

La source **ATTO** FABP: *~ Lab*

interactions laser-plasma ultrarapide

**Femto-Atto Plasma
Beamline**

Stefan Haessler, *LOA, CNRS*



ATTO Lab FABP - où et qui est-ce?



Rodrigo Lopez-Martens
Marie Ouillé
S.H.
Zhao Cheng
Aline Vernier
Jérôme Faure



↑
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 ($\sim f/l$)
- répétabilité ($< \mu\text{m}$)
- longévité ($\sim 1\text{h}$)

Dynamique ultrarapide plasma:

- miroirs plasma: *dynamique électronique collective attoseconde*
- accélération de particules

Applications:

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

commercial (Femtolasers)

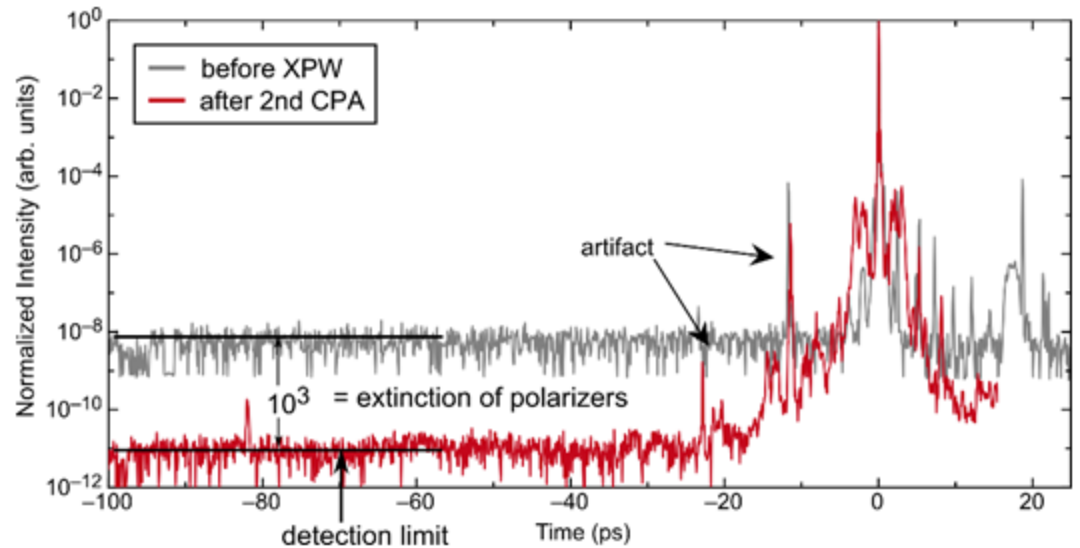


Laser pilote relativiste
« Salle Noire 2.0 » (+ 3.0)



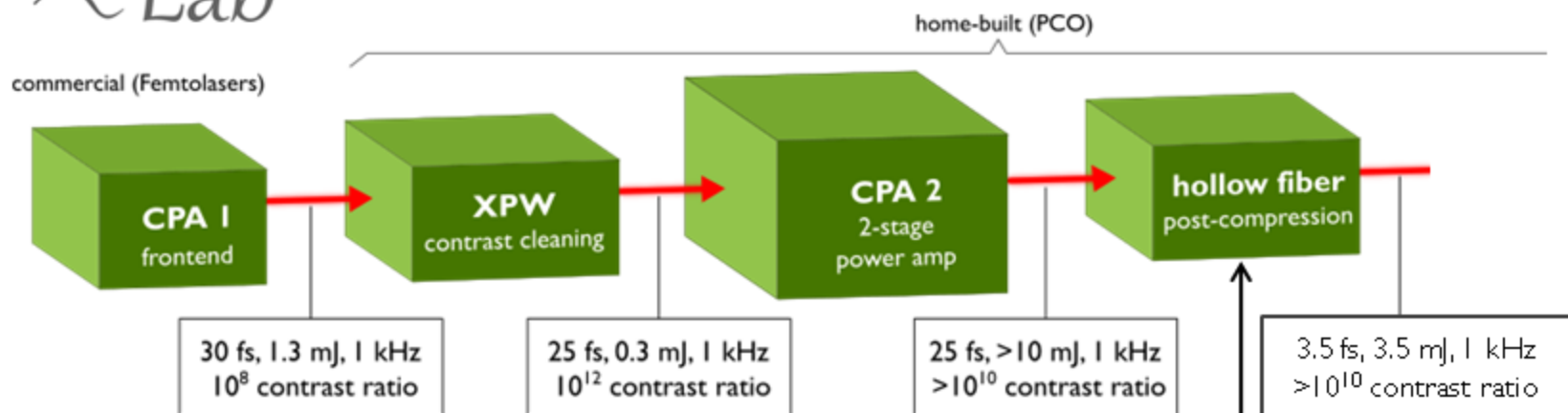
Technologie des lasers

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



vital

sympa

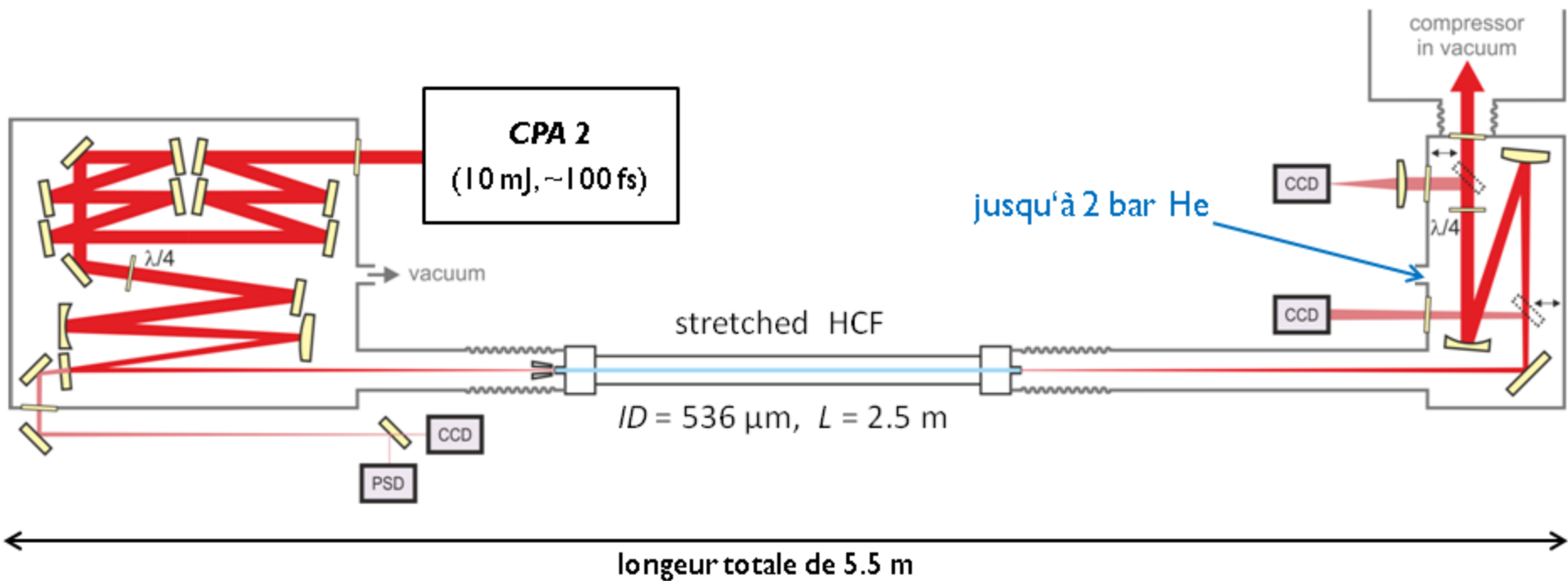
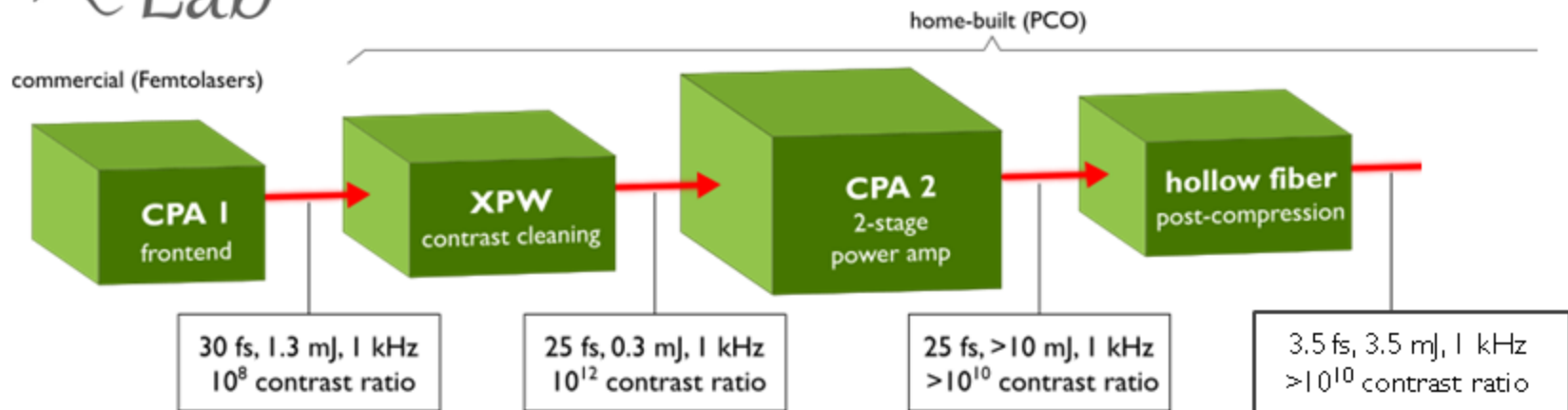


