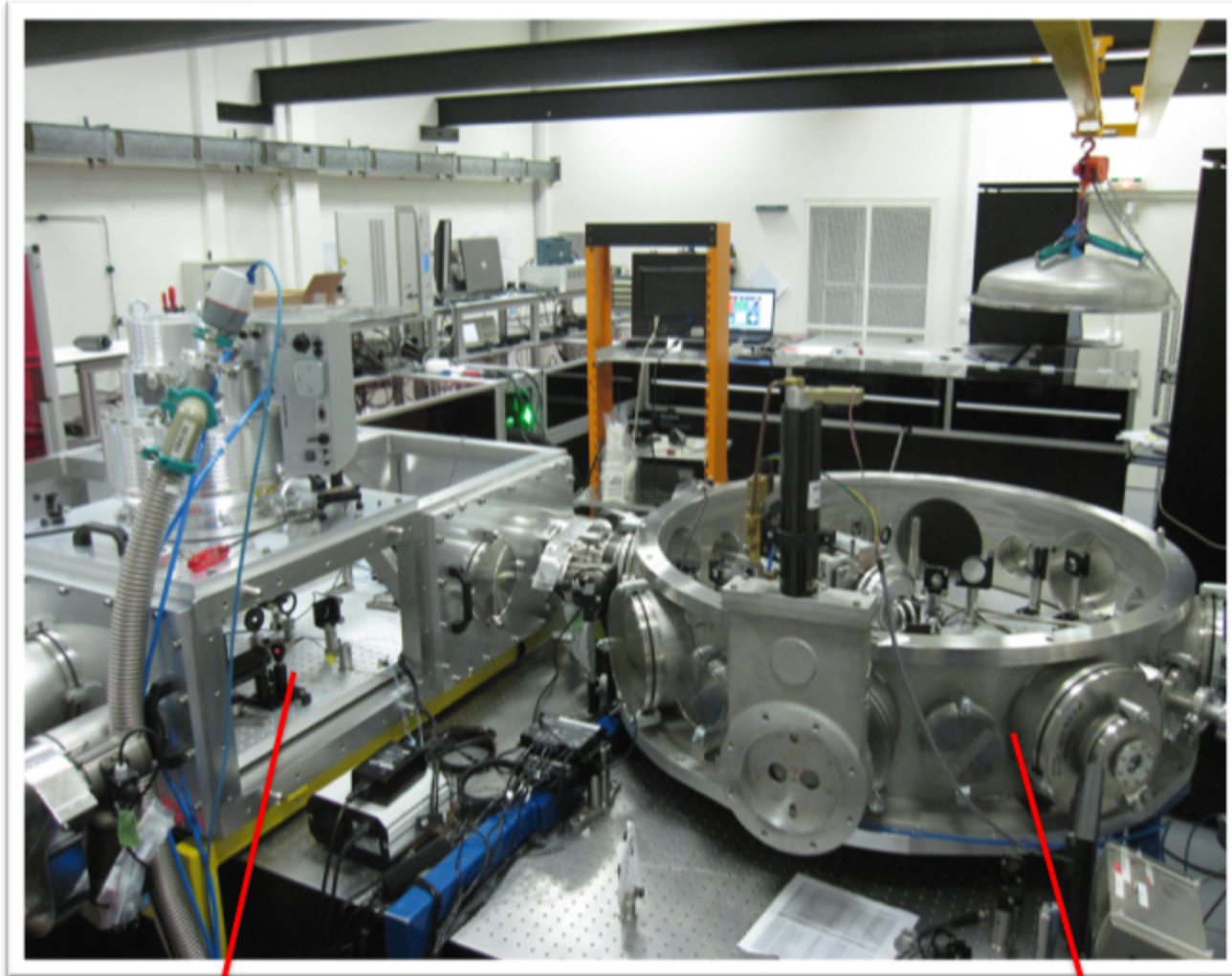
Dynamique ultrarapide plasma:

- miroirs plasma: dynamique électronique collective attoseconde
- accélération de particules
- imagerie plasma EUV

Applications:

- sources secondaires ultrabrèves (UVX attoseconde, électrons)

ATTO *Lab* FABP - Interactions plasma solide

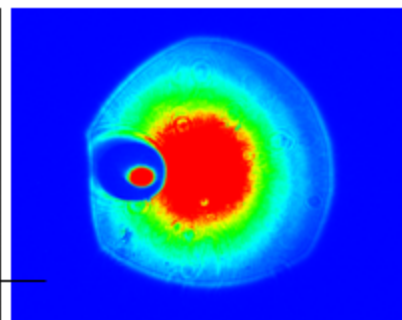
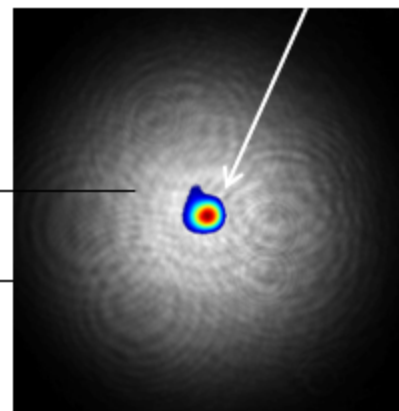
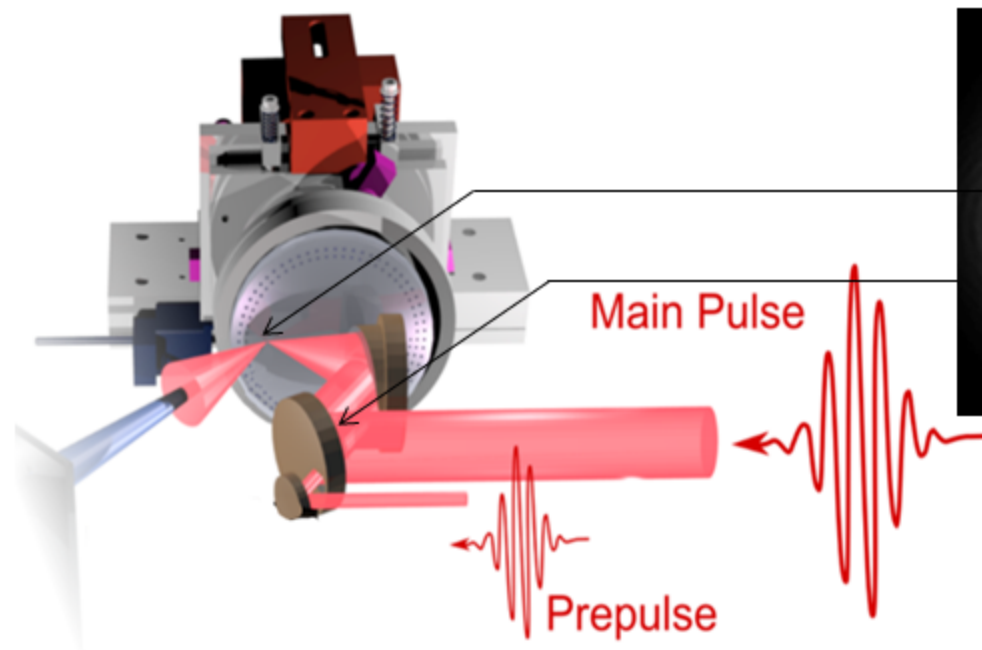


