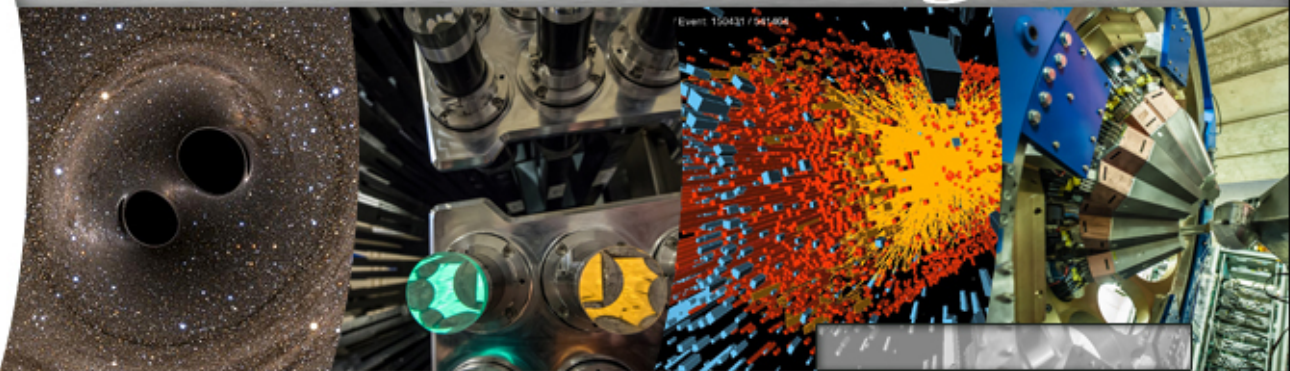


Des Accélérateurs dans la Vallée d'Orsay

60 ans IPN Orsay/LAL



IN2P3

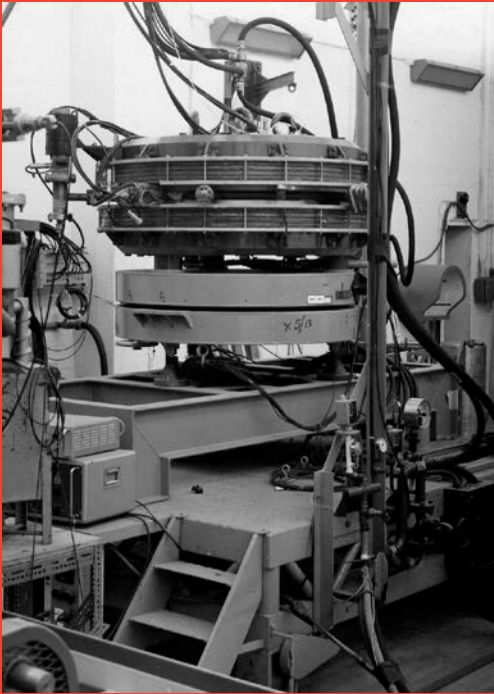


Accélérateirement Vôtre...



Des accélérateurs au cœur des premiers pas scientifiques...

LAL
LABORATOIRE
DE L'ACCELERATEUR
LINEAIRE



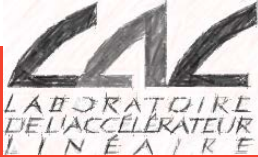
1955: 1ere manip avec le linéaire
Puis 1962: AdA au LAL
et premières collisions e^+ / e^-
avec le linéaire comme source

IPN
INSTITUT DE PHYSIQUE NUCLEAIRE
ORSAY



1957: Synchrocyclotron
(160 MeV)

Des accélérateurs au cœur du développement scientifique...



Puis...

ACO (~1962)

DCI (1976)

Ainsi que la participation aux études et à la construction d'accélérateurs dans le monde



Puis...

C.E.V. (1966)

Le Linac RF (1970)

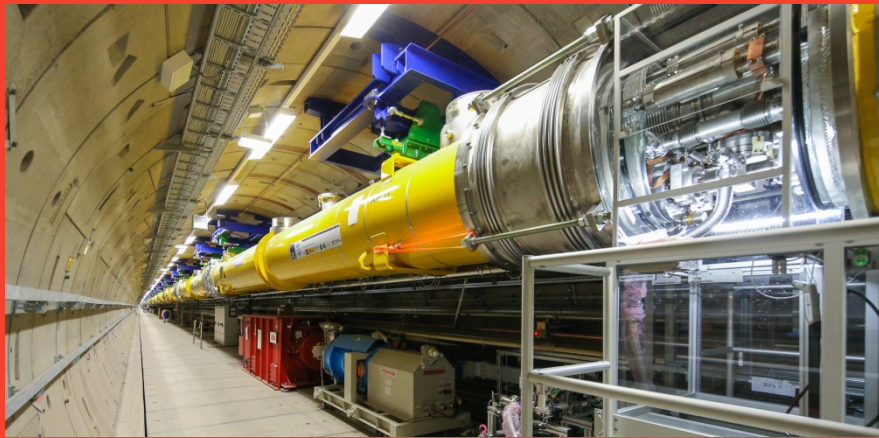
... les 2 couplés formant Alice

Tandem (1972)

AGOR (cyclo supra) en 1994

Ainsi que la participation aux études et à la construction d'accélérateurs dans le monde

... se prolonge en contribuant aux grandes machines internationales !



2016: XFEL
Coupleurs de puissance



2016: ESS
(section spoke, SRF)

Toutes les activités et la R&D menée au sein du LAL et de l'IPN ayant une activité « Accélérateurs » sont guidées par les objectifs suivants:

- ✓ Augmentation d'énergie
- ✓ Augmentation d'intensité/luminosité
- ✓ Meilleure efficacité
- ✓ Meilleure fiabilité
- ✓ Diffusion des technologies/connaissances accélérateurs (application des accélérateurs, valorisation, enseignement)

=> De ces objectifs sont issus tous les défis en matière de sciences et technologies des accélérateurs

