

L'accélération à fort gradient dans les plasmas

Introduction à la discussion de la table ronde

Brigitte CROS

Laboratoire de **Physique** des **Gaz** et des **Plasmas**, UMR 8578

CNRS- Université Paris Sud - Orsay



Congr... Marsei



Plan de l'exposé



- ➔ Motivation et principes de l'accélération laser plasma (ALP)
- ➔ Caractéristiques actuelles des ALP
- ➔ Orientations et projets

Limitation des accélérateurs linéaires



SLAC e- 50GeV

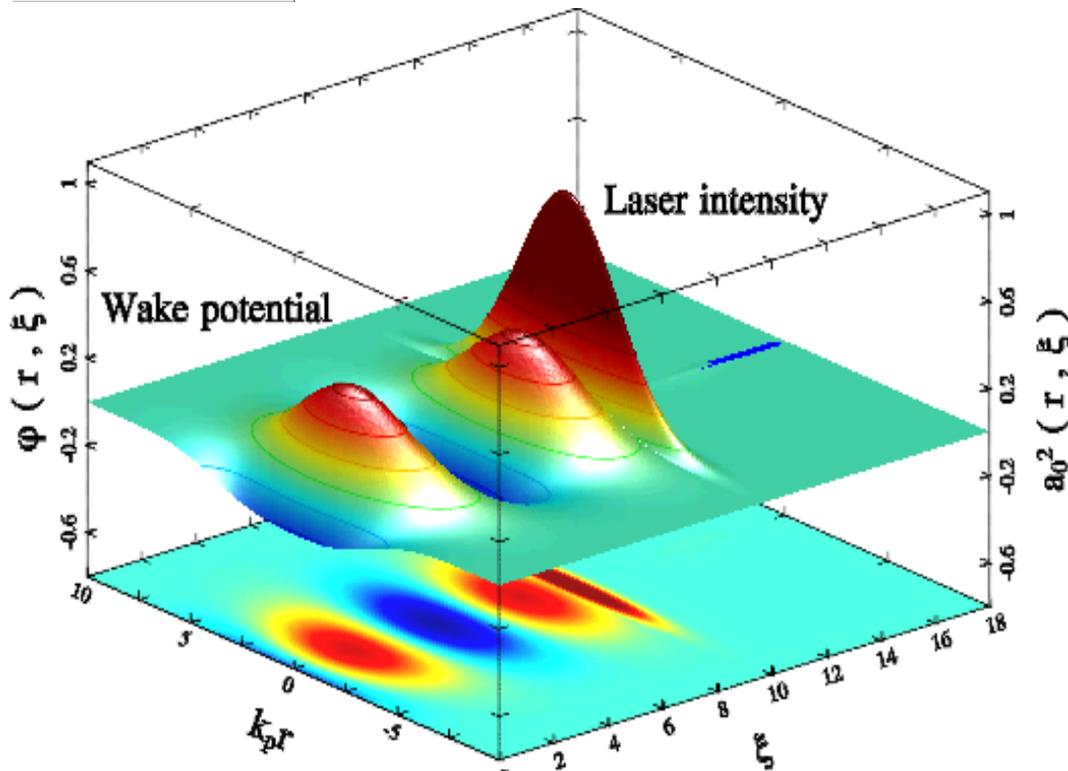


- ➔ La taille des accélérateurs linéaire croît avec l'énergie des électrons
- ➔ Le champ maximum des accélérateurs RF sous vide est limité par la tension de claquage aux parois ~ 50 MV/m