compression + mise-en-forme laser

interaction laser-solide

champ lointain, FWHM 1.7 μm

champ proche

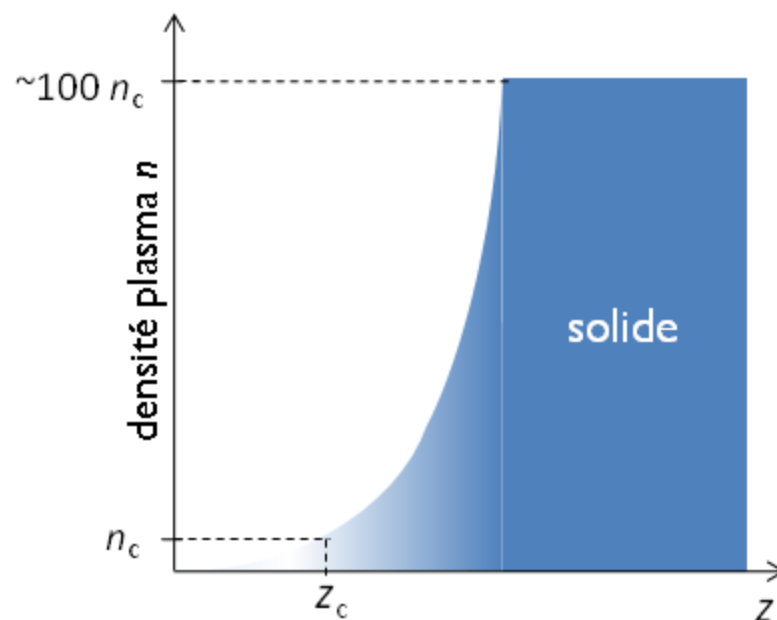


densité critique \downarrow n_c

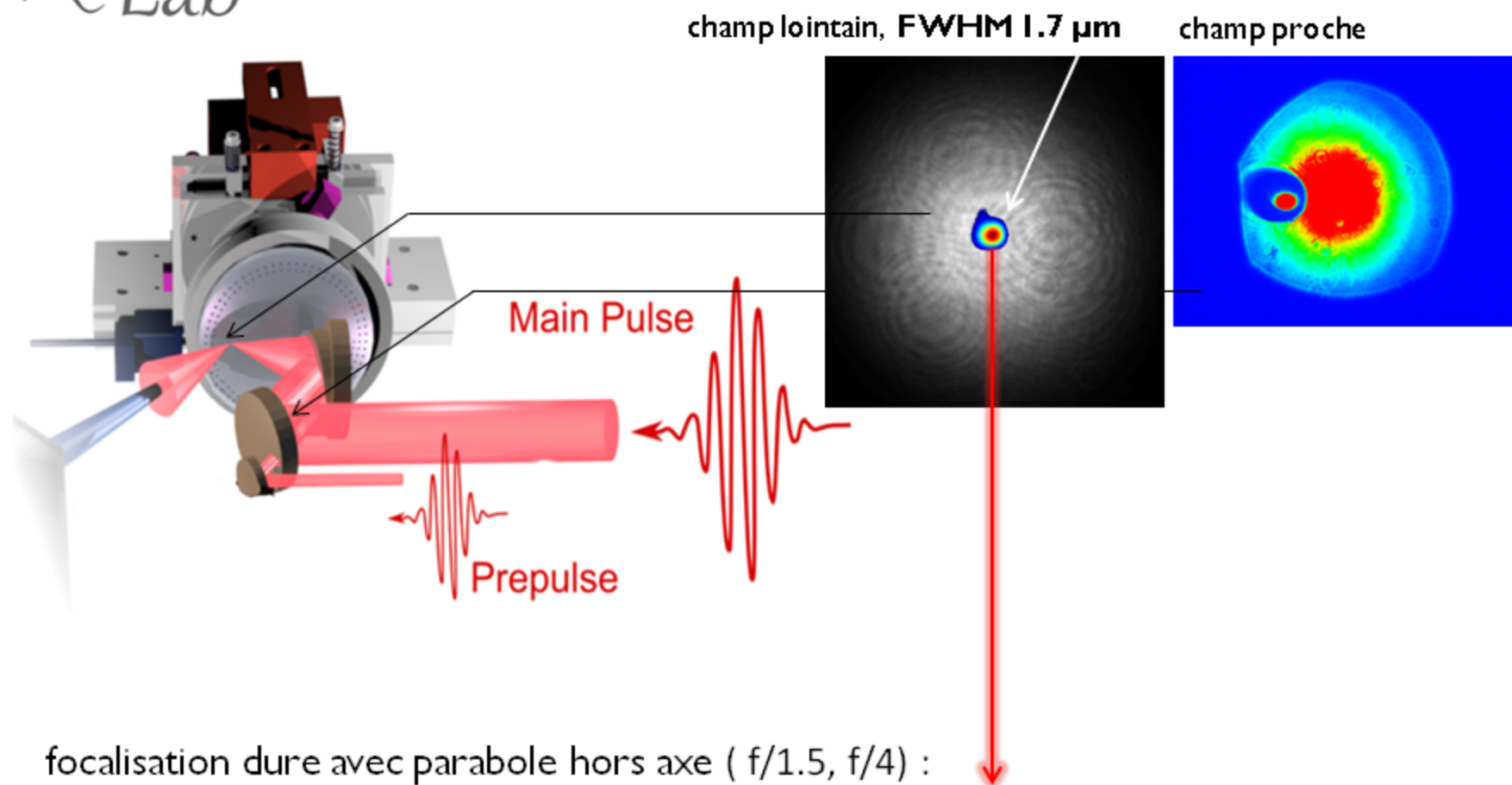
surface critique \downarrow $z - z_c(t)$