vital

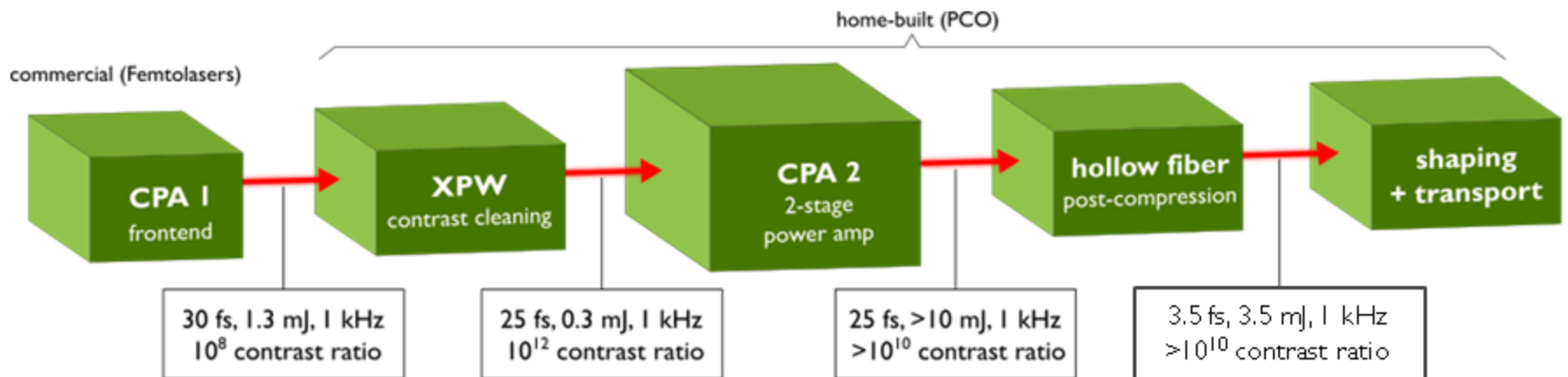
Technologie des lasers

- *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 | <200 mrad | 1/10 tache | maintenant |



ATTO Lab FABP - Performances laser

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

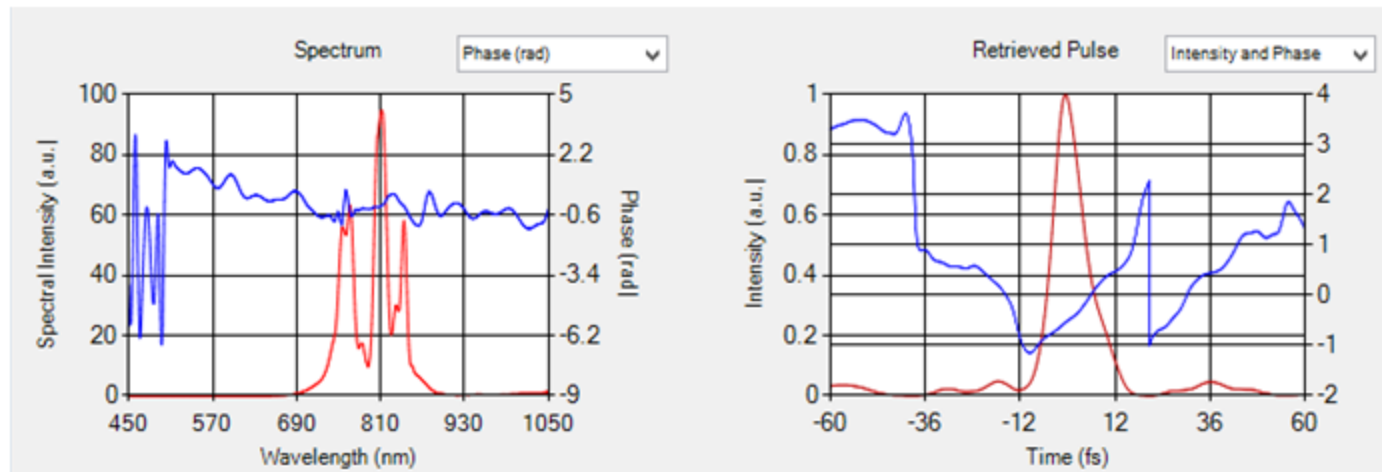
SN 2.0 2.5 mJ
 $\sim 10^{18}$ W/cm² 1 kHz 24 fs $>10^{10}$ @10 ps <200 mrad 1/10 tache maintenant

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



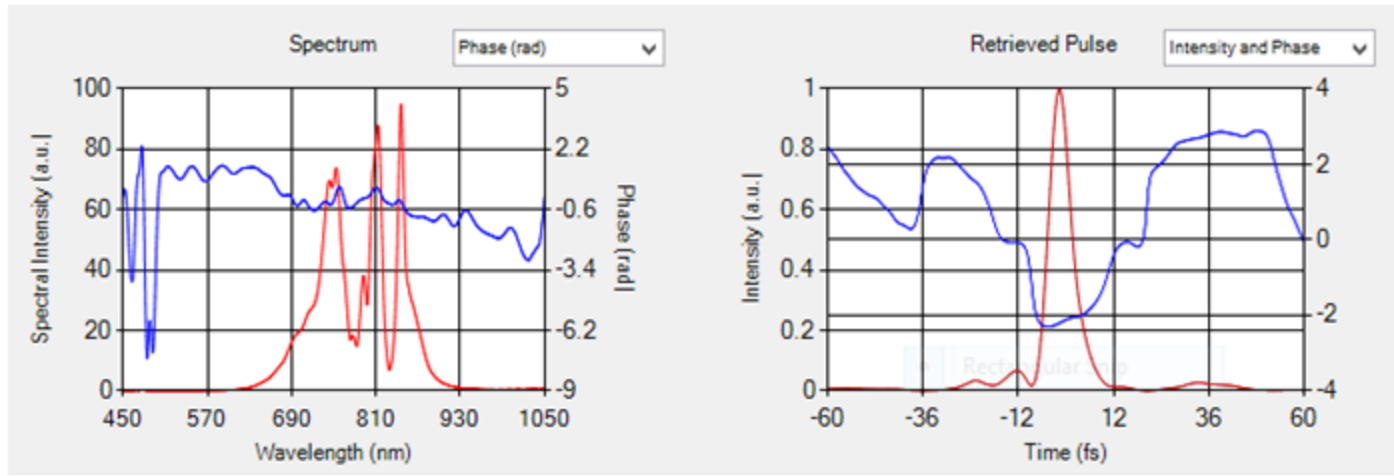
| laser | énergie / éclairage sur cible | Cadence | durée | contraste | CEP | pointing | disponibilité |
|---------------|--|---------|-------|-------------------|-------------|------------|---------------|
| SN 2.0 | 2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm ² | 1 kHz | 9 fs | $>10^{10}$ @10 ps | <200 mrad | 1/10 tache | maintenant |

