

Quelques résultats récents dans le domaine de l'accélération plasma

génération de rayonnement cohérent à partir du faisceau d'électrons LPA

Rui PRAZERES (CLIO / LCP)

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, 9 mars 2018

Laser Plasma Acceleration (LPA)

1ers résultats (2004) :

2004 : article Nature

High-quality electron beams from a laser wakefield accelerator using [plasma-channel guiding](#)

LBNL, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA

2004, article Nature

A laser-plasma accelerator producing monoenergetic electron beams

LOA, Laboratoire d'Optique Appliquée, Palaiseau

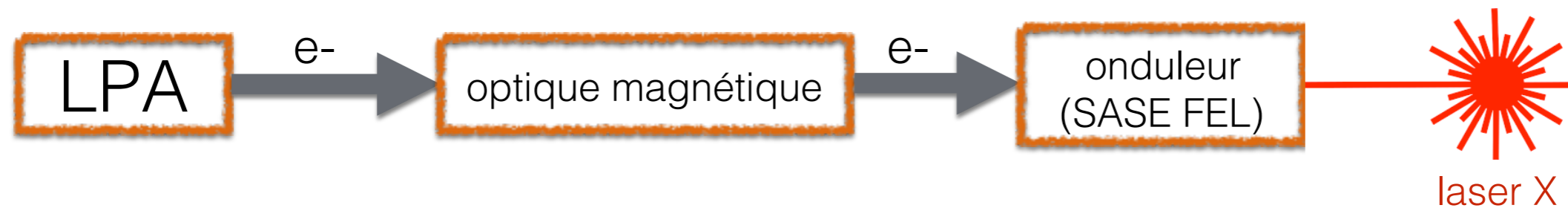
2004, article Nature

Monoenergetic beams of relativistic electrons from intense laser-plasma interactions

The Blackett Laboratory, Imperial College London, UK

LPA a commencé à faire ses preuves...

une application du LPA : production de rayonnement (LEL)



“SASE FEL” : Self Amplified Spontaneous Emission / Free Electron Laser

- *“challenging benchmark for our ability to control the plasma-generated e- beam” (LUX)*
- *“FEL amplification remains very challenging and constitutes a real full scale example of a demanding LPA application” (COXINEL)*
- *“It is widely accepted by the international scientific community that a fundamental milestone towards the realization of a plasma driven future Linear Collider will be the integration of a high gradient accelerating plasma modules in a short wavelength Free Electron Laser (FEL) user facility” (EuPRAXIA)*

1^{ers} résultats (2008) : Emission Spontanée Onduleur

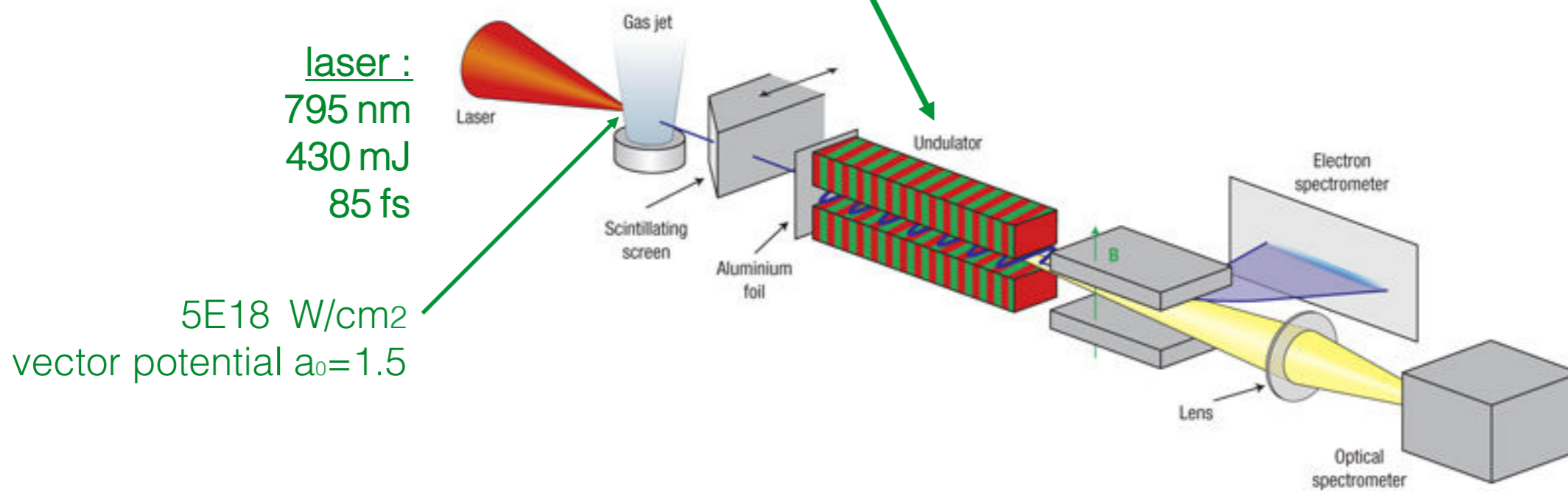
1^{ers} résultats (2008) : Emission Spontanée Onduleur

