



# Institut national de physique nucléaire et de physique des particules



Sonder les infinis : des particules au cosmos

**GDR SCiPAC : Sciences for Particle Accelerators**

*Arnaud Lucotte, 13-DEC-2023*

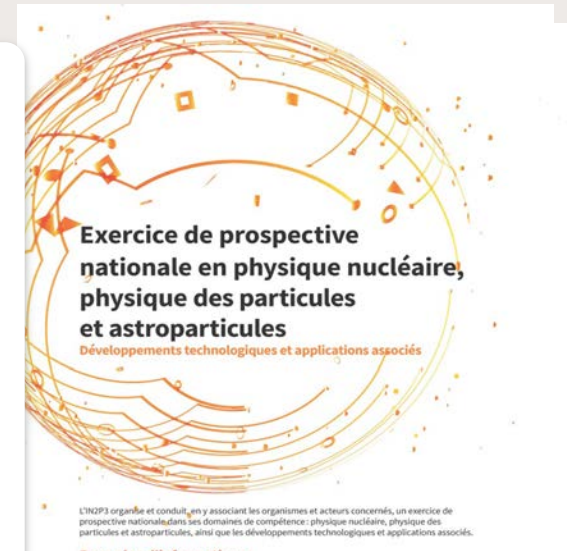
# Le contexte « physique des accélérateurs » à l'IN2P3

Accélérateurs et R&D associées

# La stratégie de l'IN2P3

## Les perspectives de l'IN2P3

- ❖ Des « sciences drivers » bien définis par domaine
  - *Prospectives scientifiques/métiers, sécurisation finances, RH*
- ❖ Une vision sur le temps long, qui se décline pluri-annuellement
  - *Prospectives scientifiques/métiers, sécurisation finances, RH*
- ❖ La consolidation d'une communauté IT et chercheurs dédiée
  - *Journées R&T. Réseaux thématiques. Mise en place de GDR dédiés*
- ❖ Un soutien aux infrastructures, plateformes et plateaux techniques
  - *Développement de Plateformes, recensement plateaux techniques*
- ❖ Une articulation étroite avec la stratégie européenne
  - *Articulation avec ESPP, NUPECC, AppEC*



### Detectors for the Future

2020-2030 French Strategic Plan for Nuclear Physics, Particle Physics, Astroparticle Physics and associated Technologies & Applications.

Report of the GT08 working group:

#### DETECTORS & ASSOCIATED INSTRUMENTATION



Authors  
Jean-Luc Biarrotte (CNRS/IN2P3), Rodolphe Clédassou (CNRS/IN2P3),  
Didier Laporte (CNRS/LPNHE), Julien Panchin (GANIL),  
Véronique Pulli (CNRS/IJCLab), Laurent Serin (CNRS/IJCLab)

### Accelerators for the Future

2020-2030 French Strategic Plan for Nuclear Physics, Particle Physics, Astroparticle Physics and associated Technologies & Applications.

Report of the GT07 working group:

#### PARTICLE ACCELERATORS & ASSOCIATED INSTRUMENTATION

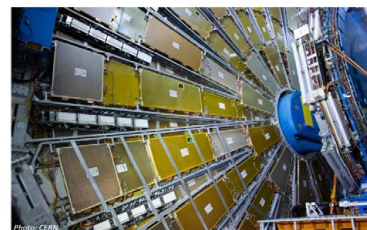


Authors  
Jean-Luc Biarrotte (CNRS/IN2P3), Rodolphe Clédassou (CNRS/IN2P3),  
Brigitte Cros (CNRS/LPGP), Angeles Faus-Golfe (CNRS/IJCLab),  
Luc Perrot (CNRS/IJCLab)

### Groupement de recherche : R&D détecteur – le DI2I

Report of the GT08 working group:

#### DETECTORS & ASSOCIATED INSTRUMENTATION



Authors  
Jean-Luc Biarrotte (CNRS/IN2P3), Rodolphe Clédassou (CNRS/IN2P3),  
Didier Laporte (CNRS/LPNHE), Julien Panchin (GANIL),  
Véronique Pulli (CNRS/IJCLab), Laurent Serin (CNRS/IJCLab)

**JOURNÉES R&T**  
4-6 octobre 2021  
IJCLab - Orsay/France

**JOURNÉES R&T IN2P3**  
IP2I-Lyon 17-19 octobre 2022  
AMPHI DIRAC Campus Lyon-Tech la Doua  
4 rue Enrico Fermi 69622 Villeurbanne

**Auditorium Pierre I**  
Bâtiment 200  
rue Ampère - F-91898 ORS

Contacts:  
cros@ip2i.in2p3.fr  
d.guillard@ip2i.in2p3.fr

https://indico.in2p3.fr/event/21677/

Date limite d'inscription: 16 Septembre 2022

# Une stratégie de R&D en lien avec la stratégie européenne...



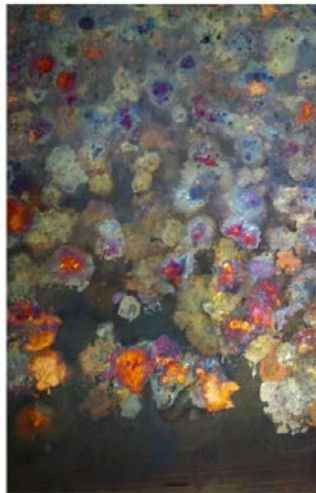
## Accelerators for the Future

2020-2030 French Strategic Plan for Nuclear Physics, Particle Physics, Astrophysics and associated Technologies & Applications

Prospectives IN2P3

Report of the GT07 working group:

**PARTICLE ACCELERATORS & ASSOCIATED INSTRUMENTATION**



### Authors

Jean-Luc Biarrotte (CNRS/IN2P3),  
Brigitte Cros (CNRS/LPGP), Angele  
Luc Perrot (CNRS/IJCLab)



Feuille de route "Accelerator R&D"

EUROPEAN STRATEGY FOR PARTICLE PHYSICS  
Accelerator R&D Roadmap

arXiv:2201.07895

European Strategy Update | Laboratory Directors Group

Prospectives IN2P3



## Detectors for the Future

2020-2030 French Strategic Plan for Nuclear Physics, Particle Physics, Astrophysics and associated Technologies & Applications.

Report of the GT08 working group:

**DETECTORS & ASSOCIATED INSTRUMENTATION**



### Authors

Jean-Luc Biarrotte (CNRS/IN2P3),  
Didier Laporte (CNRS/IN2P3),  
Véronique Puill (CNRS/IN2P3)

Feuille de route "Detector R&D"



THE 2021 ECFA DETECTOR  
RESEARCH AND DEVELOPMENT ROADMAP

The European Committee for Future Accelerators  
Detector R&D Roadmap Process Group

European Strategy Update | ECFA  
European Committee for Future Accelerators

<https://cds.cern.ch/record/2784893>

# La stratégie de l'IN2P3 : accélérateurs et R&D associés

## Une stratégie bâtie autour de projets internationaux

### Une implication dans les projets internationaux au cœur de nos disciplines

Physique des particules (futurs collisionneurs FCC, Belle2@ SuperKEK)

Physique des neutrinos (PIP-II)

Physique hadronique, nucléaire et astrophysique nucléaire (S3, GANIL, EIC)

Physique appliquée aux sources de neutrons (ESS), réacteurs nucléaires (MYRRHA) et santé

### Un soutien fort aux plateformes et installations dédiées

Soutien des grandes infrastructures nationales comme le GANIL

Soutien aux plateformes dédiées à la physique nucléaire et aux domaines applicatifs

*ALTO, ARRONAX, SupraTech, SCALP, AIFIRA, GENESIS, ANDROMEDE, CYRCE...*

### Une variété de sources de financement

TGIR : GANIL, ESS, (DUNE)

EquipEX : DESIR, ThomX + PACIFICS, NEWGAIN

LabEX et plans CPER de financement des infrastructures associées aux projets

Projets à Risque CNRS : à considérer pour étape prototypage (3-5 M€).

## ...et sur le soutien à des projets de R&D dédiés

### Développement des activités de R&D dans les laboratoires IN2P3

Cible de parvenir à une augmentation du taux de R&D dans les équipes IN2P3 (>20%)

Accroître le budget des programmes de R&D transverses & plateformes (*ex Vide & Surface*)

Soutenir par des postes sur profil R&D accélérateurs (CR, IR, permanents et CDD, Doctorants)

# L'IN2P3 et l'implémentation de la stratégie européenne

Accélérateurs, et R&D associés

# La stratégie européenne « accélérateurs » : les axes (1/3)

## Objectifs scientifiques en 5 axes

- 1/ R&D sur les aimants supraconducteurs de très haut champ
- 2/ R&D technologiques pour les structures de conducteurs supra et conventionnels Radio-Fréquences
- 3/ R&D sur les techniques d'accélération par laser plasma
- 4/ R&D sur des faisceaux de muons intenses à destination de collisionneurs de muons
- 5/ R&D sur les accélérateurs incluant la réutilisation de l'énergie (Energy Recovery Linac, ERL)

## La feuille de route européenne

Définition de Science Drivers (program drivers)

Recensement des axes de R&D dans chaque axe stratégique

Elaboration d'infrastructures nécessaires et organisation des efforts pour chaque

Proposition de planning pour chaque axe

# La stratégie européenne « accélérateurs » : les axes (2/3)

## Axe 1 : Aimants de fort gradient

### Stratégie selon trois axes de R&D

- ❖ R&D sur les aimants supra-conducteurs Nb<sub>3</sub>Sn et Haute Température (HTS)  
*Matériaux, structures, design, procédés de fabrication etc...*
- ❖ Développements sur les aimants Nb<sub>3</sub>Sn  
*Design, procédés de fabrication, traitement matériaux, cryo, visant dipôles de 16T*
- ❖ Développements sur les aimants HTS  
*Matériaux (REBCO ...), étape de détecteurs hybrides LTS (4K) et HTS (20K) ciblant démonstrateur de 20 T*

## Axe 2 : Technologies conductrices RF

### Stratégie selon trois axes de R&D

- ❖ R&D sur les structures supraconductrices RF (SRF)  
*Niobium, films minces, coupleurs, supraconducteurs HTc, matériaux, traitement des surfaces (traitement HT, dopage, démagnétisation, électro-polishing, métallo-polishing...)*
- ❖ R&D sur les structures conductrices conventionnelle RF (NC)  
*R&D sur les fonctionnements en bandes S, C et X (3, 6 et 12 GHz), études alliages, cryogéniques etc...*
- ❖ R&D sur les klystrons  
*Kylstrons de haute efficacité, AI/ML pour la rétroaction, le contrôle, la correction des défauts RF + optimisation*



# La stratégie européenne « accélérateurs » : les axes (3/3)

## Axe 4 : Accélération laser-plasma

### Stratégie selon les axes de R&D suivants

- ❖ Efficacité pour production de faisceaux de faible dispersion en énergie, paquets de charges intenses
  - ❖ Préservation de la faible émittance des paquets
  - ❖ Preuve de la faisabilité du multi-staging pour la production d'un faisceau à partir de laser plasma
  - ❖ Développement des hauts taux de répétition, stabilité, disponibilité du faisceau
  - ❖ Assurer la production et accélérations de positrons par cette technique
- + Simulations 3D PIC