- ➔ L'augmentation du champ accélérateur est possible dans un plasma

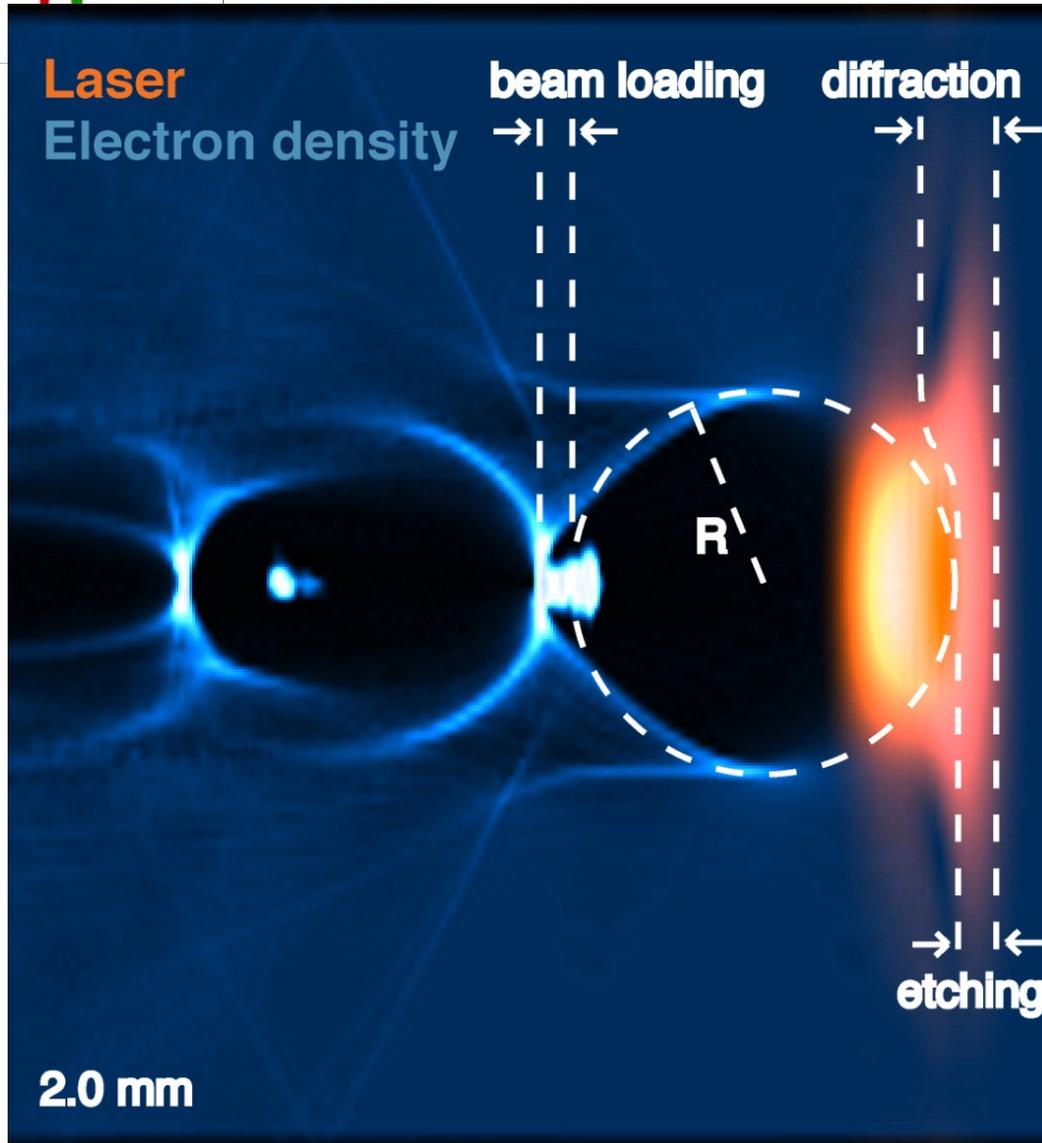
Un champ accélérateur élevé est créé dans le sillage d'un laser intense



- ➔ Force Pondéromotrice \sim gradient d'énergie laser
- ➔ Structure accélératrice sinus: $\lambda_p \sim 10-100 \mu\text{m}$
- ➔ Champ accélérateur: 1-100 GV/m
- ➔ Il faut injecter des électrons produits par une source externe