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

longueur du gradient \uparrow $L(t)$



ATTO *Lab* FABP - Interactions plasma solide



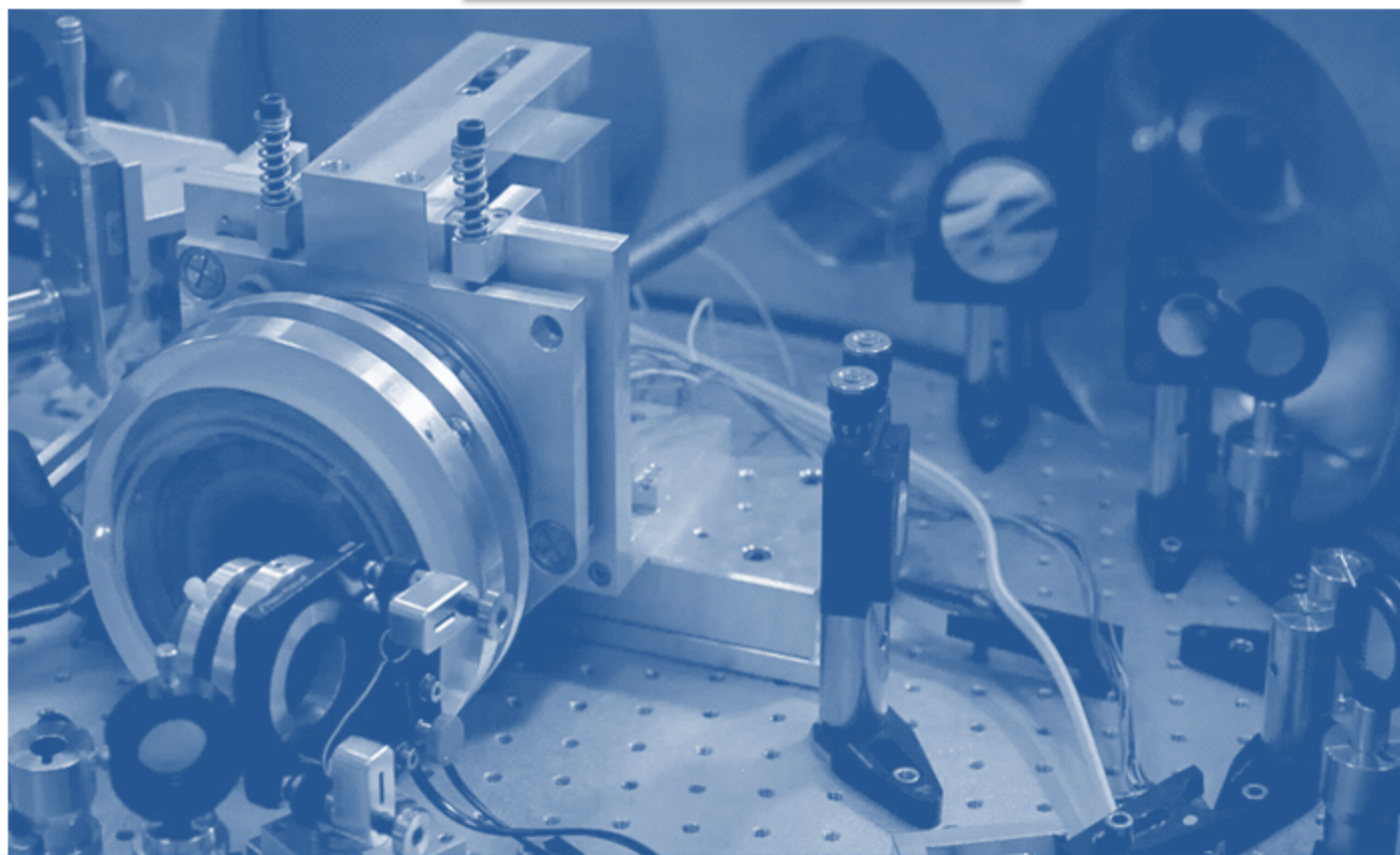
» 2.5 mJ, <5 fs sur cible dans 1.7 μm → $I \approx 1 \times 10^{19} \text{ W/cm}^2$ ($a_0 \approx 2$)



focalisation dure $\rightarrow z_R \approx 10 \mu\text{m}$

Source LAB

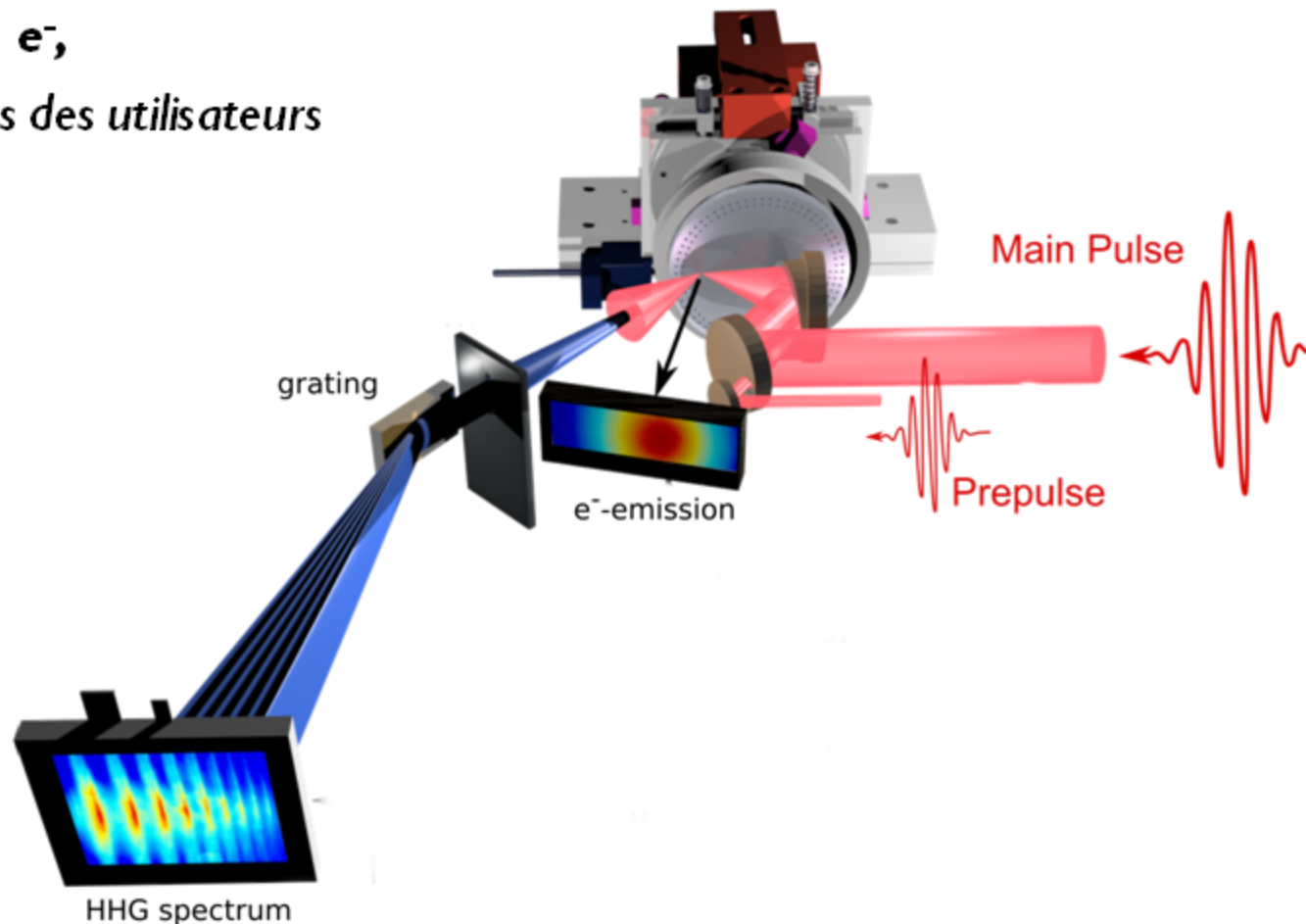
cible solide

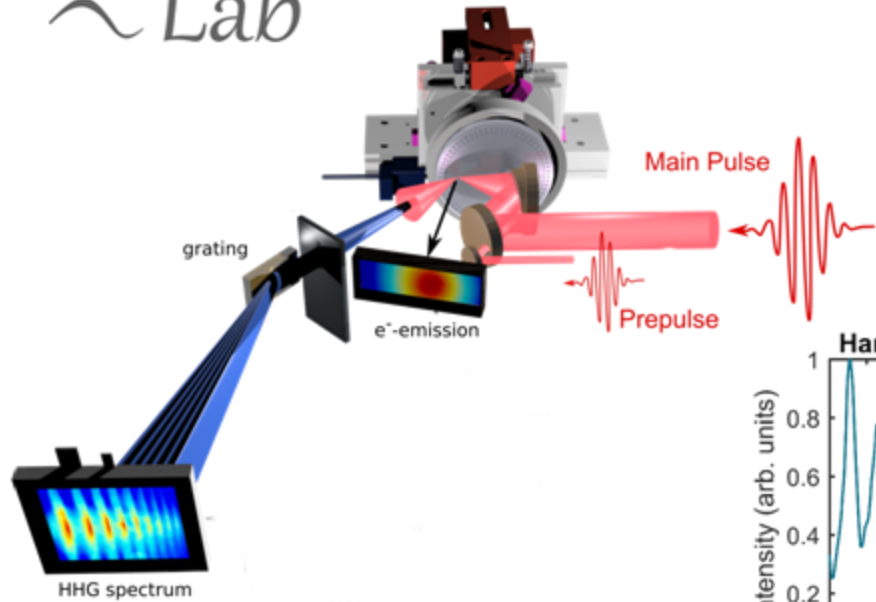


» **cible kHz stabilisé:** 1h @1 kHz, (stabilisée activement) : $\Delta z \sim 1 \mu\text{m}$, $\Delta\theta < 20 \mu\text{rad}$