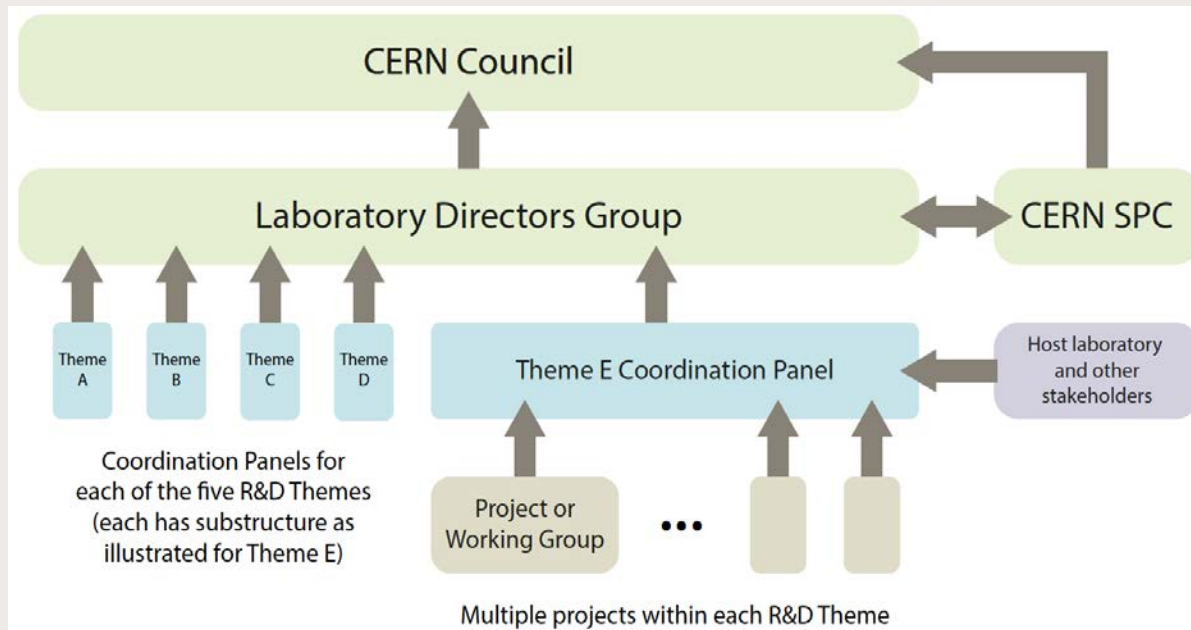
## Axe 5 : Energy Recovery LINAC

### Stratégie selon les axes de R&D suivants

- ❖ Sources d'électrons de fort courant
- ❖ Technologies SRF et exploration de supraconductivité de HTc (>4K)
- ❖ Accordeurs réactifs / boucles de rétroaction rapides
- ❖ Monitoring et contrôle du faisceau
- ❖ Cavités twin et cryomodules

# La stratégie européenne « accélérateurs »: l'organisation

## Structuration & organisation des R&D accélérateurs



### Coordinateurs des Panels

#### Axe 1. Aimant de fort champ

M. Lamont (CERN), M. Klein (CEA)

#### Axe 2. Technologies RF

G. Bisoffi (INFN), P. McIntosh (STFC)

#### Axe 3. Collisionneur à Muons

S. Stapnes (CERN), D. Schulte (CERN)

#### Axe 4. Laser Plasma

W. Leemans (DESY), R. Patahill (RAL)

#### Axe 5. Energy Recovery Linac

Jorgen D'Hondt (VUB)

### Mission et Fonctionnement des « Coordination Panels »

#### Supervision du développement et d'exécution du plan détaillé par thème, coordination

- ❖ Priorisation des projets au sein de chaque thème
- ❖ Assurer que les décisions sont prises sur des bases techniques saines et avérées (comité, experts, ...)

#### Lien avec les comités de revue, Instituts et Agences de financement

- ❖ Organisation de revue régulière « RRB-like » avec les AF, instituts, (et laboratoires nationaux)
- ❖ Soumission de tout changement au LDG

# Contexte et organisation à l'IN2P3

Accélérateurs et R&D's associés

# Accélérateurs et Technologie : l'organisation à l'IN2P3

## Organisation

### 4 Programmes

- ❖ 22 Master Projets
- ~ 150 FTE / opération
- ~ 120 FTE / construction et R&D's

### Infrastructures

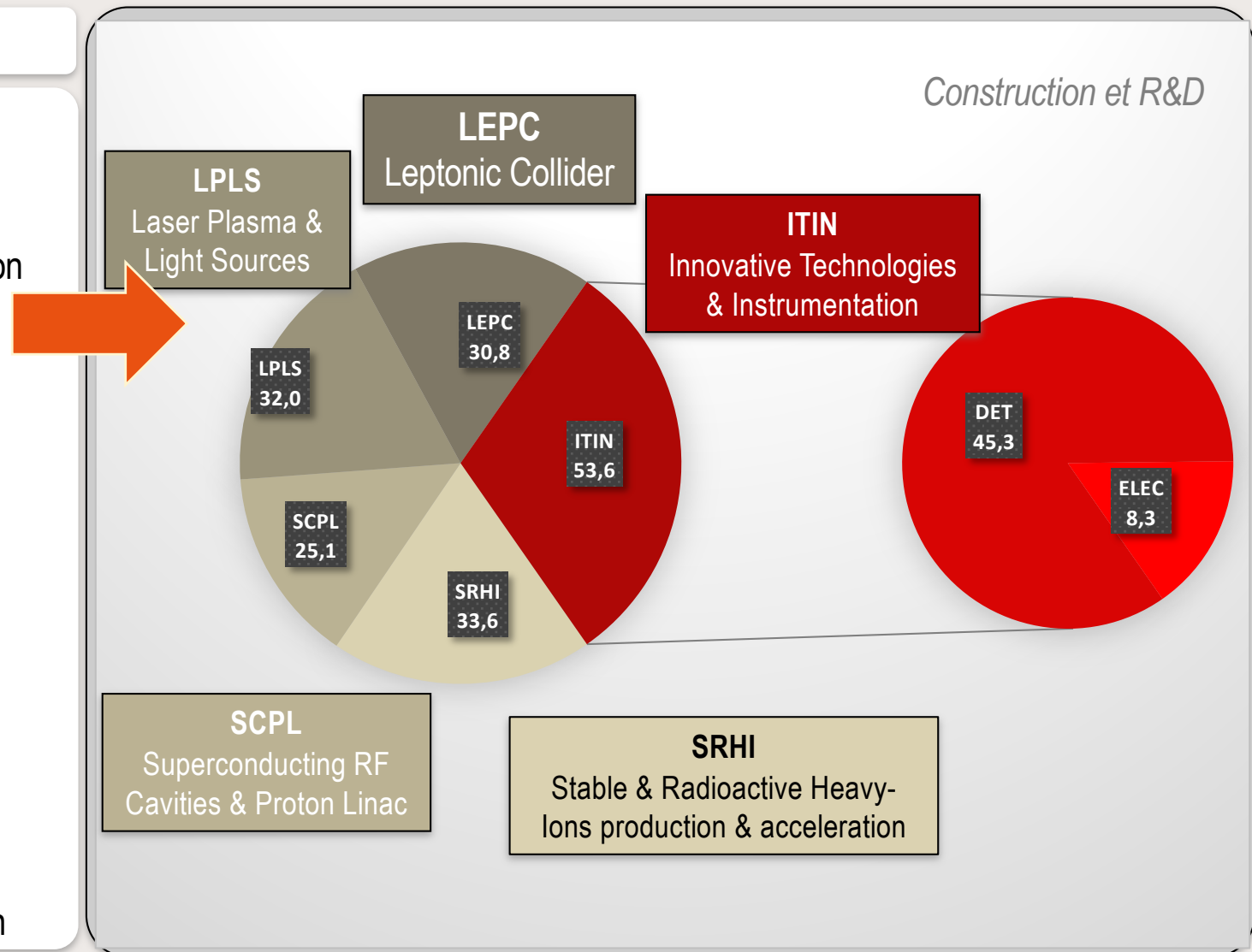
- ❖ GANIL / Caen (natnl)
- ❖ IJCLab / Orsay
- ❖ LPSC / Grenoble
- ❖ LP2I / Bordeaux
- ❖ IPHC / Strasbourg

### Budget Annuel

- ~30 M€ -- opération
- ~40 M€ -- construction et R&D's

### 2 GDR

- ❖ GDR Accélérateurs
- ❖ GDR Instrumentation



# Accélérateurs et Technologie : les infrastructures nationales

## Organisation

### 4 Programmes

- ❖ 22 Master Projets
- ~ 150 FTE / opération
- ~ 120 FTE / construction et R&D's

### Infrastructures

- ❖ GANIL / Caen (natnl)
- ❖ IJCLab / Orsay
- ❖ LPSC / Grenoble
- ❖ LP2I / Bordeaux
- ❖ IPHC / Strasbourg

### Budget Annuel

- ~30 M€ -- opération
- ~40 M€ -- construction et R&D's

### 2 GDR

- ❖ GDR Accélérateurs
- ❖ GDR Instrumentation



# Accélérateurs et Technologie : les plateformes labellisées

## Organisation

### 4 Programmes

- ❖ 22 Master Projets
- ~ 150 FTE / opération
- ~ 120 FTE / construction et R&D's

### Infrastructures

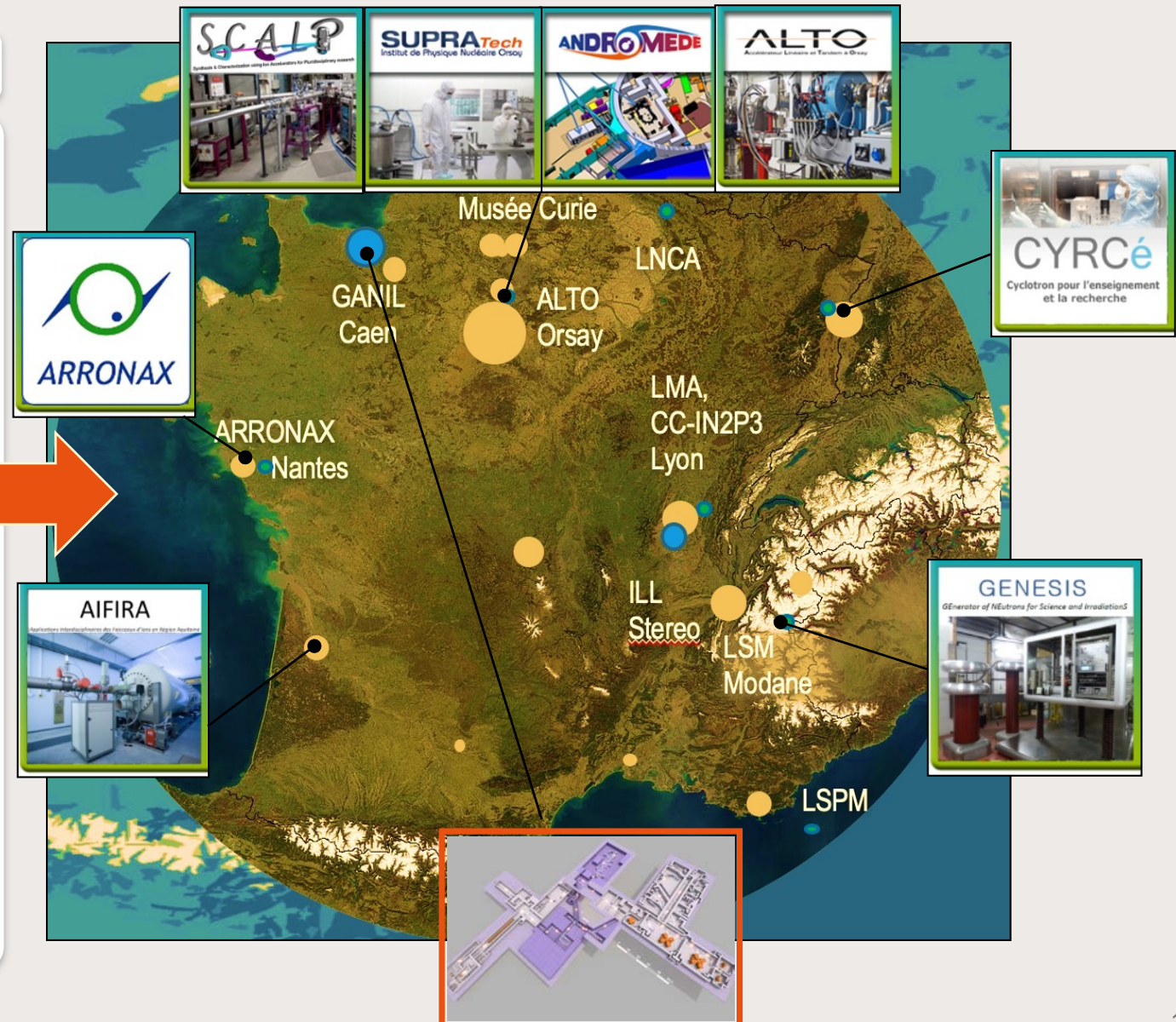
- ❖ GANIL / Caen (natnl)
- ❖ IJCLab / Orsay
- ❖ LPSC / Grenoble
- ❖ LP2I / Bordeaux
- ❖ IPHC / Strasbourg

### Budget Annuel

- ~30 M€ -- opération
- ~40 M€ -- construction et R&D's

### 2 GDR

- ❖ GDR Accélérateurs
- ❖ GDR Instrumentation



# Accélérateurs et Technologie : les plateformes labellisées

## Organisation

### 4 Programmes

- ❖ 22 Master Projets
- ~ 150 FTE / opération
- ~ 120 FTE / construction et R&D's

### Infrastructures

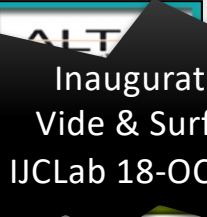
- ❖ GANIL / Caen (natnl)
- ❖ IJCLab / Orsay
- ❖ LPSC / Grenoble
- ❖ LP2I / Bordeaux
- ❖ IPHC / Strasbourg

### Budget Annuel

- ~30 M€ -- opération
- ~40 M€ -- construction et R&D's

### 2 GDR

- ❖ GDR Accélérateurs
- ❖ GDR Instrumentation



Inauguration :  
Vide & Surface à  
IJCLab 18-OCT 2023

## Plateforme Vide et Surface



### Etude et caractérisation des surfaces

#### Structures / Topographie / Composition

- ❖ X-ray Diffractometer (DRX)
- ❖ Secondary Ion Mass Spectrometer (SIMS)
- ❖ Confocal microscope
- ❖ Scanning Electron Microscope (SEM)+ Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) +Electron Back scattered Diffraction (EBSD)
- ❖ X-ray Photoélectron Spectroscopy (XPS)

### Techniques :

- Spectrométrie de masse
- Mesure de taux dégazage
- Mesure de taux d'e secondaires (SEY)
- Energie de désorption moléculaire

### Etudes de:

- Traitements chimiques
- Coating (SIS, TiN...)