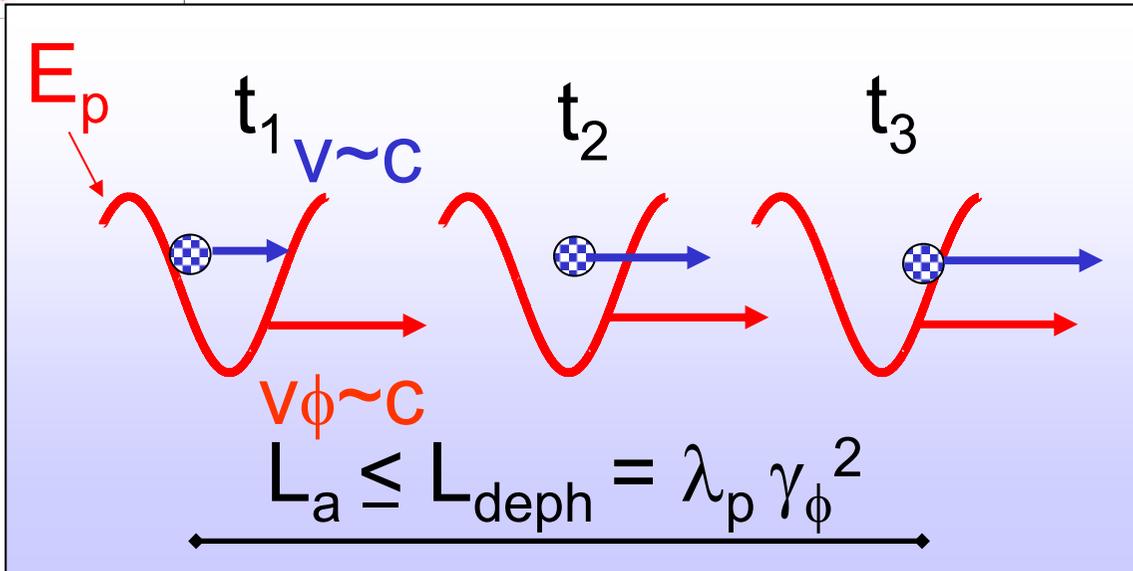
$$E(\text{GV}/\text{m}) = 30 \left[\frac{n_e(\text{cm}^{-3})}{10^{17}} \right]^{1/2} \frac{dn_e}{n_e}$$

Le régime non linéaire conduit à l'auto-injection d'électrons du plasma



- Compression et auto-focalisation de l'impulsion
- Expulsion des électrons: création d'une bulle (ions)
- Electrons auto-injectés à l'arrière de la bulle par les champs accélérateurs et focalisants
- Electrons injectés modifient l'arrière de la bulle (beam loading)
- Génération de rayonnement betatron

Gain d'énergie optimisé sur la longueur de déphasage



➔ Energy gain
 $\Delta W = e E_p L_a$

$$\sim 4mc^2 \gamma_\phi^2$$

$$\gamma_\phi = \lambda_p / \lambda_0$$

➔ $\Delta W \sim n_e^{-1}$

⊛ $E_p \sim n_e^{1/2}$

⊛ $L_a \sim n_e^{-3/2}$

n_e	10^{17}cm^{-3}	10^{19}cm^{-3}
γ_ϕ	100	10
L_a	1 m	1 mm
ΔW_{max}	20 GeV	200 MeV

Etat de l'art de l'accélération laser plasma (NL)



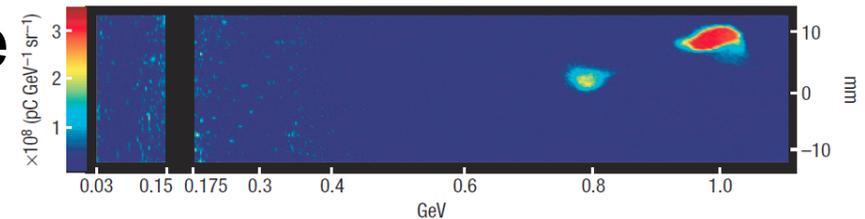
➔ Les accélérateurs laser plasma sont des sources d'électrons et de rayonnement (THz, X, gamma)