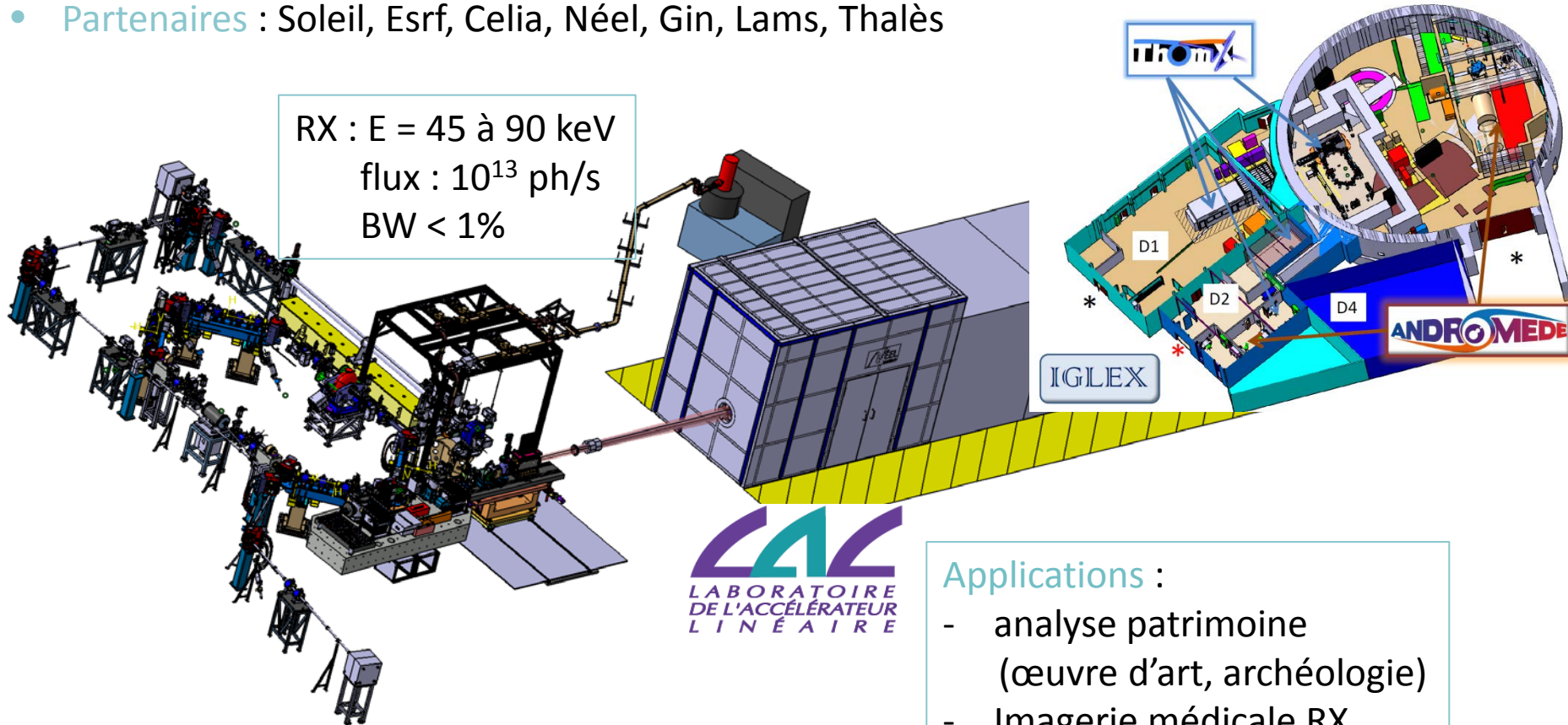
- les hauts gradients accélérateurs (supra RF, CLIC-CTF3, accélération laser-plasma)
- les hautes intensités de faisceau (couplé aux besoins de très haute fiabilité)
- la haute luminosité qui impose un contrôle et un pilotage du faisceau avec une précision diabolique !
- R&D très en amont des constructions de machines

Les grands projets actuels du LAL et de l'IPNO sur les accélérateurs

Thom-X: source compacte de rayons-X basée sur la retrodiffusion compton

- **Financement** : ANR –Equipex +In2p3+Sesame +CPER Bâtiment (IGLEX)
- **Partenaires** : Soleil, Esrf, Celia, Néel, Gin, Lams, Thalès

RX : $E = 45 \text{ à } 90 \text{ keV}$
flux : 10^{13} ph/s
BW < 1%



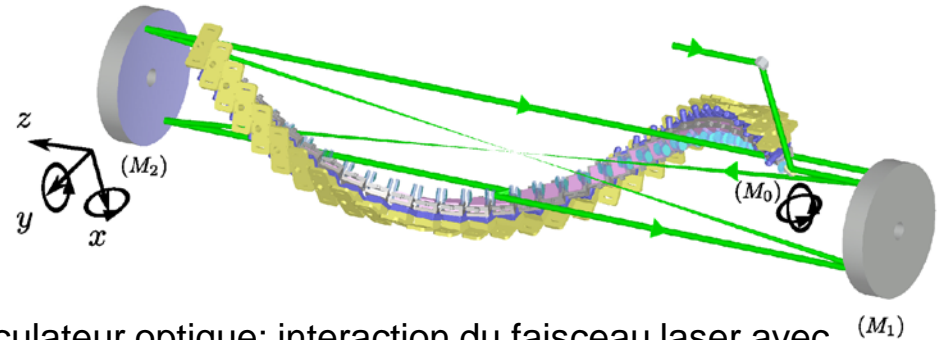
LAL
LABORATOIRE
DE L'ACCELERATEUR
LINEAIRE

Applications :

- analyse patrimoine (œuvre d'art, archéologie)
- Imagerie médicale RX
- Cristallographie
- radiothérapie

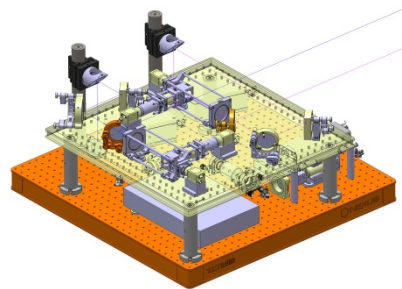
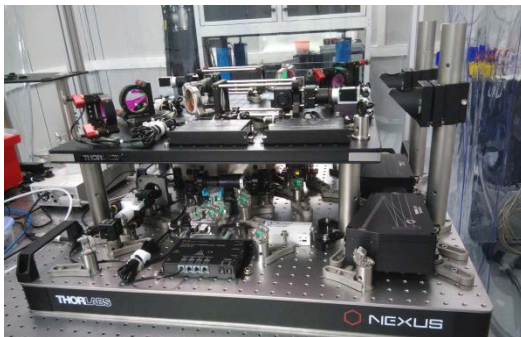
Défis technologiques : Laser interaction+cavité optique
Défis physiques : dynamique faisceau dans anneau
→ Industrialisation possible

Contribution à ELI-NP (en construction en Roumanie, fonds FEDER): ELI-NP-GS: source de rayons gamma à très haute brillance spectrale



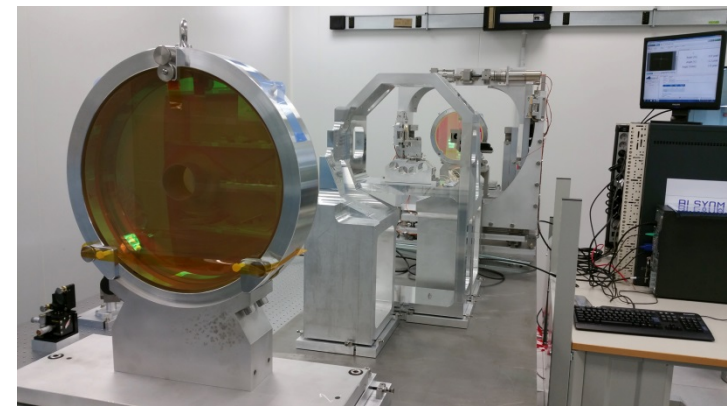
Circulateur optique: interaction du faisceau laser avec les 32 paquets d'électrons, 100 fois par seconde !