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



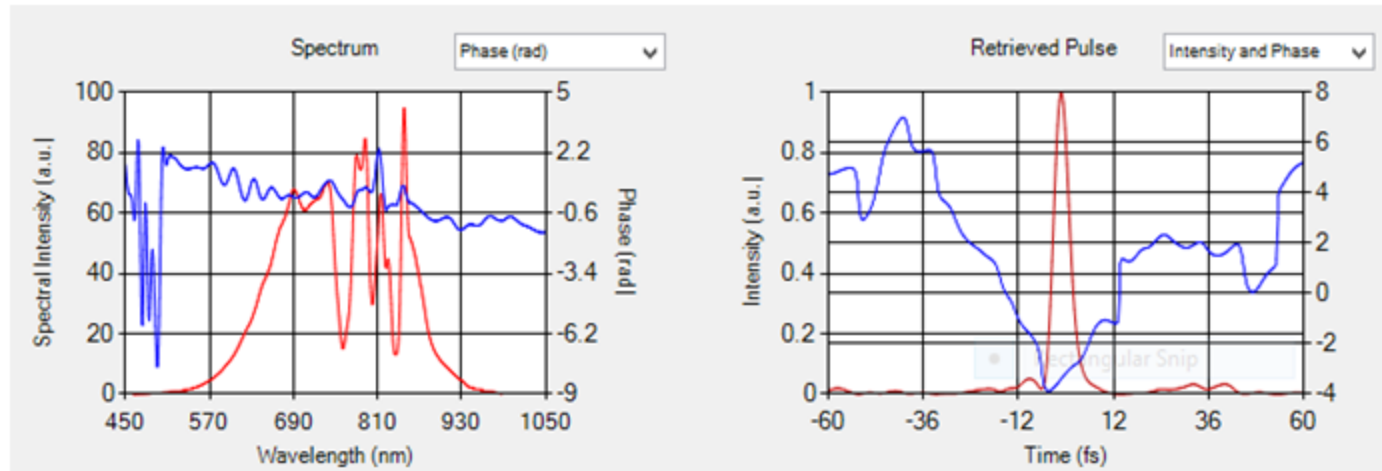
| laser | énergie / éclairage sur cible | Cadence | durée | contraste | CEP | pointing | disponibilité |
|---------------|--|---------|--------|-------------------|-------------|------------|---------------|
| SN 2.0 | 2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm ² | 1 kHz | 6.5 fs | $>10^{10}$ @10 ps | <200 mrad | 1/10 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 | <200 mrad | 1/10 tache | maintenant |

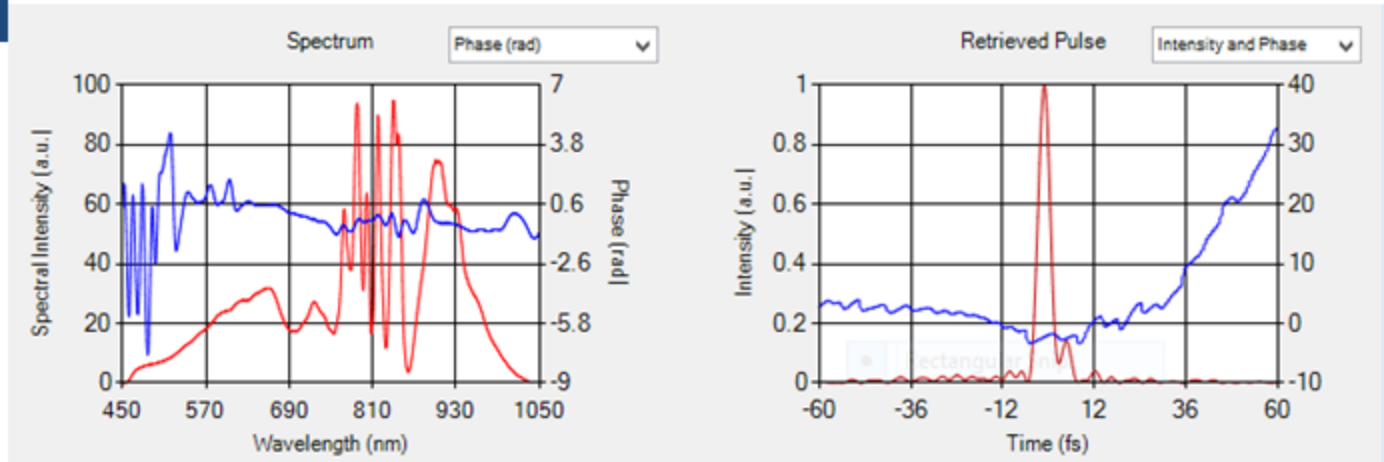
**4.3 fs (900 mbar He)
2.5 mJ sur cible**



| 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 | <200 mrad | 1/10 tache | maintenant |
|---------------|--|-------|--------|-------------------|-------------|------------|------------|

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



ATTO *Lab* FABP - Performances laser

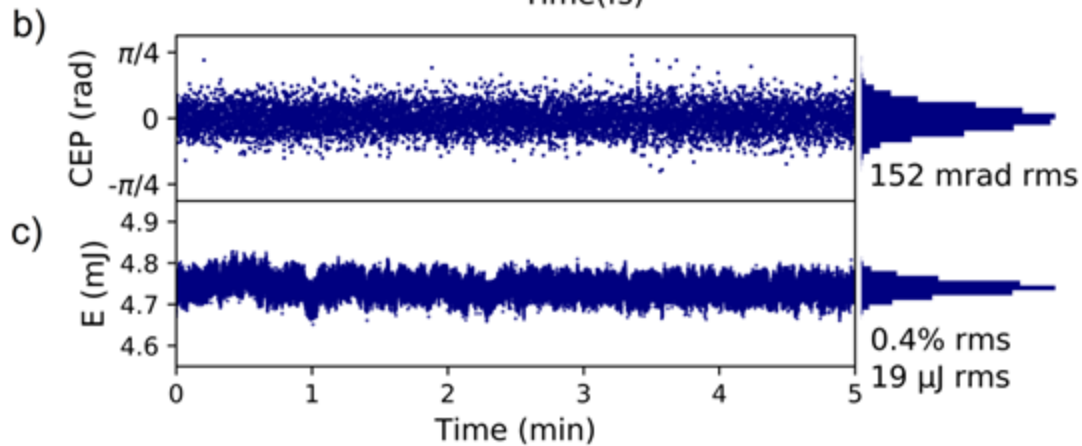
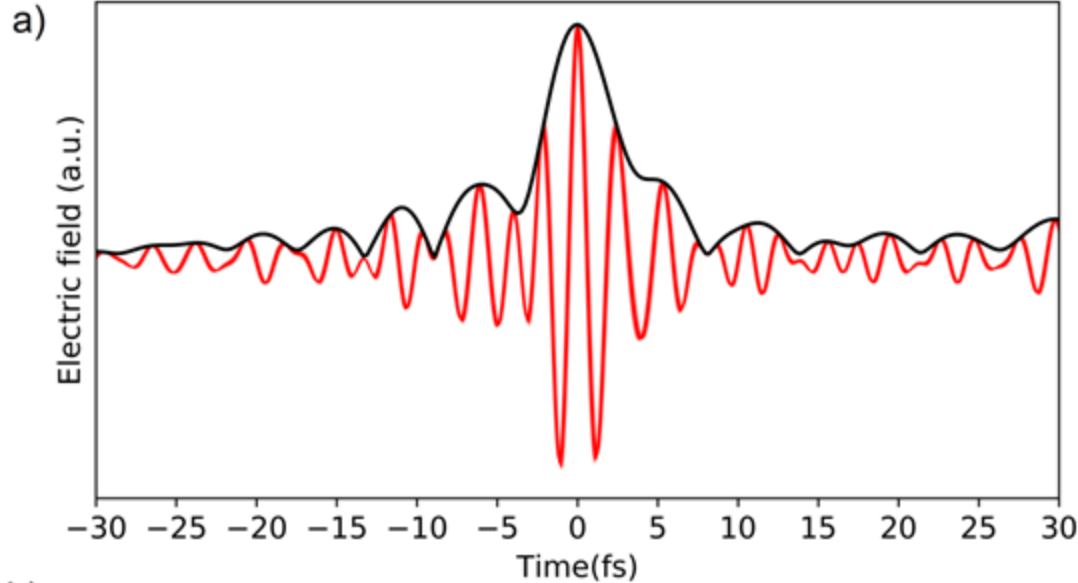
| laser | énergie / éclairage sur cible | Cadence | durée | contraste | CEP | pointing | disponibilité |
|---------------|--|---------|--------|-------------------|-----------|------------|---------------|
| SN 2.0 | 2.5 mJ $\sim 10^{18}$ W/cm ² | 1 kHz | 3.5 fs | $>10^{10}$ @10 ps | <200 mrad | 1/10 tache | maintenant |