[article](#) Nature Physics volume 4, pages 130–133 (2008)

“A compact synchrotron radiation source driven by a laser-plasma wakefield accelerator”

Institut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, Germany

“Here, we demonstrate the first successful combination of a laser-plasma wakefield accelerator, producing **55–75 MeV** electron bunches, with an undulator to generate **visible synchrotron radiation.**”



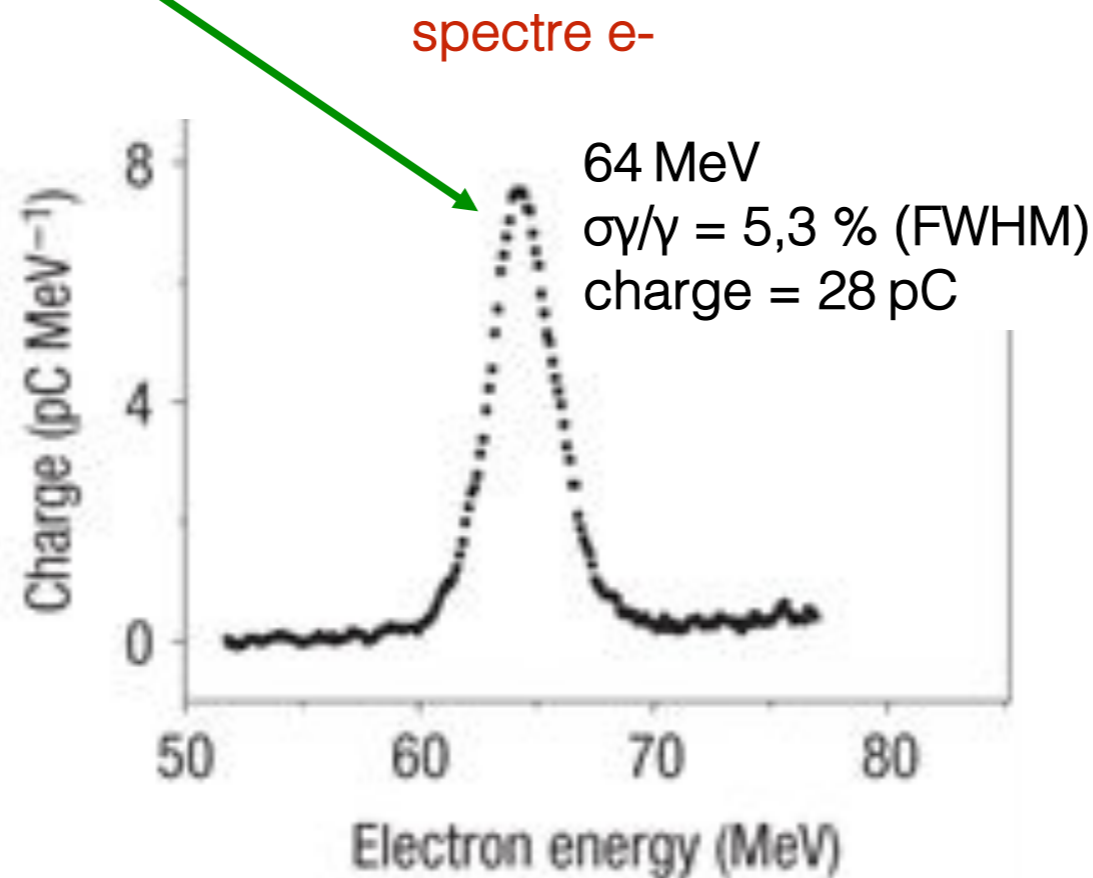
1^{ers} résultats (2008) : Emission Spontanée Onduleur

[article](#) Nature Physics volume 4, pages 130–133 (2008)

“A compact synchrotron radiation source driven by a laser-plasma wakefield accelerator”

Institut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, Germany

“Here, we demonstrate the first successful combination of a laser-plasma wakefield accelerator, producing 55–75 MeV electron bunches, with an undulator to generate visible synchrotron radiation.”