Système laser synchronisation et alignement
précision de la syncho <100fs !



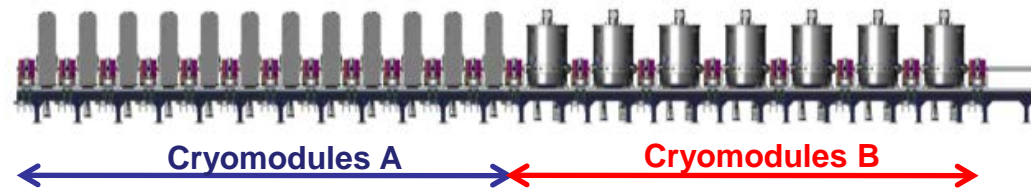
prototype circulateur 12 passages

- assemblage en cours
- integration pair de miroirs



Spiral-2

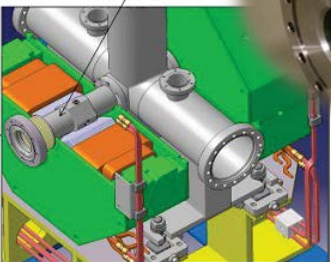
La contribution majeure dans ce domaine de l'accélération « froide » **est la prise en charge de la conception, fabrication, préparation et tests** de la moitié de l'accélérateur de Spiral-2: les 7 cryomodules haute énergie.



Egalement: Conception et fourniture de l'ensemble des BPMs de la machine

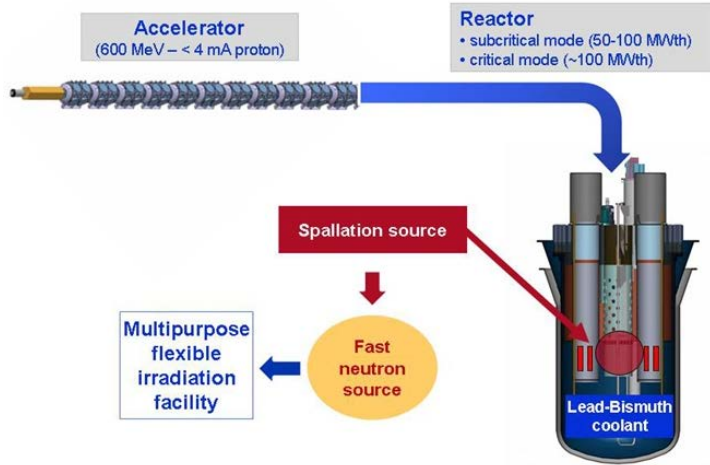


BPM



Un accélérateur pour incinérer les déchets nucléaires

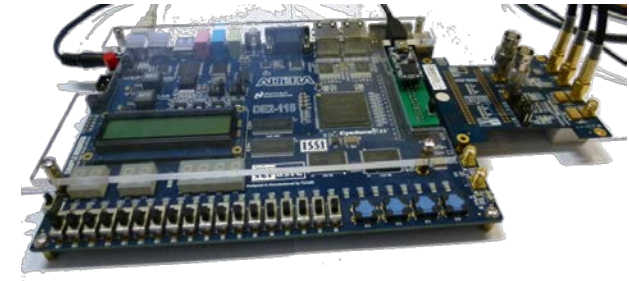
MYRRHA: projet d' ADS (retraitement déchets nucléaires) 600 MeV, > 3 MW de faisceau, 1000 M€ de budget total. Actuellement en phase de R&D intensive. L'IPNO est le contributeur majeur depuis ~2003 sur l'étude de l'accélérateur de Myrrha.



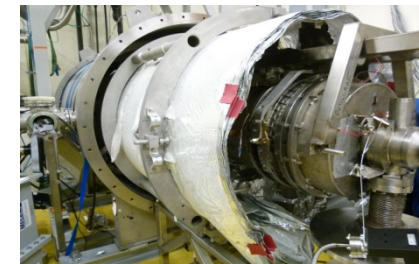
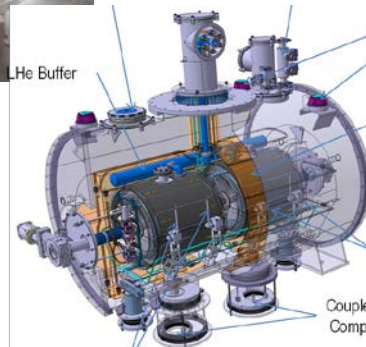
Prototype de cavité spoke (2016)