laser énergie /
éclairage
sur cible

SN 2.0 2.5 mJ
 $\sim 10^{19}$ W/cm²

lig disponibilité

iche maintenant



- ➔ upgrade laser début 2019 : remplacement du compresseur à grisme (miroirs TOD)
 - ➔ + 30% intensité sur cible
 - ➔ CEP fiabilisé

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:

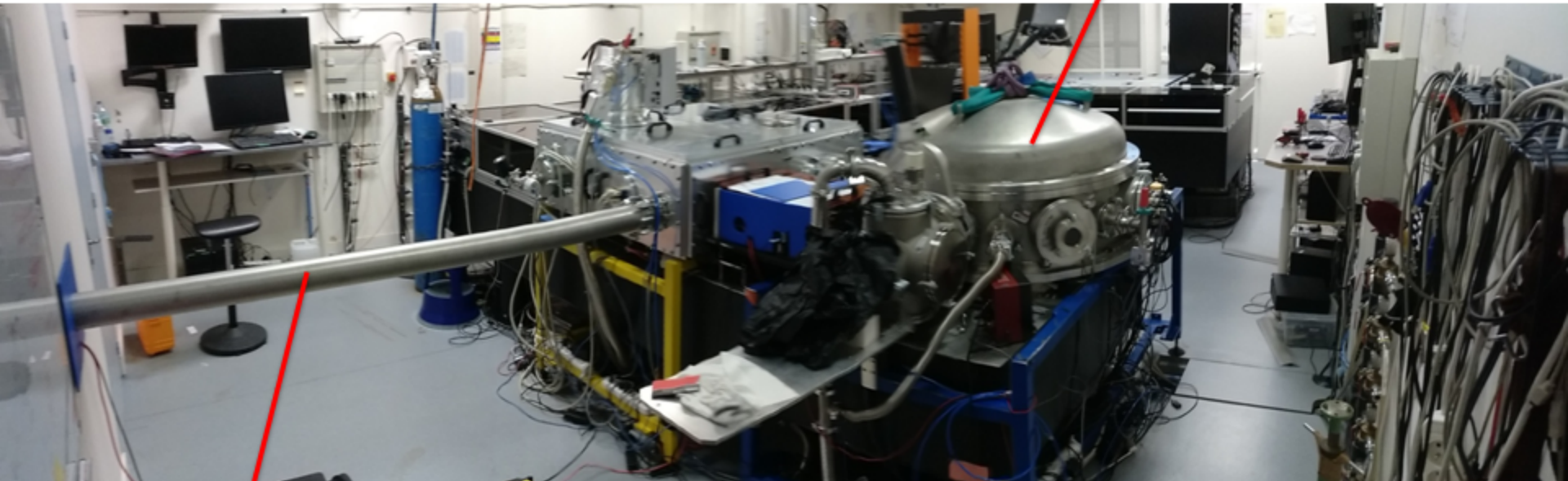
- miroirs plasma: dynamique électronique collective attoseconde
- accélération de particules
- imagerie plasma EUV

Applications:

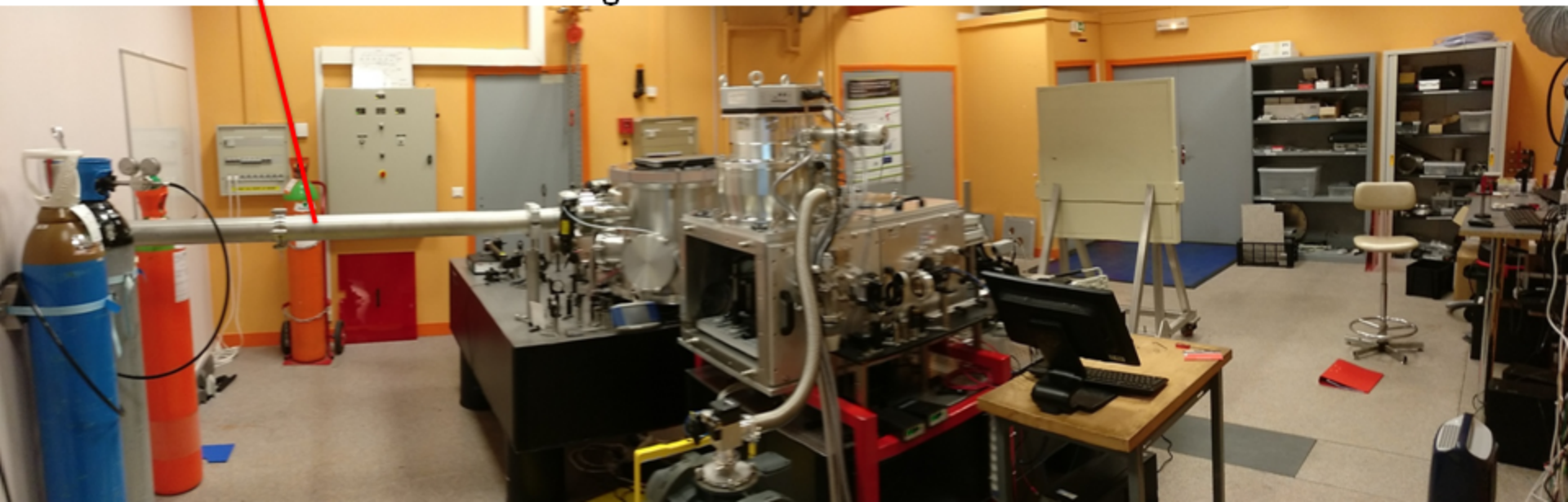
- sources secondaires ultrabrèves (UVX attoseconde, électrons)

