

Présentation du projet CLAPS Centre Lasers-Accélérateurs de l'Université Paris -Sud

Guy Wormser

Directeur du Laboratoire de
l'Accélérateur Linéaire d'Orsay

11 Mai 2009

Remerciements

- A. Variola, F. Zomer, P. Balcou pour le projet ThomX
- D. Ros, B. Cros pour LASERIX et l'accélération d'électrons par laser

Plan de l'exposé

- Pourquoi s'intéresser au couplage des lasers et des accélérateurs?
- Le concept d'un « Hôtel » Accélérateurs-Lasers
- Les deux premières chambres
 - Projet ThomX
 - Projet accélération d'électrons par laser
- L'intégration du projet dans le Plan Campus
- Conclusion

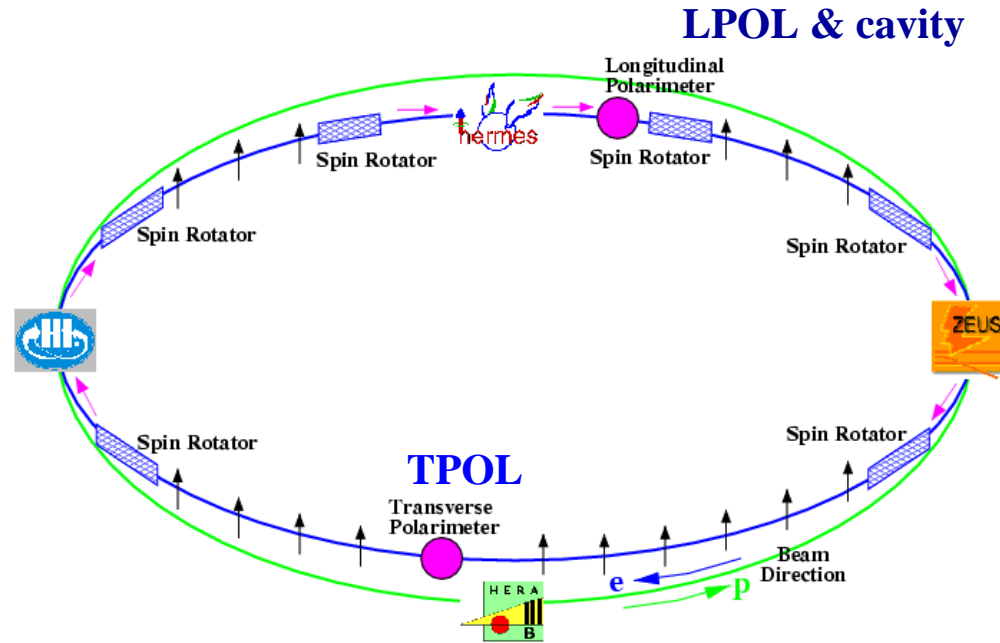
Les besoins de la physique des particules

- Exploration de la physique à l'échelle du TeV avec le LHC
- Prochaine machine : collisionneur e^+e^- de 500 GeV à 1 TeV ou plus de très haute luminosité avec faisceaux polarisés, ILC(ou CLIC jusqu'à 3 TeV)
 - Photo-injecteur de fort courant et de très faible émittance
 - Source de positrons polarisés est une des difficultés majeures de l'ILC
 - Polarimétrie par effet Compton
- Deux points critiques pour l'ILC/CLIC impliquent donc des lasers de haute performance

H1: Fabry-Perot Cavity Polarimeter

Two existing polarimeters LPOL, TPOL:

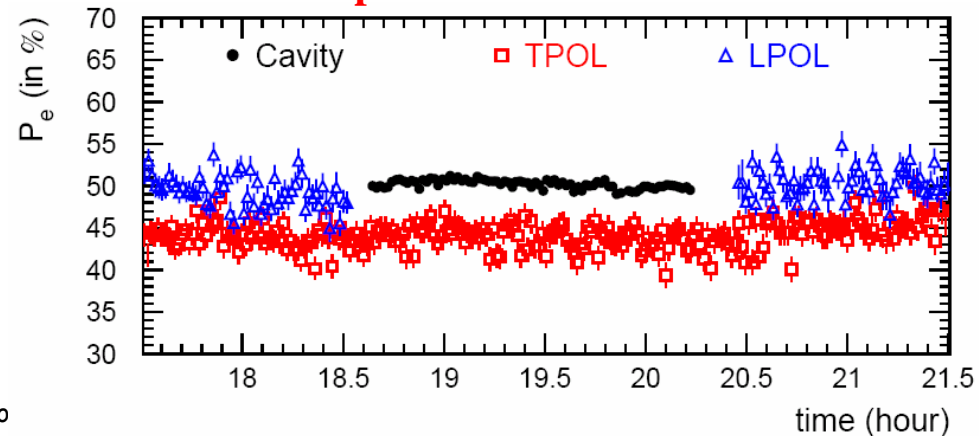
- Limited precision &
- Important disagreement



New cavity polarimeter:

- Negligible statistical uncertainty
- May help to resolve disagreement between TPOL and LPOL
- Improve the systematic precision of polarization measurement

Example: data of 18/5/2007



Guy Wo
11 may 2007

Au delà de l'ILC/CLIC

- Accélération de particules (electrons, positrons, protons) par laser
- ILC coût ~7 G€, tunnel de 50 Kms
 - Difficile d'envisager nettement plus grand
- Gradient ILC 35 MV/m (CLIC 100 MV/m)
- Très intéressant donc d'étudier des gradients de qq GV/m mais on doit garder:
 - Forte cadence de tir (10-100 Hz)
 - Structure multi-bunch
 - Positons et electrons
 - Très faible faible émittance
 - Puissance électrique ~100 MW
 - Electrons (positons) polarisés

Un Hôtel Accélérateurs-Lasers

- Enorme expertise sur le plateau et dans la vallée sur les lasers et les accélérateurs
- Très peu d'endroits dans le monde sont équipés pour accueillir et faire fonctionner des accélérateurs et des lasers de meilleur niveau mondial
- Infrastructure lourde nécessaire mais assez générique (électricité, eau, salles blanche, blindage, contrôle commande, sécurité,..)
- Equiper un bâtiment dédié à la « rencontre » de lasers et d'accélérateurs intégré dans le Plan Campus

Programme initial proposé

- Une « chambre » dédiée à l' « accélération » des photons
 - Rétrodiffusion Compton d'un faisceau laser sur un faisceau d'électrons
 - Source compacte de rayons X (projet ThomX) ou de rayons γ (source de positons polarisés pour l'ILC/CLIC)
- Une « chambre » dédiée à l'accélération des électrons
 - Faisceau externe d'électrons à accélérer dans plusieurs cellules plasma
 - Faisceau d'électrons polarisés
 - Faisceau de positons

Markers role

The system must be TUNABLE!

Imaging

Classical image

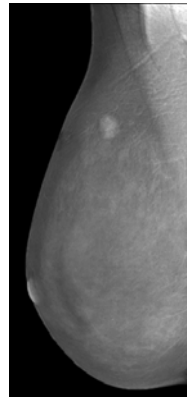
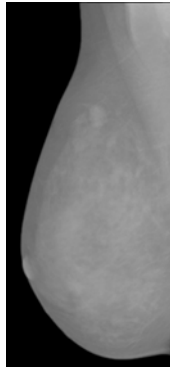
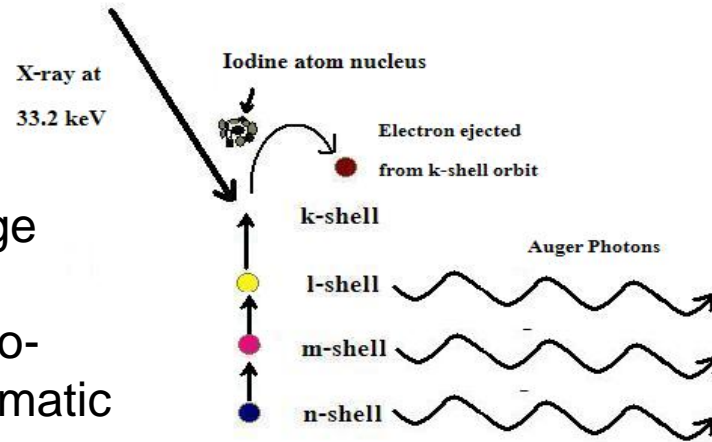


Image with mono-chromatic X rays

Therapy



45 keV: Iodine (IUdR)

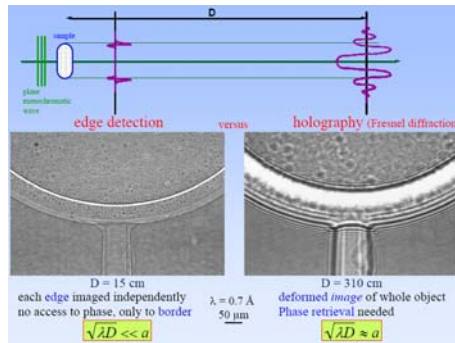
55 keV: Gadolinium (GadTex)

85 keV: Platine (Cis-platine)

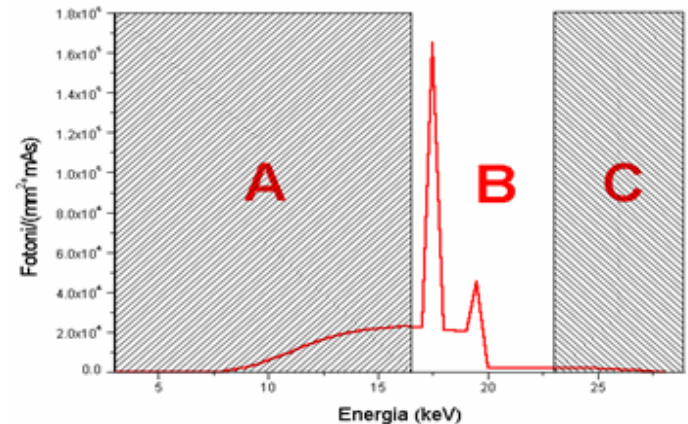
Tumour à 2-6 cm

Tumour à 6-10 cm

Tumour >10 cm

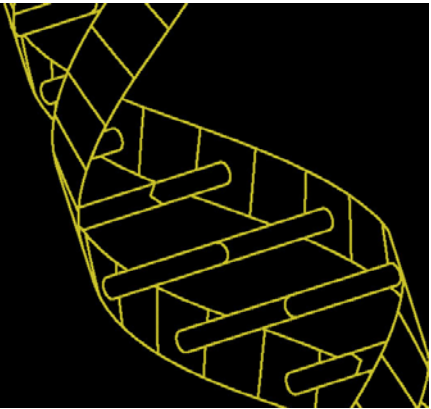


Diffraction Imaging

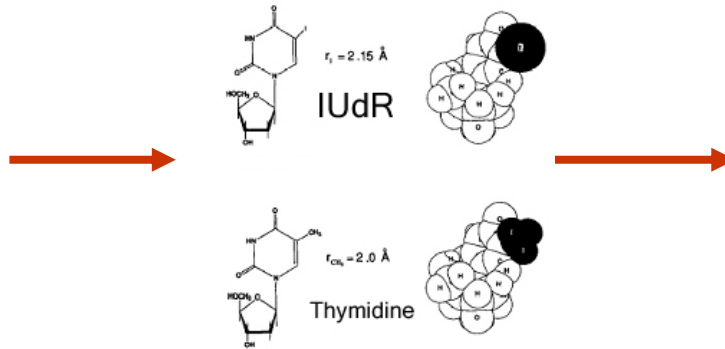


Guy Wormser
11 may 2009

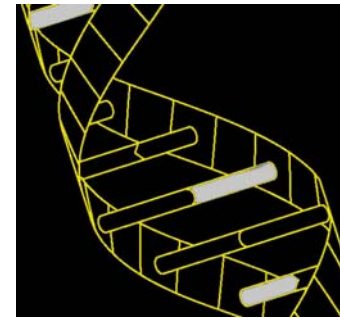
Auger Cascade Radiotherapy



Inject the patient with IUdR or other approved chemotherapy drugs.

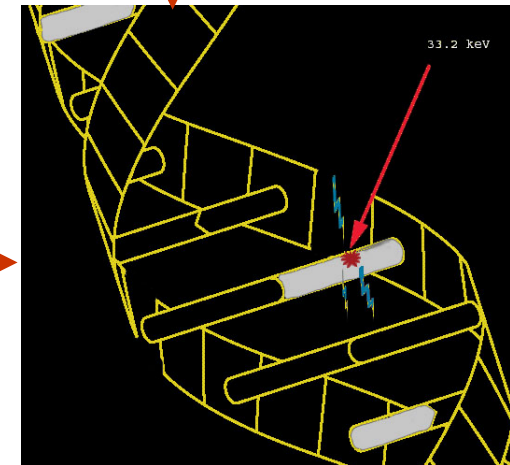


It becomes part of the DNA in cancer cells (IUdR replaces thymidine in 10% of the DNA)



For Iodine irradiate with monochromatic X-rays at 33.2 keV creating Auger cascade

The Auger cascade creates double-stranded breaks in the DNA



The tumour cell "killing" efficiency is enhanced by a factor 3 - 5 => Less dose to the patient !!!!

[CANCER RESEARCH 64, 2317-2323, April 1, 2004]

Cure of Fisher Rats Bearing Radioresistant F98 Glioma Treated with *cis*-Platinum and Irradiated with Monochromatic Synchrotron X-Rays

Table 1 *Survival data from rats bearing F98 glioma and treated with the indicated protocols*

Group	No. of rats	Range of Survival times (days/(median))	% Increased life span
Untreated controls	12	24-37/ (26)	28%
3 g of CDDP	10	28-60/ (37)	39%
Irradiated controls	10	33-70/ (48)	71%
3 g of CDDP 15 Gy	18	42-365/ (206.5)	661%
3 g of CDDP 15 Gy	11	49-365 / (110)	557%

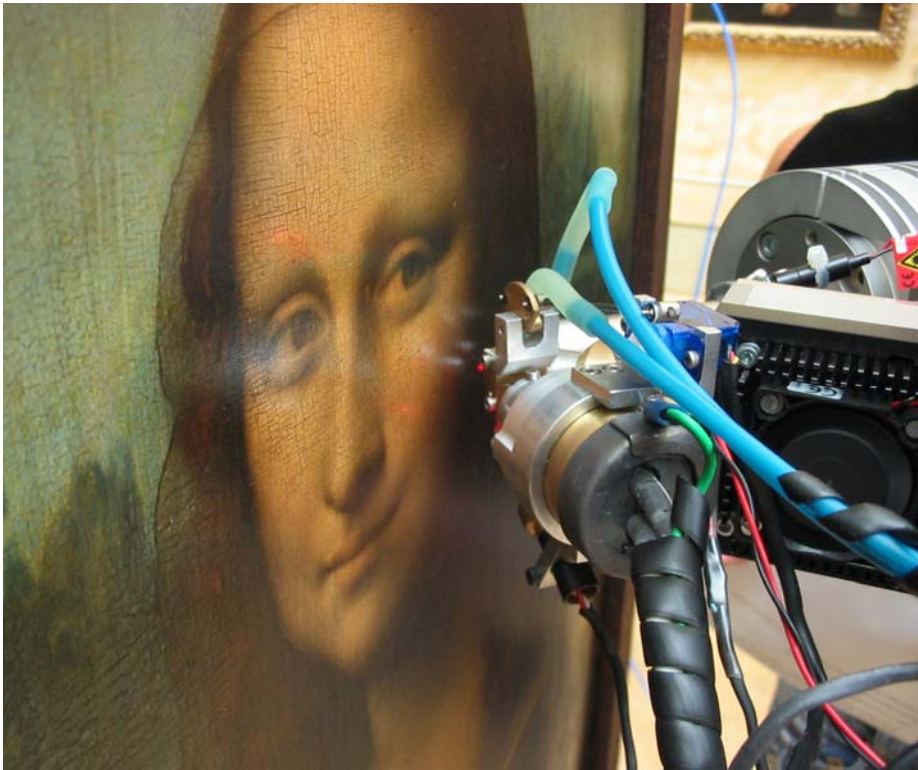
CDDP, *cis*-diammine dichloroplatinum (II);

Six and four rats still alive after 1 year for experiment 1 and 2, respectively.