Bas niveau RF digital pour l'asservissement des cavités



Etude et test de cryomodules prototypes

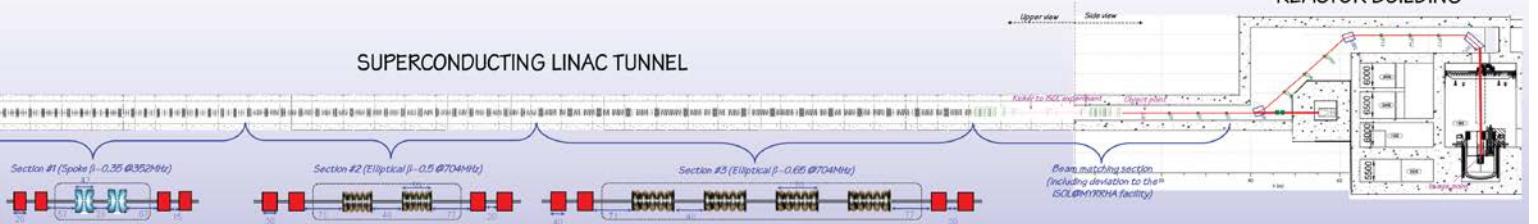


INJECTOR BUILDING

SUPERCONDUCTING LINAC TUNNEL

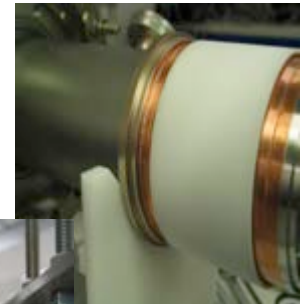
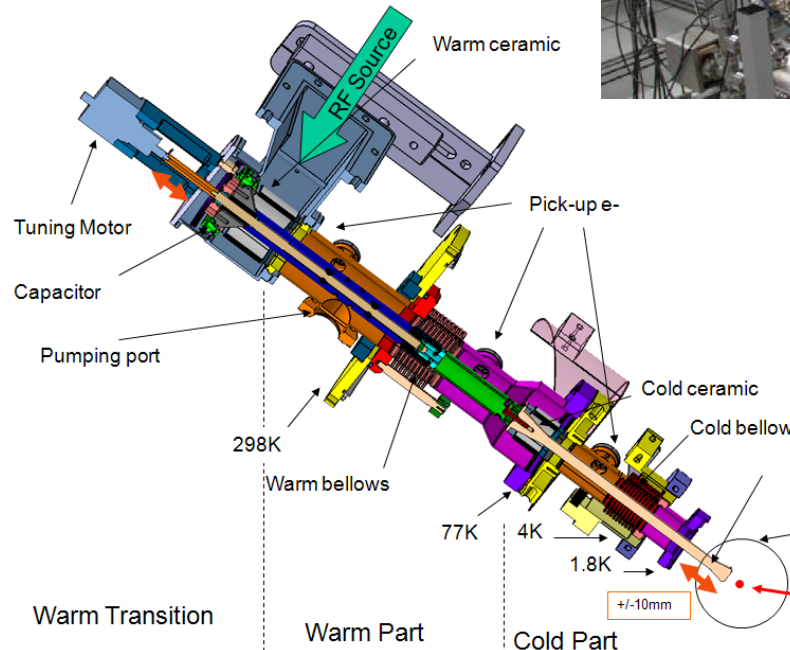
REACTOR BUILDING

Schéma de Myrrha



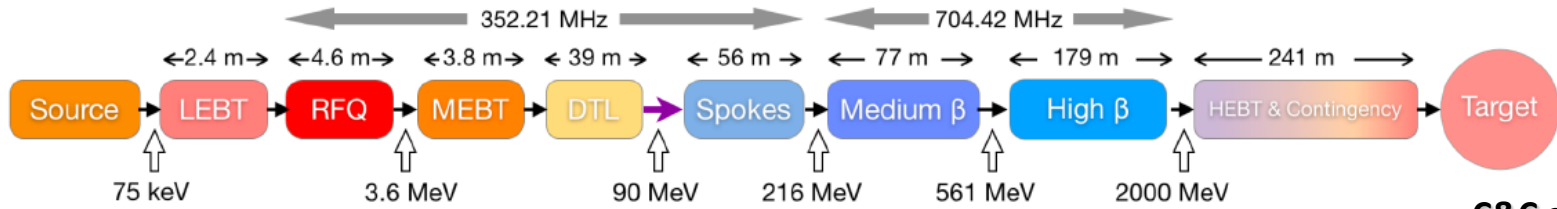
La contribution à X-FEL

E-XFEL: construction à DESY (Hambourg). Le LAL contribue fortement avec la fourniture (industrialisation, suivi de fabrication, préparation et conditionnement) des 800 coupleurs de puissance alimentant en RF les cavités supra.

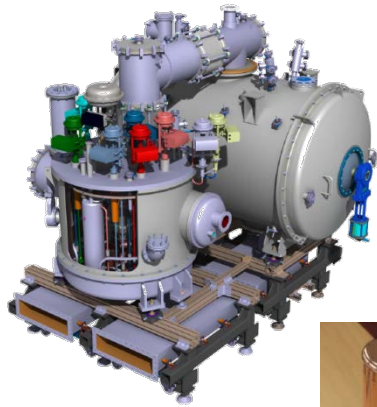


European Spallation Source : ESS

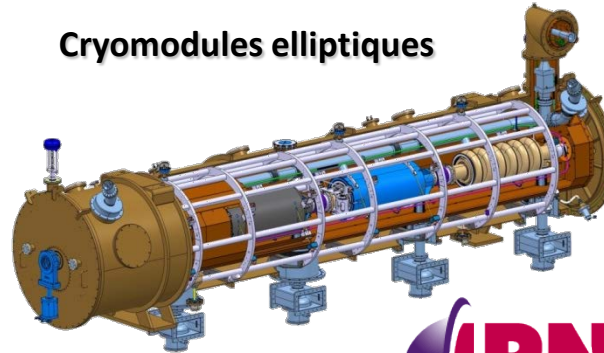
ESS: Source de neutrons de spallation en construction à Lund (Sw): 5 MW, linac protons de 2 GeV. L'IPNO y contribue fortement et visiblement: conception & fourniture de l'intégralité des 13 cryomodules spoke (innovation majeure) et de leur boîte de distribution cryogénique, conception des enceintes à vide et des circuits cryogéniques des cryomodules elliptiques, C&C cryo de tout le linac supra ! Jalon majeur: 1ers protons en 2019...



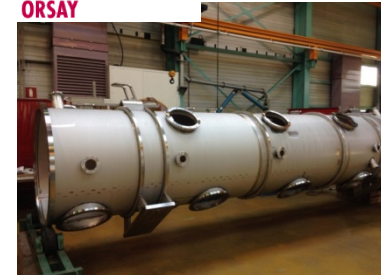
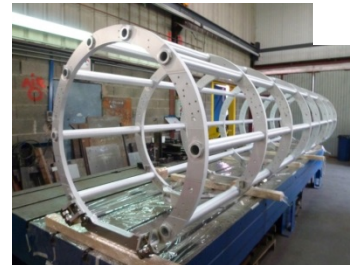
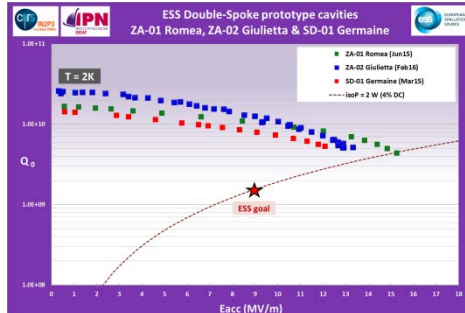
Cryomodules spoke



Cryomodules elliptiques



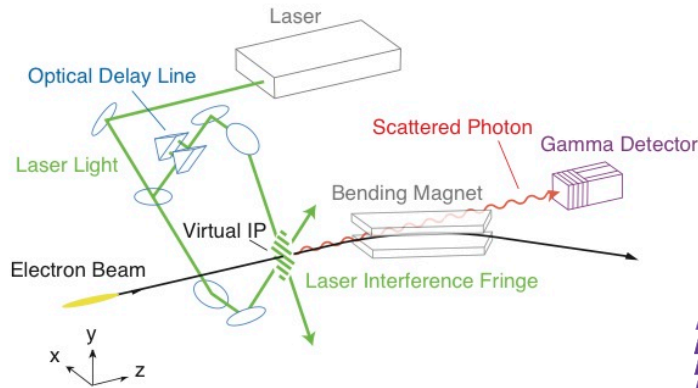
C&C cryogénique



Les grandes activités de R&D accélérateur “amont”