ATTO *Lab* FABP - Salle Noire 2.0

interaction laser-solide

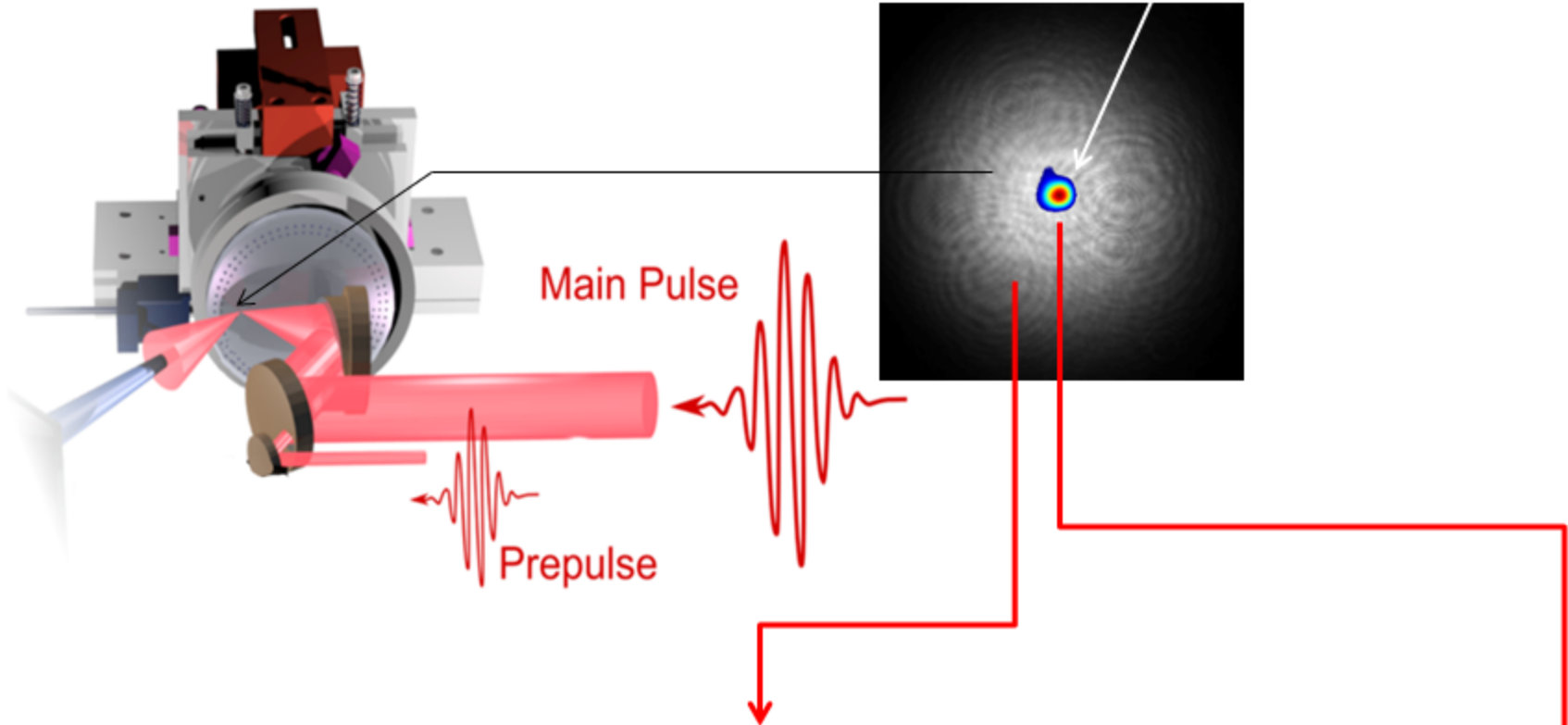


vers interaction laser-gaz



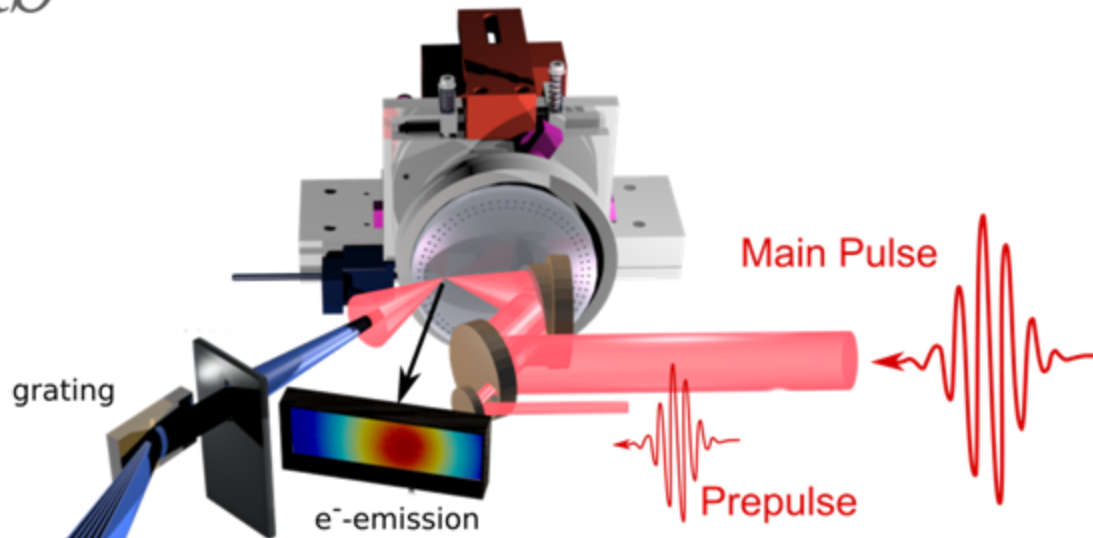
ATTO *Lab* FABP - Interactions plasma solide

champ lointain, FWHM 1.7 μm



» contrôle du pré-plasma: $\lambda/100 < L < \lambda/2$ [Bocoum *et al.*, Opt. Lett. **40**, 3009 (2015)]

» 2.5 mJ, <5 fs sur cible dans 1.7 μm $\rightarrow I \approx 1 \times 10^{19}$ W/cm² ($a_0 \approx 2$)



» **cible kHz stabilisé:** ~1h@1 kHz, stabilité passive: <2 μm, <50 μrad

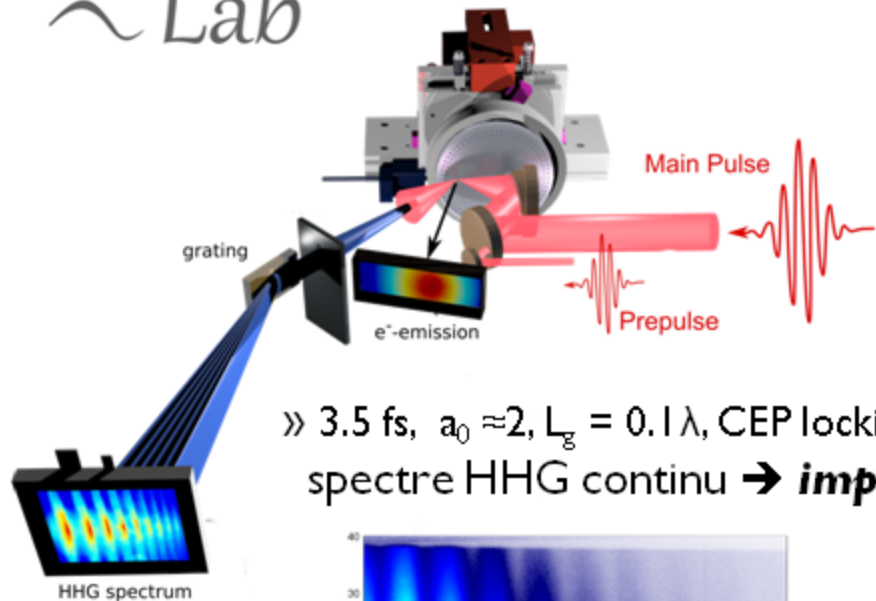
» **co-détection HHG + e⁻,**

» + *détecteurs des utilisateurs,*

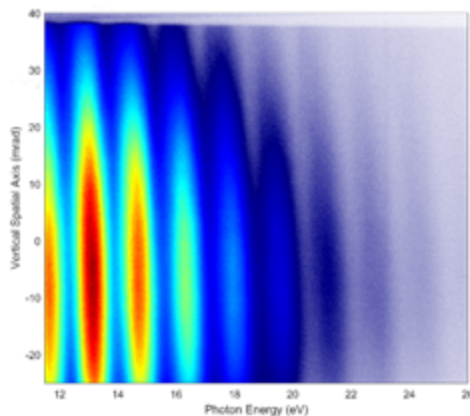
p.ex. début 2019 : Thomson parabola for proton spectra

(avec Dan Levy, Weizmann Institute)