- Project in the Louvre Museum (C2RMF) to develop an ICS in combination with the actual ion beam analysis facility (AGLAE):
- to help for conservation of works of art and to give new insights in history of techniques.
- to develop non invasive techniques for direct analysis of the works of art (rare, precious, very difficult to move to a SR facility):
 - **Direct multi-modal analysis** (XRF, XRD, XANES), with the possibility of mapping to reveal the spatial distribution of constituents ⇒ **small beam, tunability**
 - **Imaging techniques on painting and statues** (CT, laminography, phase contrast imaging, K-edge imaging, etc.) ⇒ **High energy beam (up to 90 keV)**

Identification of painting materials by :

XRF



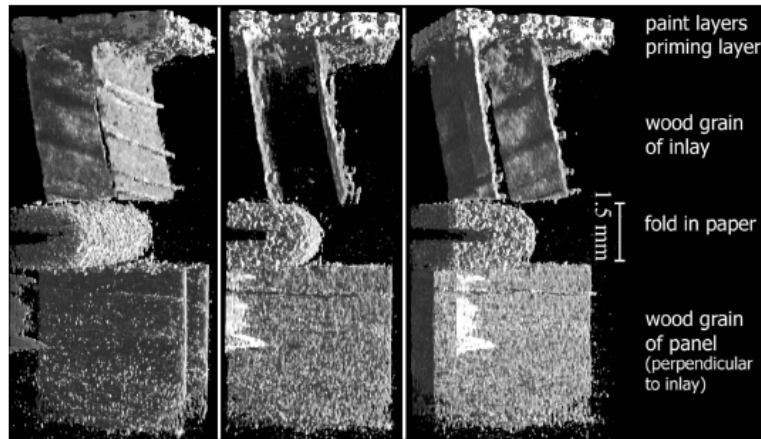
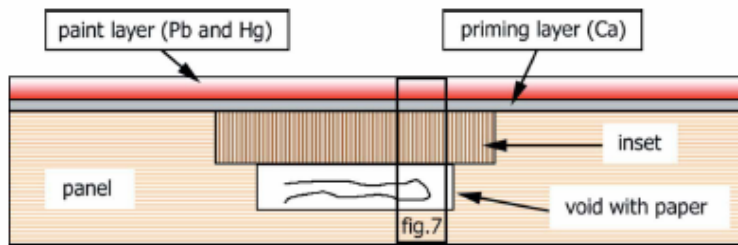
XRD



Experiments at C2RMF

Imaging of painting by:

Laminography



Chemical mapping



J. Dik et al., *Analytical Chemistry*, 2008, 80, 6436

K. Krug et al, *J. Synchrotron Rad.* 2008, 15, 55

Guy Wormser
11 may 2009

Experiments at ESRF and DESY

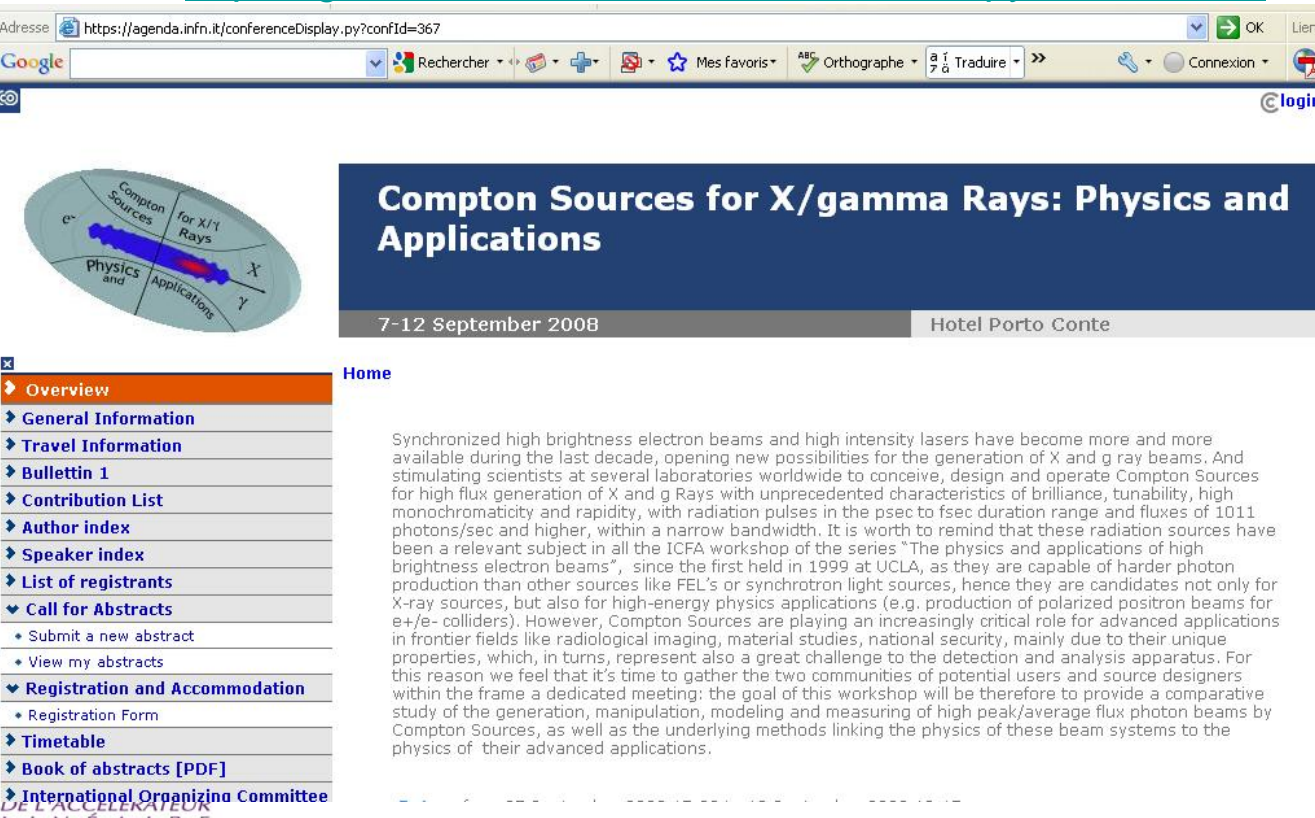
So what are the requirements?

- X-ray source
- Tunable 30-90 keV
- Monochromatic (coherence @ 50%, therapy @ 10%)
- Flux 10^{10} - 10^{13} X/sec (but angiography requirements can be less with new generation HARP detectors)
- Sources size of tenths of microns
- Compact (must fit in a hospital)
- Cheap (few MEuros)
- Easy to maintain and use ...(let's not exaggerate...)

ANSWER: ThomX => New generation compact X ray source by Compton scattering.

Pour en savoir plus sur les sources X compactes

- Workshop international organisé à Alghero (Italie) en Septembre 2008
- <http://agenda.infn.it/conferenceTimeTable.py?confId=367>



The screenshot shows a web browser window with the address bar containing the URL <https://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=367>. The page title is "Compton Sources for X/gamma Rays: Physics and Applications". The event dates are "7-12 September 2008" and the location is "Hotel Porto Conte". A navigation menu on the left includes: Overview, General Information, Travel Information, Bulletin 1, Contribution List, Author index, Speaker index, List of registrants, Call for Abstracts, Registration and Accommodation, and Timetable. The main content area features a diagram of a Compton source and a paragraph of introductory text.

Compton Sources for X/gamma Rays: Physics and Applications

7-12 September 2008 Hotel Porto Conte

Home

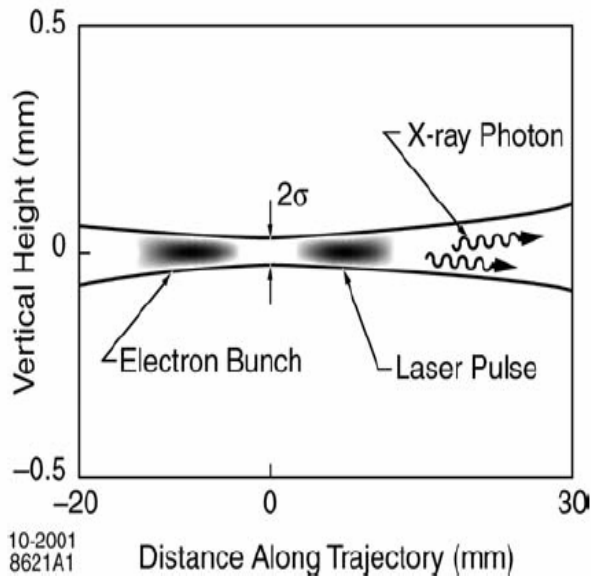
Synchronized high brightness electron beams and high intensity lasers have become more and more available during the last decade, opening new possibilities for the generation of X and g ray beams. And stimulating scientists at several laboratories worldwide to conceive, design and operate Compton Sources for high flux generation of X and g Rays with unprecedented characteristics of brilliance, tunability, high monochromaticity and rapidity, with radiation pulses in the psec to fsec duration range and fluxes of 10¹¹ photons/sec and higher, within a narrow bandwidth. It is worth to remind that these radiation sources have been a relevant subject in all the ICFA workshop of the series "The physics and applications of high brightness electron beams", since the first held in 1999 at UCLA, as they are capable of harder photon production than other sources like FEL's or synchrotron light sources, hence they are candidates not only for X-ray sources, but also for high-energy physics applications (e.g. production of polarized positron beams for e⁺/e⁻ colliders). However, Compton Sources are playing an increasingly critical role for advanced applications in frontier fields like radiological imaging, material studies, national security, mainly due to their unique properties, which, in turns, represent also a great challenge to the detection and analysis apparatus. For this reason we feel that it's time to gather the two communities of potential users and source designers within the frame a dedicated meeting: the goal of this workshop will be therefore to provide a comparative study of the generation, manipulation, modeling and measuring of high peak/average flux photon beams by Compton Sources, as well as the underlying methods linking the physics of these beam systems to the physics of their advanced applications.

Projets en cours:

- Japon
- USA
- Allemagne
- ...
- Nous avons un avantage compétitif grâce à notre cavité: ne le perdons pas!

What is needed is a first-second generation synchrotron source!!!!

But working with electron-photon bumper cars (Compton effect).....



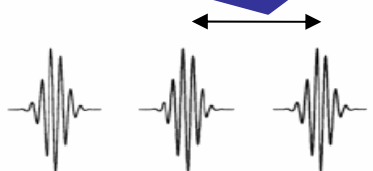
Compton backscattering is, by far, the best existing "frequency" amplifier !! It profits from the relativistic boost and the Doppler effect, so the backscattered photon Energy can reach an amplification factor of $4\gamma^2$.

BUT: very low Thomson cross section value: $6.6524 \cdot 10^{-25} \text{ cm}^2$

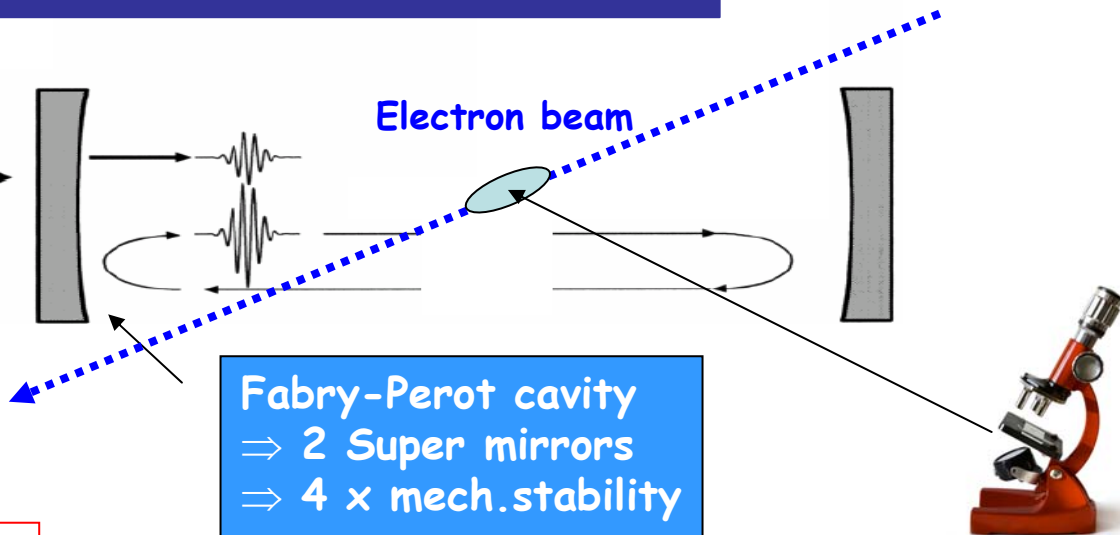
So what is needed: a lot of electrons colliding with a lot of photons in a very small volume many times / second

Fabry-Perot optical resonator & Compton scattering basics

$\approx n \cdot 10 \text{ MHz}$, $n \cdot 10^2 \text{ W}$ (gain in cavity 1000 - 10000) $\Rightarrow \text{MW}!!!!!!$