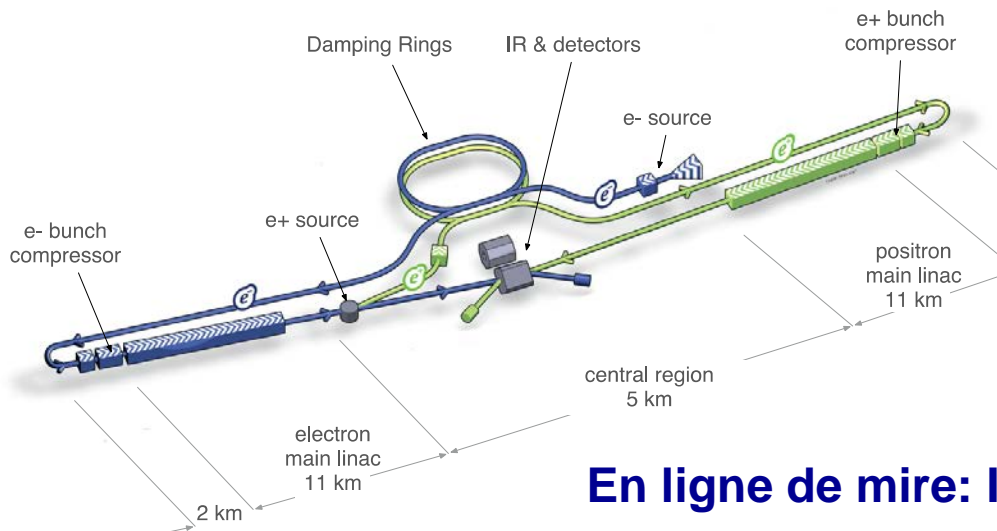
Vers les très hautes luminosités: les nano-faisceaux: dimensions de qqs dizaines de nm et stabilité du point de focalisation de 1-2 nm !

Système optique basé sur une correction locale des aberrations chromatiques

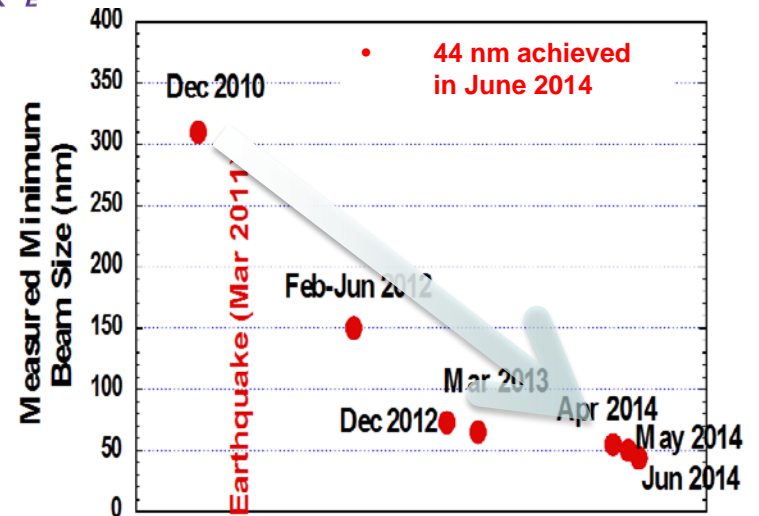


Accelerator Test Facility (ATF2, KEK, Japon)

Energy: 1.3 GeV
 Repetition: 3.12 Hz
 Intensity: $1-2 \times 10^{10}$ e-/bunch
 1~20 bunches/pulse
 Design emittance:
 1 nm(H) / 10 pm(V), *Achieved 4 pm(V)*