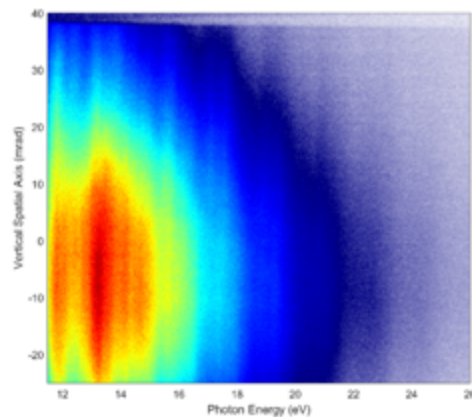
HHG spectrum



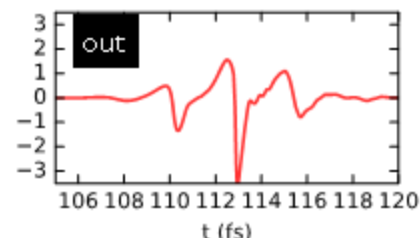
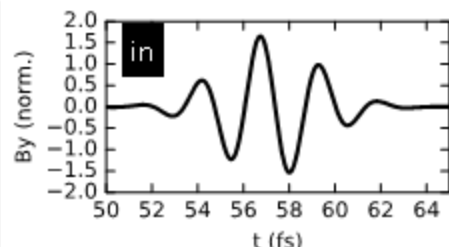
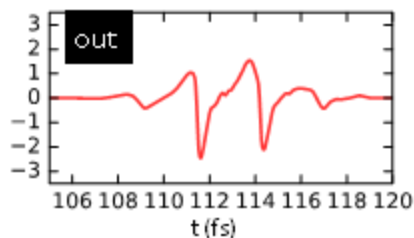
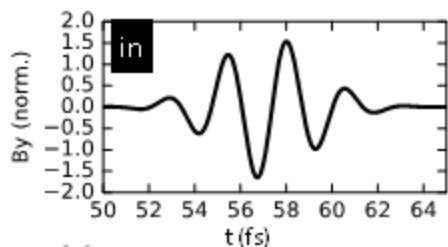
» 3.5 fs, $a_0 \approx 2$, $L_g = 0.1 \lambda$, CEP locking (mediocre) → HHG relativiste
 spectre HHG continu → **impulsion attoseconde isolée** [F. Böhle et al., in preparation]

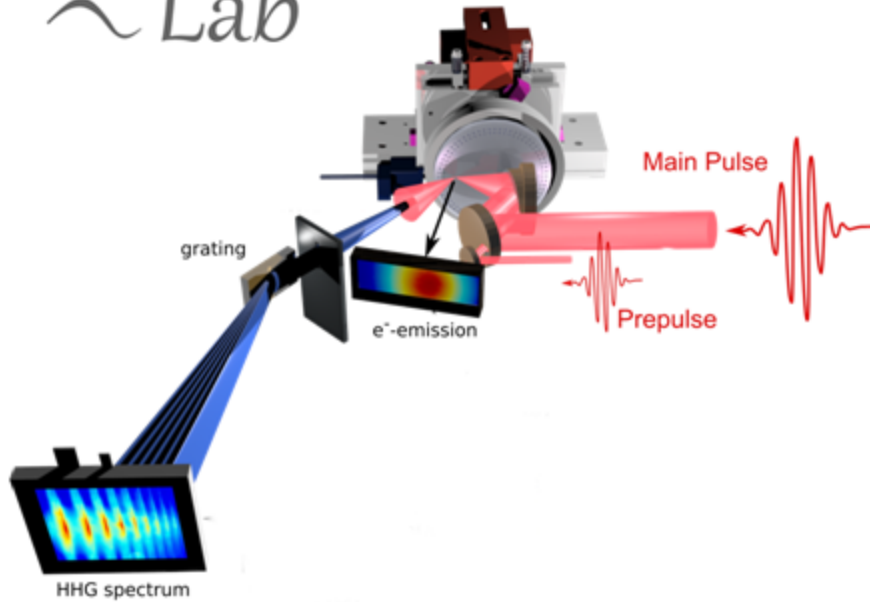


↔ $\Delta\text{CEP} = \pi$ ↔

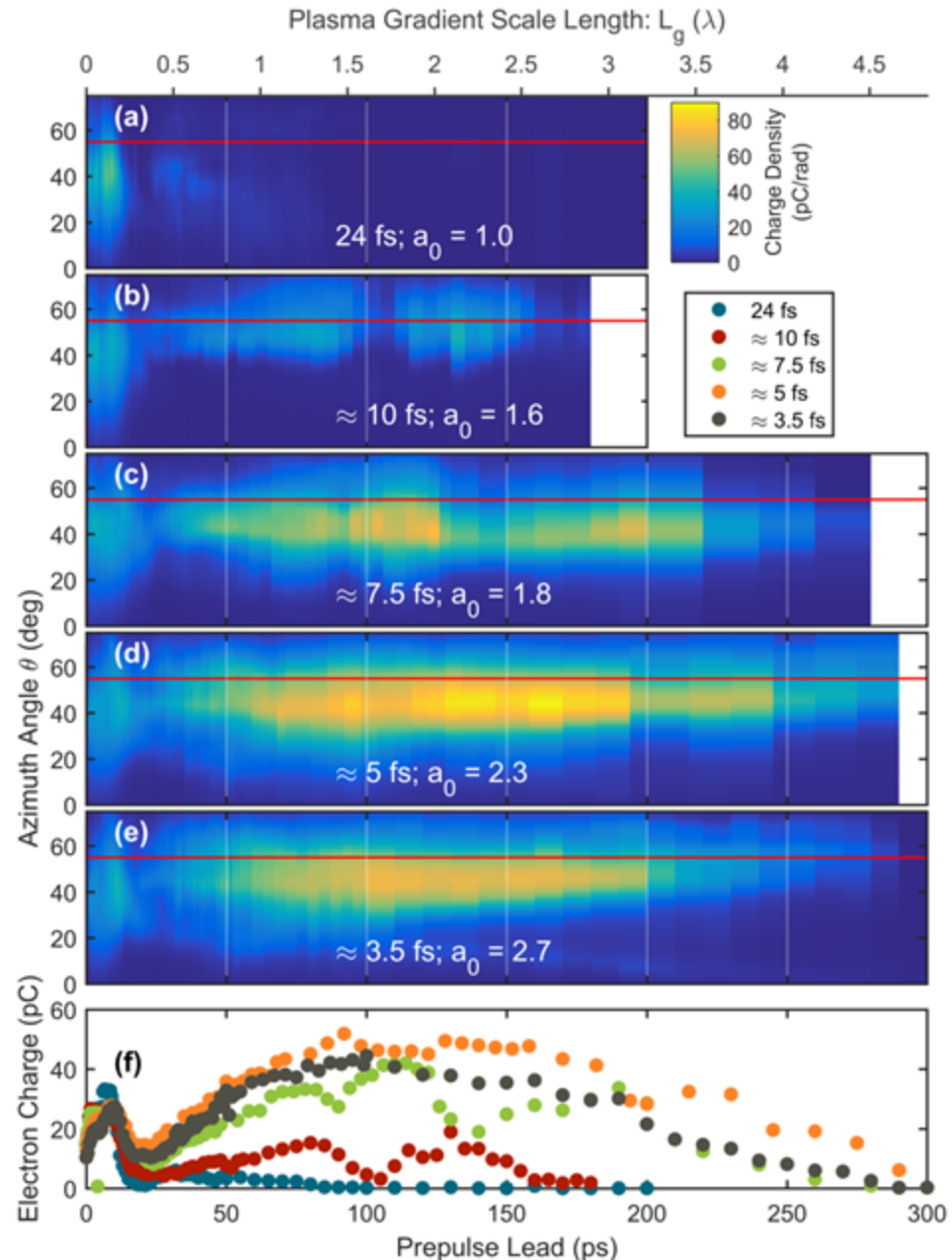


2D PIC simulations by Maxence Thévenet (Berkeley Lab)