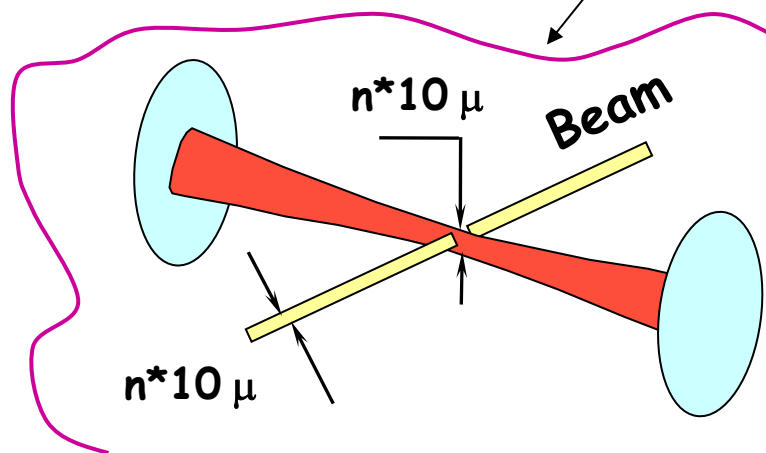


Pulse fibre laser
Few ps

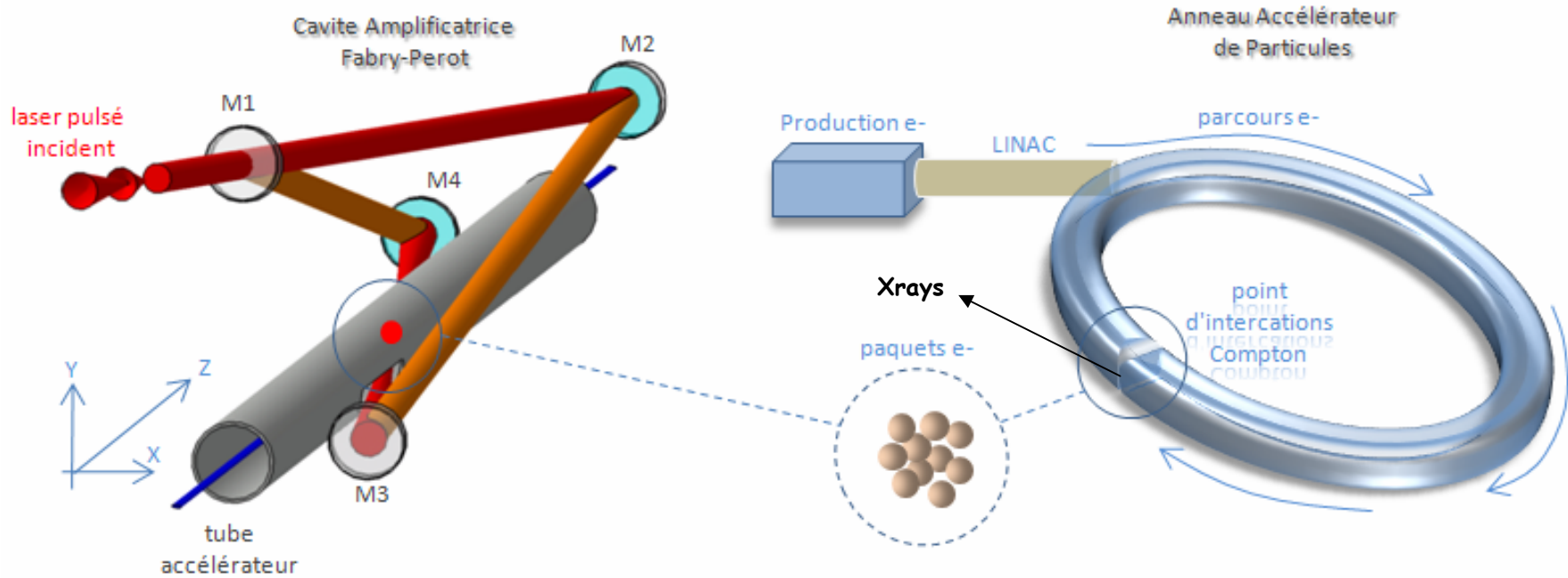


Fabry-Perot cavity
 \Rightarrow 2 Super mirrors
 \Rightarrow 4 x mech. stability

Resonant stacking
Laser frequency = $c/2L$
(L = cavity length)



Guy Wormser
11 may 2009



Radio ThomX demonstrator

- Compact electron storage ring = high f_{rep} electron bunches
- System of high f_{rep} and average power laser coupled with high gain optical resonator.

Source explored range	
X energy	50-90 keV*
Flux	$10^{11} - 10^{13}$ ph/s
Bandwidth	10 %**
Divergence	< 2 mrad
Price	< 5 M€

Accelerator and laser	
Ring and injector energies	50 MeV (tunable?)
Charge	1 nC
Emittance (normalised rms,)	< 5π mm mrad
β^*	10 cm => IP ~ 70 μm
Intracavity average power	> 100 kW
Bunch length, rms	5-10 ps*
Compton f_{rep}	50-200 MHz

Synergy and coherence between the excellence demonstrated
by the different partners.....
(why we are confident that we will obtain significant results)

- LAL

- Optical cavity program started for the ILC polarized positron source. Gain world record in the ps regime (more than 1200). Ready to upgrade to 10000.
- Program on 4 mirror optical cavities allowing extremely small waists maintaining mechanical stability. Cavity already tested at less than 20 microns.
- Long experience in building and operating RF electrons gun at very low emittance and post accelerators.

- SOLEIL

- Ring dynamics, optics, magnet, infrastructures

- CELIA

- Long experience in R&D on optical fibre application on high average power lasers. R&D running on frequency doubler cavity.

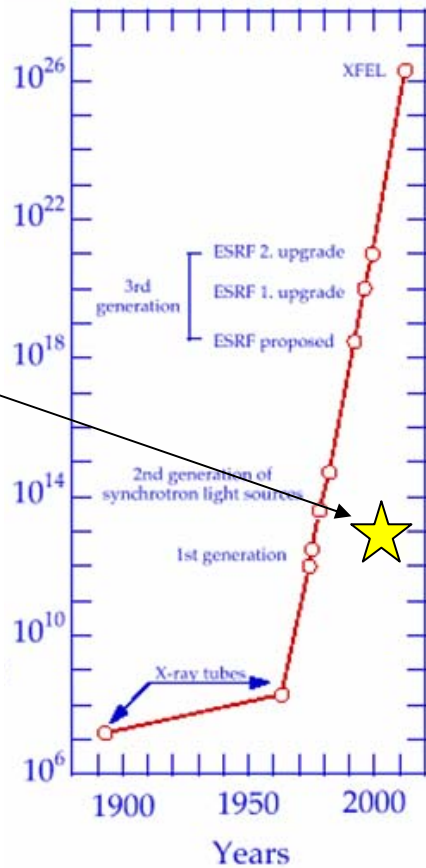
- Institut Goustav Roussy = The Institute Gustave-Roussy (IGR), leading European anticancer centre. Research is conducted by 400 research scientists.

- THALES

- Extremely long experience and proven excellence in commercial high power lasers and hardware equipment for particle accelerators (RF sources etc). Decisive experience in industrialization processes.

Guy Wormser
11 may 2009

Our Project



L'ESRF

Erice, April 15th, 2004 Workshop on "Particle A

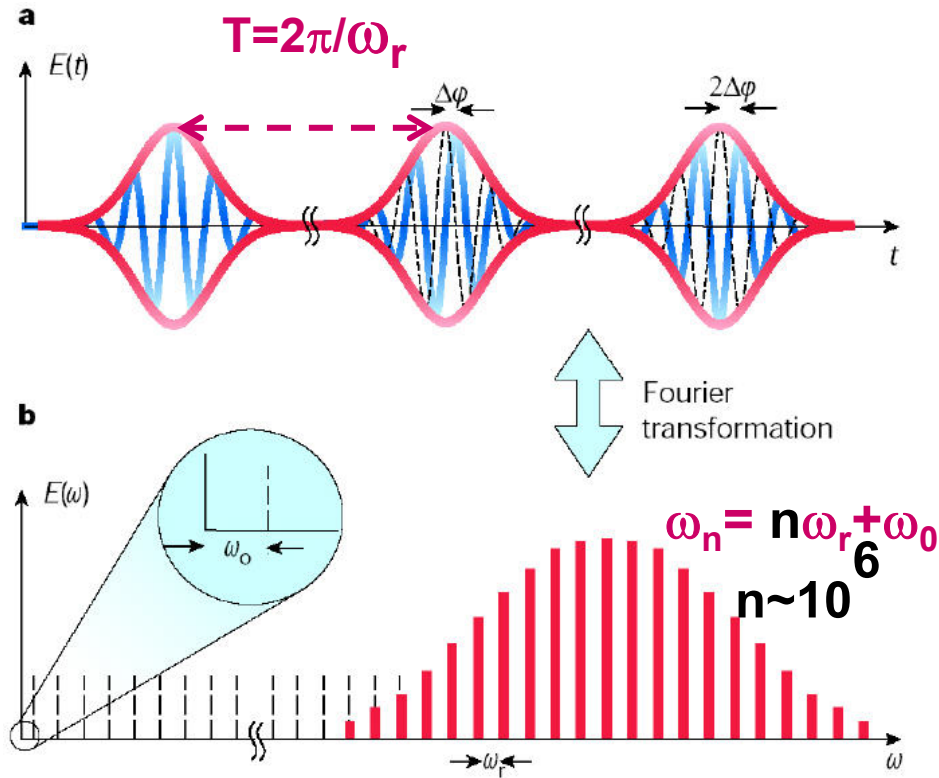
Introduction:

Pulsed_laser/cavity feedback technique

Specificity → properties of passive mode locked laser beams

Frequency comb → all the comb must be locked to the cavity

→ Feedback with
2 degrees of freedom :
**control of the
Dilatation & translation**



T. Udem et al. Nature 416 (2002) 233

Digital Feedback System

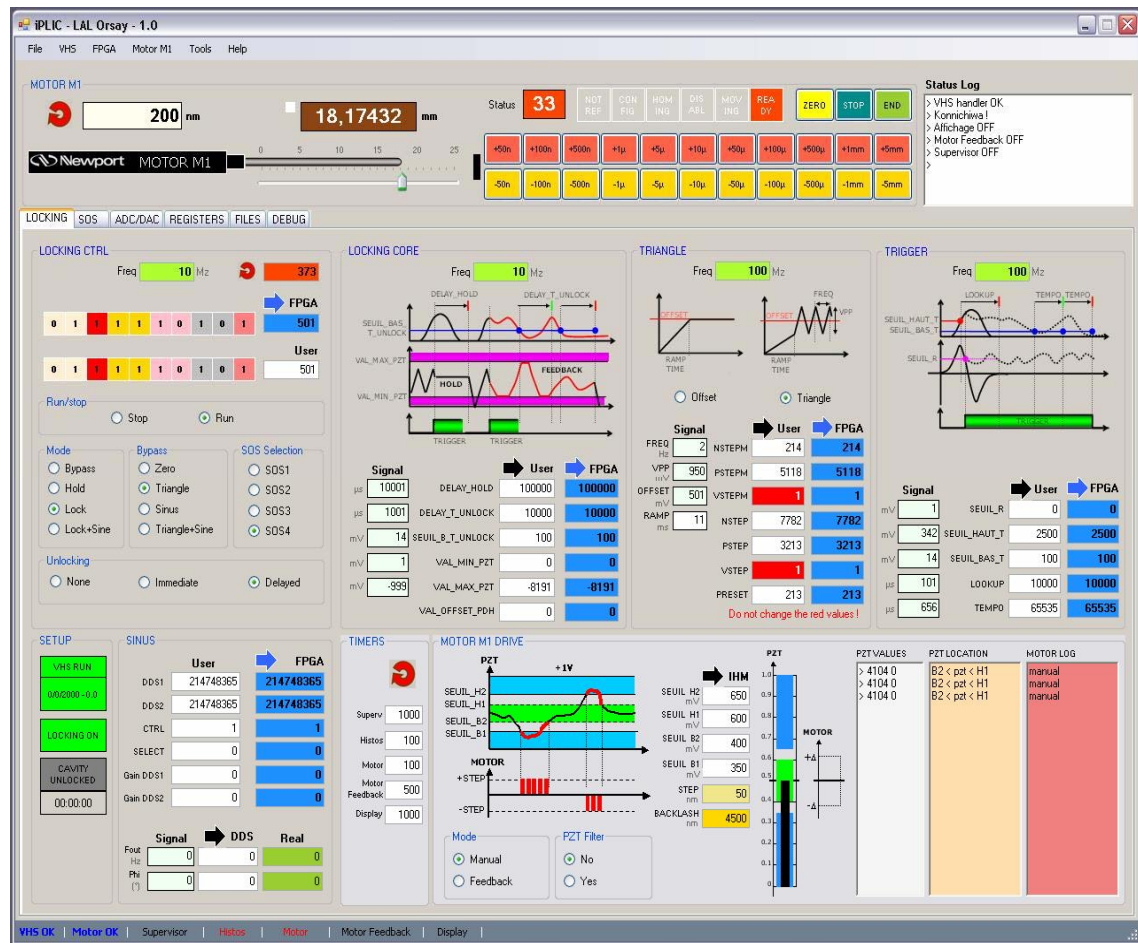
LYRTECH DFS :

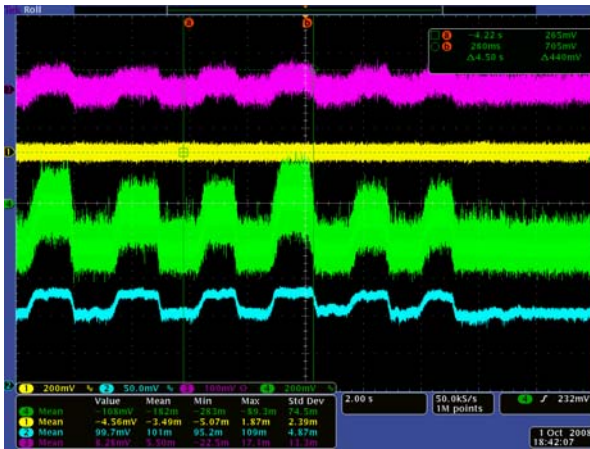
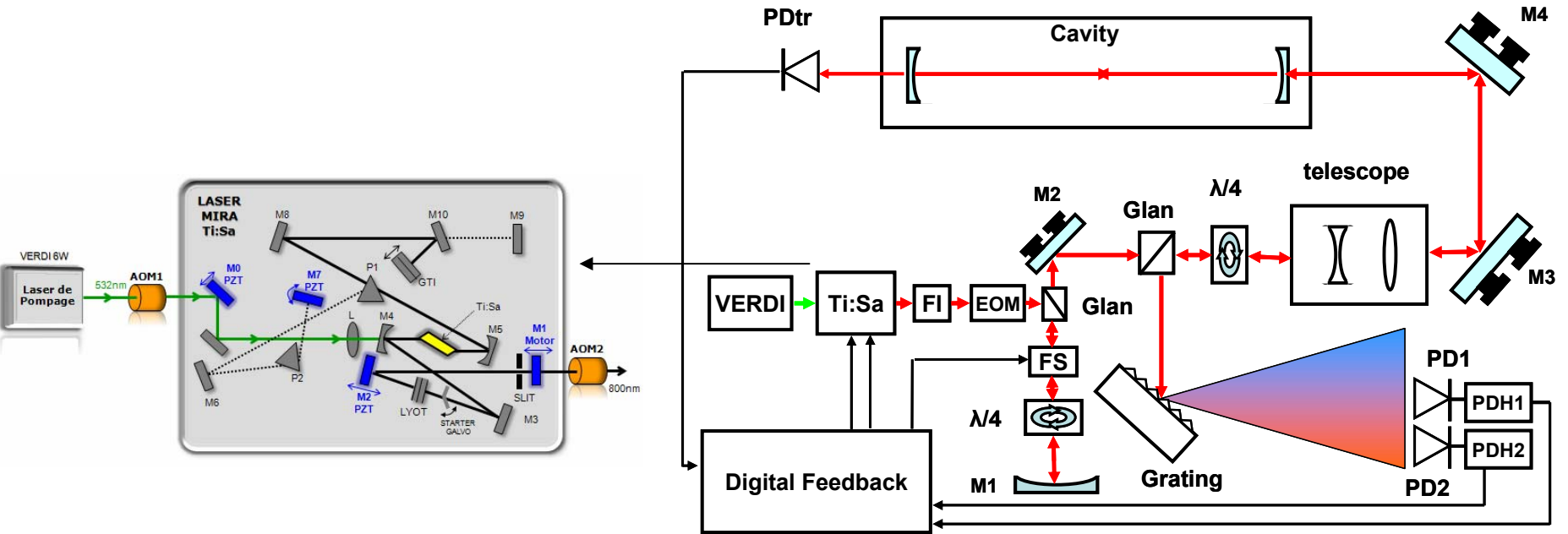
- 8 ADC channels
- Sampling @ 105 MS/s
- 14 bits resolution
- Virtex-II FPGA : XC2V8000
- 60ns latency
- 8 DAC channels
- Conversion rate @ 125 MS/s
- 14 bits resolution