En ligne de mire: ILC

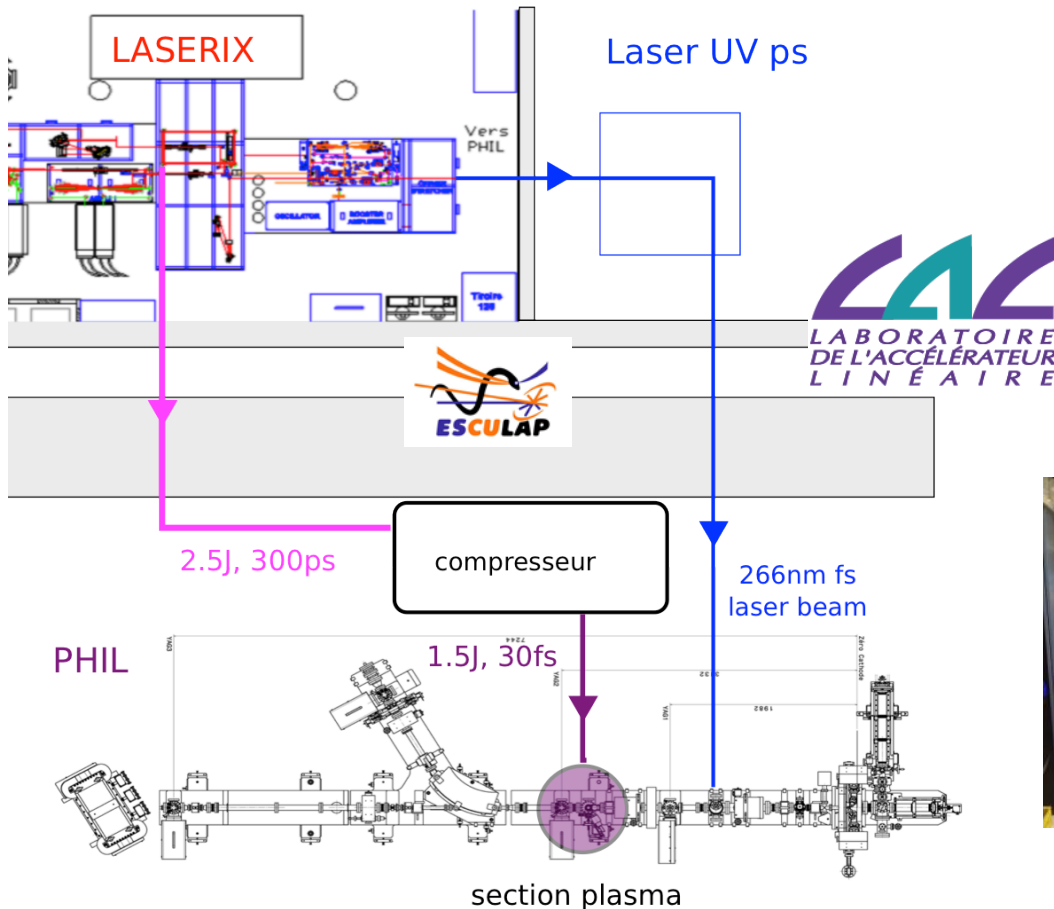


Presented by K.Kubo at IPAC2014

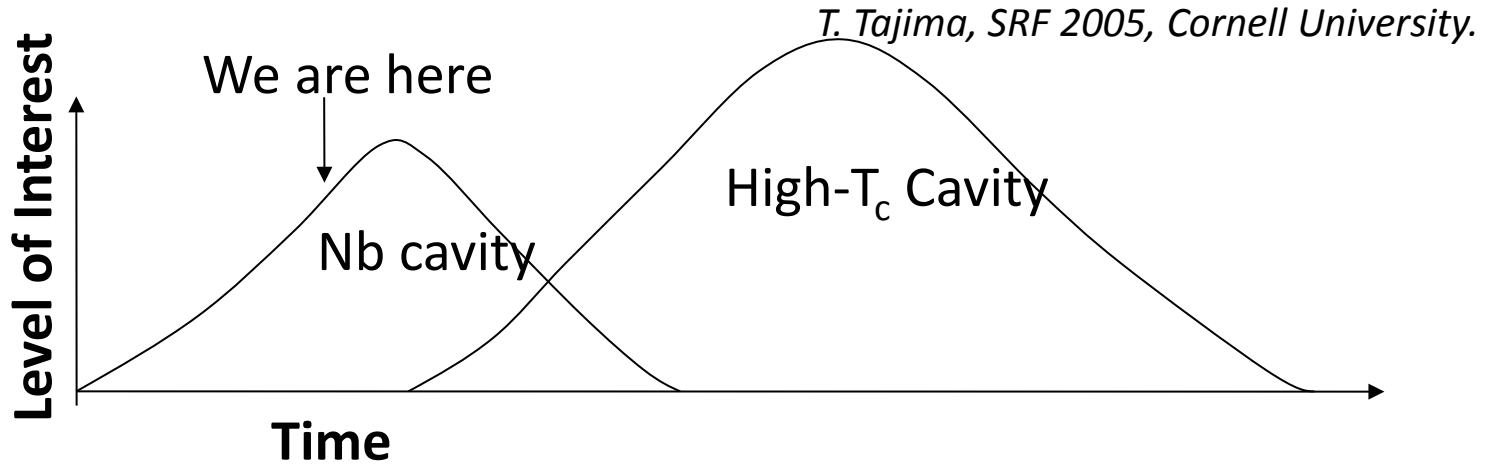
Préparation du futur: La R&D sur l'accélération laser plasma

Opportunités: Un laser de puissance à côté du photo-injecteur PHIL.

- PHIL: Photo-injecteur e-, 5 MeV (10 MeV fin 2017), jusqu'à 1nC de charge
- Laserix: 50 TW, 2 Joules 35 fs.
- Physiciens de trois communautés (laser, plasma, accélérateurs) sur un même site

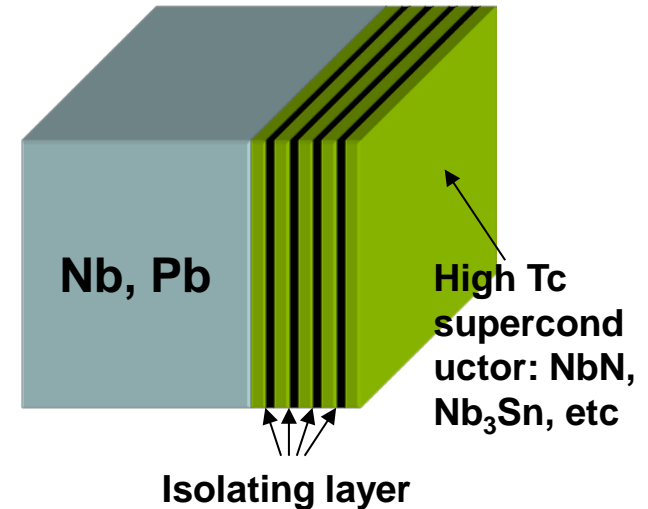


- Nouveaux matériaux supraconducteurs alternatifs au niobium
- Couches minces pour performances supra accrues



Différents types de matériaux sont à l'étude

- MgB2 : $T_c=40$ K, $H_{c2}(0\text{ K})= 3,5$ T
- Matériau de type A-15



Les plateformes accélérateurs du LAL et de l'IPNO (et au-delà...)

Un atout majeur: des plateformes technologiques de pointe

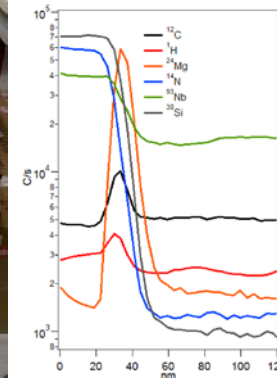
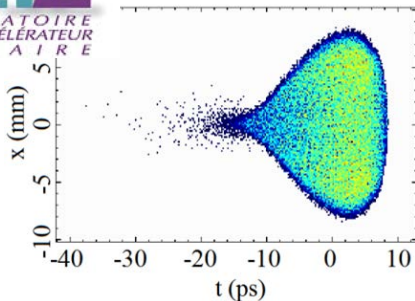
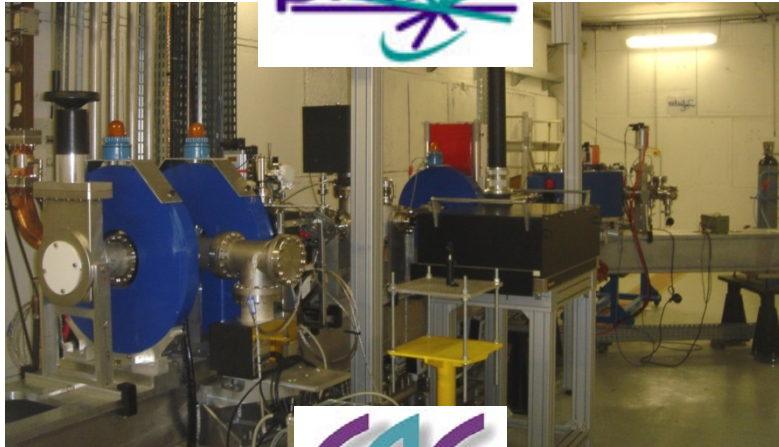
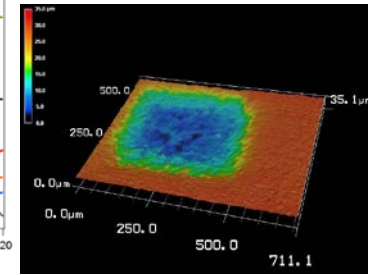


Figure 2: Detail of near surface region of oxygen primary ion depth profile.