☀ Accélérateurs **Compacts**

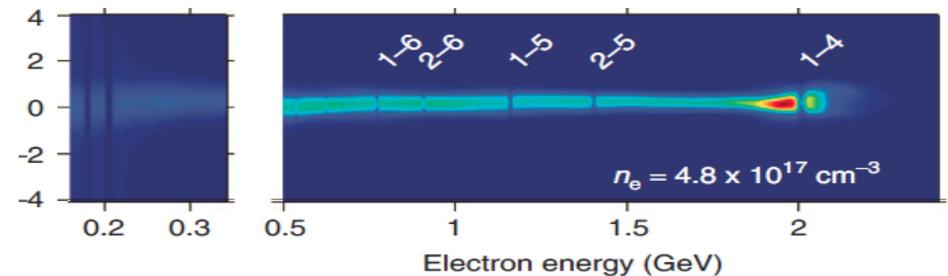
1 GeV, 3cm, 40 TW laser $\sim 100\text{m}^2$

2 GeV, 7cm, 1 PW laser

☀ **Paquets de courte durée** (~ 10 fs)



Leemans et al , Nature physics 2006



Wang et al, Nature commun. 2013

➔ Gradients accélérateurs élevés (<100 GV/m) démontrés

➔ Accord avec les modèles théoriques

➔ Spectres e- larges quand injection continue

Objectifs et défis



➔ **Objectifs:** contrôler les propriétés des faisceaux accélérés et augmenter leur énergie

- ✿ Optimiser les paramètres des faisceaux (étalement en énergie, emittance, fiabilité) dans la gamme 100MeV - 1GeV
- ✿ Contrôler le rayonnement émis
- ✿ Accroître l'énergie: études de faisabilité pour un accélérateur multi-étages (MUST_LPA)

➔ **Défis**

- ✿ Fiabilité Laser
- ✿ Augmenter la longueur d'accélération
- ✿ Injecter les électrons dans le plasma de façon précise et contrôlée

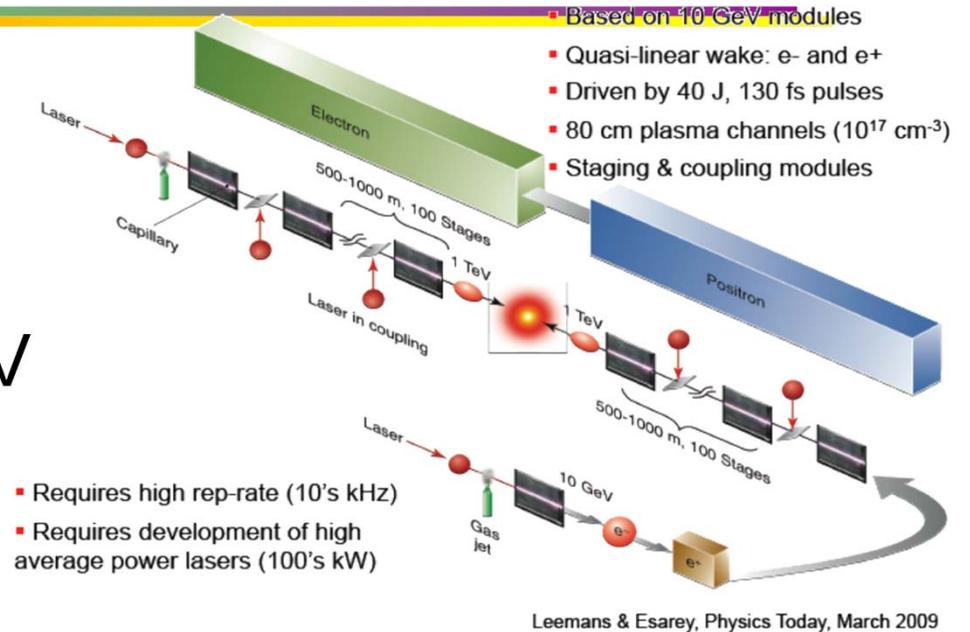
➔ **La meilleure méthode dépend du régime d'accélération et des caractéristiques recherchées.**