1^{ers} résultats (2008) : Emission Spontanée Onduleur

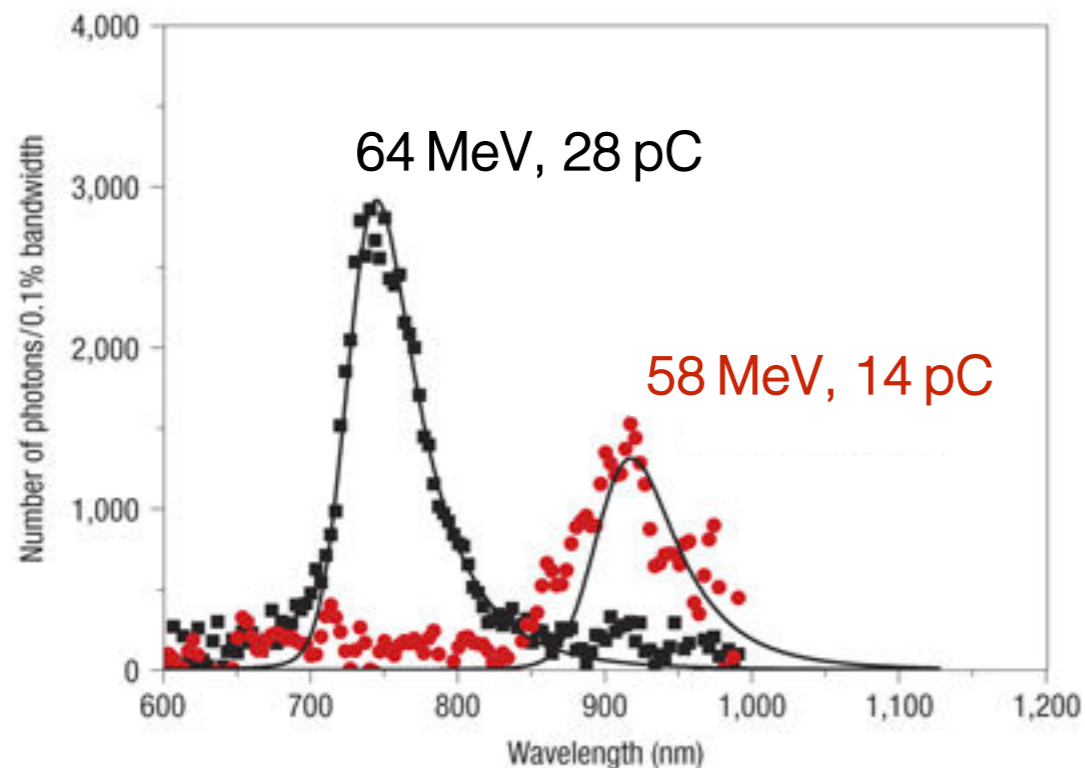
[article](#) Nature Physics volume 4, pages 130–133 (2008)

“A compact synchrotron radiation source driven by a laser-plasma wakefield accelerator”

Institut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, Germany

“Here, we demonstrate the first successful combination of a laser-plasma wakefield accelerator, producing **55–75 MeV** electron bunches, with an undulator to generate **visible synchrotron radiation**.”

spectre du rayonnement onduleur



“Because of small fluctuations in the gas and laser parameters, and the highly nonlinear nature of laser propagation and electron acceleration, only about 1 in 10 laser pulses produced monoenergetic electron bunches.”

Furthermore, the mean energy, charge and the energy spectral width and shape varied considerably from shot to shot.

résultats récents (2018) : Emission Spontanée Onduleur

résultats récents (2018) : Emission Spontanée Onduleur

LUX (DESY), Hamburg, Germany

article : “Lux – A laser–plasma driven undulator beamline”

Nuclear Instr. & Methods in Phys. Research Sect. A :

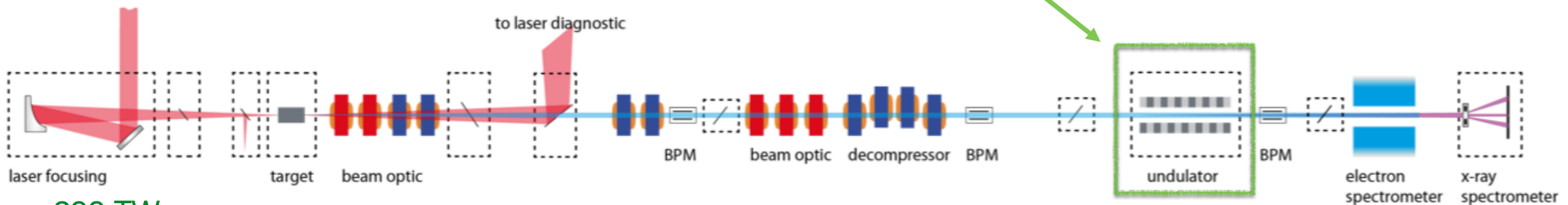
available online 31 January 2018

Center for FEL Science and Dep. of Phys., University of Hamburg, Germany

e^- 600 MeV

repetition rate : 5 Hz

- generation of *Spontaneous Undulator Radiation* at a wavelength < 9 nm
- but : “allow to demonstratd first FEL gain”