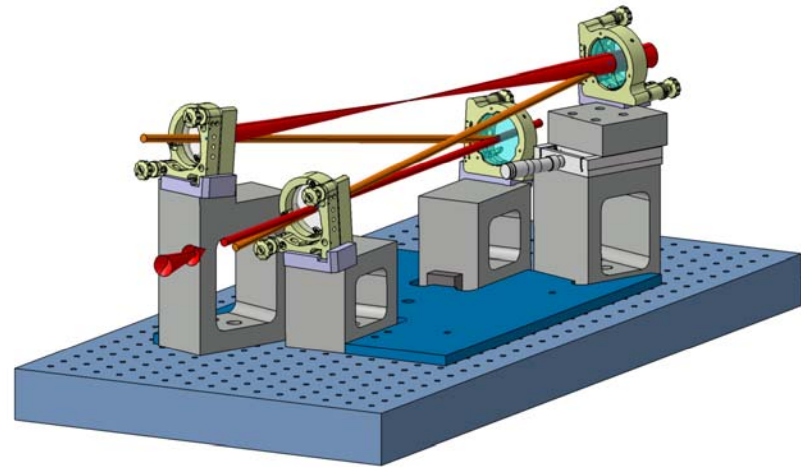
LYRTECH DAQ

C++ GUI





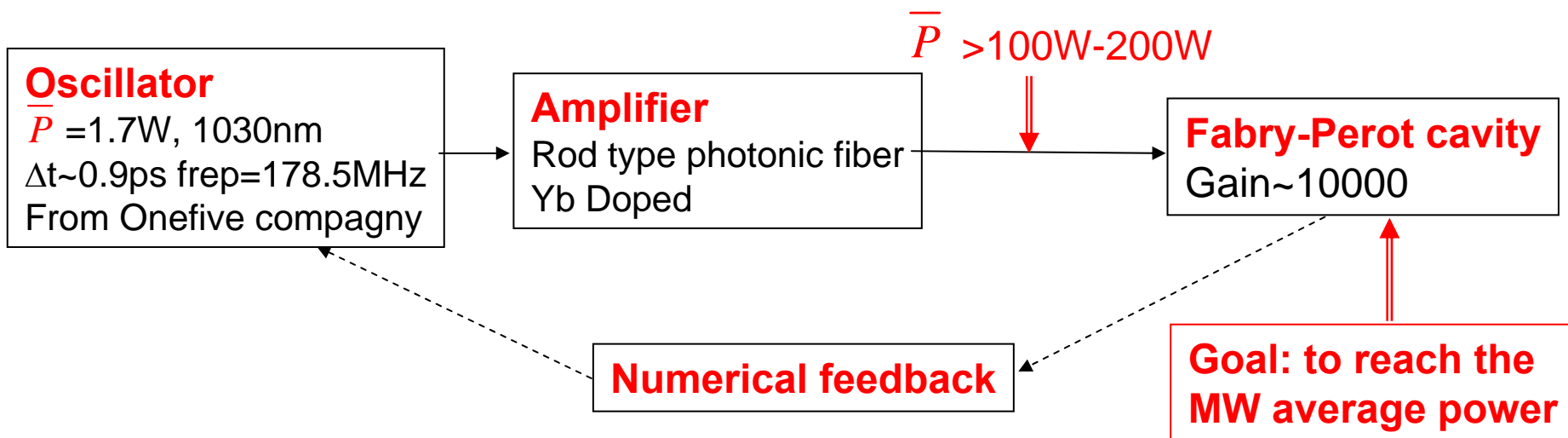
30000 finesse



Guy Wormser
11 may 2009

Continuation of the R&D will start 2009 → 2011

1. Setup the following system at Bordeaux/Orsay



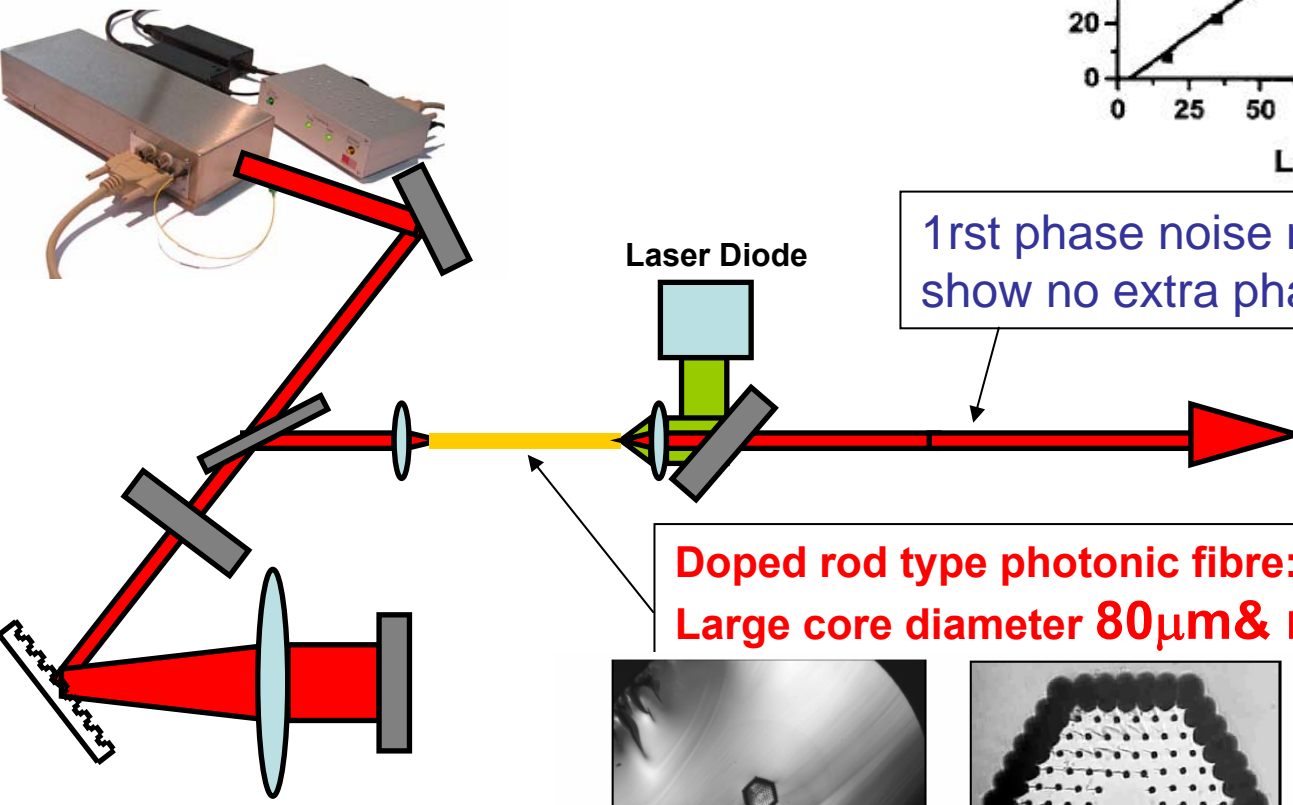
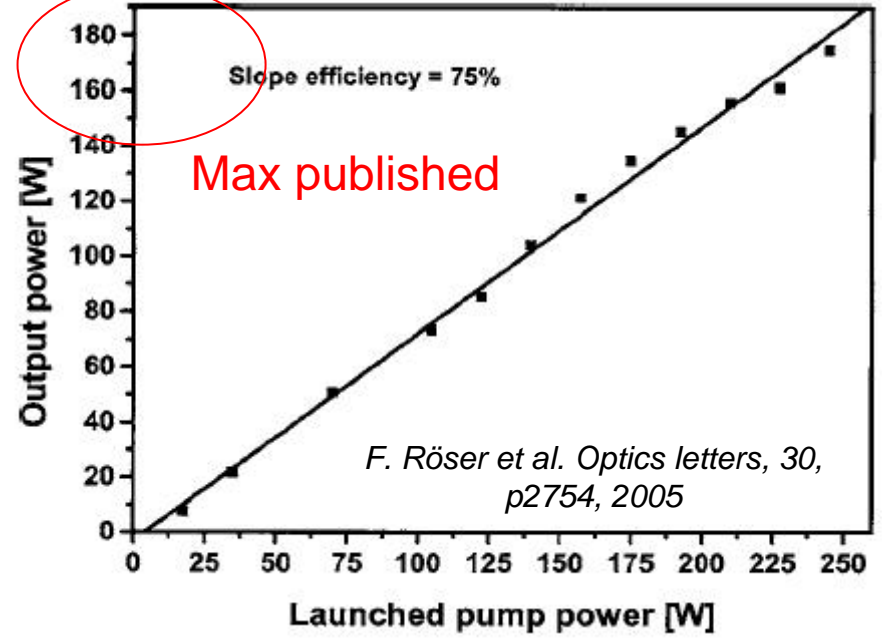
2. Study thermal effects Lyon/Bordeaux (a priori dominated by thermal length in the mirror substrat)

3. Installation of the system at ATF/KEK, in collaboration

The laser amplification R&D

E. Cormier (CELIA)

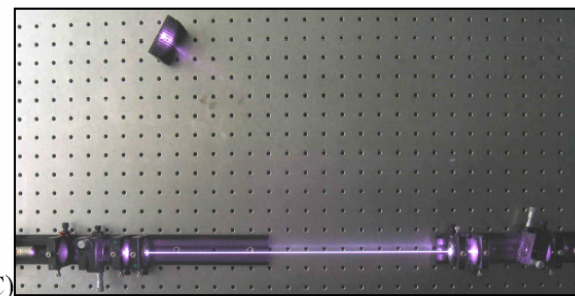
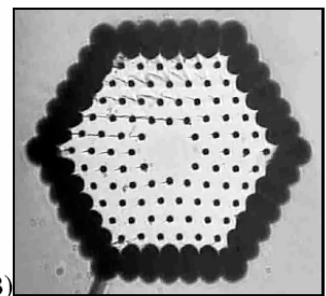
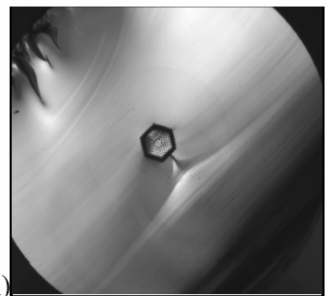
OneFive laser, 1030 nm
 $\Delta t=0.9\text{ps}$, 178.5 MHz, 1.7W



1st phase noise measurements up to 80W show no extra phase noise

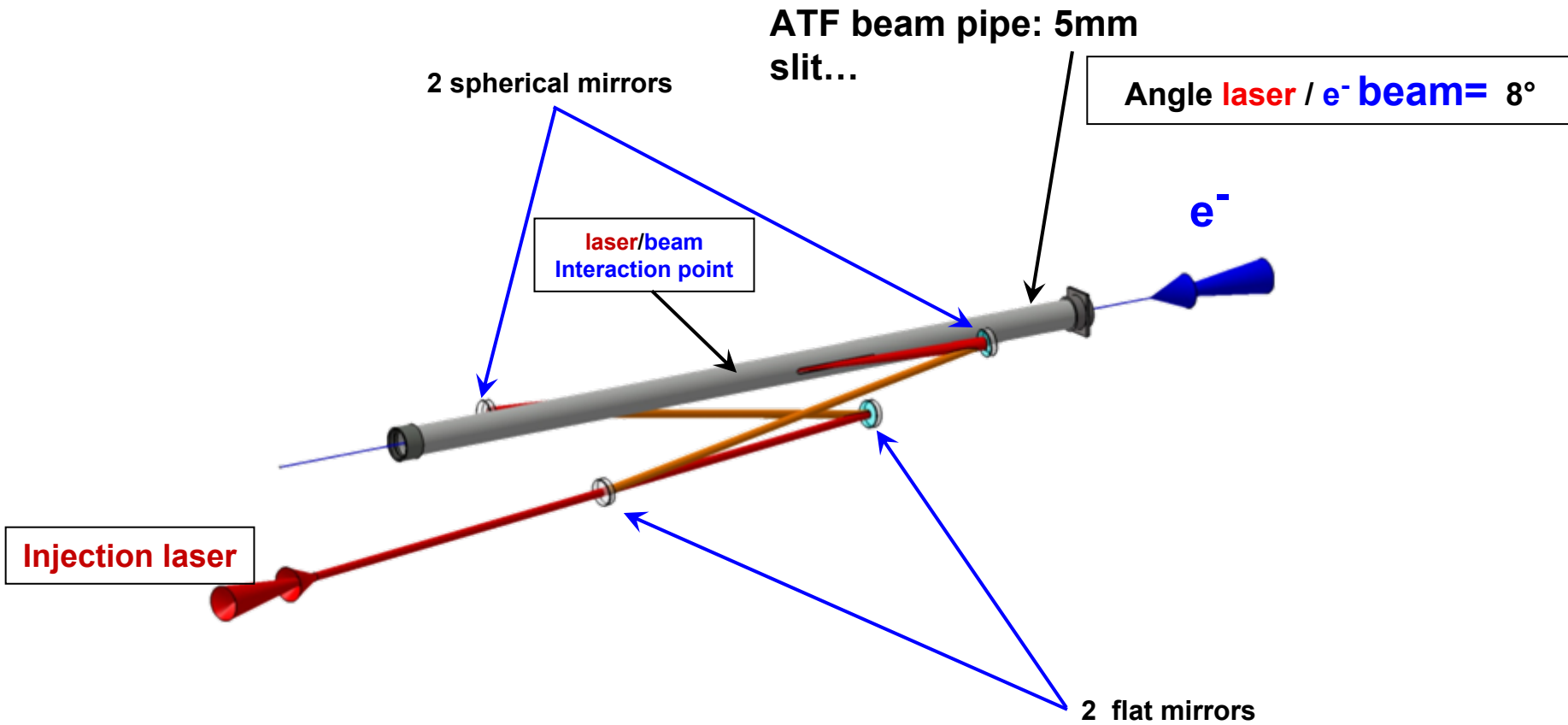
Possible average power 100W-300W (simulation)