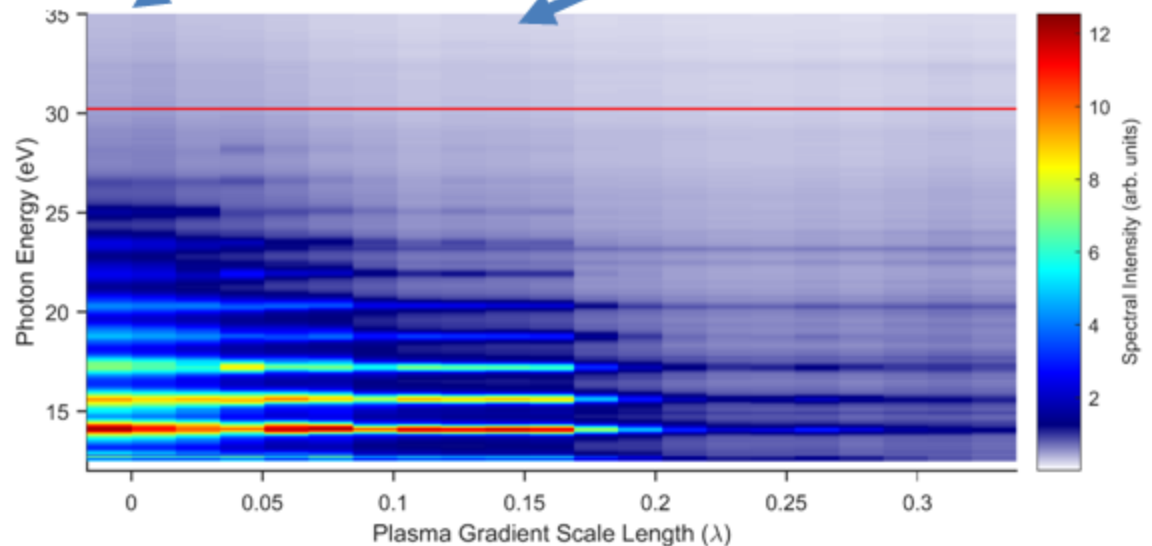
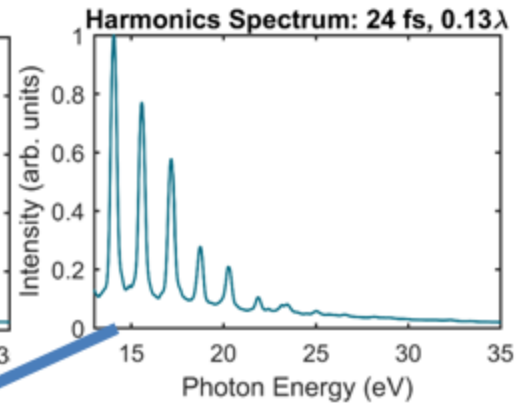
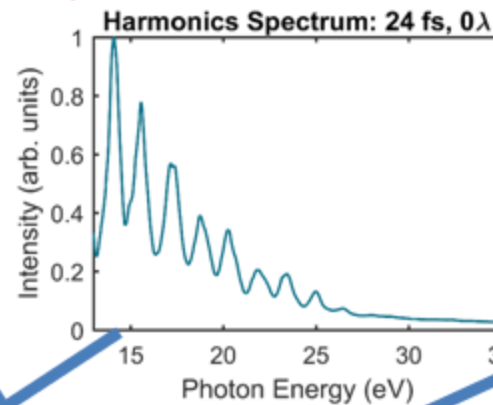
ATTO Lab FABP - Interactions plasma solide