200 TW

Ti:Sa laser

5 J

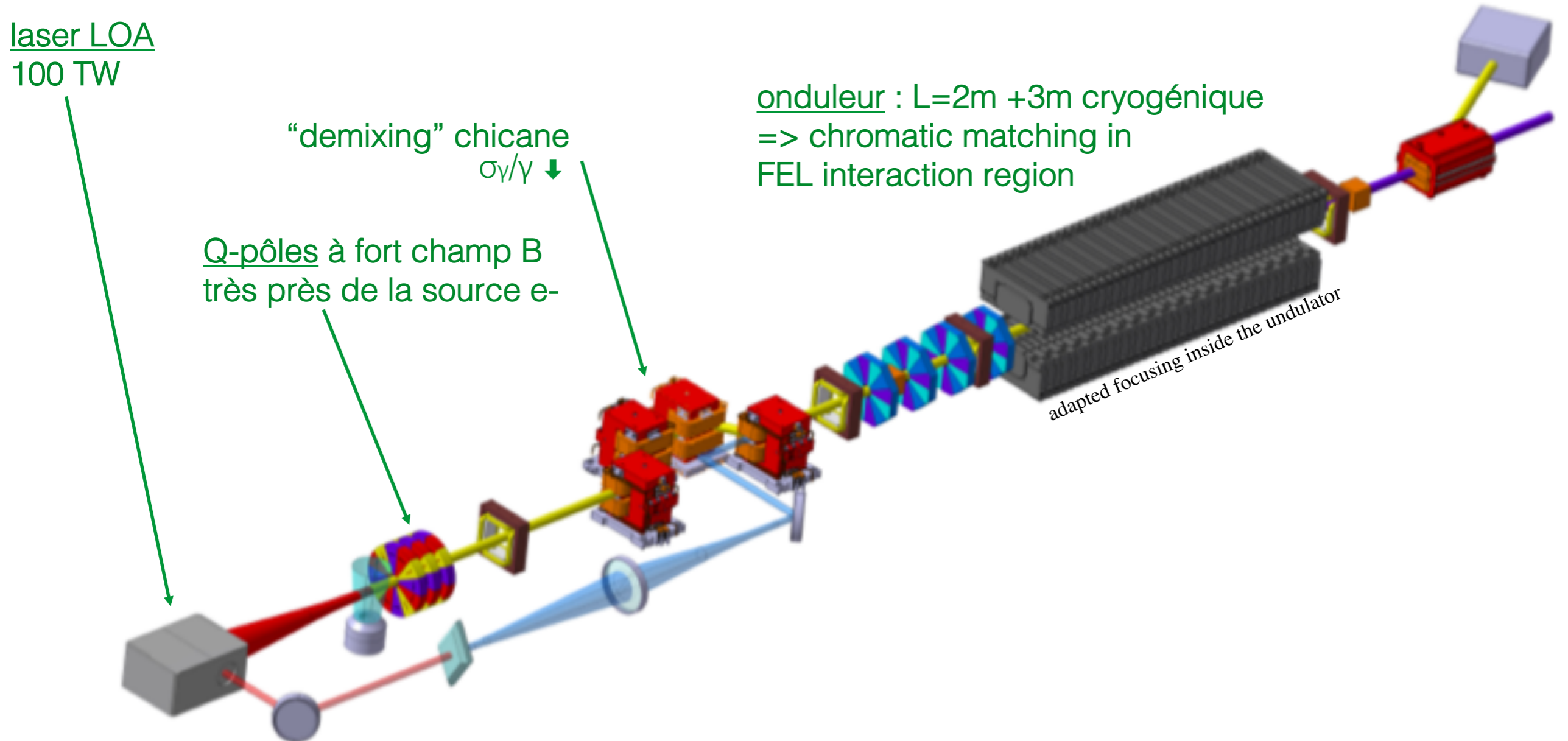
25 fs

5 Hz

- “*FEL radiation* : with an FEL as probably the most important application of an all-optical plasma accelerator, we are building a demonstration FEL experiment to show first gain from a plasma-electron beam”

résultats récents (2018) : Emission Spontanée Onduleur

COXINEL



résultats récents (2018) : Emission Spontanée Onduleur

COXINEL

performances e- :