Doped rod type photonic fibre:
Large core diameter 80 μm & monomode



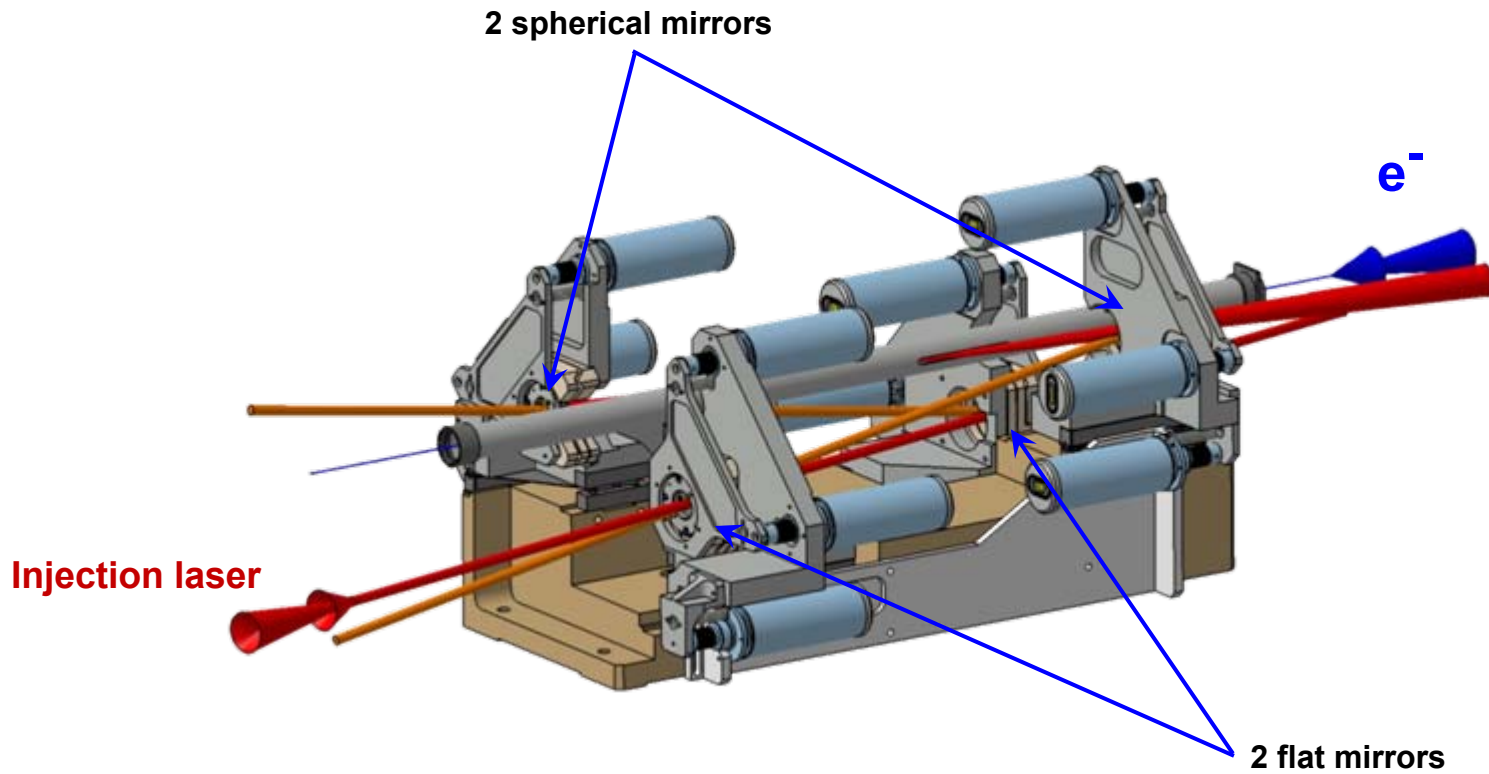
Gold grating-based stretcher gives negative chirp for spectral compression

4 mirror cavity for KEK

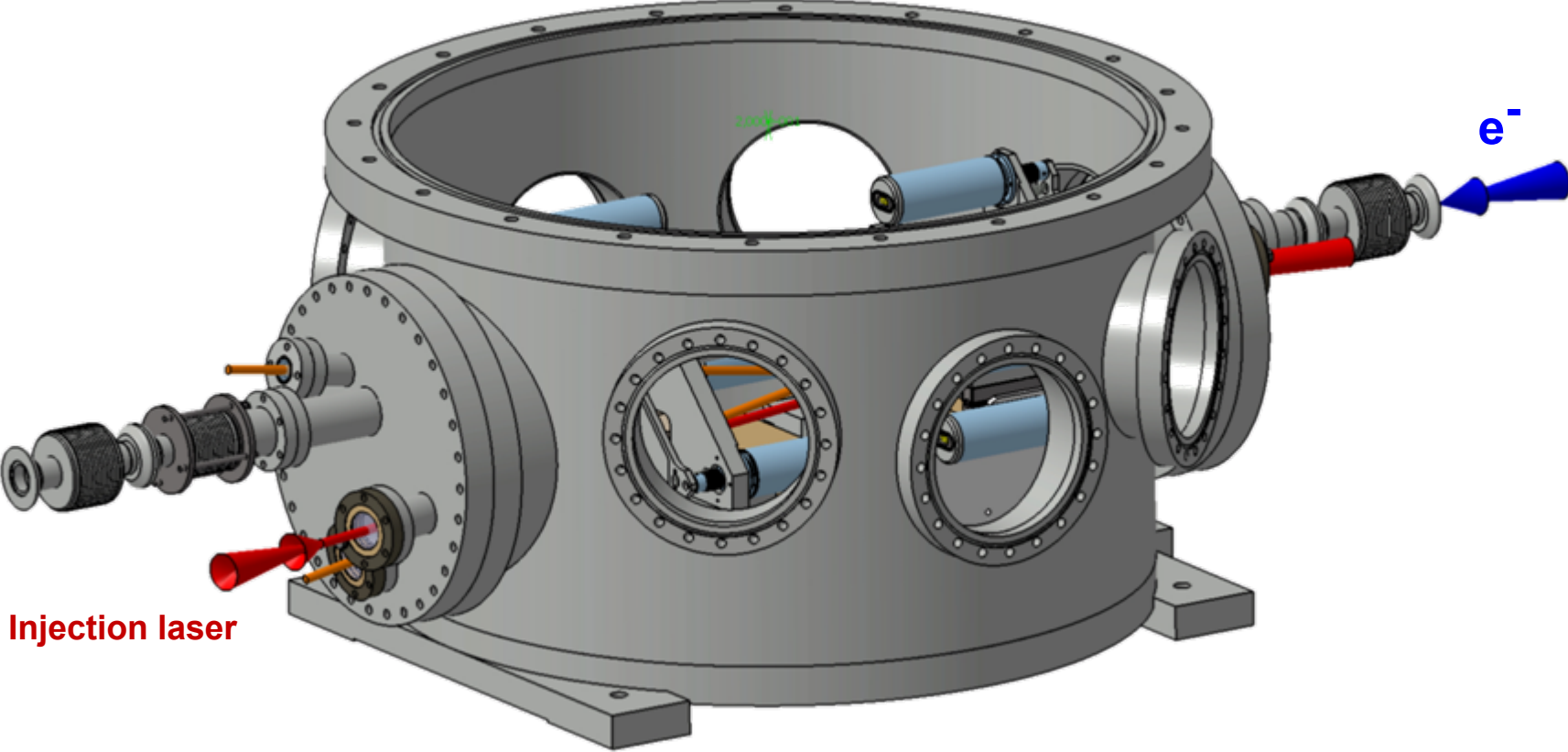


4 mirror cavity for KEK

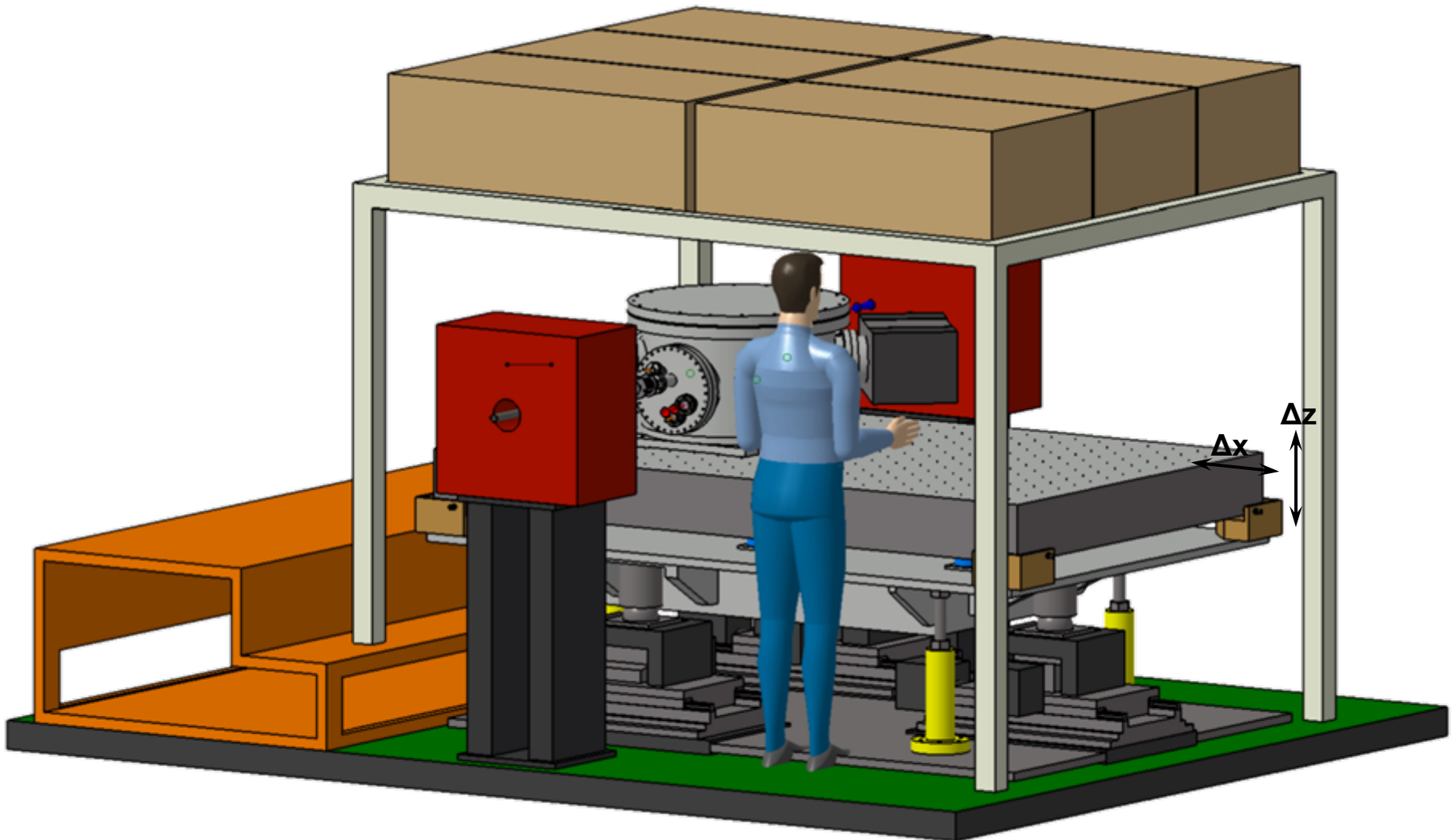
Mirror positioning system



Vacuum vessel for KEK



Implantation at ATF



Guy Wormser
11 may 2009

Bilan de l'effort au LAL

Principaux résultats obtenus :

- Cavité à deux miroirs (confocale) FINESSE = 30000.
- Record du monde, brevet déposé !!!
- Design d'une cavité 4 miroirs pour petit waist
- Réalisation d'un proto en CW. Waist à 20 microns
- Étude des effets de la polarisation sur le gain de la cavité. Choix de la configuration non planaire

le LAL devient un acteur majeur dans le développement de cette technologie. Naissance d'un programme Compton au LAL. ILC & CLIC sources de positrons polarisés et polarimétrie.

- Le LAL est intéressé aux applications à haut flux moyen (haut taux de répétition)
- Application à faible énergie pour les utilisations dans le médical et dans la préservation du patrimoine et l'histoire de l'art => Collaboration RadioThomX
- Financement ANR pour le laser de puissance. Projet MightyLASER.

Calendrier ThomX

- Mai 2009 : publication Avant projet Sommaire
- Juillet 2009 : Tour de table financeurs organisé par le ministère de la recherche – CNRS, CPER ILE, Région Aquitaine, Thalès, Ministère de la Culture,...
- Début 2010 : Avant projet détaillé
- Été 2010-Été 2012 : Construction
- Début 2013 : premiers tests

Accélération d'un faisceau externe d'électrons dans plusieurs cellules plasma

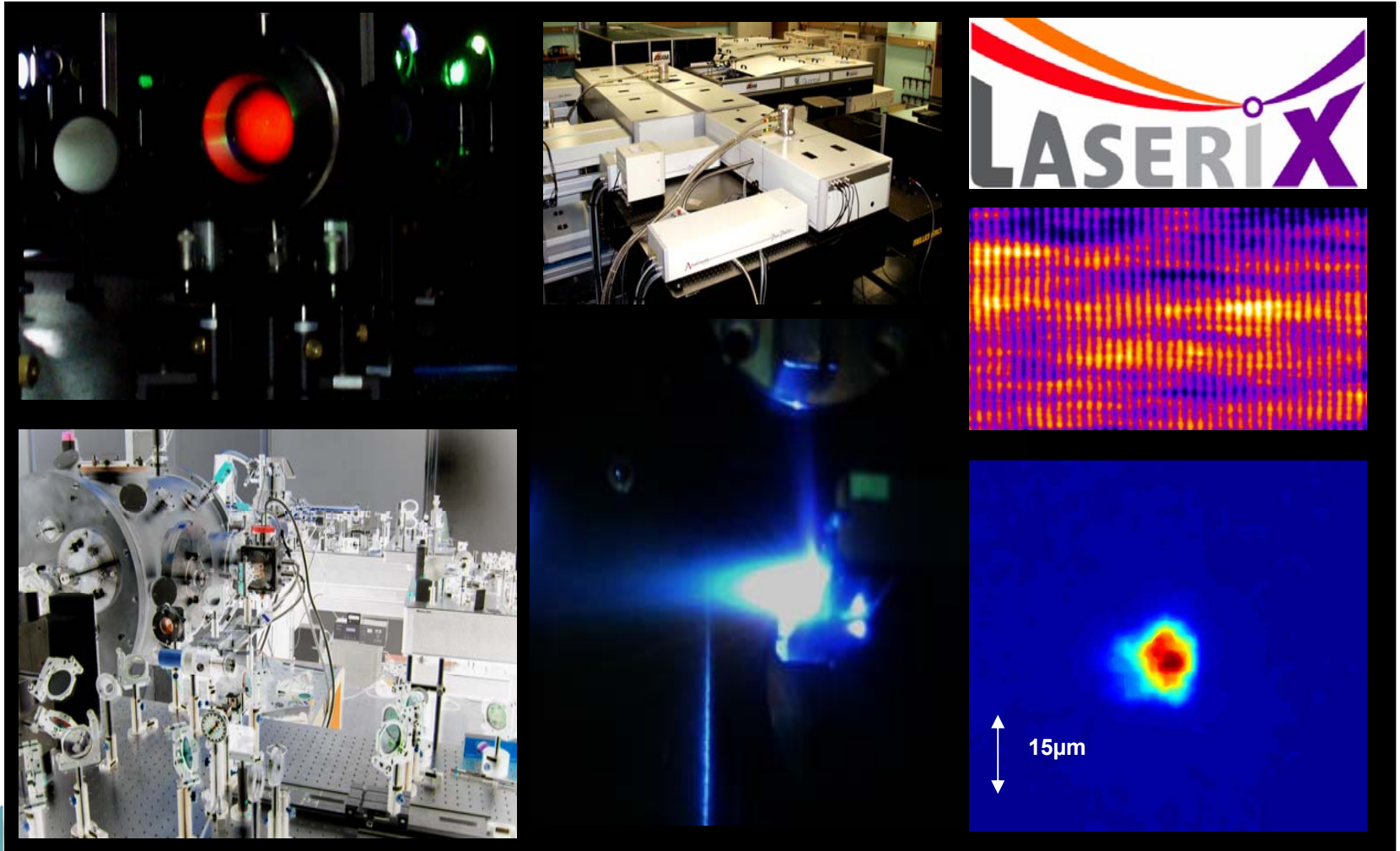
- Plusieurs groupes ont maintenant démontré de bons résultats d'accélération de faisceaux d'électrons dans une cellule plasma
 - En créant le faisceau d'électrons dans la cellule par un pulse laser (exemple V. Malka et al.)
 - En excitant la cellule par un faisceau d'électrons (SLAC)
- Projet proposé par B. Cros, D. Ros et al. :
- **Démontrer l'accélération dans DEUX (ou plus) cellules plasma**
 - Approche : faisceau d'électrons externe complémentaire de la démarche faisceau généré par laser
 - Se propose d'utiliser **LASERIX pour exciter les cellules plasma**
 - Le LAL fournira le faisceau d'électrons externe