Les lasers de forte puissance donnent accès à de nouveaux régimes d'ALP



➔ Accélérateurs pour la PHE

- ✿ Conception d'étages ~10 GeV



➔ Sources intenses d'électrons et de rayonnement et leur combinaison

- ✿ Faisceau pour LEL de courte longueur d'onde
- ✿ Production de positrons
- ✿ Interaction Particules-photons, génération de rayonnement multi-MeV (gamma rays)

Plusieurs installations laser PW en développement au niveau mondial



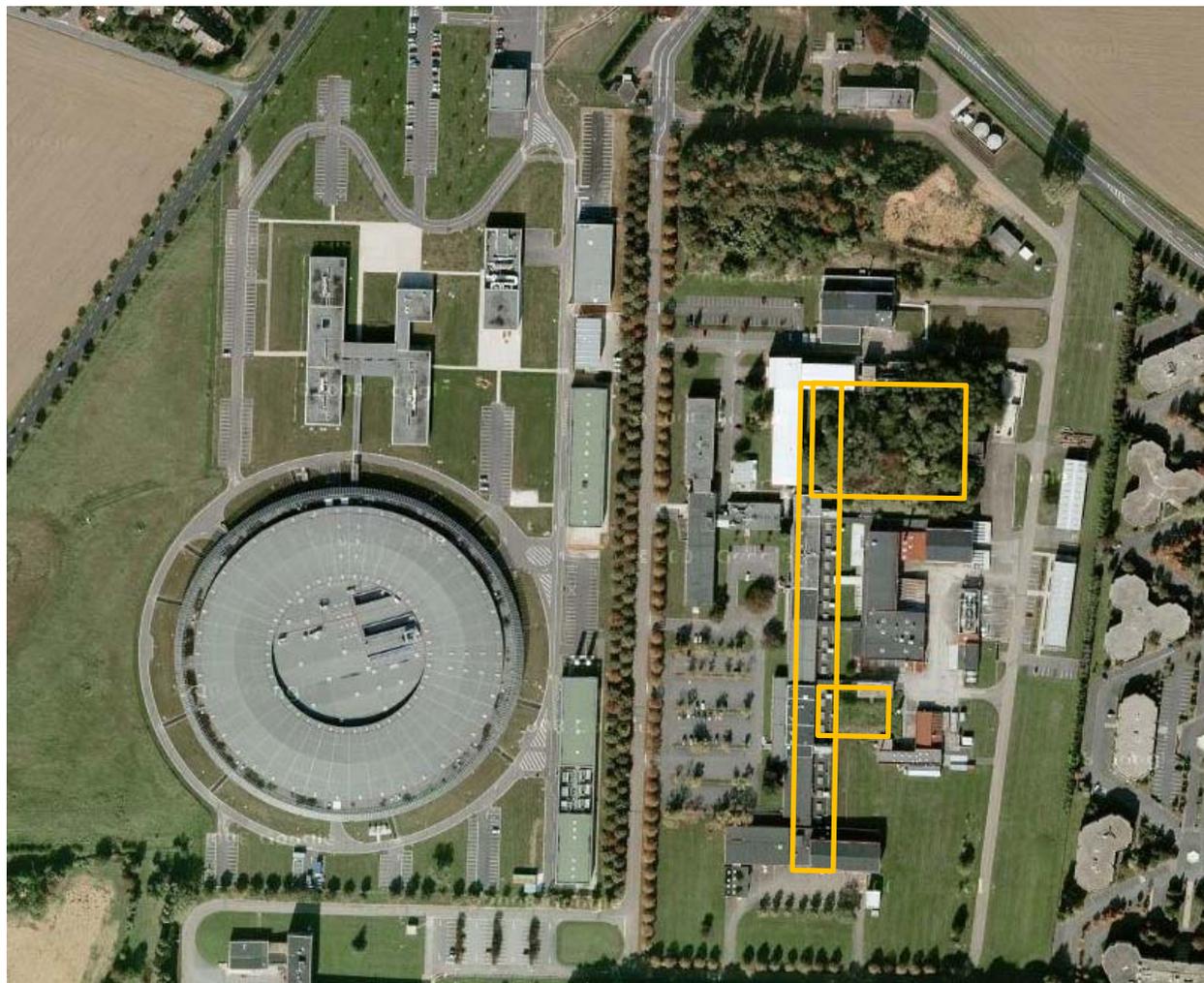
ICUIL World Map of Ultrahigh Intensity Laser Capabilities