# Accélérateurs et Technologie : les GDR

## Organisation

### 4 Programmes

- ❖ 22 Master Projets
- ~ 150 FTE / opération
- ~ 120 FTE / construction et R&D's

### Infrastructures

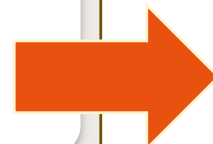
- ❖ GANIL / Caen (natnl)
- ❖ IJCLab / Orsay
- ❖ LPSC / Grenoble
- ❖ LP2I / Bordeaux
- ❖ IPHC / Strasbourg

### Budget Annuel

- ~30 M€ -- opération
- ~40 M€ -- construction et R&D's

### 2 GDR

- ❖ GDR Accélérateurs
- ❖ GDR Instrumentation



Heavy Ion Accelerators

- ❑ R&D SPIRAL2 DESIR, NEWGAIN, S3 et ALTO
- ❑ Ion sources (GANIL/ALTO, ECR, FEBIAD, res. laser, ...)
- ❑ Target-Source Ensemble (targets, ovens...)
- ❑ Beam lines, RFQ, ion traps ...

Hadron Beams Accelerators

- ❑ Superconducting R&D (cavities/CM, multipactor...)
- ❑ RF Structures (RFQ, couplers, HOM, FRT)
- ❑ Dynamic vacuum & materials (ch. And temp. treatment)
- ❑ Beam dynamics, design and reliability (AI)

Lepton/e-/e+ Accelerators

- ❑ Beam dynamics
- ❑ Positron Sources
- ❑ Nanometric beam handling & stabilisation
- ❑ Luminometry
- ❑ Compton production Gammas, polarimetry
- ❑ Photogun, injectors

Laser Plasma Acceleration

- ❑ Laser Plasma Acceleration : multi-staging, plasma cell,
- ❑ Simulations
- ❑ Beam Diagnostics & instrumentation

Transversal expertise

- ❑ Magnets
- ❑ Supraconducting high gradient Magnets

- ❑ Calculation and simulations
- ❑ Diagnostics, instrumentation
- ❑ Artificial Intelligence, retroaction loop, etc...
- ❑ Vacuum and matériaux
- ❑ Laser & optics



## Les programmes de recherche Accélérateurs à l'IN2P3

Production et Accélération de  
faisceaux stables et  
radioactifs d'ions lourds  
(SRHI)

# Faisceaux stables et radioactifs

## Objectifs scientifiques

- ❖ Concevoir et optimiser les sources d'ions intenses
- ❖ Concevoir et optimiser l'accélération, la sélection, le transport de faisceaux d'ions stables et radioactifs

## Programme autour du GANIL et de ALTO

### Développements, construction et préparation à l'exploitation

- ❖ SP2-DESIR (B. Blank & F. Varenne) -- GANIL, IJCLab, CENBG, LPCC –
- ❖ SP2-NEWGAIN (MH Moscatello, I. Stefan) – GANIL, IJCLab, IP2I, LPSC, CENBG, IPHC –
- ❖ SPACE-ALTO (A. Said) -- IJCLab –
- ❖ SPES-booster et SPES-cooler (J. Angot) (G. Ban) – LPSC, LPCC –

### Programme de R&Ds « ions stables »

- ❖ Sources d'ions, sources HF (60 GHz), simulation plasma ECR @ LPSC (SEISM, ECRIPAC)
- ❖ Production d'ions métalliques (fours HT inductifs et résistifs) @ IPHC, GANIL (FMI)

### Programme de R&Ds « ions radioactifs »

- ❖ Cibles UCx pour la fission @ ALTO (STUC)
- ❖ Fusion-Evaporation target ion source @ GANIL (TULIP)
- ❖ Ionisation au GANIL & ALTO avec sources FEBIAD, Nier-Bernas (MCM)
- ❖ Ionisation laser résonante pour spectroscopie à ALTO et GANIL (RIALTO, GISELE)
- ❖ Optimisation du transport de faisceau @ IPHC
- ❖ Charge Breeding au LPSC and GANIL (C.BREEDER)

# Le projet NEWGAIN : Nouvel Injecteur pour le GANIL

EquipEX  
2022-2028

## Engagements des laboratoires de l'IN2P3 et de l'IRFU

### EquipEx+ NEWGAIN (GANIL/IN2P3/IRFU)

Construction de l'injecteur Q/A de 1/7 de SPIRAL2

Subvention obtenue: 13.7 M€

- ❖ Source d'ions, plateforme HT
- ❖ Aimant supra + RFQ
- ❖ Lignes LEBT, MEBT
- ❖ Equipement, Alimentation, système vide
- ❖ Infrastructure, sûreté, Control Commande

## Contribution des laboratoires IN2P3

IN2P3-Orsay / IJCLab

IN2P3-Grenoble / LPSC

IN2P3-Caen / LPCC

IN2P3-Bordeaux / IP2I

IN2P3-Strasbourg / IPHC

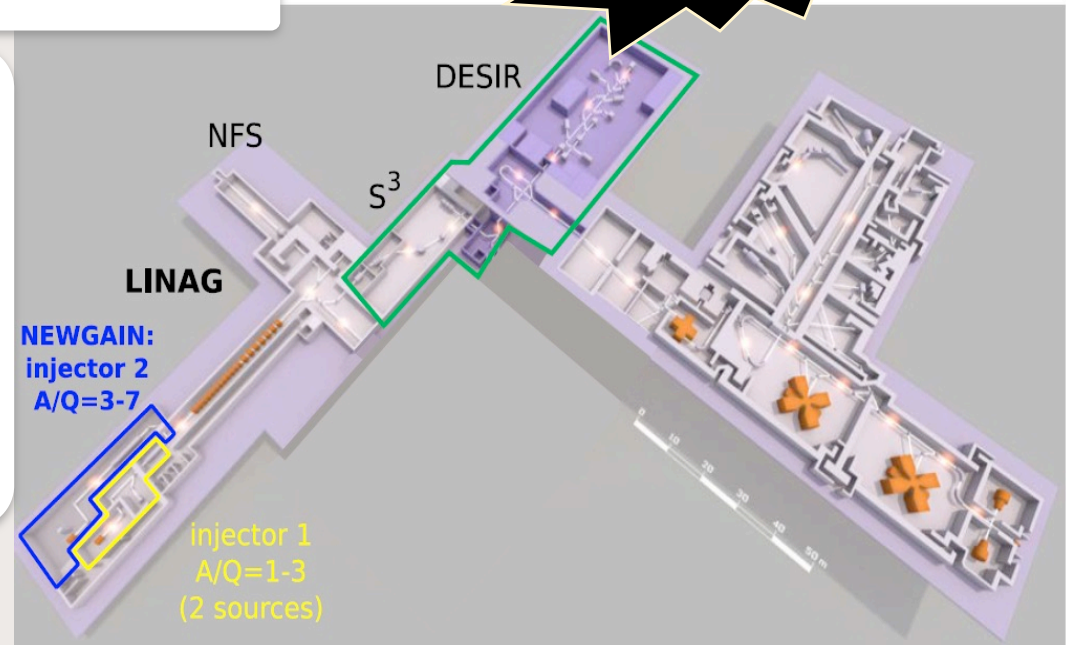
*Coordination scientifique du projet*

*Source d'ions supra & ingénierie système*

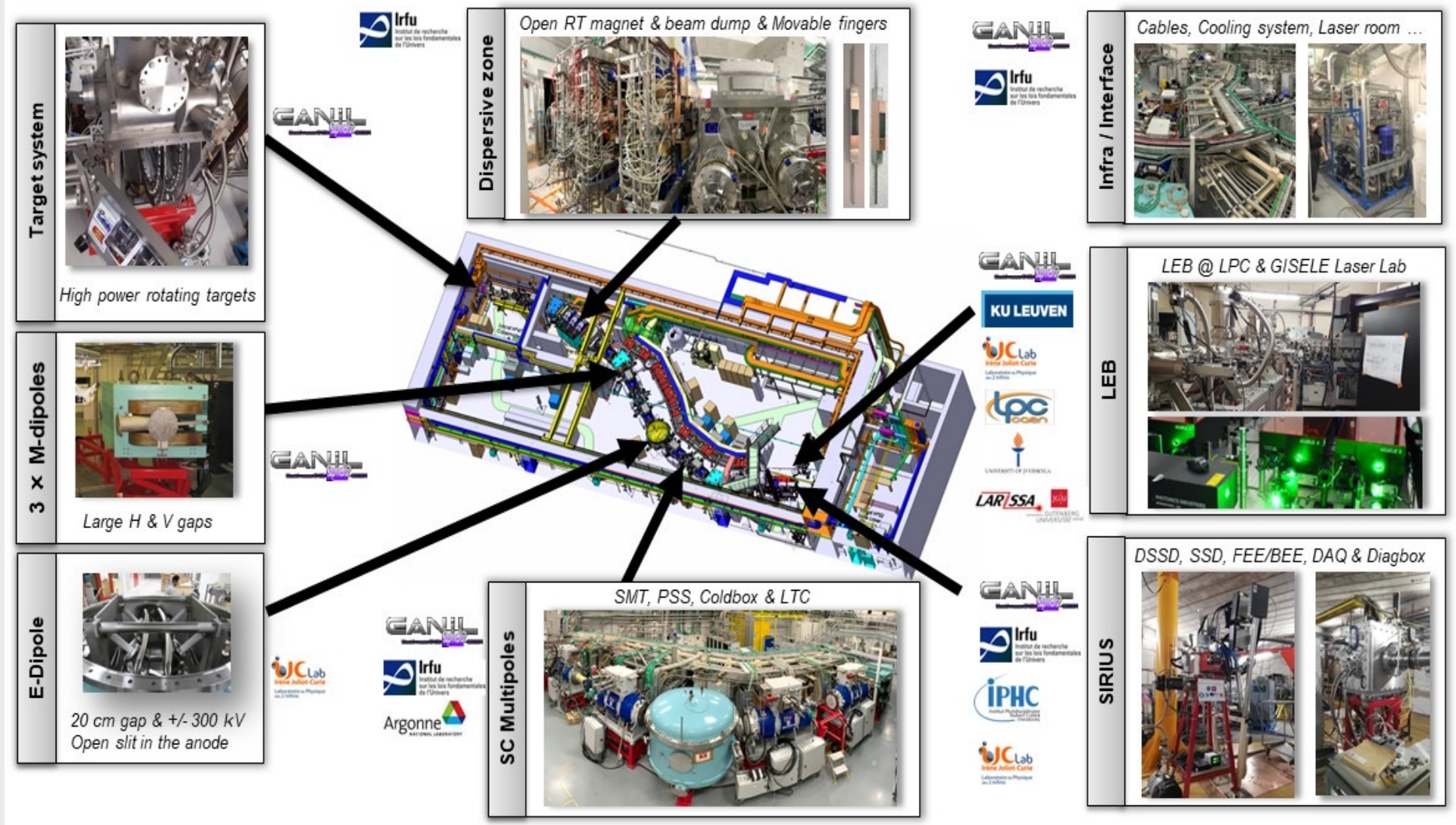
*Plateforme Haute Tension*

*Lignes de transport faisceaux (LEBT, MEBT)*

*Lignes de transport faisceaux, diagnostics*



# S3 @ GANIL : statut des équipements & installation



## Les programmes de recherche Accélérateurs à l'IN2P3

Cavités Supraconductrices RF  
& Proton Linac de Haute  
Puissance (SCPL)

# Structures Supraconductrices RF et Proton Linac

## Objectifs scientifiques

### **Concevoir et réaliser des accélérateurs Supraconducteurs en régime RF de haut gradient**

- ❖ Etudes de matériaux, dopage, procédés chimiques et thermiques de traitement de surfaces
- ❖ Etudes de l'effet multi-pacting, mécanismes d'émissions de champ, simulations

### **Concevoir et réaliser des ensembles accélérateurs de faisceaux de hadrons de haute intensité**

- ❖ Etudes de fiabilité, contrôles en ligne (IA), contrôle des distributions cryogéniques etc..