LASERIX : un nouvel outil pour les utilisateurs de sources X intenses



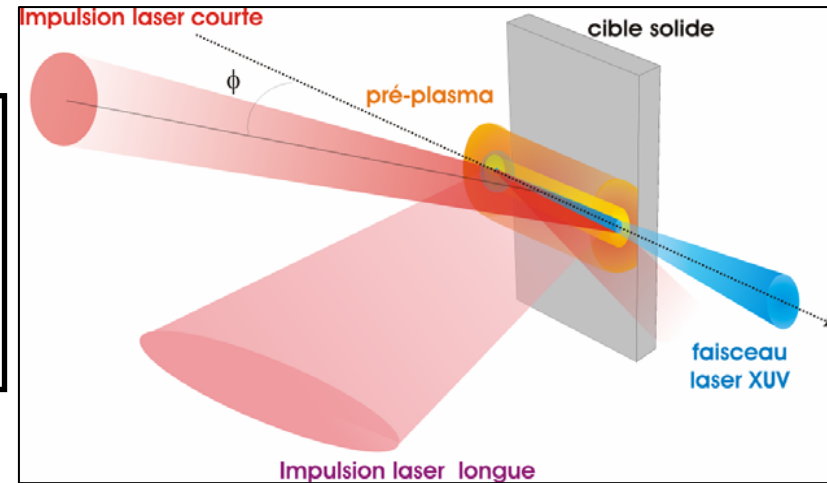
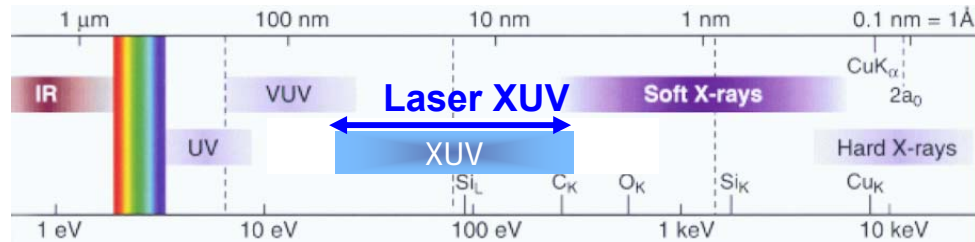
David Ros

LIXAM, Université Paris-Sud (Orsay)
Directeur de LASERIX



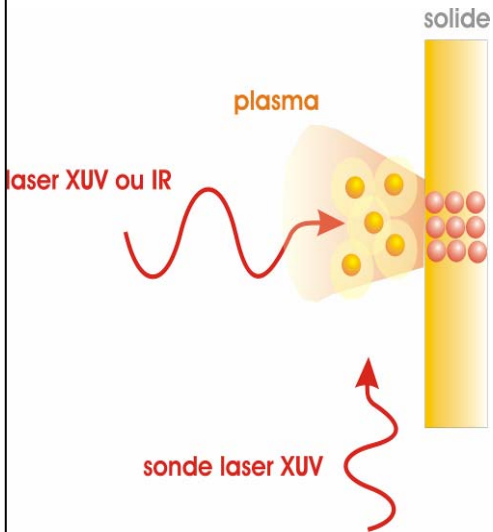
11 May 2009

Rayonnement XUV

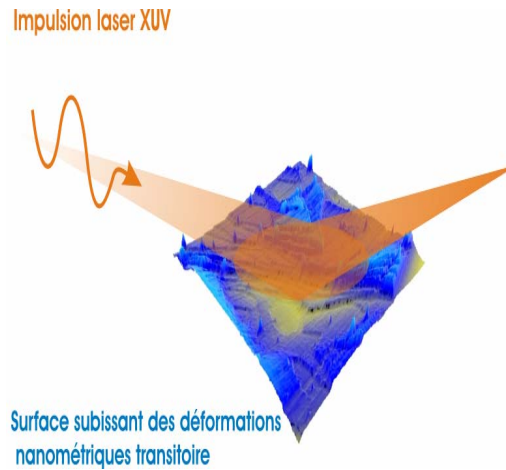


Applications

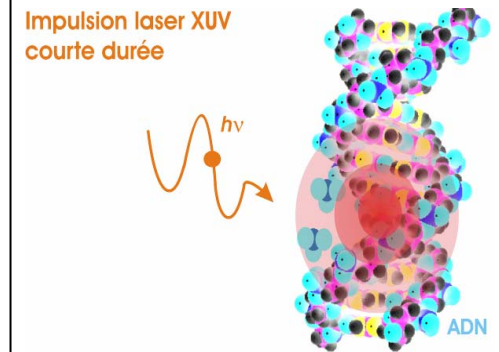
Physique des plasmas



Imagerie, holographie et interférométrie



Irradiation biologique



Evolution historique des sources laser XUV intenses

Lasers X-UV

Energie de pompe
4 kJ, 500 ps

400 J, 600 ps + prepulse
100J, 600 ps + prepulse

5J, 500 ps + 5J, 1 ps

1984

@ 10^{-5} Hz

1992-2002

@ 10^{-4} Hz

1997

@ 10^{-3} Hz

2000

**Financement du projet : 4,2 M€
(Lasers XUV TCE)**

Pompage nécessaire :
10 J, 500 ps + 10 J, 1 ps

2002

@ 0.1 Hz

Choix de la technologie
Ti:Sa

2004



500 mJ, 300 ps + 500mJ, 5 ps

2006

@ 10 Hz

- Validation technique
- Premières expériences

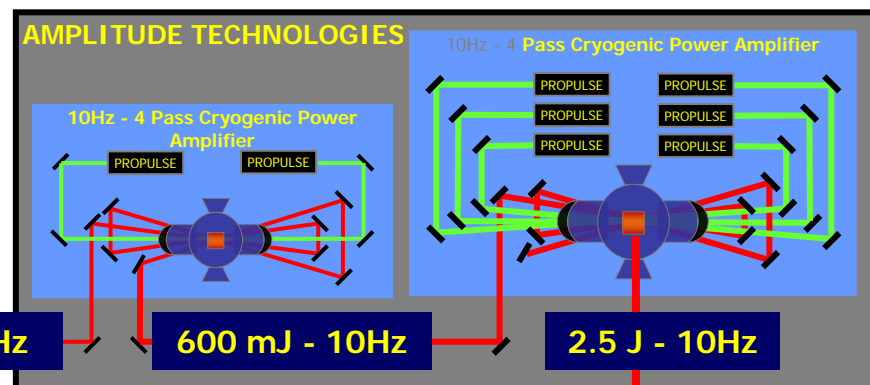
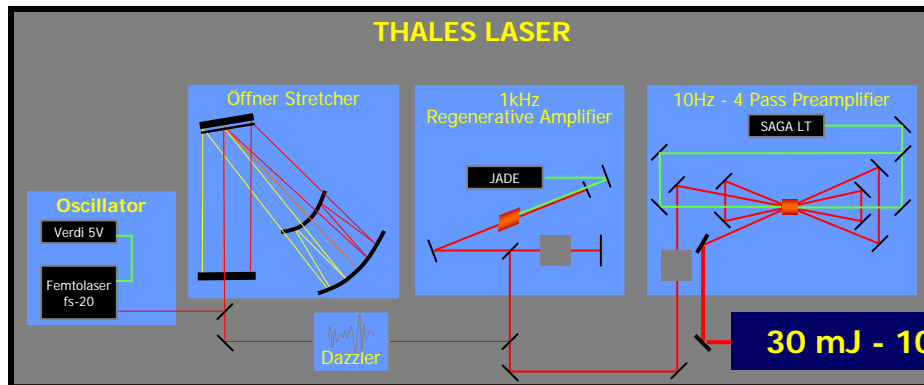
QSS

TCE

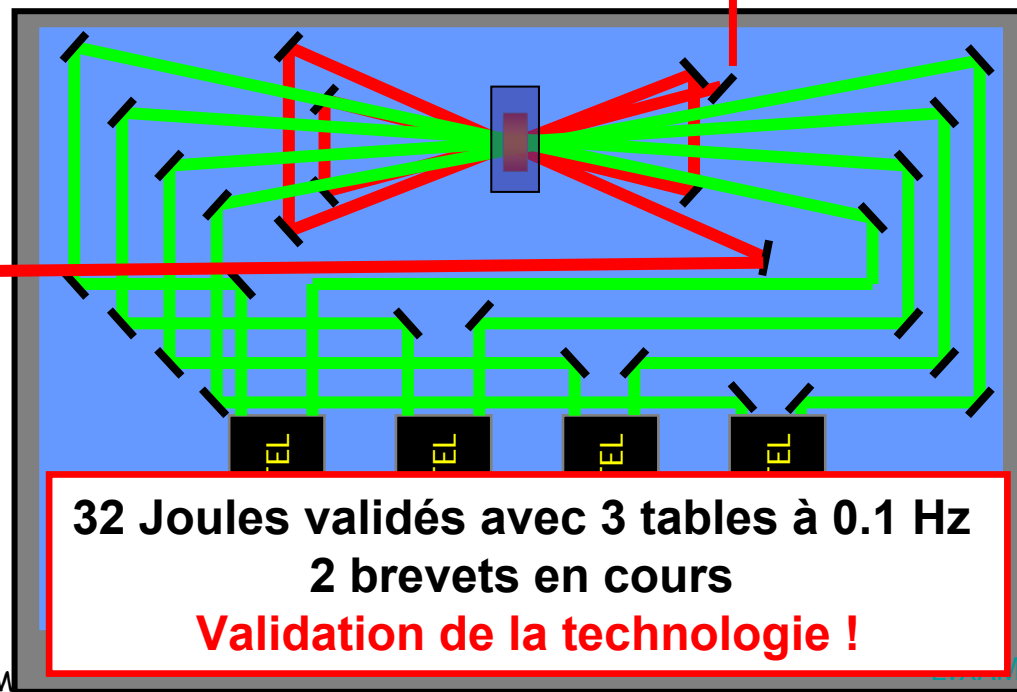
TCE
GRIP

Développements de sources XUV intenses et utilisation pour des expériences d'applications

- **Développement de sources XUV intenses (expériences de 30 ans)**
 - ✓ études de plasma chauds et denses créés par laser (entre 20 et 100 eV) (spectroscopie, diagnostics interférométriques et imageurs XUV)
 - ✓ simulations numériques (physique atomique, hydrodynamique, transfert radiatif, ...)
- **Démonstration de l'intérêt pour les applications en physique**
 - ✓ irradiation de la matière (ADN, fluorescence de cristaux, ...)
 - ✓ sonder la matière par interférométrie XUV (plasmas créés par laser, surfaces sous champ électrique ou laser,...)