énergie : 50 to 200 MeV

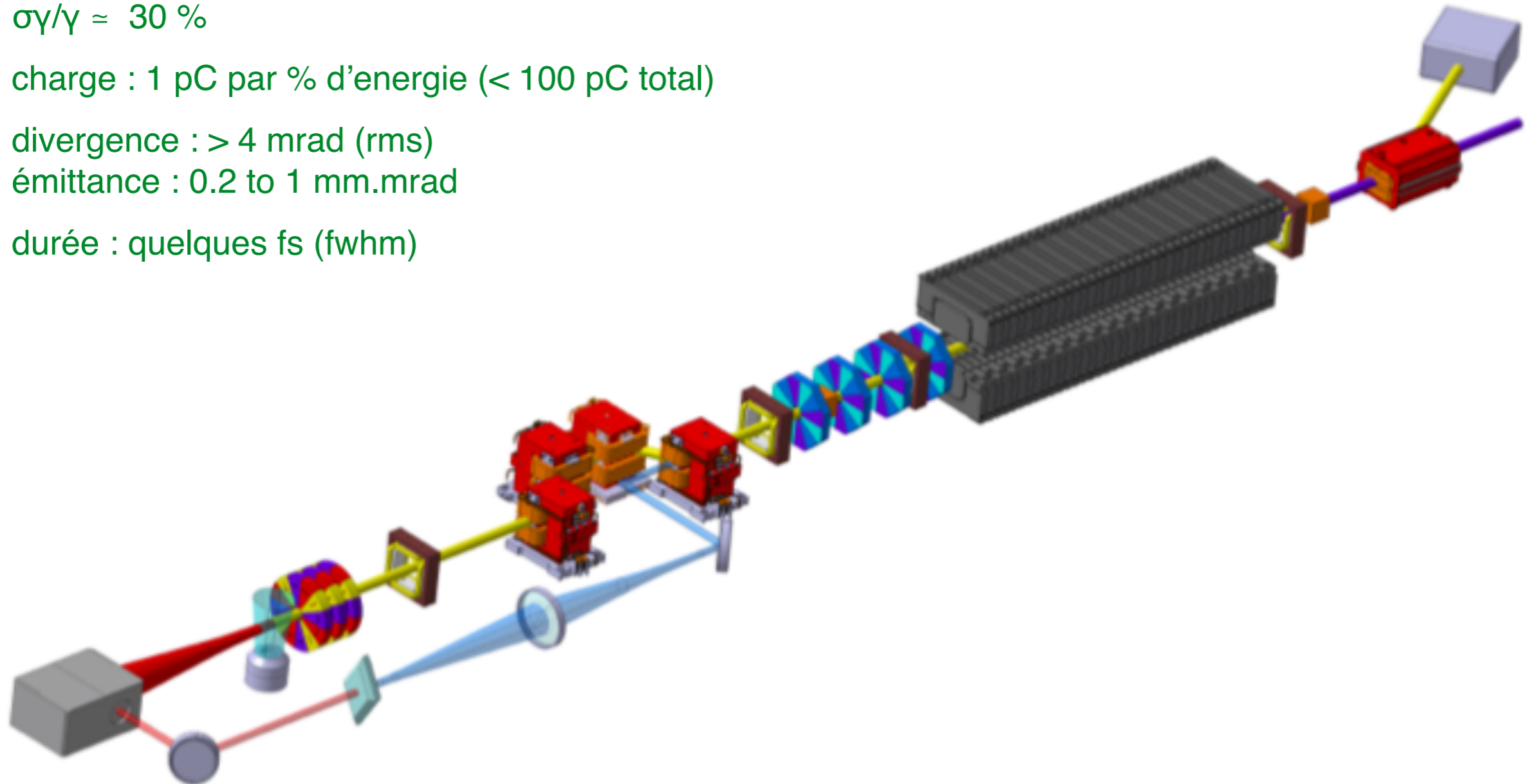
$\sigma_{\gamma}/\gamma \approx 30 \%$

charge : 1 pC par % d'énergie (< 100 pC total)

divergence : > 4 mrad (rms)

émittance : 0.2 to 1 mm.mrad

durée : quelques fs (fwhm)