## Programmes : les grands projets accélérateurs à l'international

### **Développement, Construction, validation d'accélérateurs SRF**

- ❖ ESS @ Lund (G. Olry)
- ❖ MYRRHA @ Mol (L. Perrot & G. Olivier, F. Bouly)
- ❖ PIP-II @ FNAL (D. Longuevergne & P. Duchesne)

– IJCLab –  
– IJCLab, LPSC, IPHC –  
– IJCLab –

### **Activités de R&D's SRF : des matériaux aux procédés**

#### **Master Projet SRF (D. Longuevergne)**

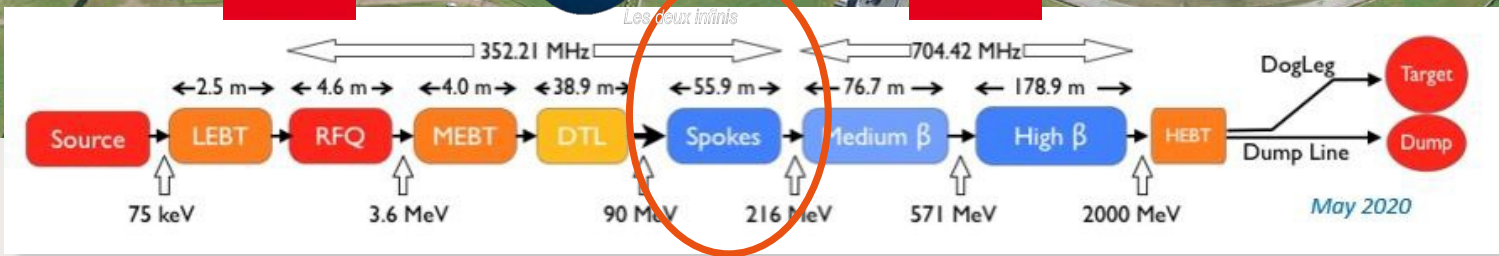
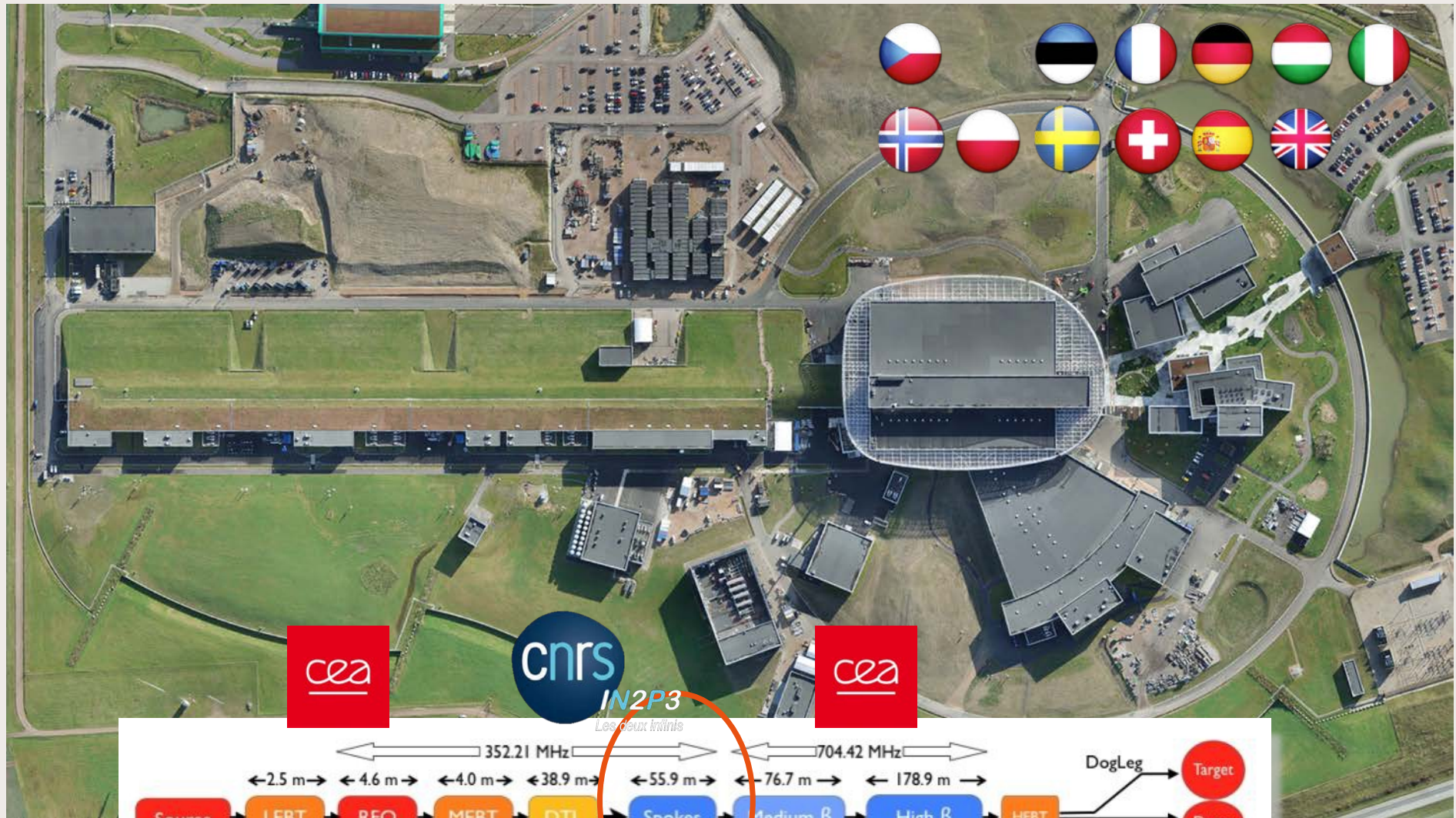
- ❖ Traitement thermique innovant (SRF-Heloise)
- ❖ Polissage métallographique (SRF-PACCAS)
- ❖ Dépôts anti-Multipacting et characterization (SRF-MULTIPAC)
- ❖ Décontamination des cavités utilisant le nettoyage par plasma (SRF-DECAP)
- ❖ Etude de matériaux supradoncuteurs à  $HT_c$  alternatif (SRF-SURICAT)

– IJCLab, LPSC –

#### **Master Projet I.FAST (W. Kaabi)**

-- IJCLab, LLR –

# Le projet ESS - European Spallation Source (Lund, Suède)



May 2020

# L'IN2P3 dans le projet ESS

13 CM @ Lund  
JUL-2023





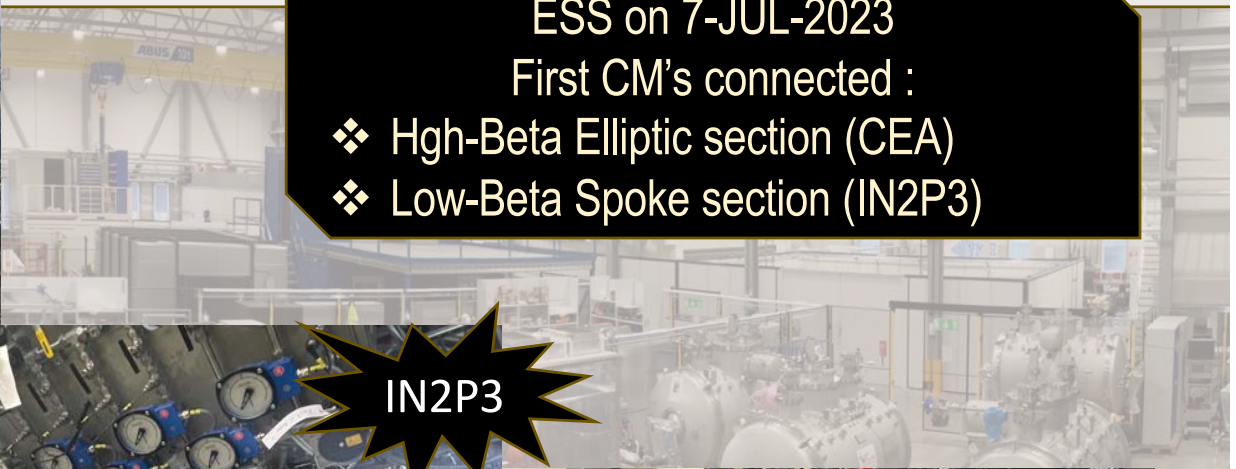
# L'IN2P3 dans le projet ESS



Elliptic CM



CEA



ESS on 7-JUL-2023  
First CM's connected :

- ❖ Hgh-Beta Elliptic section (CEA)
- ❖ Low-Beta Spoke section (IN2P3)