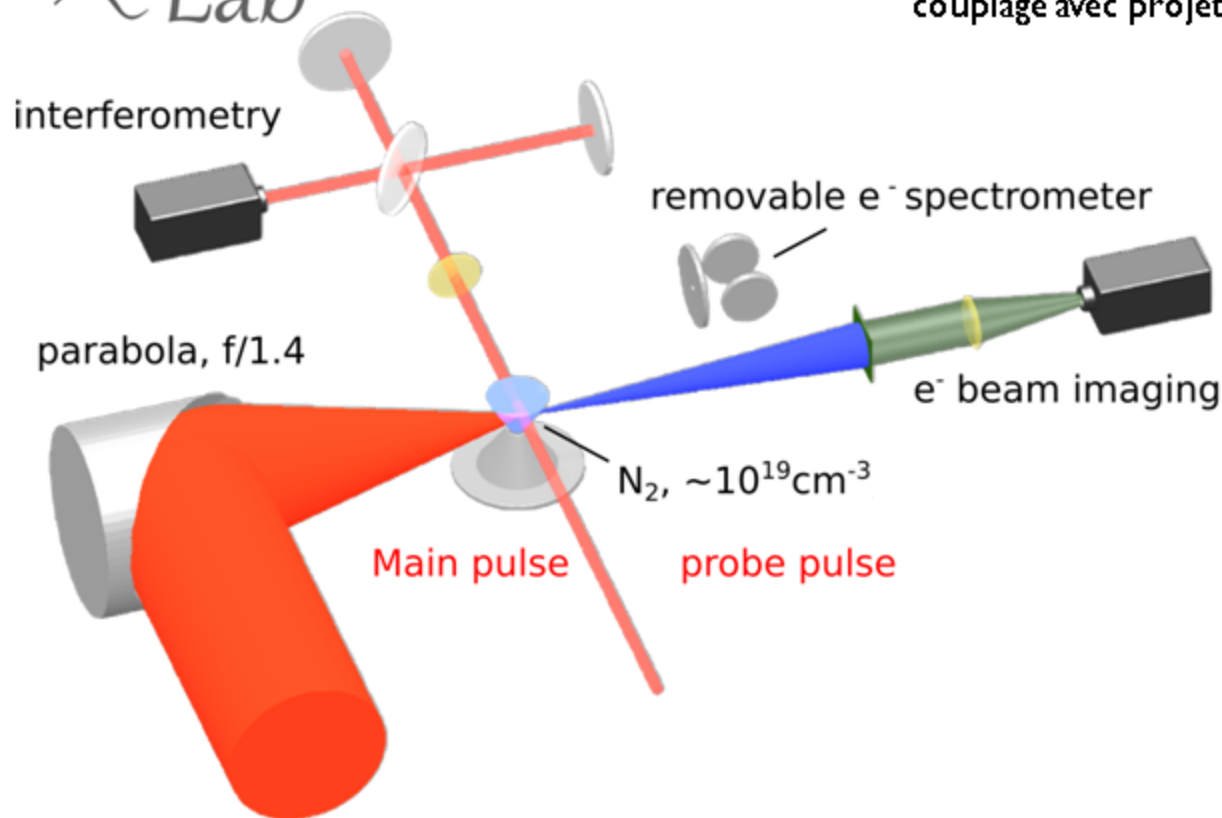


» **accélération laser-wakefield d'électrons**
dans gradient longue ($L_g > \lambda$)
sur cible solide
[N. Zaim et al., arXiv 1806.00255 (2018)]



ATTO Lab FABP - Dynamique du plasma gaz

couplage avec projet ERC FEMTOELEC de Jérôme Faure (LOA)



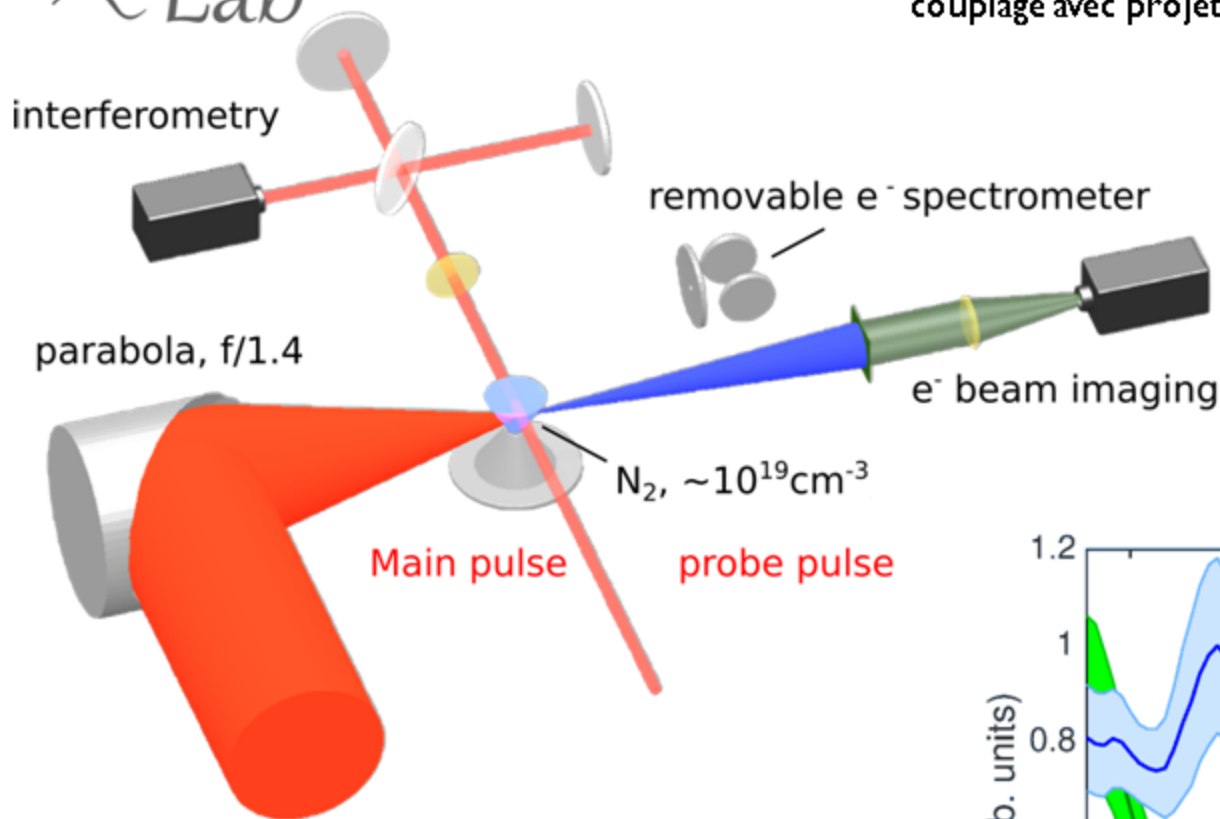
» **faisceaux d'électrons (~1 fs) au MeV au kHz**, ~25 pC / tir, divergence ~20 mrad

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

D. Gustas *et al.*, Phys. Rev. Accel. Beams **21**, 013401 (2018)

ATTO Lab FABP - Dynamique du plasma gaz

couplage avec projet ERC FEMTOELEC de Jérôme Faure (LOA)

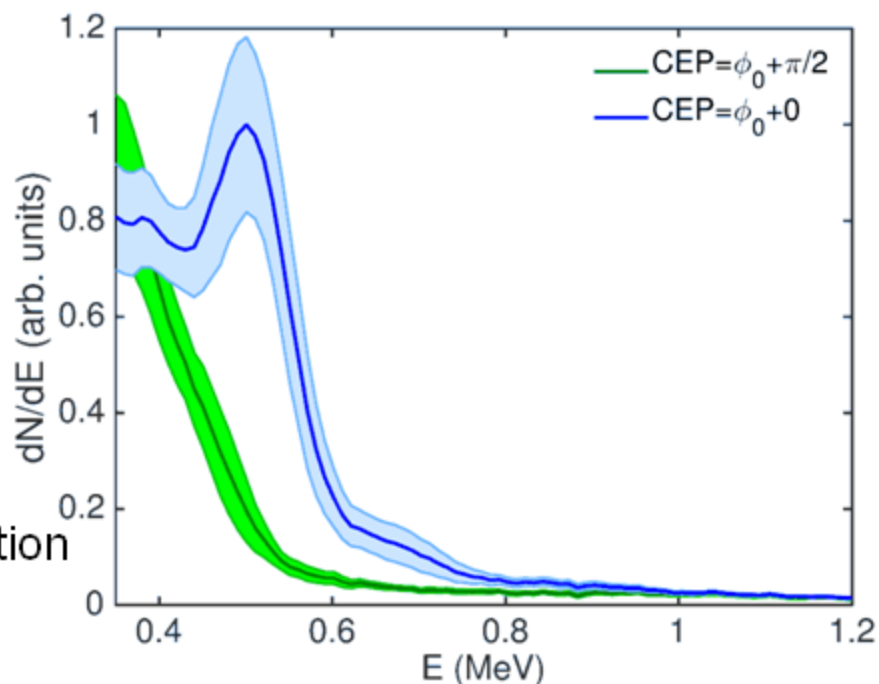


» faisceaux d'électrons (~ 1 fs) au MeV au kHz

» **première observation d'un effet CEP**

[M. Ouillé, in preparation]