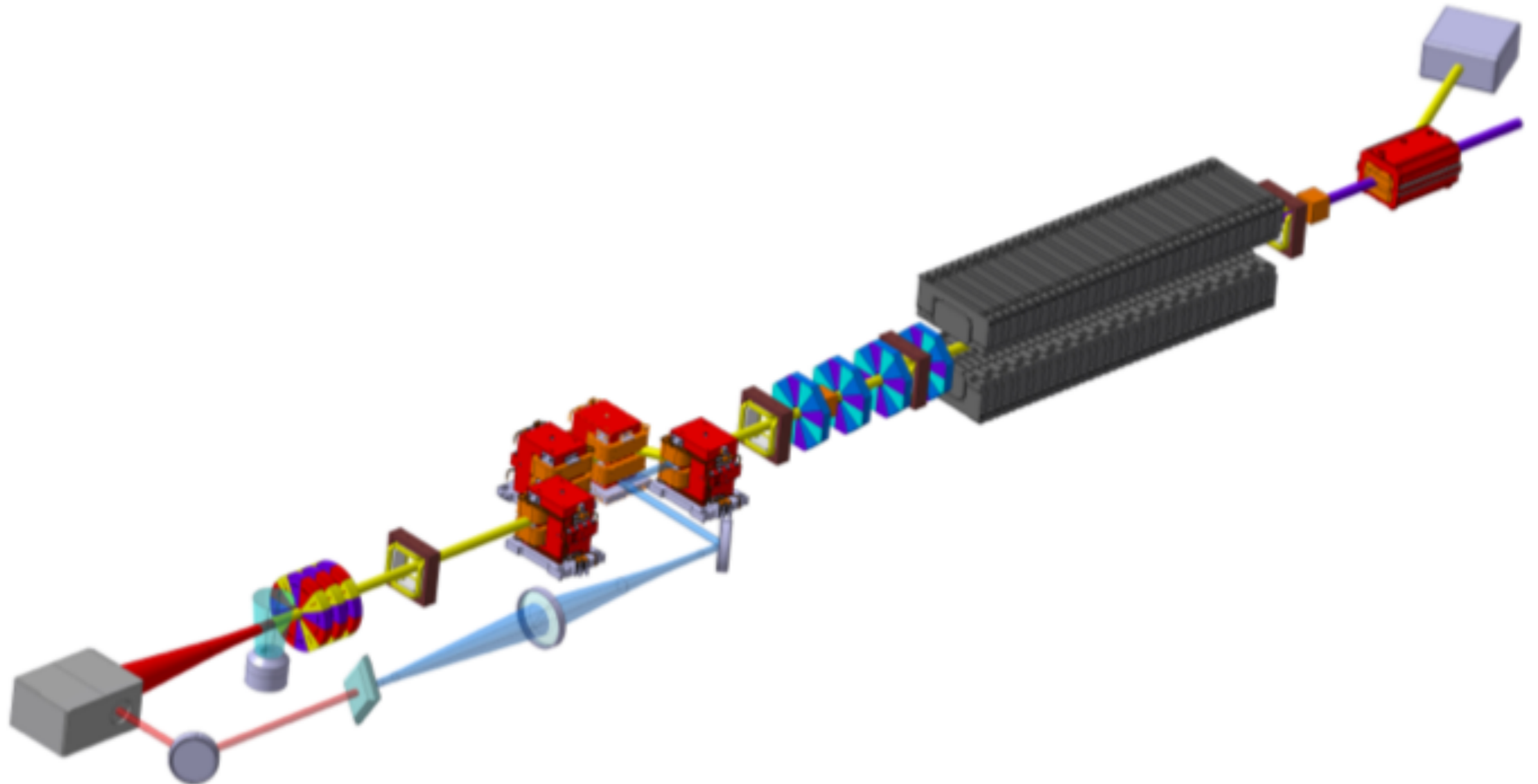


résultats récents (2018) : Emission Spontanée Onduleur

COXINEL

1ers résultats obtenus :

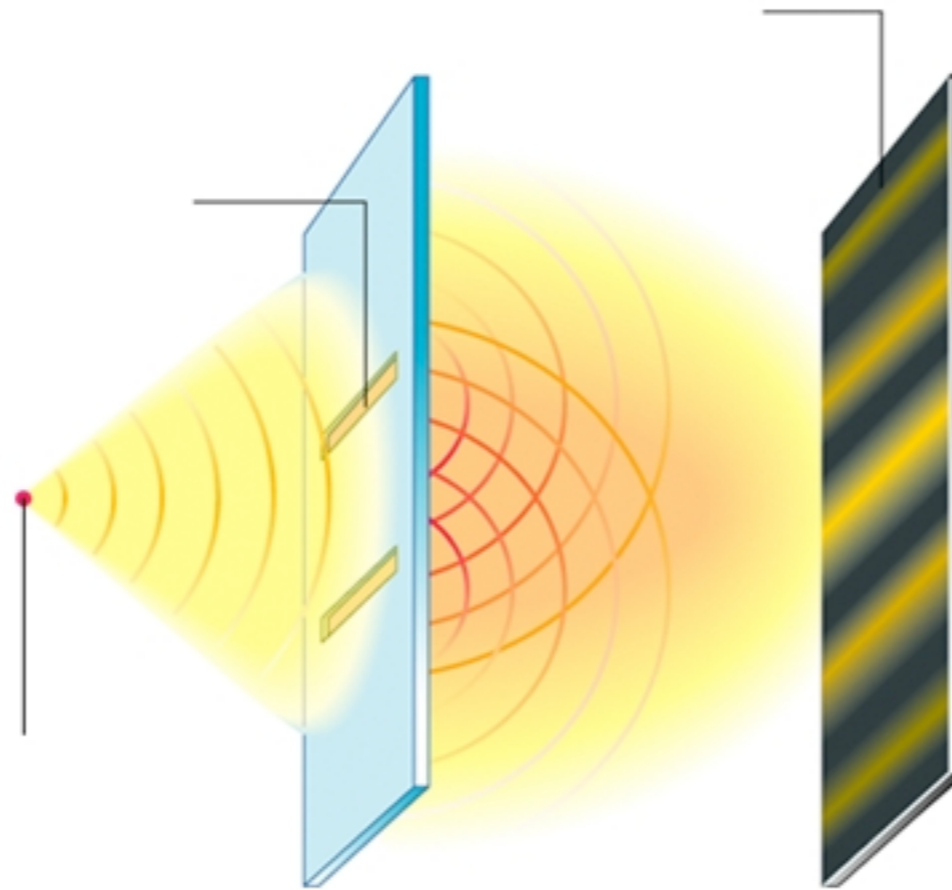
mesure d'Emission Spontanée Onduleur



autre projet actuel au LOA :