IN2P3

Spoke CM

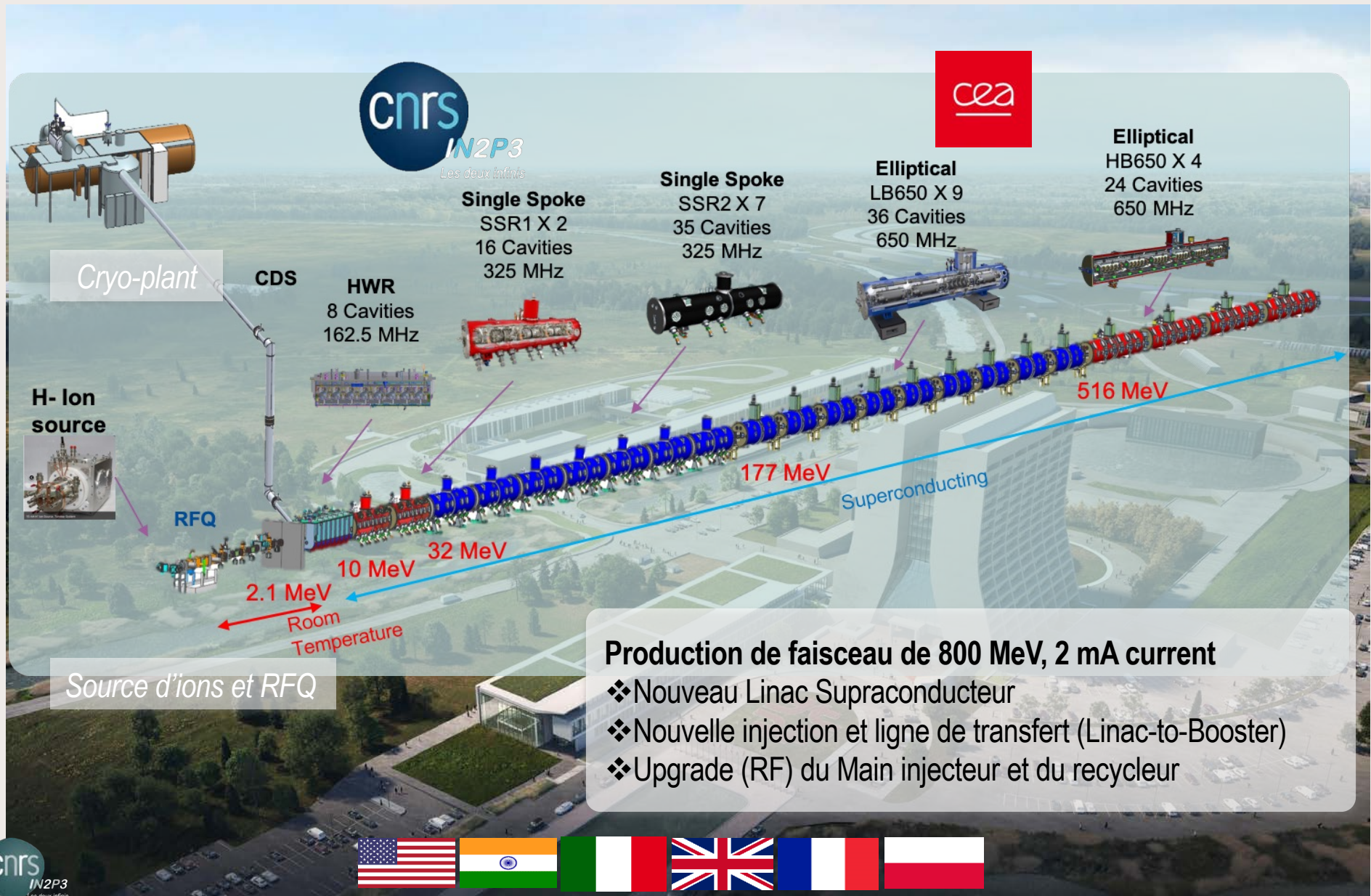


Spoke CM

# Le projet PIP-II – Proton Improvement Plan (FermiLab, Chicago)



# Le projet PIP-II à FermiLab

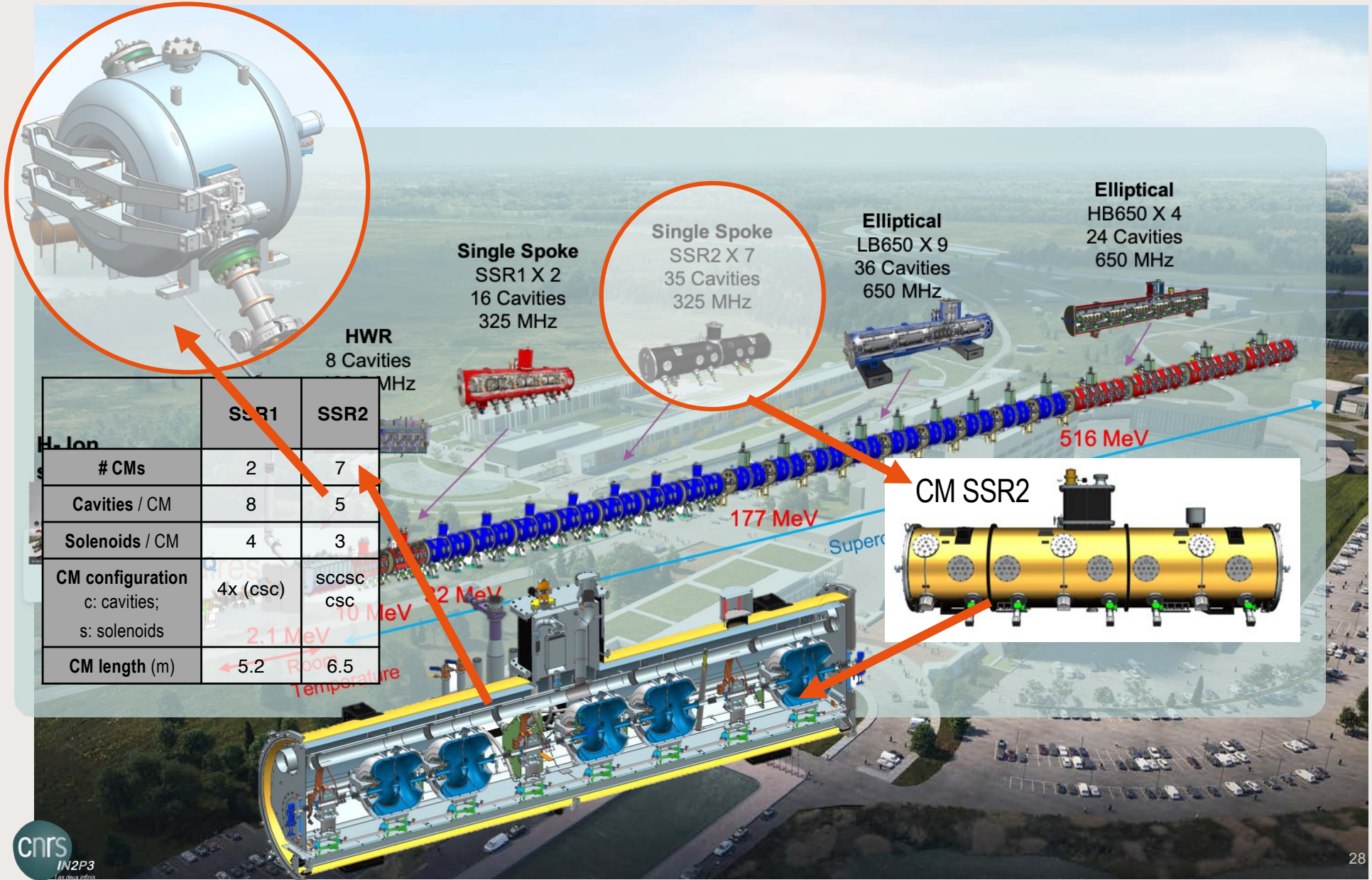


Source d'ions et RFQ

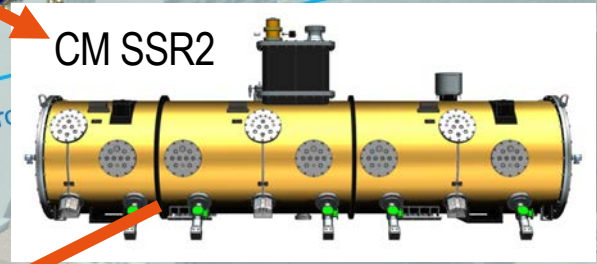
**Production de faisceau de 800 MeV, 2 mA current**

- ❖ Nouveau Linac Supraconducteur
- ❖ Nouvelle injection et ligne de transfert (Linac-to-Booster)
- ❖ Upgrade (RF) du Main injecteur et du recycleur

# Le projet PIP-II à FermiLab et l'implication de l'IN2P3



	SSR1	SSR2
# CMs	2	7
Cavities / CM	8	5
Solenoids / CM	4	3
CM configuration c: cavities; s: solenoids	4x (csc)	sccsc csc
CM length (m)	5.2	6.5

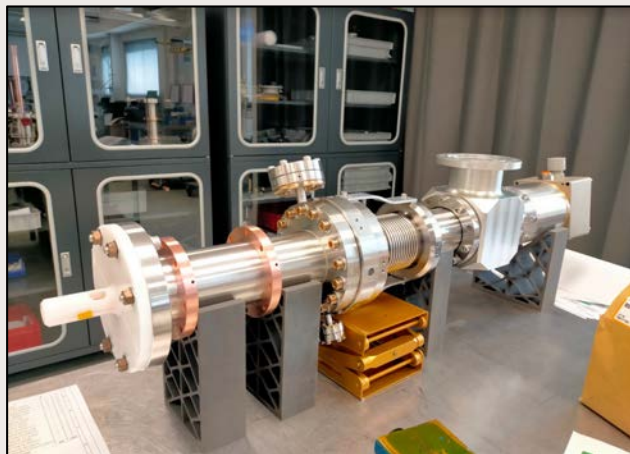
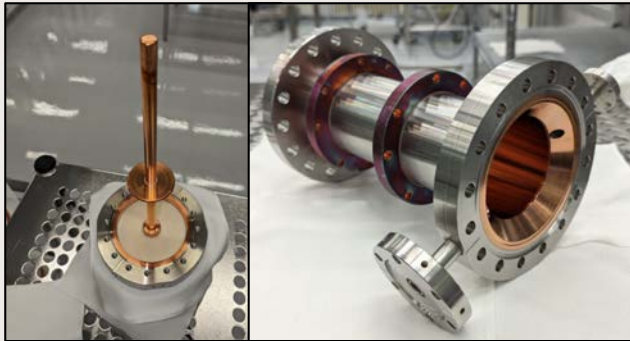


# Le projet PIP-II : faits marquants en 2023

## Coupleurs

Conception, validation

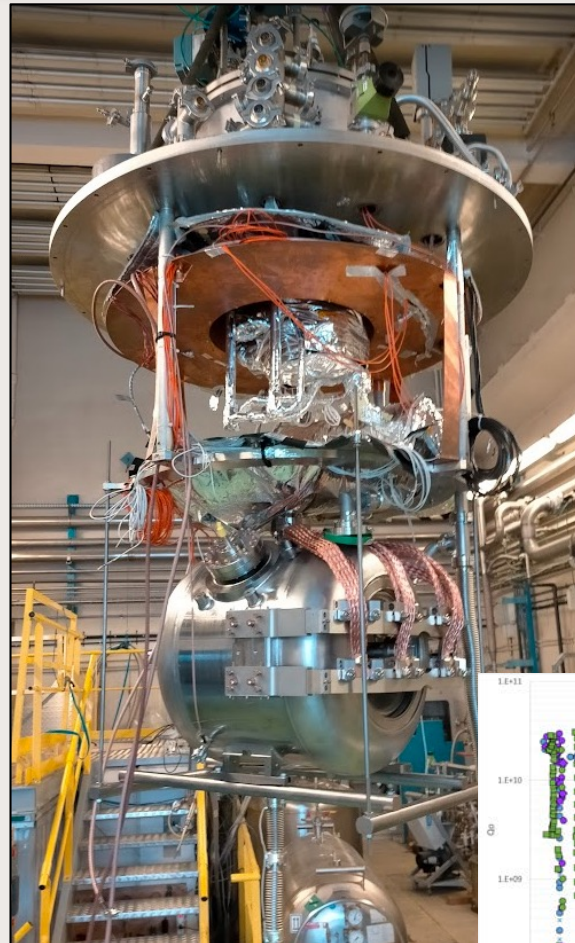
ensembles « antenne, céramique, manchette » testés en puissance à Fermilab avec succès



## Système de synchronisation

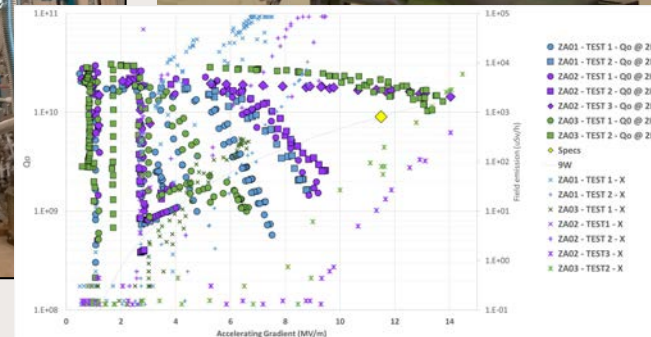
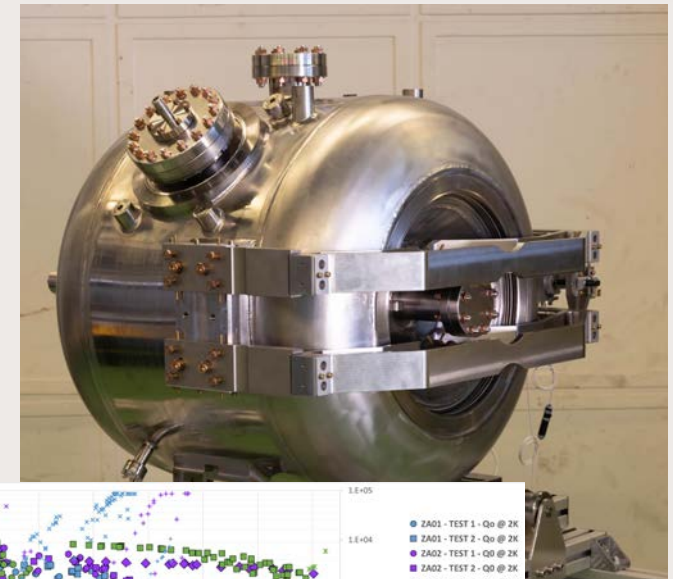
Conception, design

Validation en CV à froid



## Qualification des cavités

- ❖ Procédés de traitement de surface (chimique, thermique, ..)
- ❖ Nouveau procédé de nettoyage avec plasma
- ❖ Qualification des cavités en CV



# R&D sur supraconducteurs RF : des matériaux aux procédés...

Courtesy Gael Sattonay

## Les enjeux matériaux : lignes faisceaux

### Propriétés

Résistance mécanique  
Conductivité thermique  
Conductivité électrique  
Compatibilité UHV  
Résistance aux radiations  
Soudabilité, formabilité

### Matériaux

Cuivre  
Aciers Inox  
Alliage Al  
...