40 J
0.1Hz



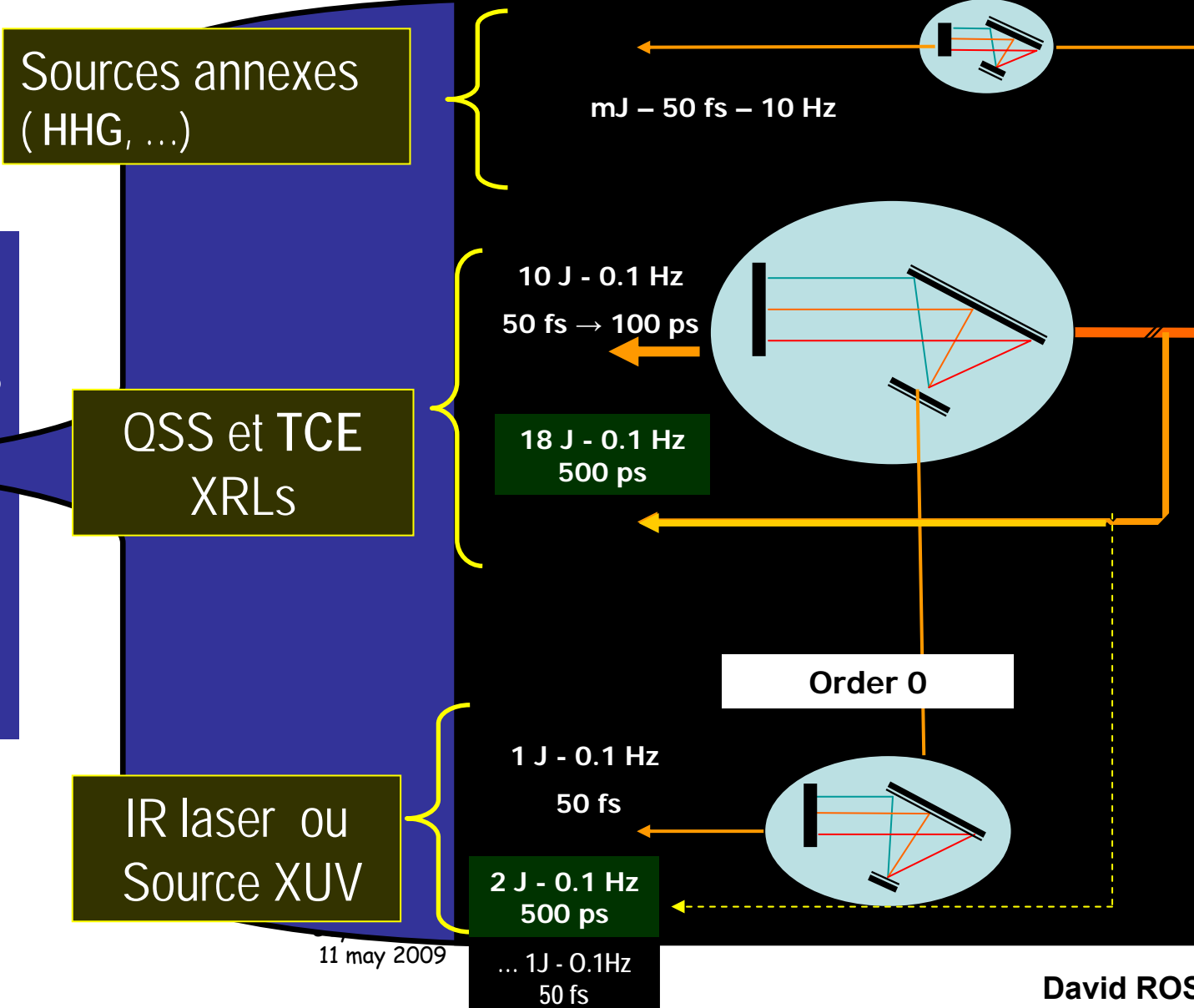
Guy W...
may 2009

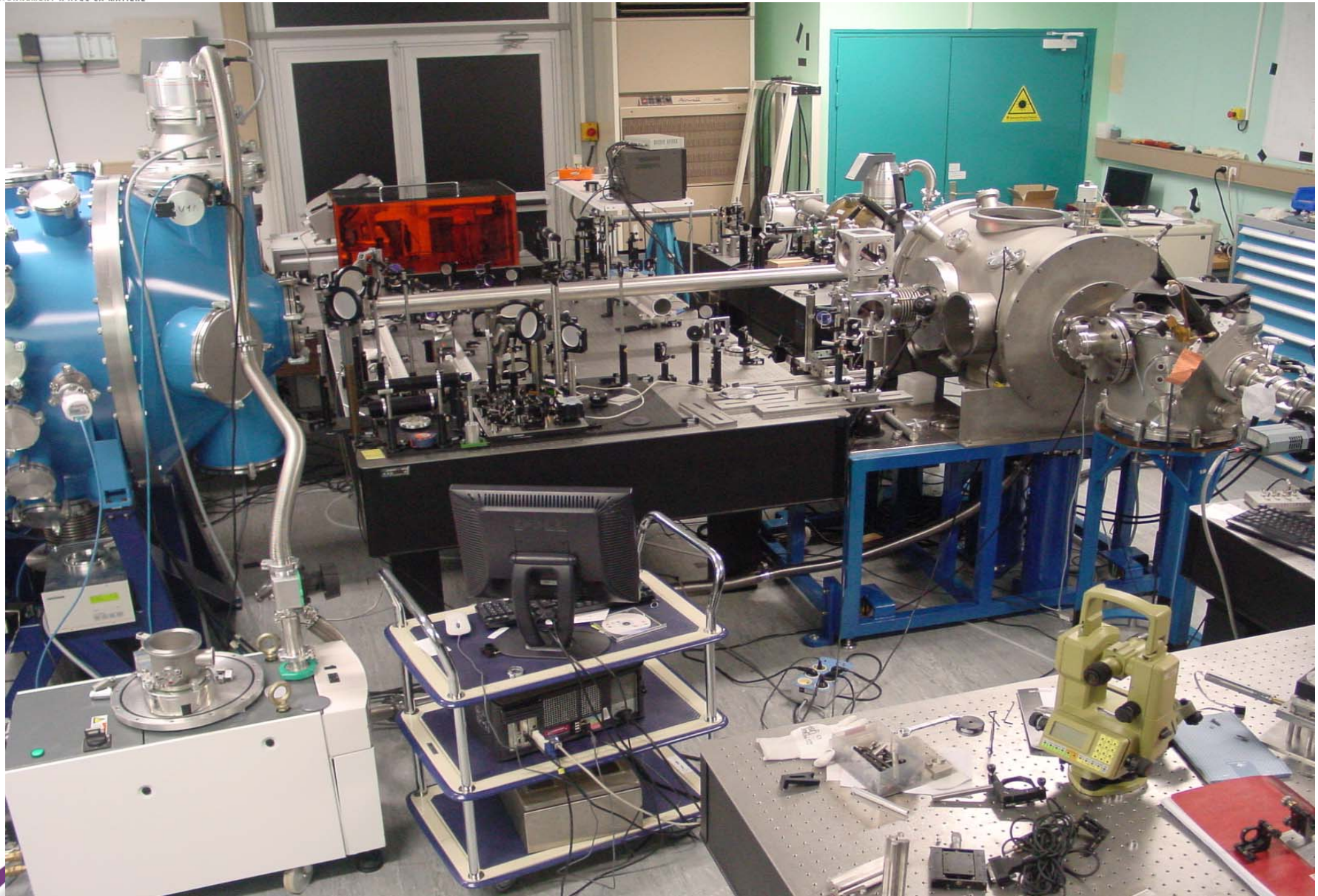
Cristal du dernier étage d'amplification

Potentiel scientifique de LASERIX



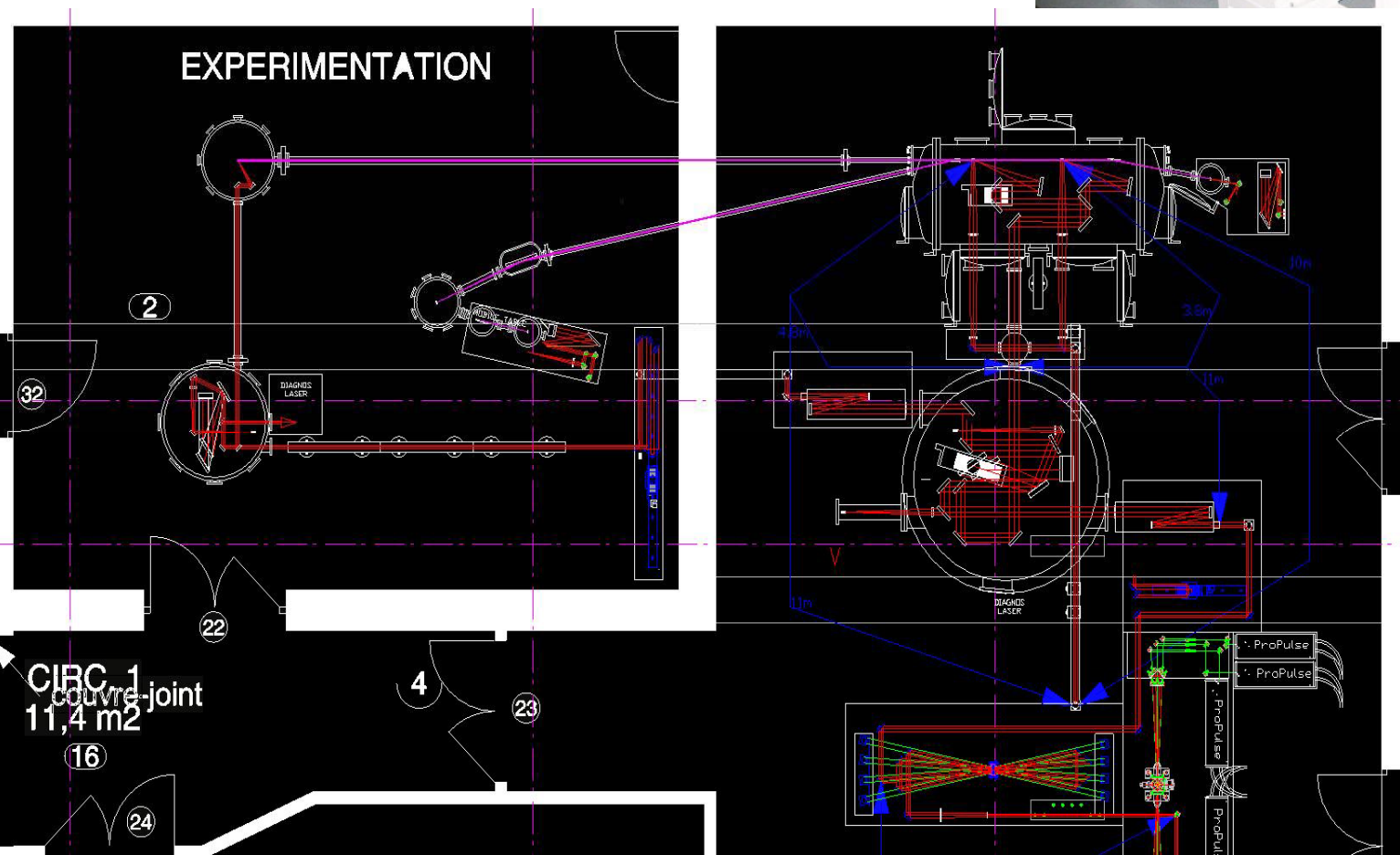
Expériences
Pompe-sonde
@ 0.1 Hz !





11 may 2009

Perspectives dans le bâtiment P



➤ Mise à la disposition de la communauté de sources XUV LASERIX/CLUPS

- ✓ lasers XUV (régime μ Joules) et harmoniques à une cadence de 10Hz
- ✓ lasers XUV (mJ) à une cadence de 0.1 Hz
- ✓ utilisation des sources XUV pour irradiation (0.1 Hz ou 10 Hz)
- ✓ utilisation des sources XUV pour imagerie et pompe/sonde (0.1 Hz)

➤ Poursuite des recherches de prospectives

- ✓ Développement de sources laser à plus courte longueur d'onde (100-250 eV)

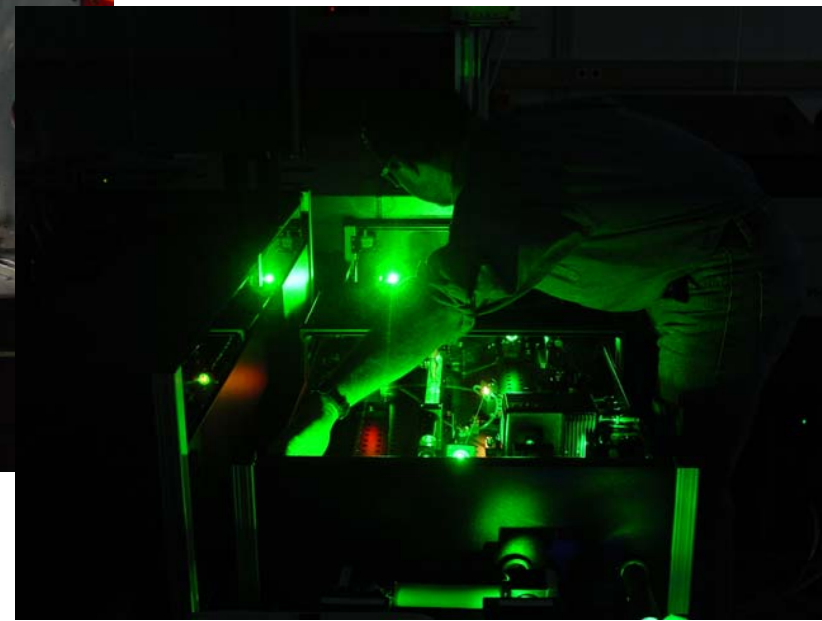
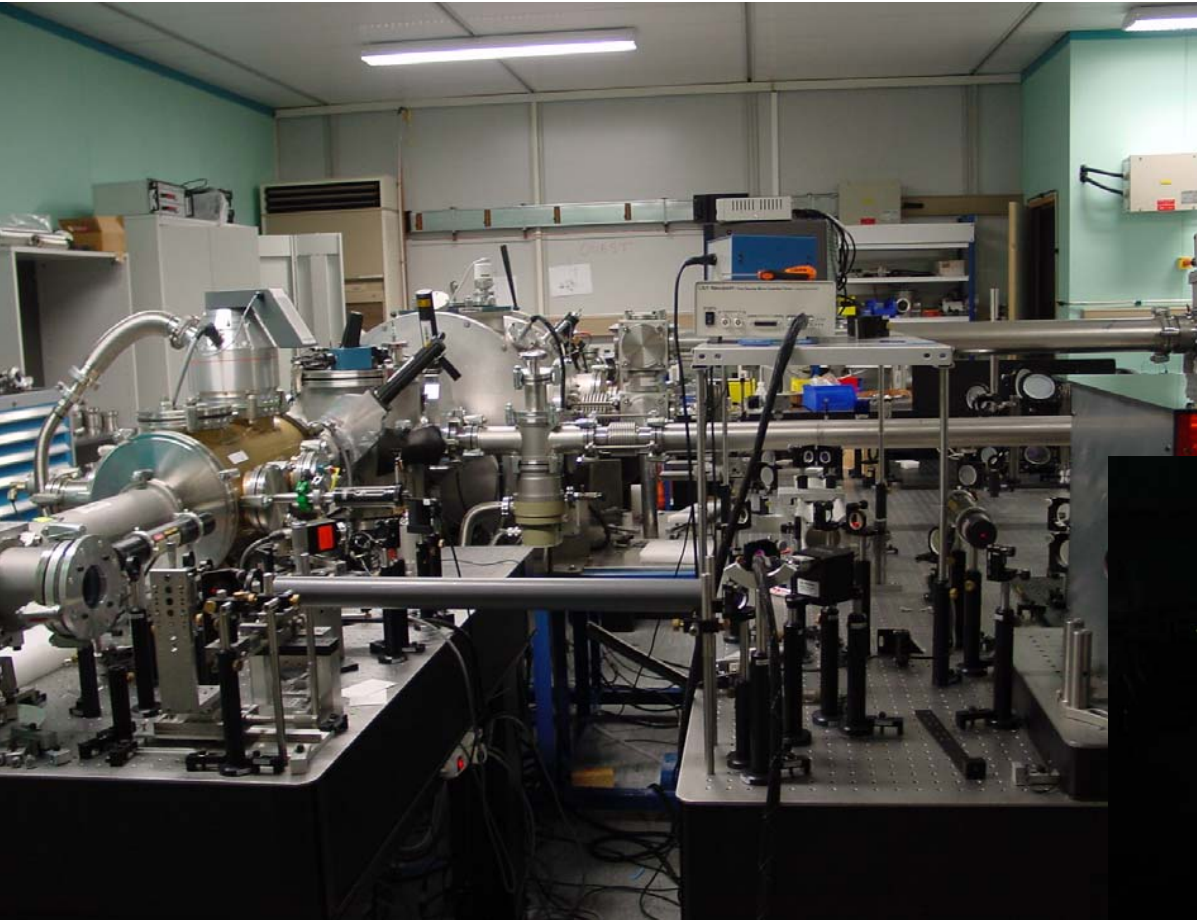
- **Amélioration du laser de pompe basé sur Ti:Sa**
 - ✓ énergie, stabilité et contraste
 - ✓ travaux sur les cristaux doubleurs : LBO

- **Utilisation de LASERIX**
 - ✓ travail de développements des sources XUV
 - ✓ accueil d'utilisateurs extérieurs pour des expériences d'application

- **Utilisation du laser de pompe « amélioré »**
 - ✓ accélération d'électrons par laser
 - ✓ expériences pompe/sonde

L'installation LASERIX, le projet CLAPS

Un nouvel outil pour le développement et les applications des sources XUV,
Un projet d'accélérateur laser-plasma
À l'UPS



Les acteurs

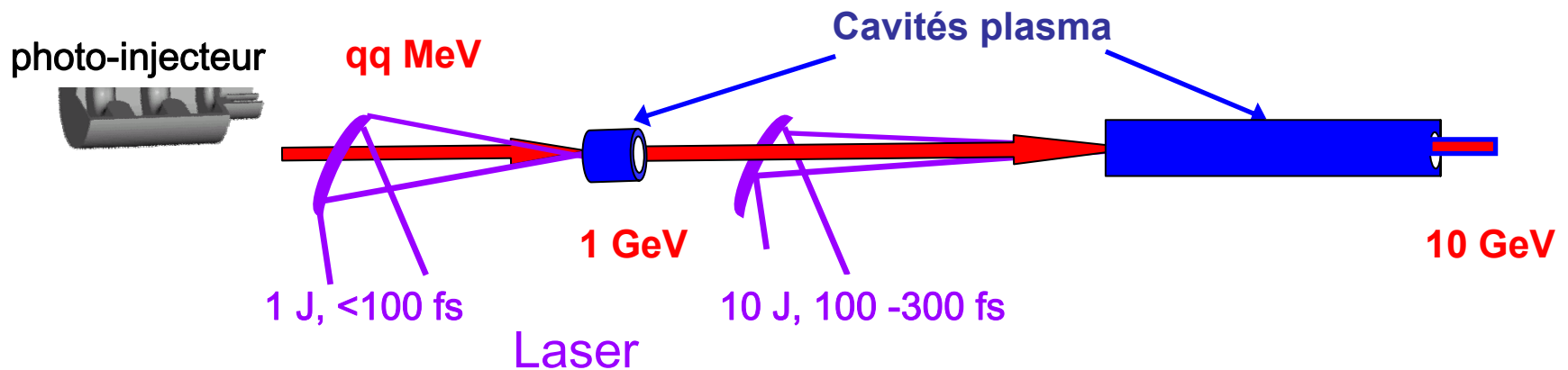
- **Le LAL** dir G. Wormser
- **La station LASERIX** dir. D. Ros ,
rattachée au Centre Laser de
l'Université Paris Sud (CLUPS)
- **Le LPGP**: Laboratoire de Physique des
Gaz et des Plasmas, CNRS -UPS –
Orsay, Equipe Interaction et Transport de
Faisceaux Intenses dans les Plasmas (ITFIP),
Resp. B. Cros