X-ray amplification from a "Raman Free Electron Laser"

idée : remplacer l'onduleur magnétique
par un champ électromagnétique

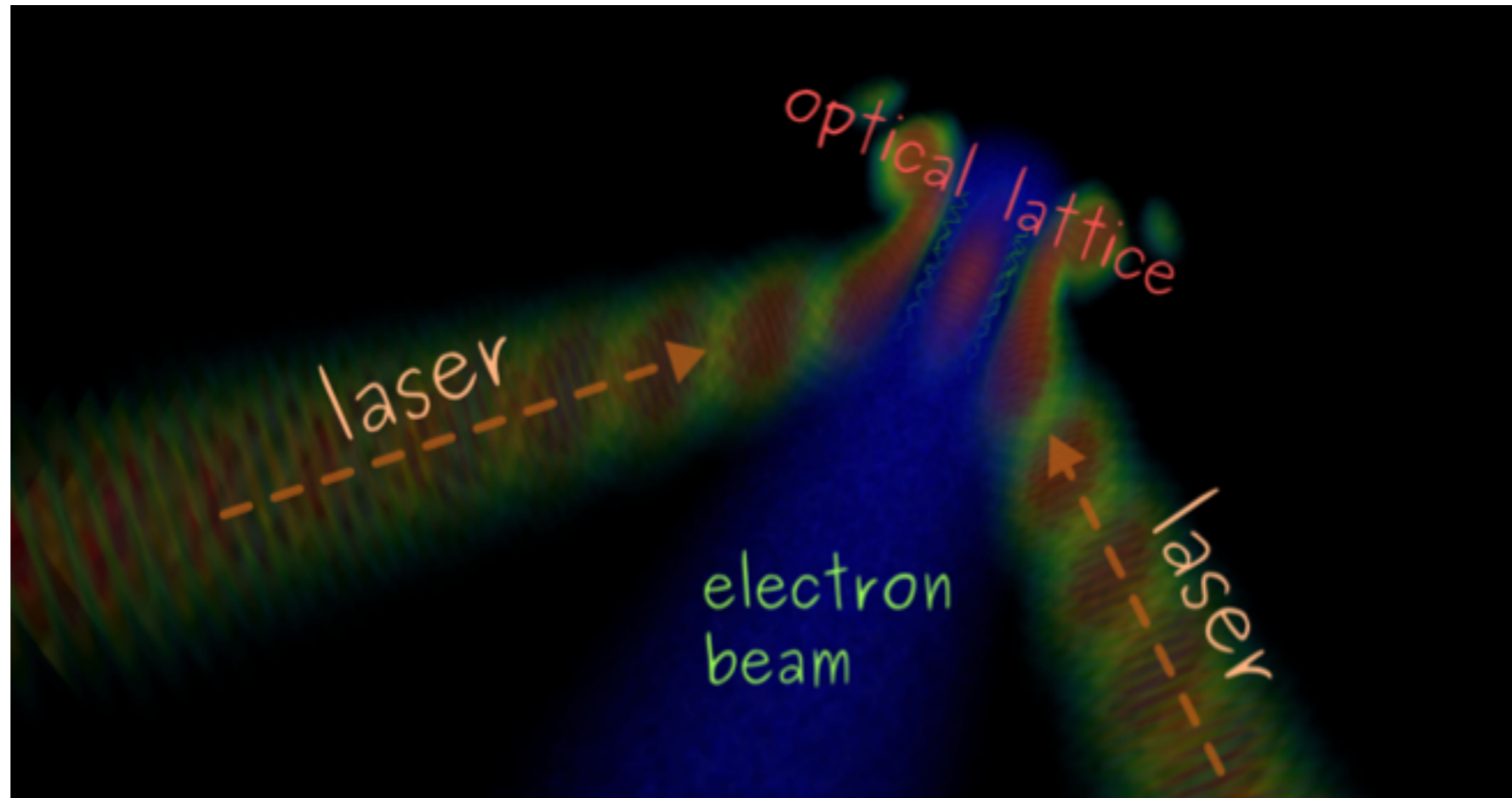


autre projet actuel au LOA :

X-ray amplification from a “Raman Free Electron Laser”

article : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00749057>

submitted on 6 Nov 2012



une première expérience a permis de :

- réaliser un réseau optique intense
- le synchroniser avec un paquet d'électrons relativiste
- voir son action sur les distributions angulaires des électrons.

(des déformations importantes sont observées du fait de l'interaction e- / réseau optique)

autre projet : **EuPRAXIA** (projet collaboratif Européen)



"European Plasma Research Accelerator with eXcellence in Applications"