### Indicateurs de performances

Limitation du multi-pacting  
*nuages d'électrons*  
Limitation de la désorption  
*molécules adsorbées*  
Maîtrise de la pression  
dynamique

### Améliorations des propriétés

Dépôts NEG  
*alliages Ti-V-Zr*  
Dépôts C-amorphes  
Couches minces TiN

### Nouveaux procédés et matériaux

Couches ultra-minces  
couches 10-50 nm  
Nouvelles compositions  
*Nouveaux composites*  
Nouveaux procédés  
*Fabrication Additive*

## Les enjeux matériaux : cavités SRF

### Propriétés

Résistance mécanique  
Conductivité thermique  
Conductivité électrique  
Supra en régime RF  
Formabilité

### Matériaux

Niobium

### Indicateurs de performances

Facteur de qualité  $Q_0$   
Gradient champ  
accélérateur  
Limitation du multi-pacting  
Augmenter  $T_c$

### Améliorations des propriétés

Traitement de surface  
Traitements thermiques  
optimisés  
Traitement chimiques  
(dopage, infusion, etc..)

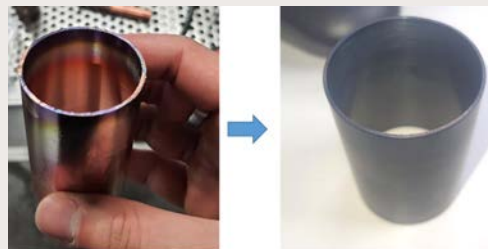
### Matériaux alternatifs

Couches minces :  
 $Nb_3Sn$   
 $MgB_2$   
 $NbN$   
Multi-couches SIS  
Base fer HTC

# Exemples de R&D autour de composants supraconducteurs RF

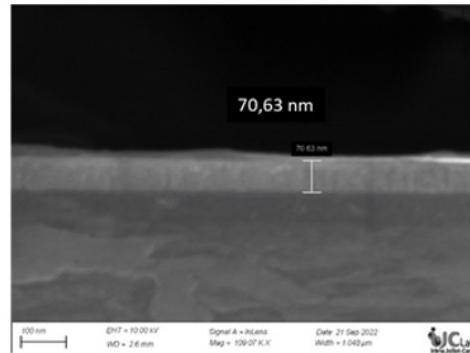
## Projet Multipactor (LPSC)

Installation d'un nouveau BT  
 travail ondes progressives/ stationnaires  
 Nouvelle électronique et DAQ  
 Collaboration: CEA IRFM, Saclay, ONERA

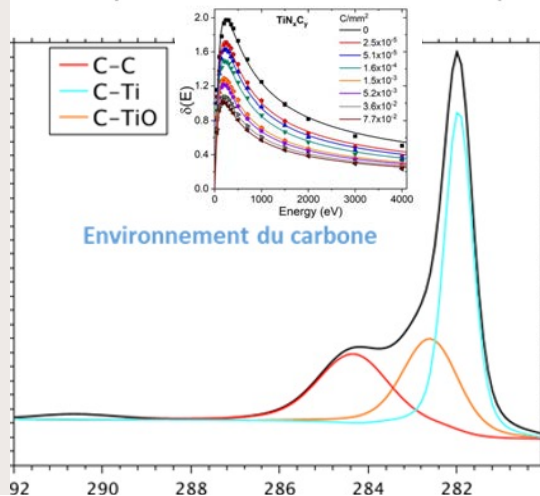


## Projet Multipactor (IJCLab)

Matériaux anti-multipacting  
 Couches minces (PVD et ALD)  
 Multicouches NbN/TiN par PVD  
 Collaboration : SIMAP



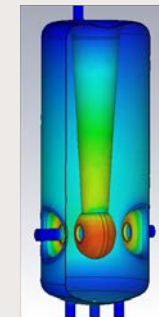
XPS (nouvel appareil via PACIFICS sur la plat... SEY... faces)



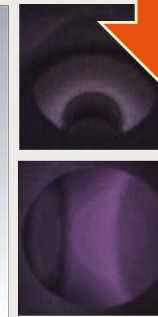
## DECAP (IJCLab)

Procédé plasma pour nett. surface  
 Banc-test installé @ Vide&surface  
 Etude de plusieurs modes (88, 251MHz..)  
 Premiers résultats prometteurs  
 Coll: IRFU, GANIL + FRIB et FNAL

MODE 1 : 88 MHz

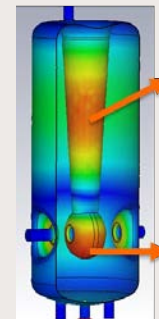


Distribution du champ électrique



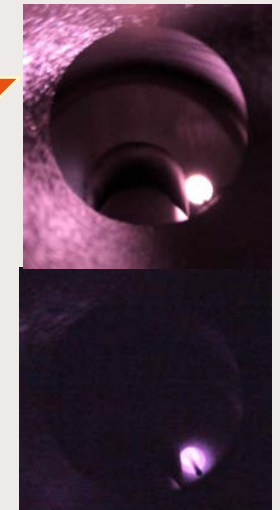
Photos du plasma

MODE 2 : 251 MHz



Plasma en haut

Plasma en bas



## Les programmes de recherche Accélérateurs à l'IN2P3

Accélération Laser-Plasma &  
Light Source



# Accélération Laser-Plasma et Sources de Lumières

## Objectifs scientifiques

### Explorer et étudier la possibilité d'accélération par laser-plasma

- ❖ Accélération d'électrons : Cellule plasma, Injecteur, démonstration de stabilité et reproductibilité, simulations,
- ❖ Accélération d'ions : Compréhension, caractérisation et (code de) simulations

### Concevoir des accélérateurs pour production de faisceaux intenses d'électrons et de $\gamma$

- ❖ Sources de lumière intense

## Enjeux des accélérateurs LP et sources de lumière

### Activités de développement de sources de lumière intense

- ❖ ELI-NP            F. Zomer        – IJCLab + european infrastructure (Italy, Romania, France, ..) –
- ❖ THOM-X           H. Monard      – IJCLab – High Flux Compton Source
- ❖ GammaFactory   A. Martens     – IJCLab –

### Activités de R&D Accélération Laser Plasma

- ❖ PALLAS    (K. Cassou, IJCLab, LLR) – Démonstrateur accélérateur LP multi-staging, 10Hz, 150 MeV
- ❖ ALP-e      (A. Specka, LLR, IJCLab) – R&D accélération laser plasma d'électrons / Apollon / simulation
- ❖ ALP-ions   (M. Tarisien, LP2IB)        – R&D accélération laser plasma d'ions
- ❖ TWAC      (C. Bruni, IJCLab)            – R&D sur l'accélération THz

# Le projet ThomX : un démonstrateur de source X compact

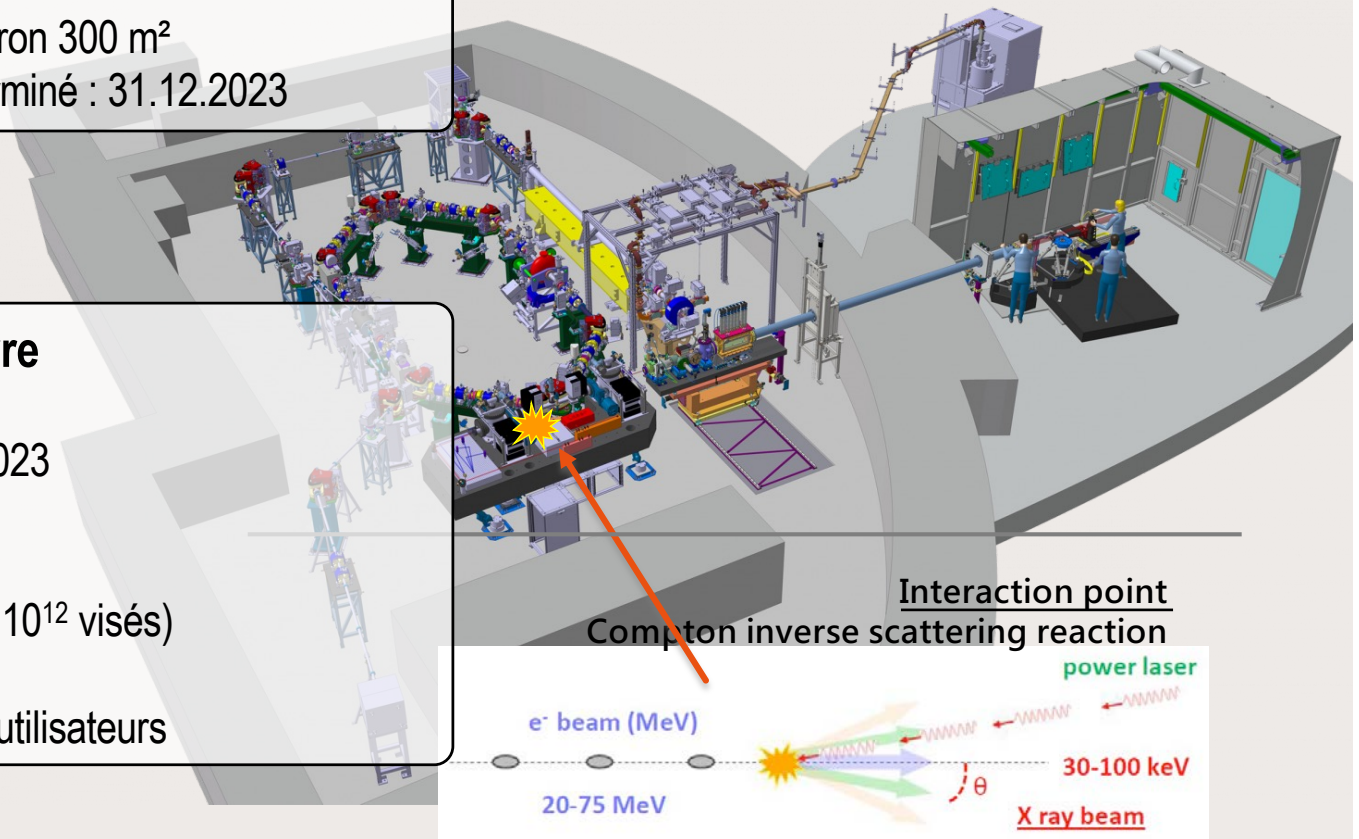
## Caractéristiques visées du démonstrateur

- ❖ Flux:  $10^{12}$  à  $10^{13}$   $\gamma/s$
  - ❖ Brillance:  $10^{11}$  ph/s/mrad<sup>2</sup>/mm<sup>2</sup>/0.1%bw
  - ❖ Energie ajustable (30-90 keV)
  - ❖ Surface des équipements : environ 300 m<sup>2</sup>
- 13 M€ investissement / EquipEX terminé : 31.12.2023