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

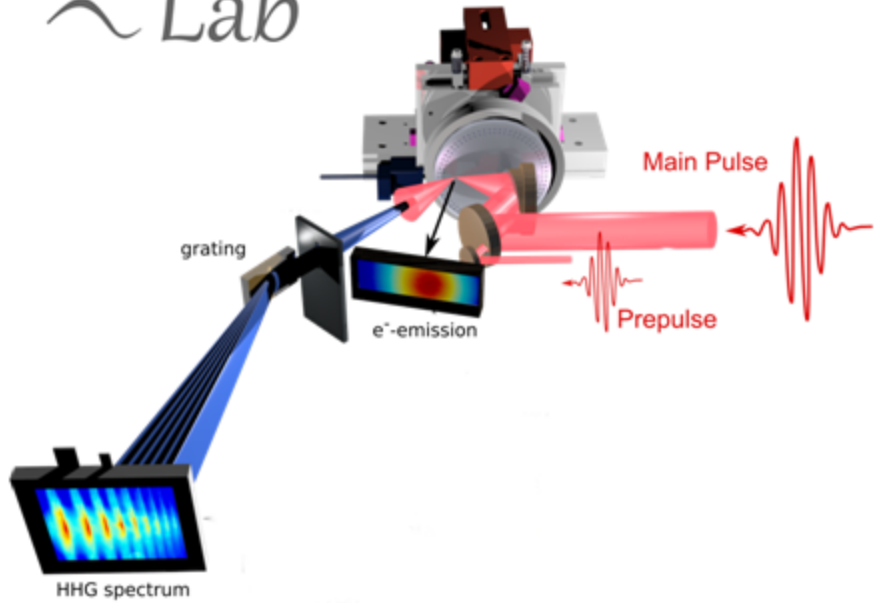




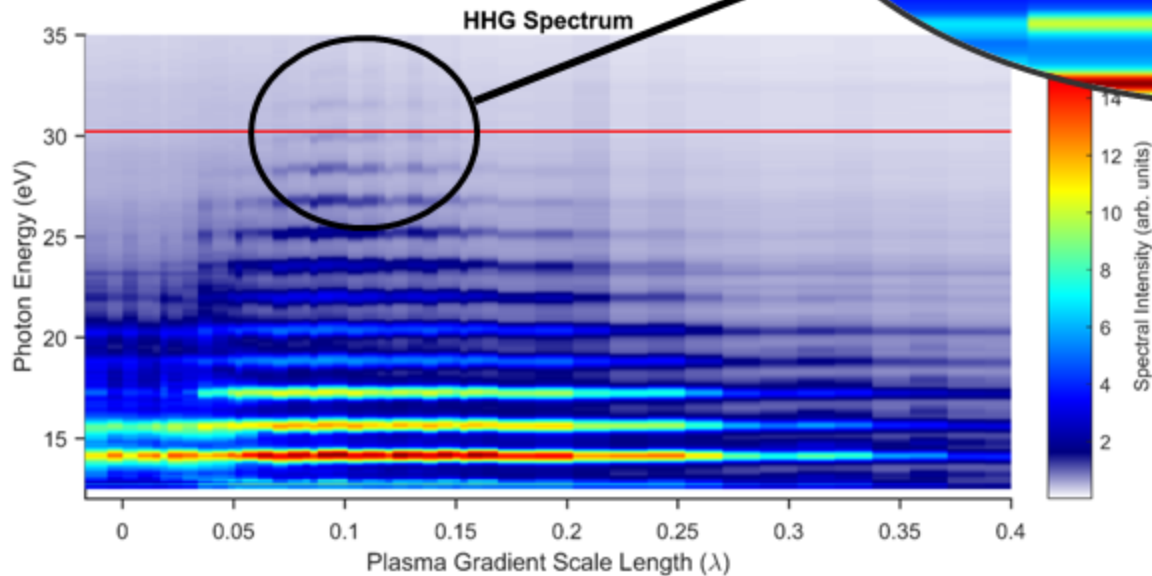
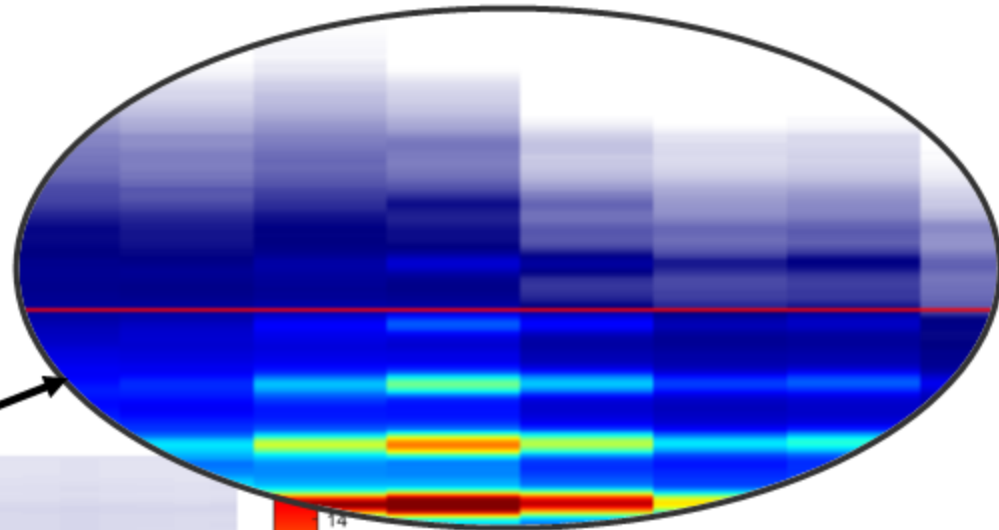
24 fs, 2.5 mj sur cible , $a_0 \approx 1$



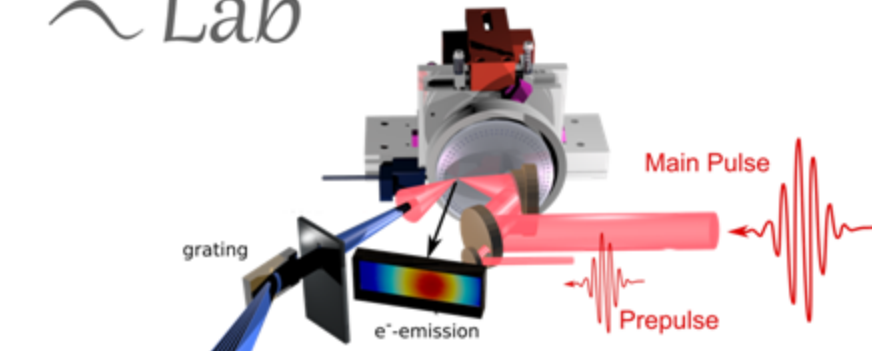
ATTO Lab FABP - Dynamique atto du plasma solide



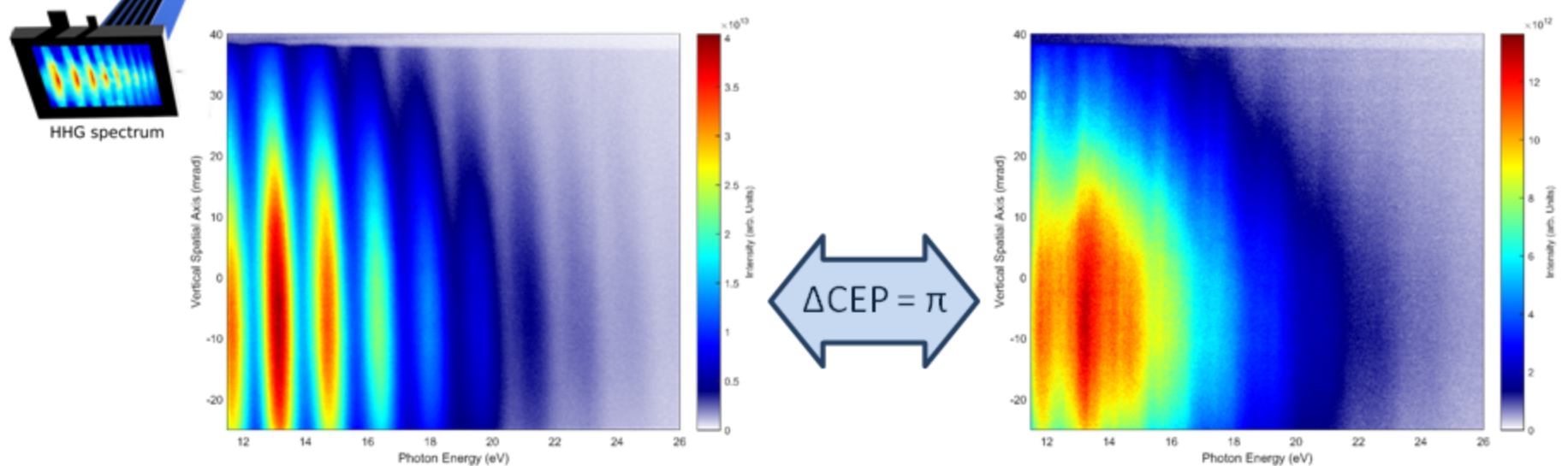
9 fs, 2.5 mJ sur cible, $a_0 \approx 1.5$



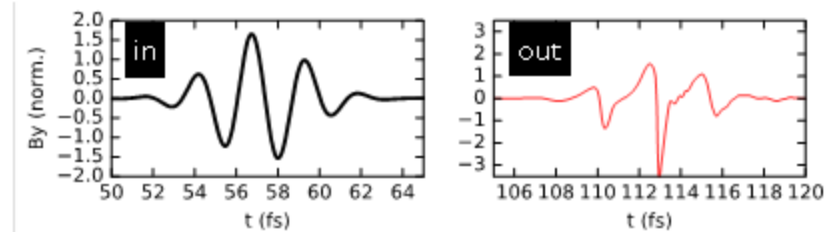
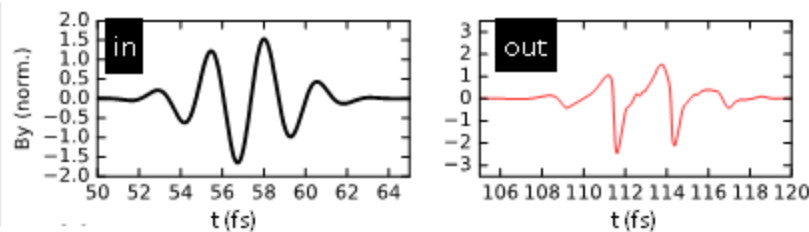
ATTO Lab FABP - Dynamique atto du plasma solide