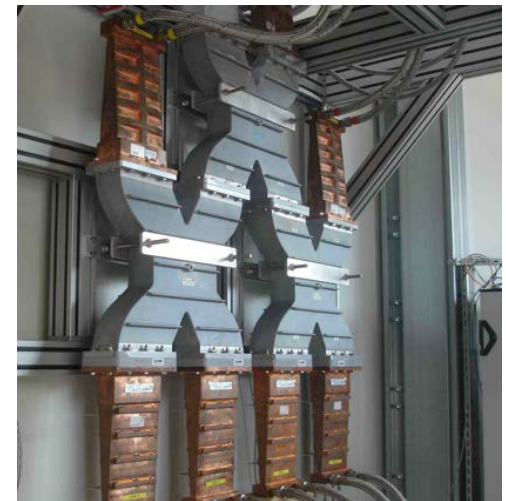
Plateforme d'ANalyse et de cAractérisation de Matériau pour les Accélérateurs

Plateforme mutualisée regroupant des outils de pointe pour l'analyse et la caractérisation des surfaces.

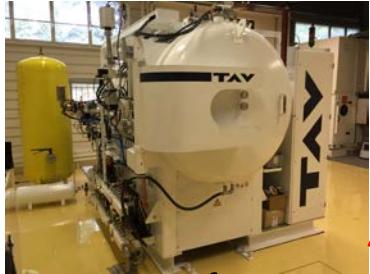
Accélérateur d'électrons de basse énergie basé sur un photo-injecteur (canon RF et laser pico-seconde)
Dédié à la R&D des sources d'électrons de faible durée

Les plateformes technologiques accélérateurs

Salle blanche 70 m² ISO5 (Classe 100) pour les 800 coupleurs de puissance de E-XFEL et bancs RF de puissance pour le conditionnement



Les plateformes technologiques accélérateurs



Vacuum furnace



ISO 4 clean room



Cryogenic test hall



Assembly hall



Helium pumping system



Chemical etching lab



Helium gas recovery & compression



400 kW water cooling production



352 MHz RF Source



Les plateformes technologiques accélérateurs

Hall de tests cryogéniques



Liquéfacteur d'Hélium
70 litres/heure

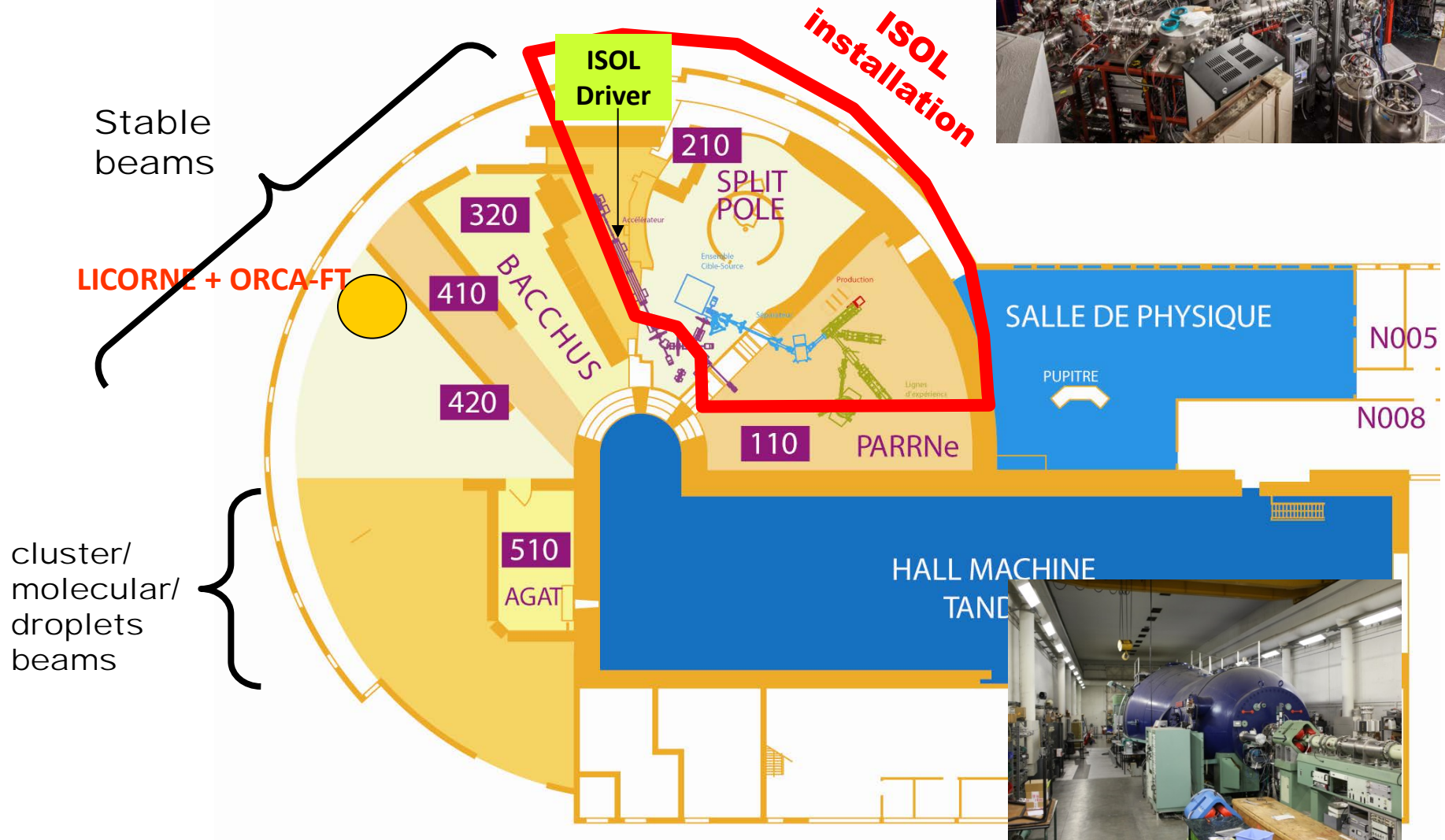
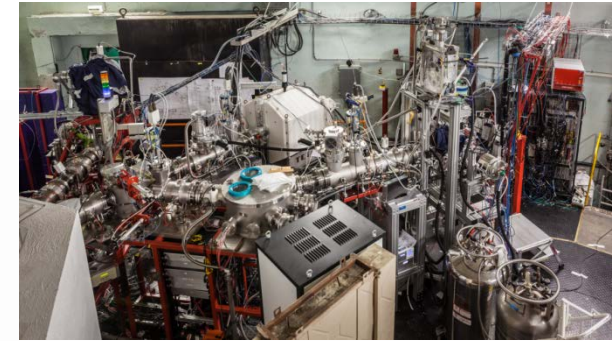