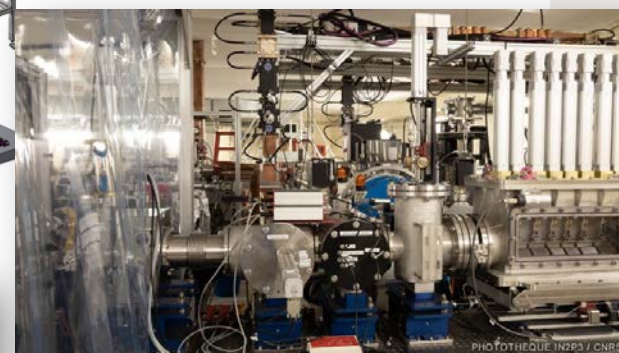
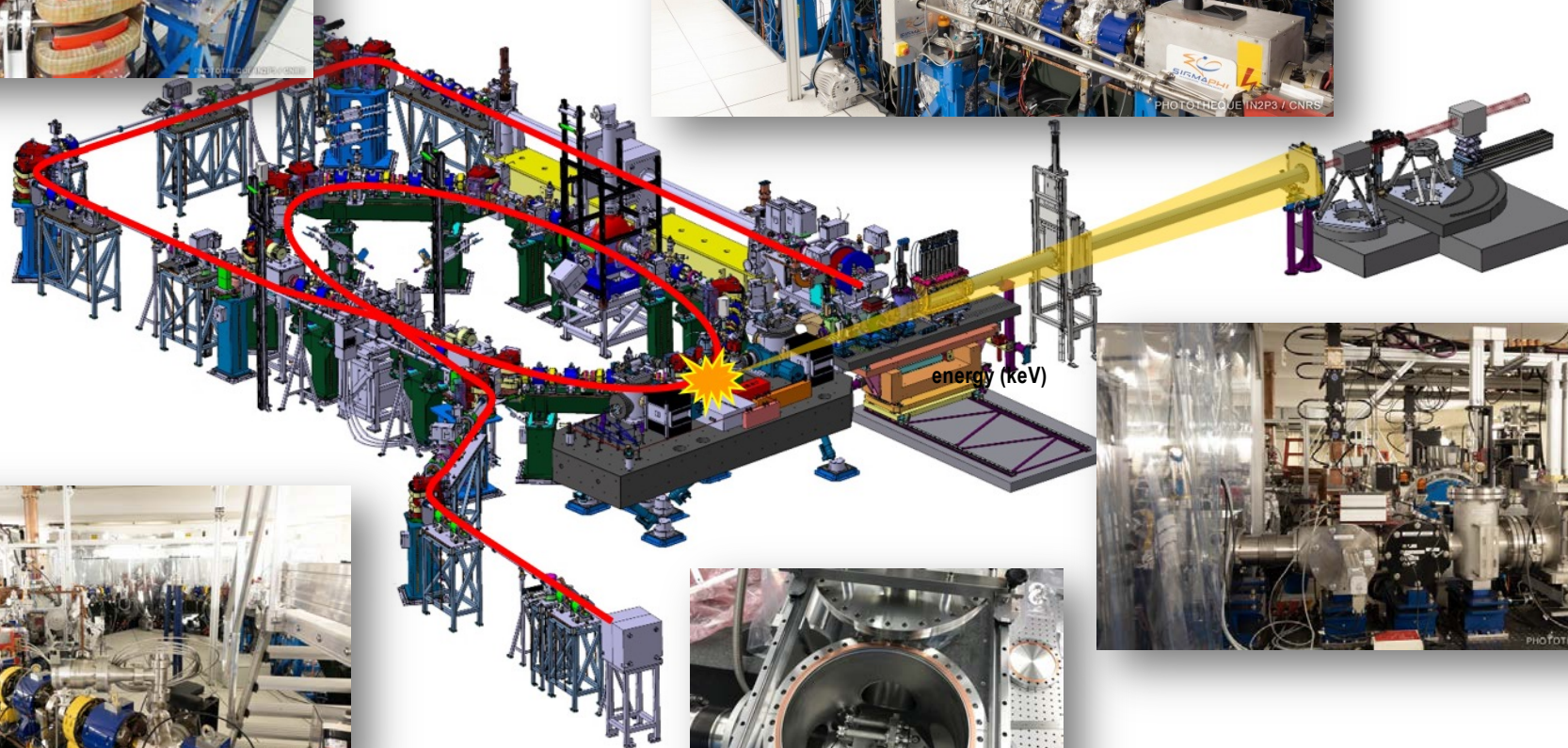
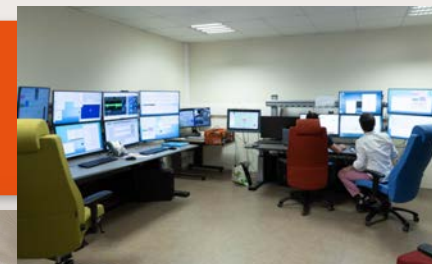
## Construction et mise en oeuvre

Démonstrateur installé en 2023

- ❖ Premiers faisceaux X en JUL-2023
  - ❖ Première mondiale
- Calendrier 2024-25
- ❖ Commissioning pour haut flux ( $> 10^{12}$  visés)
  - ❖ Publications sur l'installation
  - ❖ Mise en place de partenariats / utilisateurs

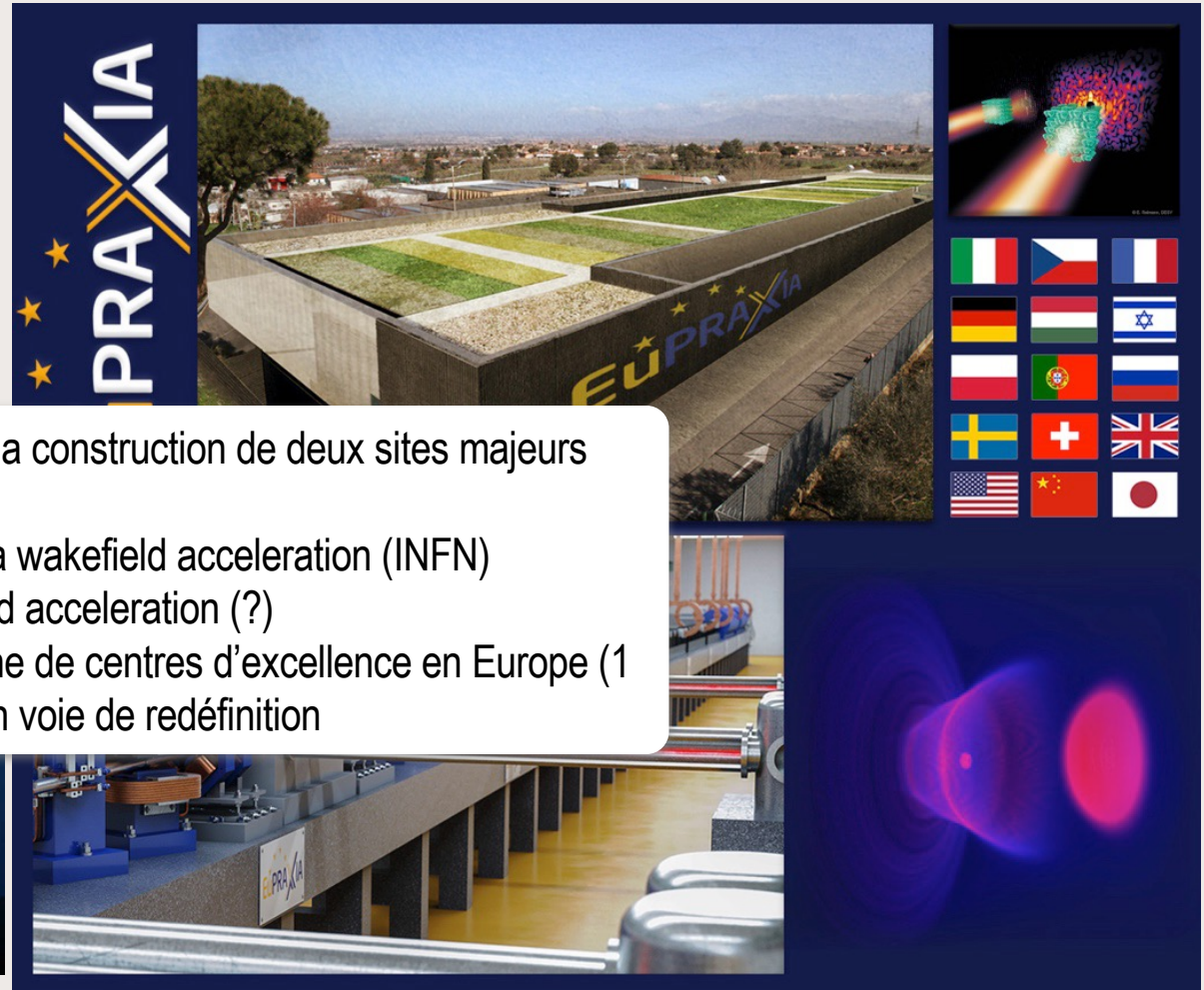


# Le projet ThomX : installation complète 2021-2023



# Le cadre européen de l'Accélération Laser Plasma

EUROPEAN  
PLASMA RESEARCH  
ACCELERATOR WITH  
EXCELLENCE IN  
APPLICATIONS



Le programme Eu-PRAXIA vise la construction de deux sites majeurs accueillant un Accélérateur LP :

- ❖ electron-beam-driven plasma wakefield acceleration (INFN)
- ❖ laser-based plasma wakefield acceleration (?)

Il s'appuiera sur une petite dizaine de centres d'excellence en Europe (1 en France) dont le contour est en voie de redéfinition

# R&D : la stratégie Française sur l'Accélération Laser Plasma

## Les projets principaux

### PALLAS

Injecteur laser-plasma 10 Hz, 150 MeV @ Orsay

- ❖ Utilisation de LaserIX pour une installation laser-plasma
- ❖ Développement de cible plasma (cellule plasma)
- ❖ Validation du multi-staging et contrôle de LPI



### LAPLACE

Développement du LPA et ses applications

- ❖ Source à haut taux de répétition (100Hz)
- ❖ Développements issus Laser à Electrons libres
- ❖ Validation qualité-faisceaux, etc...



## Principaux laboratoires impliqués...

IJCLab et LLR : multi-PW driven LPA experimental demonstration @APOLLON, applications to HEP and other field, beam diagnostics and compact beam transport, and theory simulations and continuous development of PIC

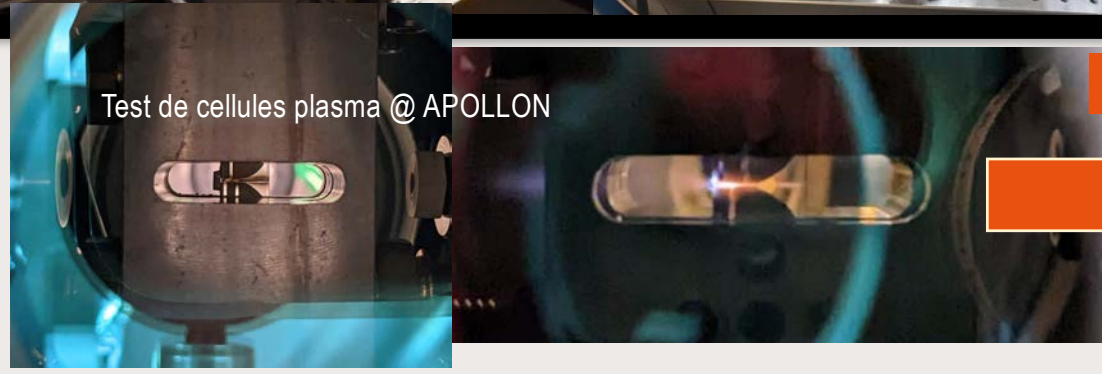
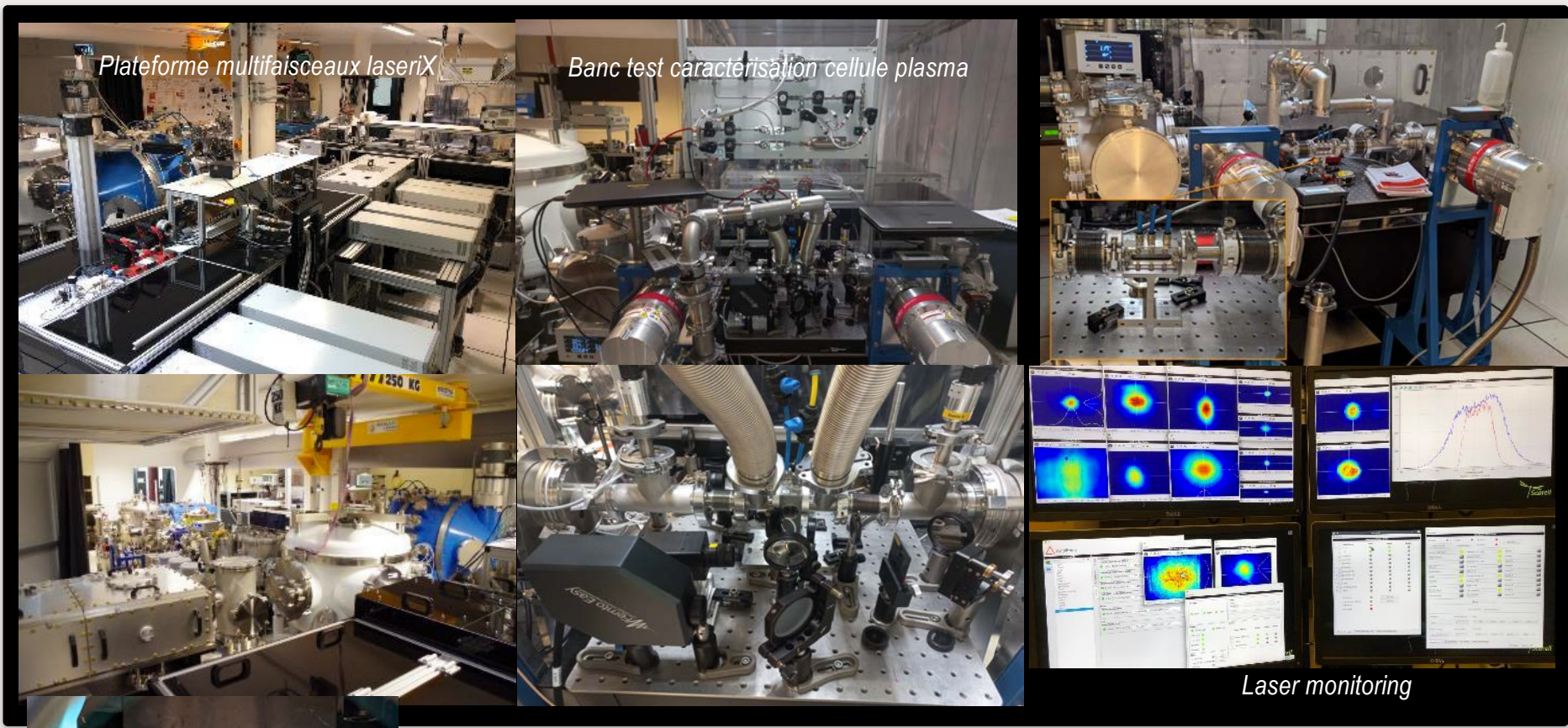
LULI/LOA : new advanced laser technology development : Compressor, intensity stabilization, focal spot alignment stabilization, amplification stage, beam transport (close links with the laser industrials partners)