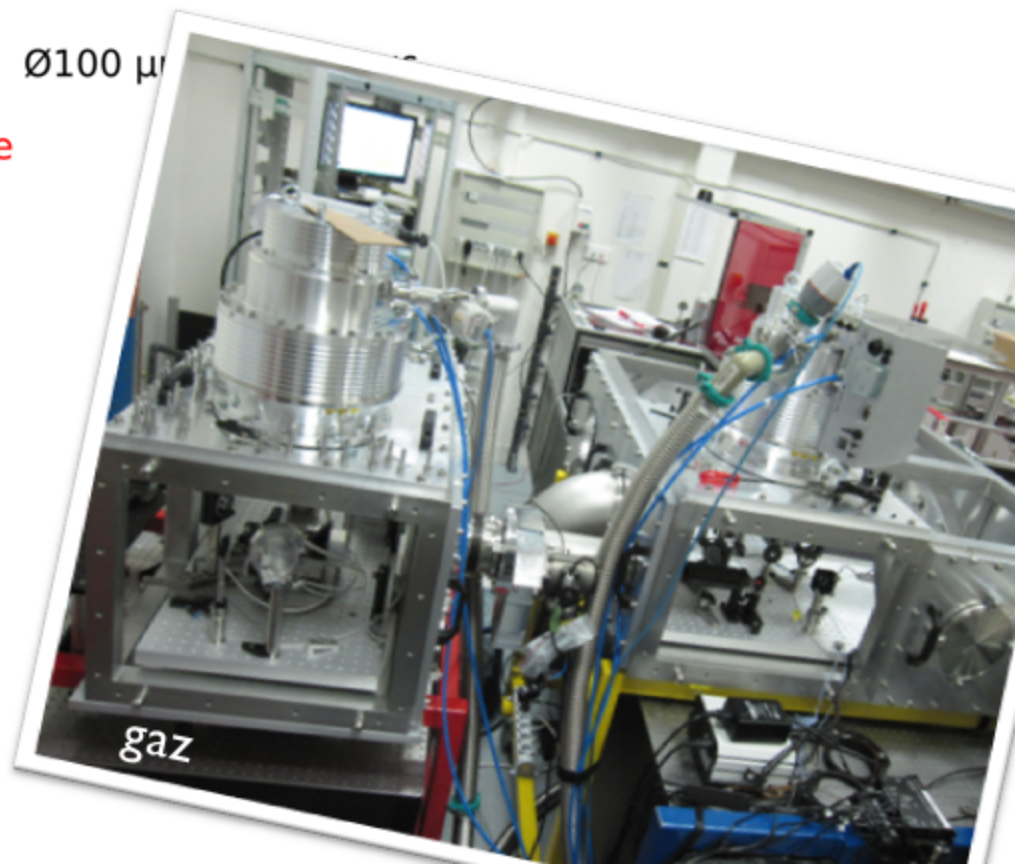
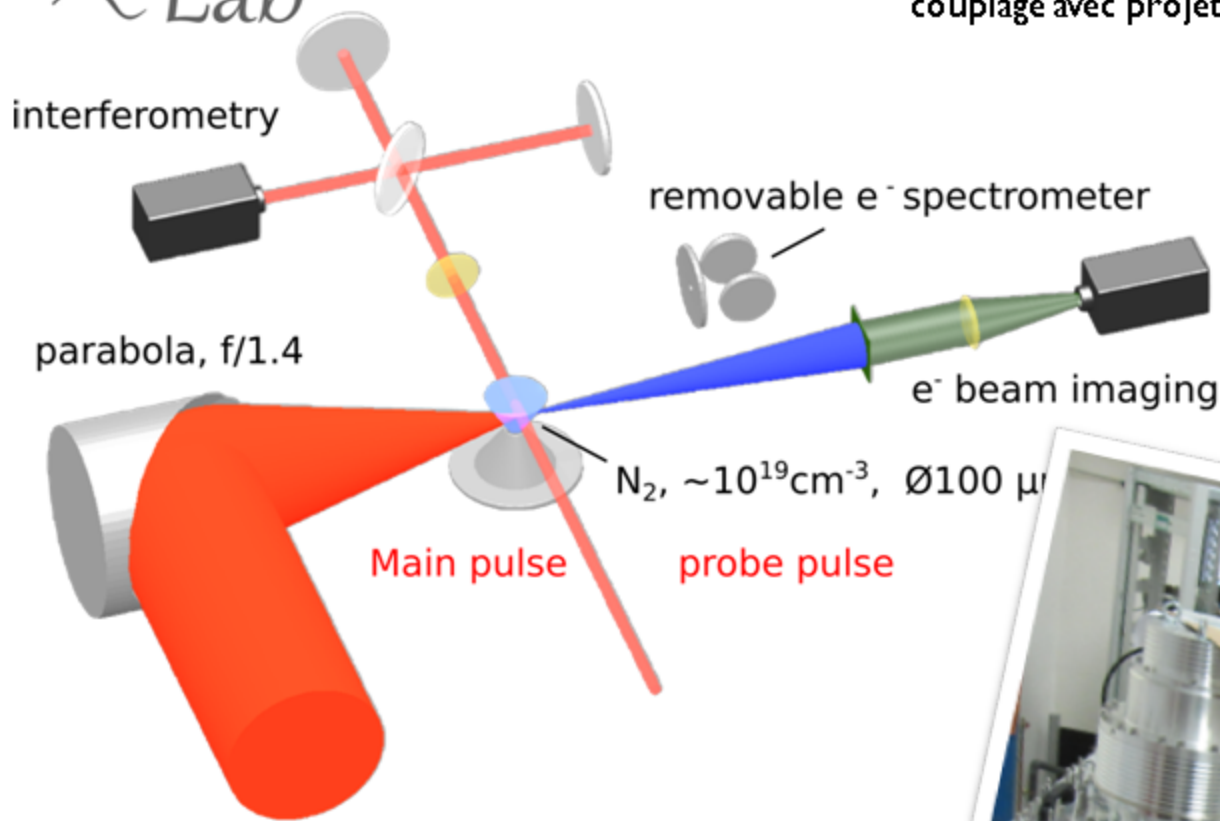


3.5 fs, 2.5 mJ sur cible, $a_0 \approx 2$,
 $L_g = 0.1 \lambda$; CEP locked during one sequence



PIC simulations by Maxence Thévenet:

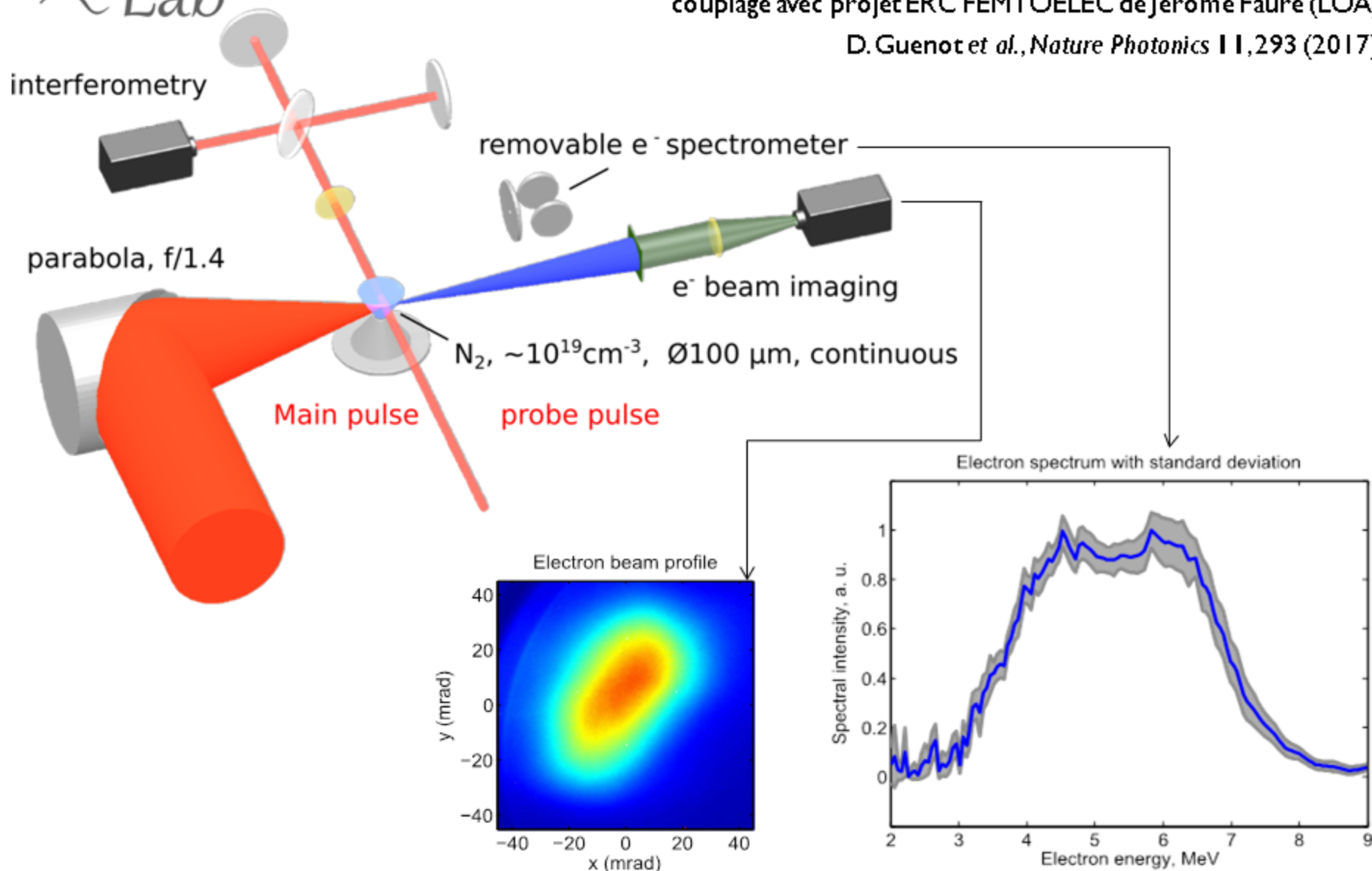




ATTO Lab FABP - Dynamique du plasma gaz

couplage avec projet ERC FEMTOELEC de Jérôme Faure (LOA)