Banc de calibration des capteurs de
température cryogénique



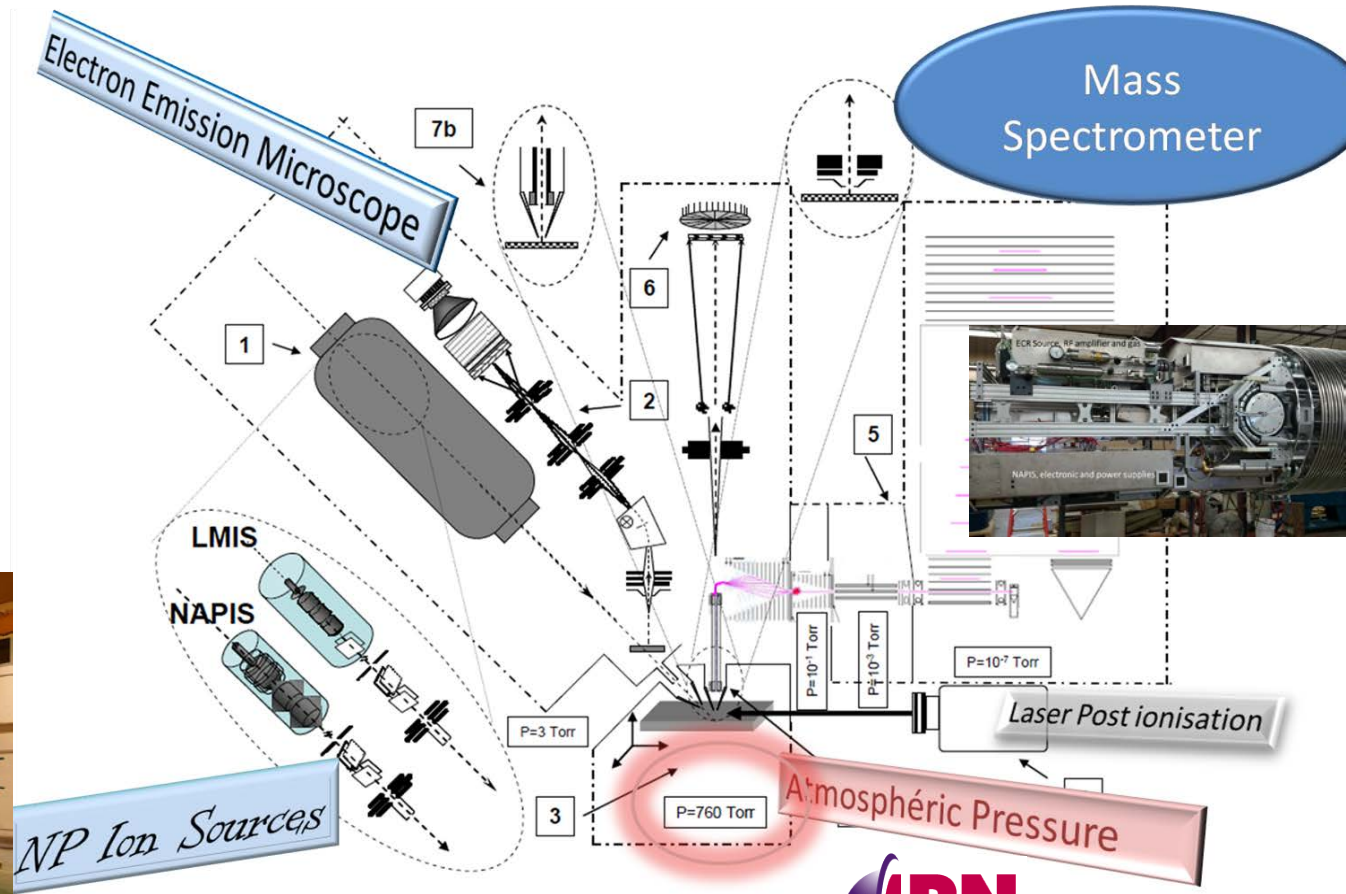
ALTO: faisceaux pour la physique nucléaire

ALTO: 3800 heures de faisceau par an dont 600 pour la production de faisceaux exotiques, 250 utilisateurs



Analyse de surface basée sur la spectroscopie de masse avec des nano-particules et résolution spatiale ~ 100 nm !

- Sous vide
- À des pressions proches de la pression atmosphérique

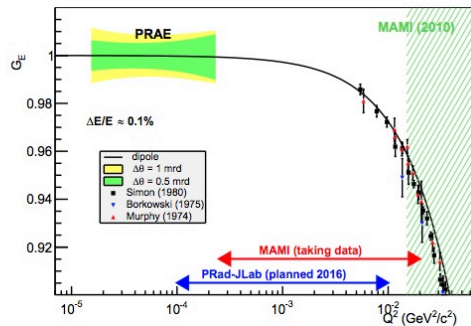


PRAE

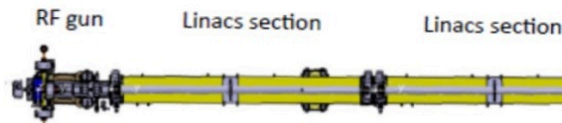
Platform for Research and Applications with Electrons

S. Barsuk, A. Faus-Golfe, B. Genolini, Y. Prezado, E. Voutier et al.

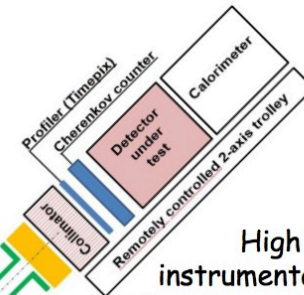
PRAE → Multidisciplinary facility for R&D&A in Physics, Instrumentation, Radiotherapy.



High-gradient traveling wave cavities
S-band, 3 GHz, 65 MV/m

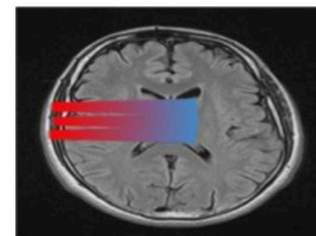


10 ps bunch, 50 Hz
 $Q \leq 2$ nC/bunch (polarized)
 $E \leq 140$ (300) MeV



High energy instrumentation platform down to mono-electron beam

eHGRT



High energy electron grid therapy

Un avenir bien tracé et très excitant !

- **Une base solide:**
 - Une force de frappe importante (~ 130 personnes dédiées)
 - Une expertise large et des compétences acquises sur des grands projets et réalisations
 - Des plateformes technologiques de pointe
- **Une reconnaissance internationale**
 - contributions majeures (passées, en cours et à venir) à des grandes réalisations européennes ou internationales
 - des expertises très pointues, parfois uniques
 - un programme de R&D amont pour se préparer à l'après-demain
- ... et surtout une collaboration entre le LAL et l'IPNO, certes assez récente, mais très prometteuse et à n'en pas douter très fructueuse à l'avenir !