LPGP : experimental tests R&D of optimised LPI in tailored plasma density profile and of specific plasma components, based on novel discharge schemes or laser ionised plasmas, suitable for laser guiding over large propagation distances and experimental tests

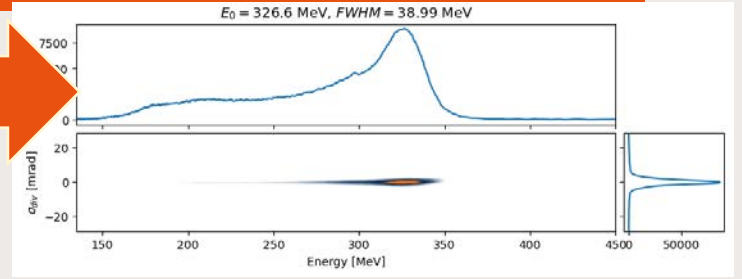
## Concentration régionale d'industriels leaders du domaine

Thalès, Amplitude, ImagineOptic, SourceLab, PHASICS, FastLite, FemtoEasy ...

# Le projet PALLAS à l'IN2P3 : faits marquants en 2023



...et premiers électrons accélérés @ LOA...!



# Les programmes de recherche Accélérateurs à l'IN2P3

Lepton Colliders  
(LEPC)

## Objectifs scientifiques

### Conception d'accélérateurs pour les futurs collisionneurs

- ❖ e-e+ : production, stabilisation, nano-faisceaux, sources de positrons source, polarimétrie,
- ❖ Conception de cavités SRF, luminosity monitoring, dynamic pressure (hh) etc..
- ❖ Réutilisation de l'énergie (Energy Recovery Linac)

## Structuration & organization

### Future Lepton Colliders R&D's

#### FCC-NPC (A. Faus-Golfe)

- ❖ Production et stabilisation de nanofaisceaux, contrôle et positionnement
- ❖ Mesure de luminosité et compréhension des fonds aux points de collision
- ❖ Sources de positrons de haute intensité
- ❖ Polarimétrie laser
- ❖ Etudes de vide/pression dynamique et matériaux
- ❖ Etude de techniques anti-multipacting pour le SRF

– IJCLab, LAPP, LPSC –

#### Energy Recovery Linac

- ❖ iSAS, PERLE : Cryomodule for ERL
- ❖ EIC\* ... en discussion avec la direction de EIC

– IJCLab, LPSC –

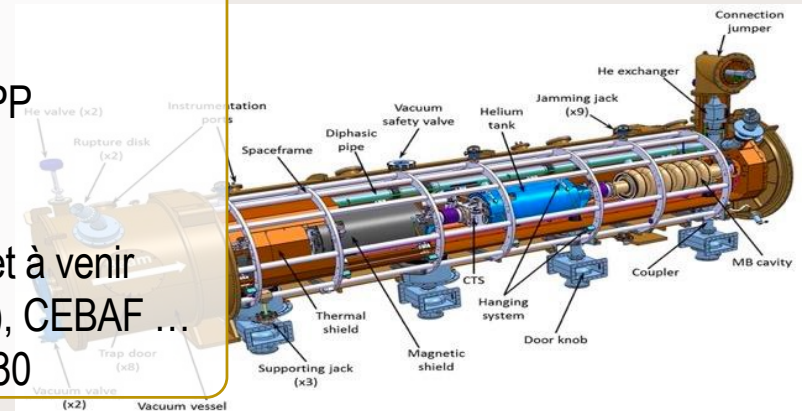


# PERLE : un démonstrateur dans la feuille de route des ERL

## Objectif scientifique

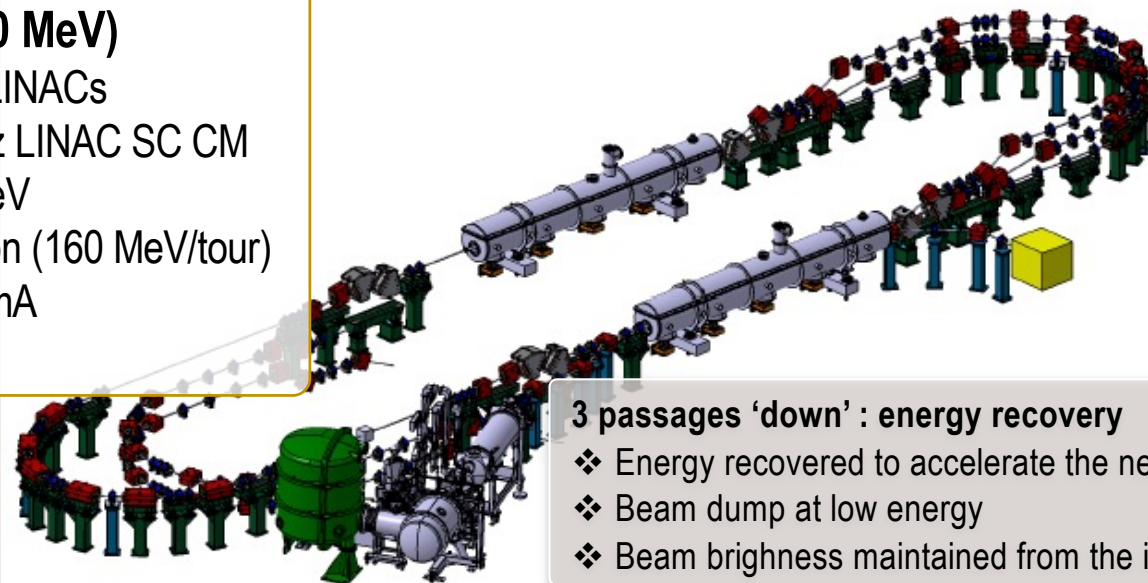
### Démonstration d'un ERL de puissance avec recirculation

- ❖ Un passage obligé pour les systèmes accélérateurs durables
  - ❖ Réutilisation de 90% de l'énergie RF
- ❖ Un des 5 piliers de la feuille de route européenne R&D de la ESPP
  - ❖ Concept ERL envisagé pour LHeC, FCC or even FCC-HH
  - ❖ Démonstrateurs européens : bERLinPro et PERLE
- ❖ Machines inscrites dans le paysage des installations existantes et à venir
  - ❖ S\_DALINAC (Darmstadt), CBETA (Cornell), MESA (Mainz), CEBAF ...
  - ❖ ERL pour refroidissement par faisceau d'e pour EIC en 2030



### Design de PERLE (250/500 MeV)

- ❖ Schema actuel avec 2 SC LINACs
  - ❖ 4 x 5-cell 801.58 MHz LINAC SC CM
- ❖ Energie faisceau de 500 MeV
  - ❖ 3 arcs de re-circulation (160 MeV/tour)
  - ❖ Courant moyen : 20 mA
  - ❖ Puissance : 10 MW



### 3 passages 'down' : energy recovery

- ❖ Energy recovered to accelerate the next particle beam
- ❖ Beam dump at low energy
- ❖ Beam brightness maintained from the injector

# Conclusion et perspectives

# Conclusion et perspectives : accélérateurs et R&D associés

## Stratégie élaborée à partir de nos prospectives et de la feuille de route européenne

- ❖ En vue de développer notre implication dans les projets majeurs en Physique des particules & nucléaire
- ❖ En vue d'accroître nos activités de R&D pour les enjeux majeurs du domaine
- ❖ ... en assurant la structuration de la communauté (GDR) et en apportant un soutien significatif

## Des axes prioritaires de R&D

- ❖ **Basés sur des expertises et compétences reconnues pour des R&D à la pointe du domaine**

*Autour d'infrastructures internationales : CERN, GANIL, ESS, FERMILAB, SCK Mol, KEK, BNL...*

*Autour de projets internationaux : HL-LHC, FCC, DUNE/PIP-II, ADS MYRRHA, Belle2, EIC...*

*Avec nos partenaires naturels (CEA, CNRS-INP, CNRS-INSIS, ..)*

- ❖ **S'appuyant sur un réseau nationale de plateformes**

GANIL plateforme nationale, plateformes à Orsay, Grenoble, Strasbourg, Bordeaux...

- ❖ **Orientés vers les enjeux majeurs pour les accélérateurs du futur**

*Développer les implications dans les projets accélérateurs liés à FCC (ee et hh, eh), EIC, etc...*

*Développer des technologies écologiquement acceptables : optimisation, efficacité énergétique*

*(klystron), matériaux supraconducteurs à haute température critique, réutilisation de l'énergie (ERL)*

*→ R&D dans le domaine SRF (matériaux, procédés de traitement de surface, caractérisation..)*

*→ R&D dans le domaine de la production d'ions stables et radioactifs (breeders, sources, cibles, laser)*

*→ R&D dans les domaines de la réutilisation de l'énergie des faisceaux*

*→ R&D et exploration d'accélérateurs utilisant l'accélération par Laser-Plasma*

- ❖ *En parallèle, explorer et consolider l'usage de l'IA dans les accélérateurs (fiabilité, contrôle, design, analyse ..)*

# Conclusion et perspectives : accélérateurs et R&D associés

## Stratégie élaborée à partir de nos prospectives et de la feuille de route européenne

- ❖ En vue de développer notre implication dans les projets majeurs en Physique des particules & nucléaire
- ❖ En vue d'accroître nos activités de R&D pour les enjeux majeurs du domaine
- ❖ ... en assurant la structuration de la communauté (GDR) et en apportant un soutien significatif

## Des axes prioritaires de R&D

- ❖ **Basés sur des expertises et compétences reconnues pour les R&D à la pointe du domaine**

*Autour d'infrastructures internationales : CERN, GANIL, DESY, FERMILAB, SCK Mol, KEK, BNL...*

*Autour de projets internationaux : HL-LHC, DUNE, ILD, ATLAS, RHIC, Belle2, EIC...*

*Avec nos partenaires naturels*

- ❖ **S'appuyant sur un réseau de plateformes nationales**  
GANIL plateforme nationale, SOLEIL, ILL, MISTRAL, CERN, Bordeaux...
- ❖ **Orientés vers les enjeux de la physique des accélérateurs du futurs !!**

*Développer les implications dans les nouvelles machines (ee et hh, eh), EIC, etc...*

*Développer des technologies éologues et acceptables : optimisation, efficacité énergétique*

*(klystron), matériaux supraconducteurs à haute température critique, réutilisation de l'énergie (ERL)*

*→ R&D dans le domaine SRF (matériaux, procédés de traitement de surface, caractérisation..)*

*→ R&D dans le domaine de la production d'ions stables et radioactifs (breeders, sources, cibles, laser)*

*→ R&D dans les domaines de la réutilisation de l'énergie des faisceaux*

*→ R&D et exploration d'accélérateurs utilisant l'accélération par Laser-Plasma*

- ❖ *En parallèle, explorer et consolider l'usage de l'IA dans les accélérateurs (fiabilité, contrôle, design, analyse ..)*