➔ contrôle attoseconde d'injection par ionisation



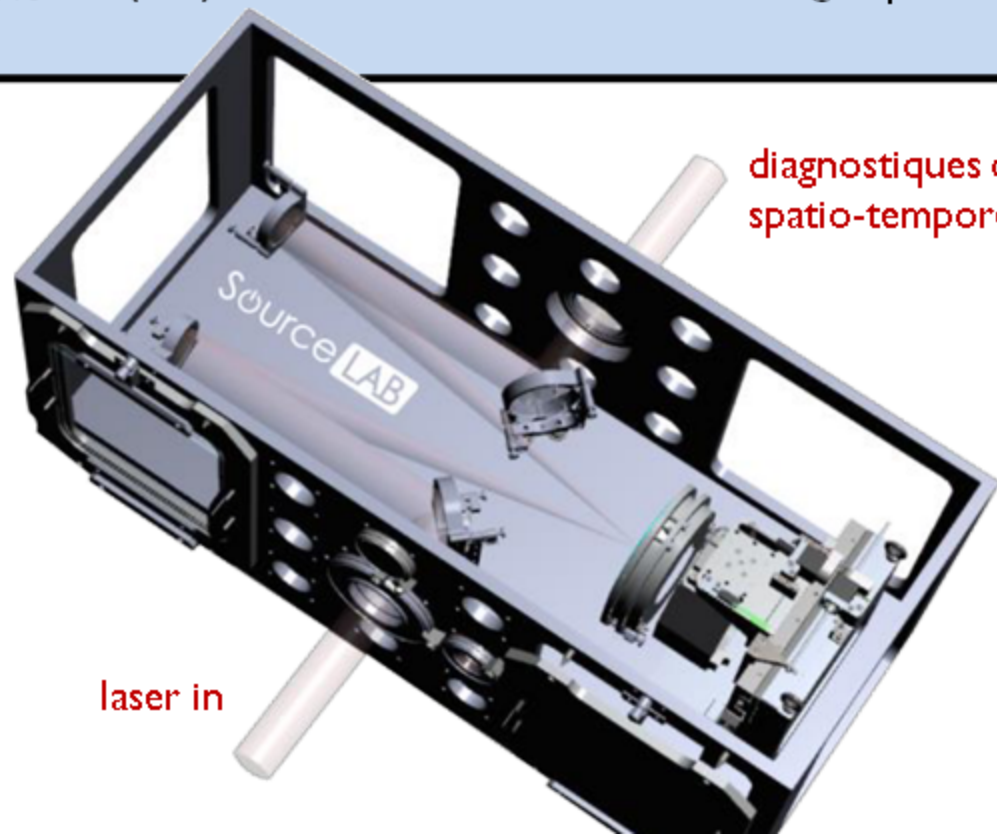
ATTO Lab FABP - Nouveau laser SN3.0

| 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 | <200 mrad | 1/10 tache | maintenant |
| SN 3.0 | 1 (→ 3) mJ | 1 kHz | 5 fs | $> 10^{11}$ @10 ps | <250 mrad | 1/10 tache | maintenant |

» filtrage de contraste + post-compression tout en un par
rotation nonlinéaire d'ellipse (Nikita Khodakovskiy, cet après-midi)

ATTO *Lab* FABP - Nouveau laser SN3.0

| 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 | <200 mrad | 1/10 tache | maintenant |
| SN 3.0 | 1 (→ 3) mJ | 1 kHz | 5 fs | $> 10^{11}$ @10 ps | <250 mrad | 1/10 tache | maintenant |



diagnostics optiques
spatio-temporels

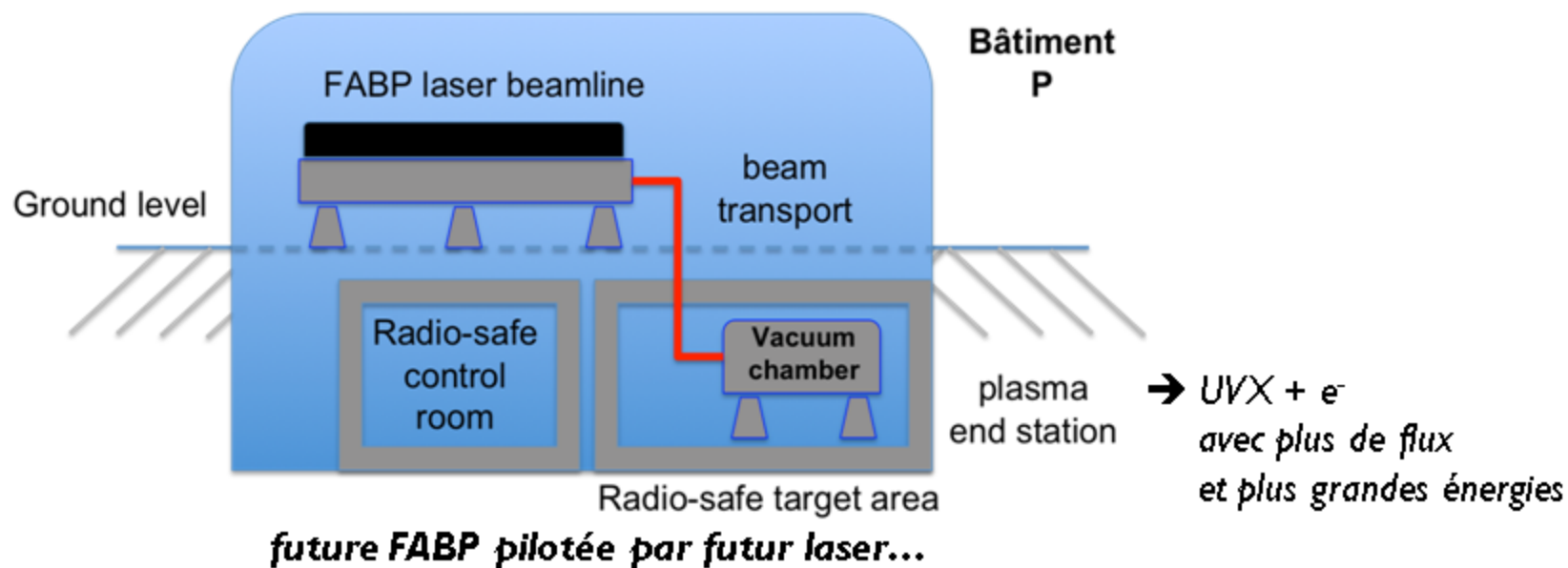
laser in

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

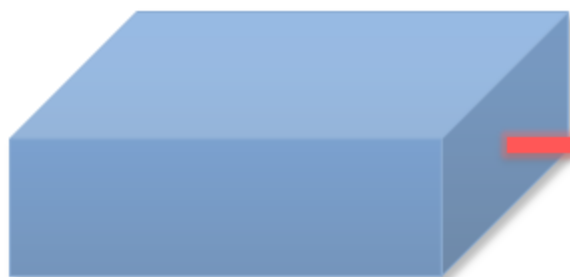
validation de technologie de
nettoyage de contraste temporel
pour futurs grands installations

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 |
| nouvelle techno SN4.0 ? | ~ 10 mJ $\approx 10^{19}$ W/cm ² | ~ 1 kHz ? | 3.5 fs | $>10^{11}$ @10 ps | <200 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 !