Centre Interdisciplinaire Lumière EXtrême



Research Centre on Intense Lasers, Plasmas and Applications



Multi-PW laser

APOLLON 10PW

Multi-beam facility

1 PW + probe + ns

Dedicated experimental areas

Satellite facilities

UHI100, LASERIX

Multi-disciplinary program

Training of scientist and engineers

Operated as a user-facility

Overview of CILEX- Apollon laser facility



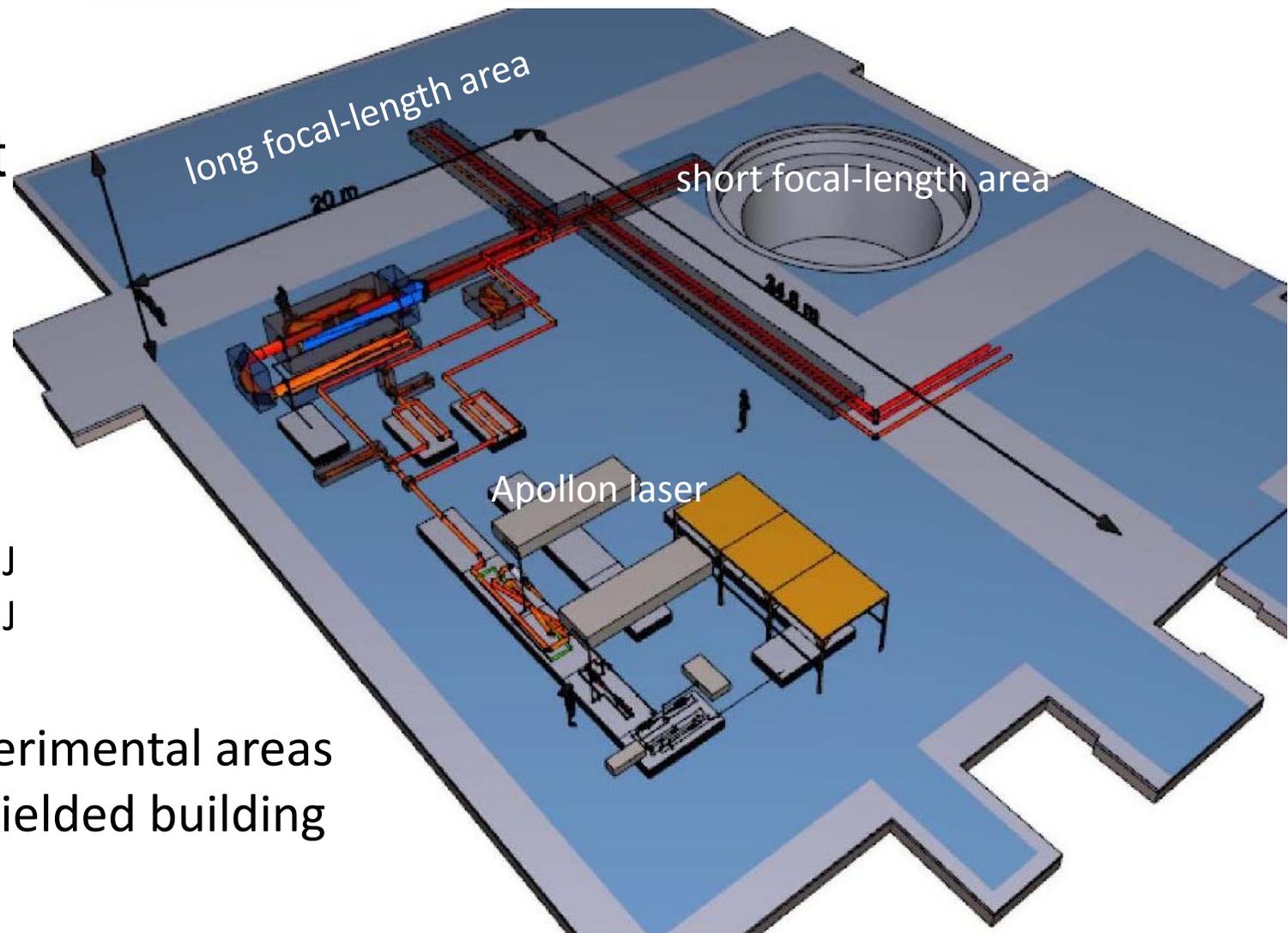
2 main beams at
the PW level:

15J, 15fs
150J, 15fs

Additional beams

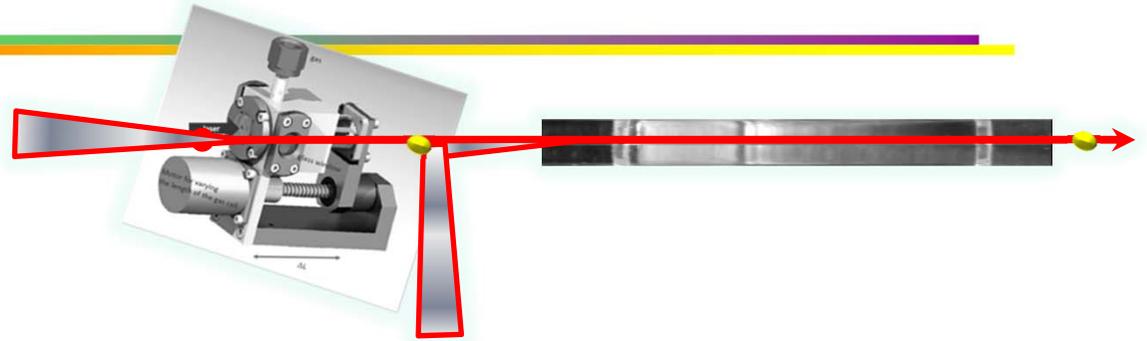
Creation beam: 1 ns / 300 J
Probe beam: 20 fs / 200 mJ

4 beams and 2 experimental areas
in a shielded building



Numerical tools are developed to design
multi-stage acceleration experiments on CILEX Apollon facility

Objectifs ALP dans le cadre de CILEX



➔ Développer un ALP à deux étages

Installation de test pour l'accélération d'électrons et prototype pour les études à venir sur l'accélération laser plasma multi-étages (MUST_LPA)

➔ Etude des processus fondamentaux

- Validité des lois d'échelle pour l'accélération à ultra-haute intensité laser
- Production et accélération de positrons
- Génération de rayonnement (betatron, injection dans un onduleur, diffusion Compton et Thomson)

En résumé



- ➡ L'ALP a un fort potentiel de développement lié à celui des systèmes laser
- ➡ Recherches très actives en France et au niveau international
- ➡ Au niveau Français, un programme ambitieux est en cours de développement sur le Plateau de Saclay

Sujets de discussion



- ➔ Des efforts de coordination sont entrepris au niveau international à travers plusieurs types de structures
 - ✿ Euronac/Eucard, Laserlab, Tiara
 - ✿ ICFA, ICUIL
- ➔ Projets multi-compétences: physiciens des laser, plasmas, accélérateurs et compétences techniques variées sont nécessaires
- ➔ Très fort potentiel d'innovation
- ➔ Formation par la recherche (stages et thèse)