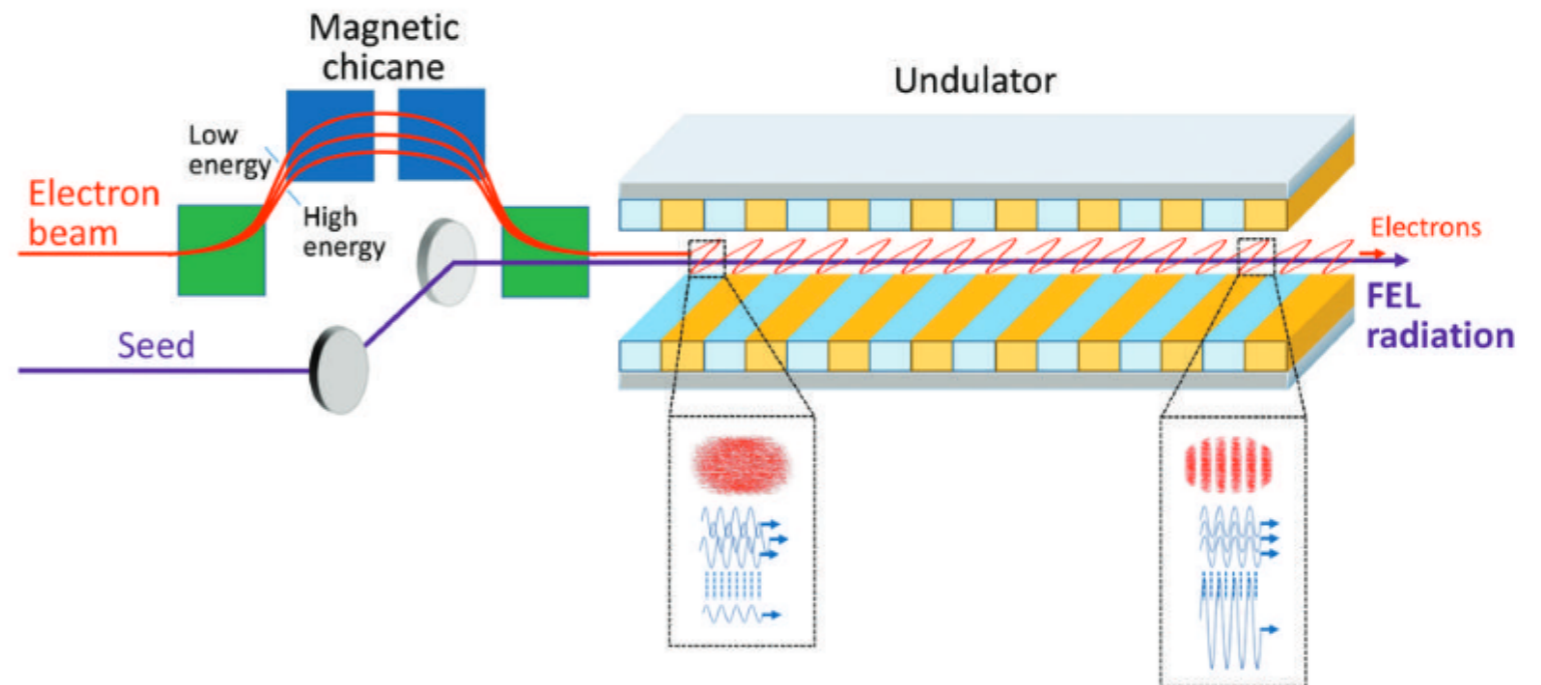
2018 : article Elsevier (*)

EuPRAXIA@SPARC_LAB

design study towards a compact FEL facility at LNF

arXiv:1801.08717 [physics.acc-ph], 26 jan 2018

Laboratori Nazionali di Frascati – INFN, Frascati, Italie



- (*) “the first EuPRAXIA phase will target at a Self Amplified Spontaneous Emission (SASE) FEL design driven by a 1 GeV electron beam thus producing radiation in the soft x-ray range as a proof of principle demonstration“

Proposition pour ESCULAP

mesurer l'Emission Spontanée Onduleur,

à "basse énergie" $\approx 100\text{MeV} \Rightarrow \lambda = \text{IR proche-visible}$ (bons détecteurs sensibles)

Mesurer la cohérence du rayonnement : $\sigma_L \approx 6\mu\text{m}$ proche de $\lambda \Rightarrow N^2$

Diagnostic pour caractériser les faisceau e-

Rq : Le gain LEL est impossible dans l'IR à cause de :

1/ glissement $v_e < c$

2/ $\sigma_L \ll N_u \cdot \lambda$

CONCLUSION :

quelles performances peut on attendre du LPA aujourd'hui ?

énergie \approx GeV

courant \approx kA crête

durée \approx fs

energy spread \approx 1%

émit. \approx 1π mm.mrd

difficultés & solutions :

- divergence e- :

- Q-pôles très près de la source e-. Modèles "QUAPEVA" très compacts, développés à "Sync. Soleil" (M.E.Coupric)
- lentilles plasma

- dispersion d'énergie :

- utilisation d'une chicane "demixing" qui sélectionne l'énergie, puis passage dans une section à focalisation chromatique - Sync. Soleil (M.E.Coupric)
 - *Beam manipulation for compact laser wakefield accelerator based free-electron lasers :*
A Louergue et al, 2015, New J. Phys., 17, 023028, (2015)
 - *An application of LPA towards a FEL amplification :*
ME Coupric et al. 2016, Plasma Phys. Control Fusion, 58, (2016) 034020 (11pp)
- *Transverse Gradient Undulators : $K(x)=K_0(1+ax)$: Friedrich-Schiller-Universität, Jena, Germany*

- actuellement, LPA ne permet pas d'obtenir une qualité de faisceau e- suffisante pour le LEL en mode SASE (en "single-pass" sans cavité optique).
 - > pour l'instant : émission spontanée onduleur
 - > développements prometteurs en vue de l'étape LEL (simulations)