Guy Wormser
11 may 2009

Objectifs généraux

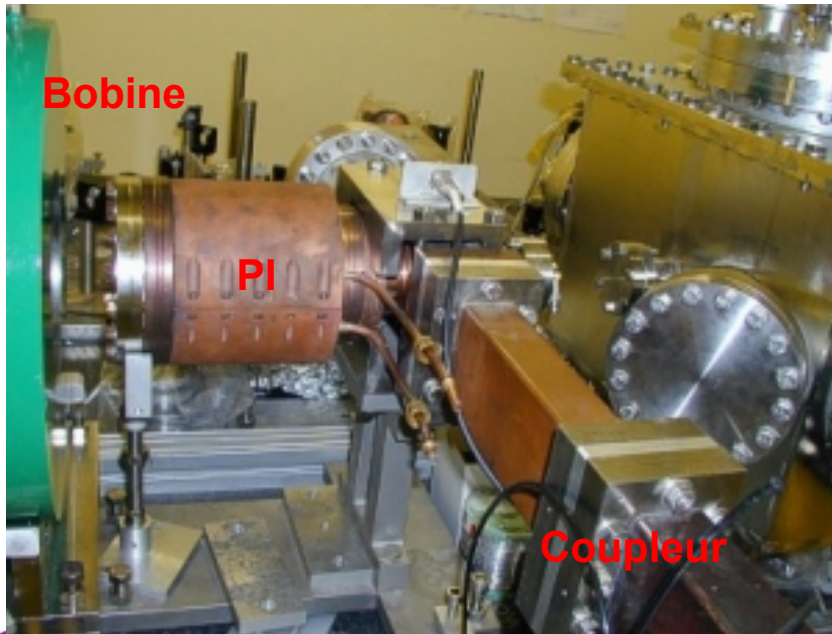
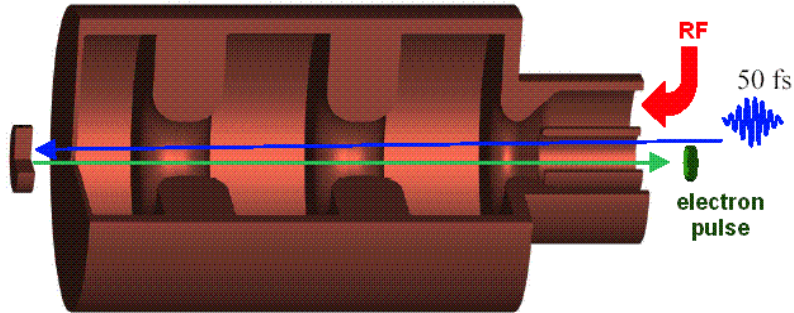
- Démontrer expérimentalement **un schéma d'accélérateur linéaire** original à fort gradient,
- dont le principe permettra dans le futur
 - la montée en énergie des électrons
 - l'augmentation de la cadence et du rendement avec l'évolution des lasers
- Faire travailler ensemble les communautés accélérateur et laser plasma sur un projet nécessitant des compétences complémentaires

Le schéma choisi vise à contrôler le processus d'accélération



- Éléments de contrôle du processus d'accélération:
 - Source d'électrons extérieure au plasma
 - Accélération linéaire par sillage laser
 - Guidage de laser intense
 - Montée en énergie sur plusieurs étages

Le photo-injecteur RF



- **Expertise LAL**
- Source d'électrons de basse énergie <math><10\text{ MeV}</math>
- Avantages:
 - Contrôlable
 - Reproductible
 - Versatile: durée, structure temporelle, polarisation

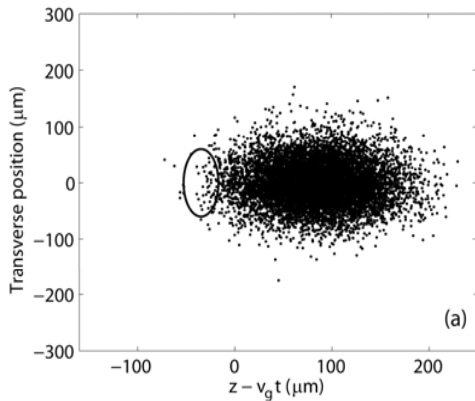
Photo-injecteur construit par le LAL et Guy Wormser
installé à l'U. de Strathclyde 11 may 2009

Injection des électrons en avant de l'impulsion laser

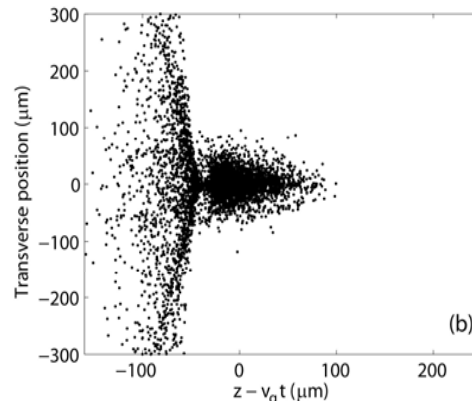
- Le schéma choisi consiste, pour le premier étage, à injecter des électrons plus lents que le laser en avant de l'impulsion laser
- Ce schéma permet une compression du paquet d'électrons lors de la traversée de l'impulsion laser dans le plasma et une auto-synchronisation avec la phase accélératrice de l'onde de plasma

Exemple de simulation par Khachatryan et al.

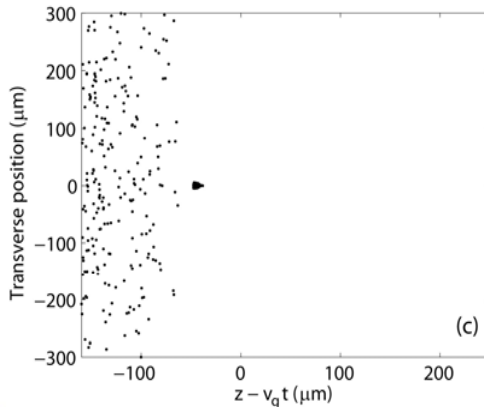
0 cm



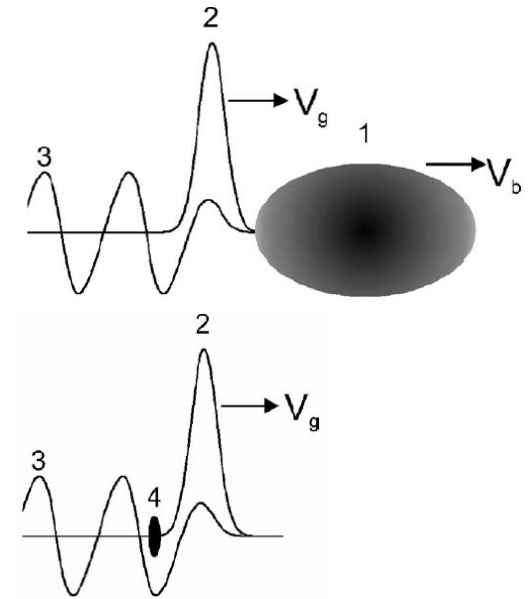
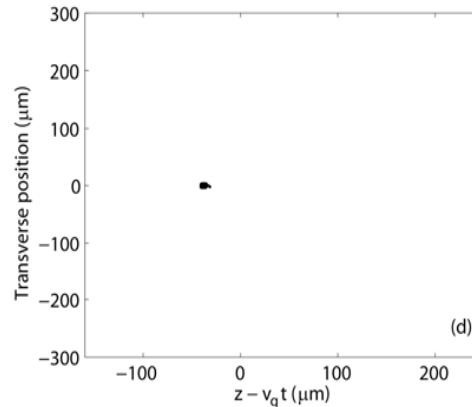
1 cm



2.5 cm



5 cm



Scénario montrant le piégeage, la compression et l'accélération du paquet d'électrons dans l'onde à différentes positions dans le plasma (0 à 5 cm) - (U. Twente)

Milieu accélérateur

- Régime « linéaire » du sillage laser résonant
 - Intensité intermédiaire $< 10^{18} \text{ W.cm}^{-2}$
 - Injection externe des électrons
 - Basse densité électronique
 - Extension de l'énergie des e- accélérés par guidage et multi-étages

Le guidage dans un tube capillaire a été démontré

Transmission en énergie 93%

Puissance incidente 24TW,
(37 fs, 0.9J)
Intensité max $9 \cdot 10^{17} \text{W cm}^{-2}$
vide

Sortie capillaire
 $L = 81.7 \text{mm}$, $2r = 150 \mu\text{m}$
Intensité max $1.6 \cdot 10^{18} \text{W cm}^{-2}$
30 mbar H2



L'onde de plasma mesurée sur l'installation du
Lund Laser Center en 2008 correspond à 5 GV/m

Guy Wormser
11 may 2009

En résumé

- Ce projet d'accélérateur laser plasma, utilisant deux faisceaux du laser infrarouge de la station LASERIX permettra de mettre en oeuvre un schéma à plusieurs étages
- En réunissant des éléments déjà testés
- Et en s'attaquant à des défis ambitieux comme le transport et la synchronisation du faisceau d'électrons entre les deux étages plasma.

L'hôtel



Le bâtiment 206

Vue aérienne du LAL

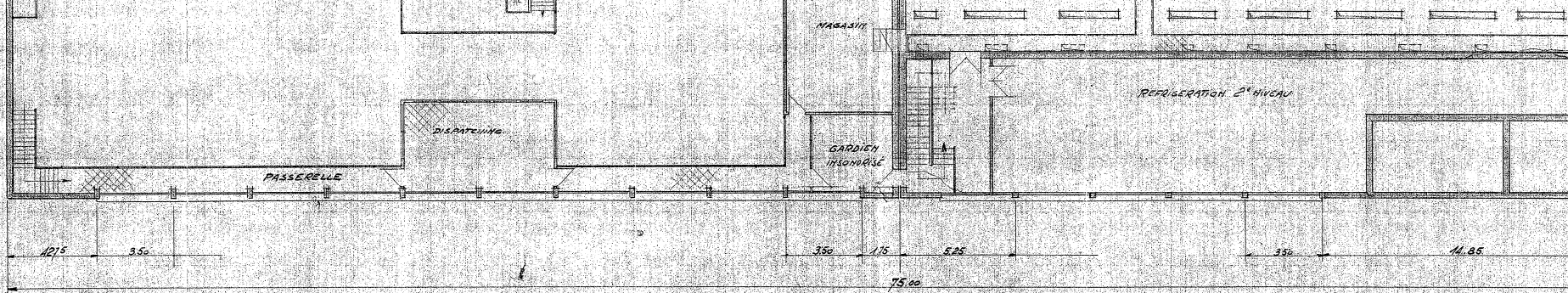
Amphi P. Lehmann

L'igloo

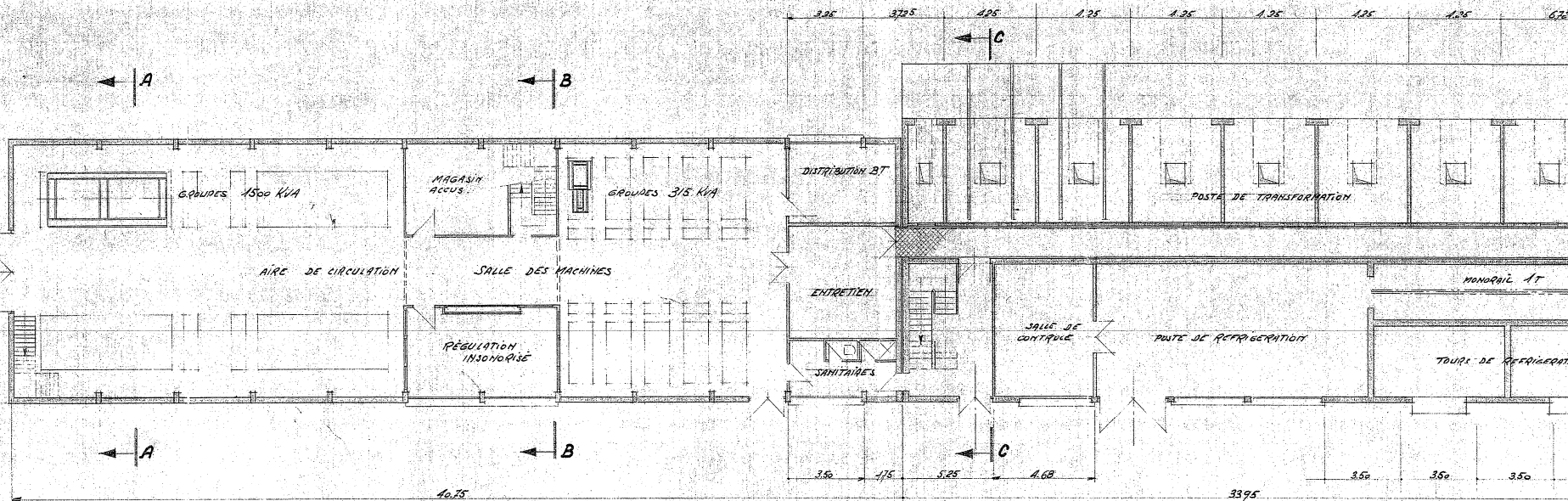
L'ancien Linac

Bâtiment 206

- Surface SHON 2156 m²
- Taille Hall 12x50 m²
- Plusieurs salles de contrôle (100 m²)
- Hauteur sous plafond de 9 m
- Etudes en cours : vibrations, résistance sol,...



2^e NIVEAU



Stratégie Plan Campus

- Inscription dans la Phase 1 du Plan Campus:
 - Remise à niveau du Bâtiment 206 (1 M€)
 - Electricité, eau, chauffage, éclairage, sécurité
 - Construction de la première « chambre » pour construction et tests du prototype ThomX (1,8 M€)
 - Blindage, salle propre laser
 - Coût de la machine ThomX (5M€) hors Plan Campus
 - Construction de la deuxième chambre soit dans le Bâtiment 206 soit dans le bâtiment P' à l'ENSTA (7,9 M€ y compris coût de l'accélérateur)

Financements Plan Campus

- Remise en état bâtiment 206 : 1 M€
 - Coût de la chambre RadiothomX : 1 M€
 - Contrôle commande-sécurité : 0,1 M€
 - Salle propre laser 0,25 M€
 - Radioprotection ThomX : 0,25 ME
 - Actions valorisation, Grand public, étudiants : 0,2 M€
 - Coût total première chambre : 2, 8 M€
- Machine ThomX (Hors Plan Campus) 5 M€

- (Fonctionnement : 0,3 M€ par an
 - Coût deuxième chambre (dans le scénario BAt 206 ou bâtiment P' mais sans le coût de construction du Bâtiment P'):
 - salle blanche 0,25 M€
 - Radioprotection; 0,75 M€
 - Equipements liés au laser : 2,1 M€
 - Equipements liés aux électrons : 1,8 M€
 - accélérateur proprement dit 3 M€
-
- Coût total deuxième chambre: 7,9 M€

Bâtiment 206 ou Bâtiment P'

- A « moyen » terme, la meilleure implantation pour l'accélération laser+accélérateur devrait être le bâtiment P'
- Mais bâtiment P' encore inexistant, autres activités prévues dans ce bâtiment
- Avantages du bâtiment 206: prêt immédiatement, investissement première chambre...
- Garder toutes les options ouvertes

Conclusions

- Les couplages entre lasers et accélérateurs sont un passage incontournable pour les outils que la physique nous réclame pour demain
- Profiter de l'expertise unique existant sur le plateau et dans la vallée
- Deux projets pluridisciplinaires très ambitieux
- Un grand bâtiment vide
- Le Plan Campus une opportunité fantastique pour faire de tout cela une réalité très rapidement