D. Guenot et al., *Nature Photonics* 11, 293 (2017)

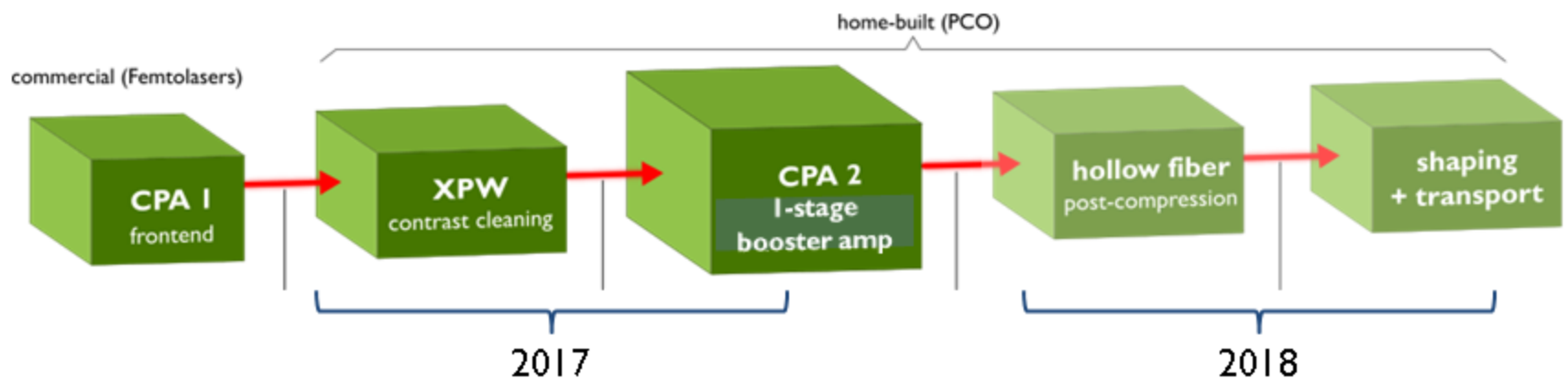


Charge $\sim 0.5 \text{ pC / tir}$

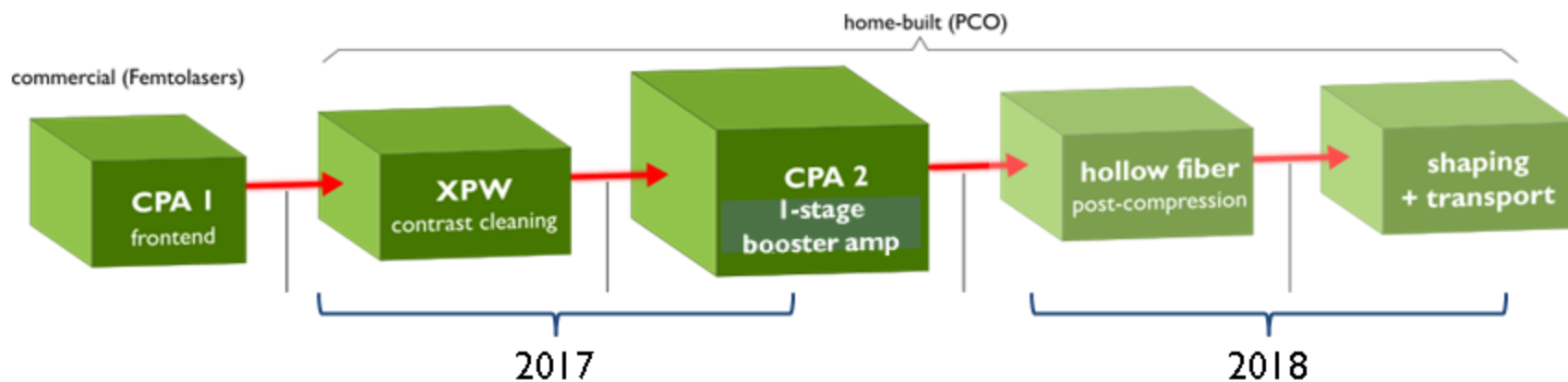
Divergence $\sim 20 \text{ mrad}$

Energie $\sim 5 \text{ MeV, stable}$

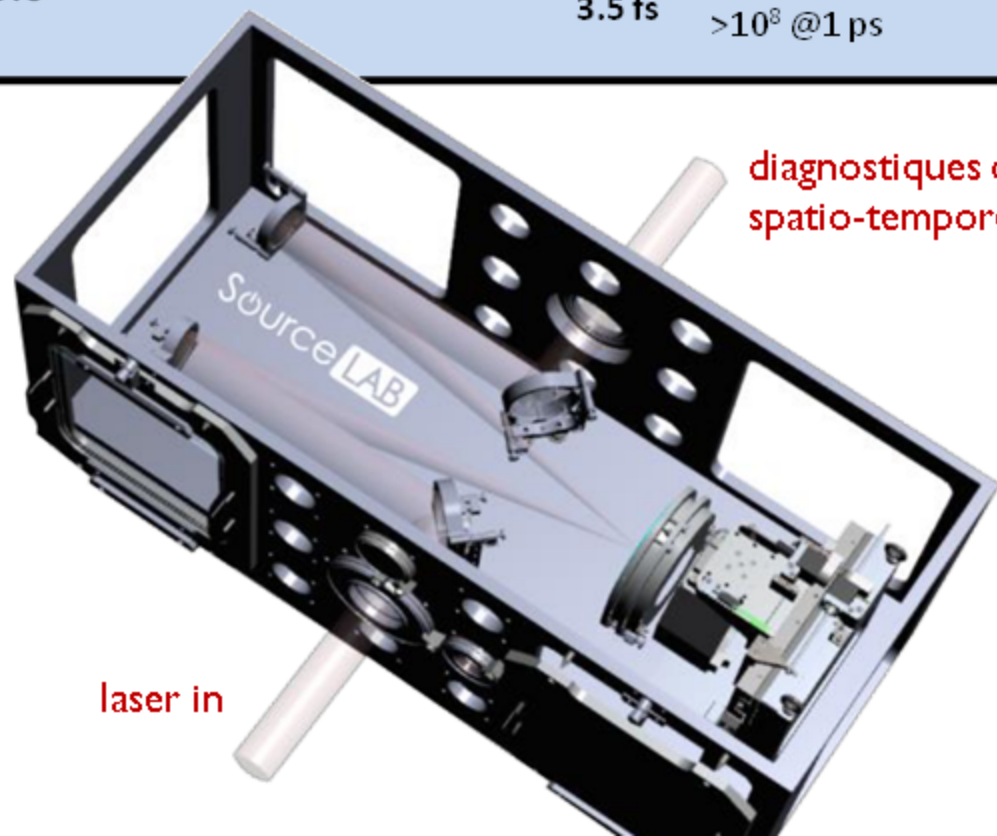
laser	énergie / éclairage sur cible	cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\approx 10^{19}$ W/cm ²	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	<350 mrad	1/10 tache	maintenant
SN 3.0	3.2 mJ	1 kHz	24 fs	$>10^{11}$ @10 ps $>10^8$ @1 ps	<250 mrad	1/10 tache	rentrée 2018



laser	énergie / éclairage sur cible	cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\approx 10^{19}$ W/cm ²	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	<350 mrad	1/10 tache	maintenant
SN 3.0	1.5 mJ	1 kHz	3.5 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 $\approx 10^{19}$ W/cm ²	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	<350 mrad	1/10 tache	maintenant
SN 3.0	1.5 mJ	1 kHz	24 - 3.5 fs	$>10^{11}$ @10 ps $>10^8$ @1 ps	<250 mrad	1/10 tache	rentrée 2018



diagnostics optiques
spatio-temporels

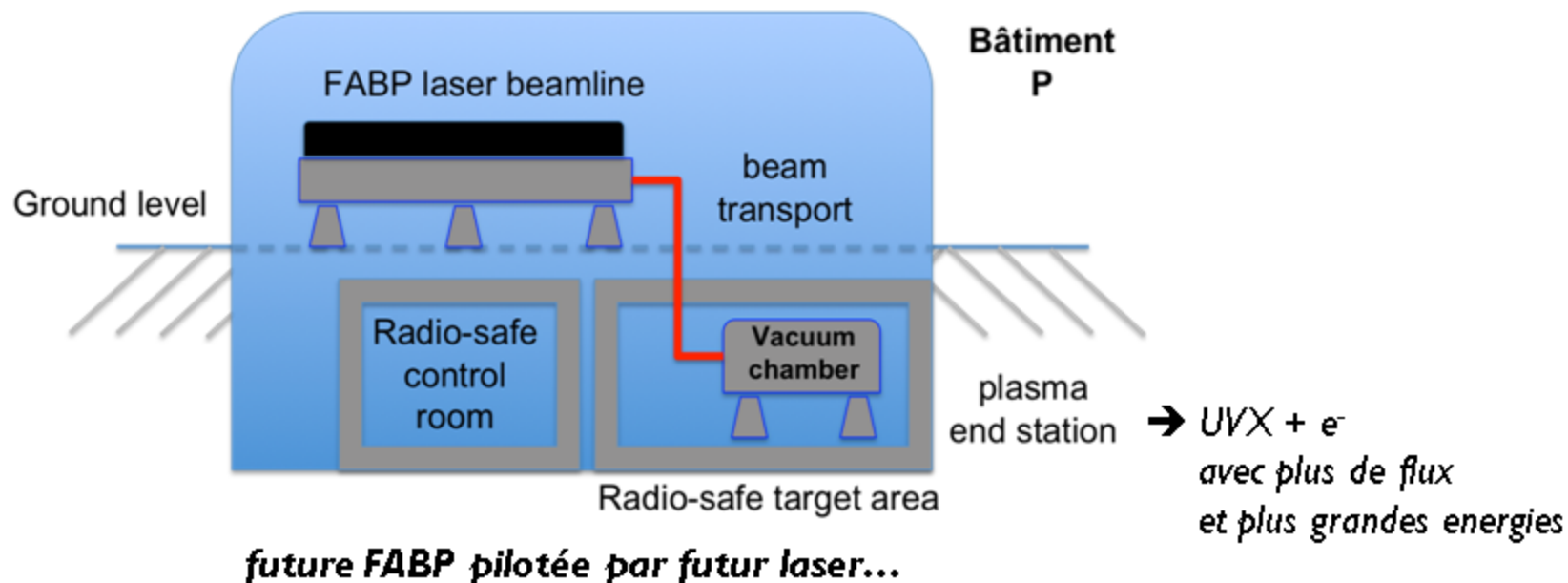
laser in

» **miroir plasma (sous-relativiste)
en régime few / single-cycle**

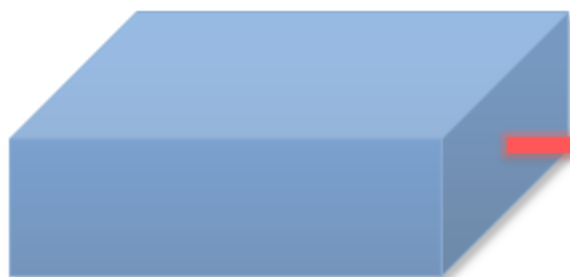
validation de technologie de
nettoyage de contraste temporel
pour futurs grands installations

ATTO Lab FABP - Futur laser ?

laser	énergie / éclairage sur cible	cadence	durée	contraste	CEP	pointing	disponibilité
SN 2.0	2.5 mJ $\leq 10^{18}$ W/cm ²	1 kHz	3.5 fs	$>10^{10}$ @10 ps	<350 mrad	1/10 tache	maintenant
SN 3.0	1.5 mJ $\approx 10^{19}$ W/cm ²	1 kHz	3.5 fs	$>10^{11}$ @10 ps $>10^8$ @1 ps	<250 mrad	1/10 tache	rentrée 2018
OPCPA SN4.0 ?	10 mJ $\approx 10^{19}$ W/cm ²	~ 100 Hz ?	3.5 fs	$>10^{11}$ @10 ps	<250 mrad	1/10 tache	quand on sera riche



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 !