

# La feuille de route « accélérateurs » de l'IN2P3

Réseau Instrumentation Faisceau  
du 07-AVR-2022

Arnaud Lucotte

# Stratégie IN2P3 : la feuille de route « accélérateurs »

## Stratégie IN2P3 : une stratégie nationale et européenne

### Soutien des projets internationaux au cœur de nos disciplines

Physique des particules (futurs collisionneurs) et physique des neutrinos (accélérateurs)

Physique nucléaire et astrophysique nucléaire

Physique applicatives pour réacteurs nucléaires et santé

### Soutien des développements auprès des installations et plateformes IN2P3

Soutien des grandes infrastructures nationales comme le GANIL

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

ALTO, SupraTech, SCALP, AIFIRA, GENESIS, ANDROMEDE, CYRCE

### Activités soutenues dans le cadre de projets nationaux avec soutien régional

EquipEX, labEX, CPER, région

EquipEX+ PACIFICS, NEWGAIN

PEPR instrumentation (phase-2 du PIA4) et accélérateurs en cours

### Volonté de développer les activités de R&D dans les implications IN2P3

Accroître les R&D à >30% des implications

# Accélérateurs : Perspectives IN2P3 et Européenne

arXiv:2201.07895v2



Décembre  
2021



## Accelerators for the Future

2020-2030 French Strategic Plan for Nuclear  
Astroparticle Physics and associated

Octobre  
2021

*Report of the GT07 working group:*

### **PARTICLE ACCELERATORS & ASSOCIATED INSTRUMENTATION**



Photo: Christophe Barué (GANIL)

#### **Authors**

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

# La stratégie européenne R&D accélérateurs

## Objectifs scientifiques : 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 (RF)
- 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 et réalisation d'accélérateurs incluant la réutilisation de l'énergie (Energy Recovery Linac, ERL)

## Elaboration d'une Roadmap...

- Définition de Science Drivers (program drivers)
- Recensement des axes de R&D dans chaque axe stratégique
- Recensement et mise en place des infrastructures nécessaires à l'organisation des activités
- Elaboration d'une feuille de route pour chaque axe

# La stratégie européenne R&D accélérateurs

## Axe 1 . R&D aimants de haut gradients

1/ R&D sur les aimants suraconducteurs Nb<sub>3</sub>Sn et Haute Température Critique (HTS)

*Matériaux, structures, design, procédés de fabrication etc...*

2/ Développements sur les aimants Nb<sub>3</sub>Sn

*Design, procédés de fabrication, traitement matériaux, cryo, visant dipôles de 16T*

3/ 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

1/ R&D sur les structures supraconductrices RF (SRF)

*Nobium et films minces, coating des cavités, supraconducteurs HTc, matériaux, traitement des surfaces (réchauffage HT, dopage, démagnétisation, electro-polishing, métallo-polishing...)*

2/ 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...*

3/ R&D sur les klystrons

*Klystrons de haute efficacité, AI pour la rétroaction, optimisation et correction des défauts RF*

# La stratégie européenne R&D accélérateurs

## Axe 3. Accélération par laser plasma

- 1/ Efficacité pour production de faisceaux de faible dispersion en énergie, paquets de charges intenses
  - 2/ Préservation de la faible émittance naturelle des paquets
  - 3/ Prouver la faisabilité du *staging* multiple pour la production d'un faisceau à partir de laser plasma
  - 4/ Assurer les taux de répétition, stabilité, disponibilité du faisceau
  - 5/ Assurer la production et accélérations de positrons
- + Simulation 3D PIC

## Axe 5. Energy Recovery Linac (ERL)

- 1/ Sources de fort courant électron
- 2/ Technologies SRF et perspectives de supra de <2K à 4.4K
- 3/ Tuners réactif / boucles de rétroaction rapides
- 4/ Monitoring et contrôle du faisceau
- 5/ « cavités twin » et cryomodules (axe unique pour faisceau dans 2 directions accélération/décélération)

# La stratégie IN2P3 : remontée des prospectives

## Accroître les activités de R&D dans les 3 Science Drivers

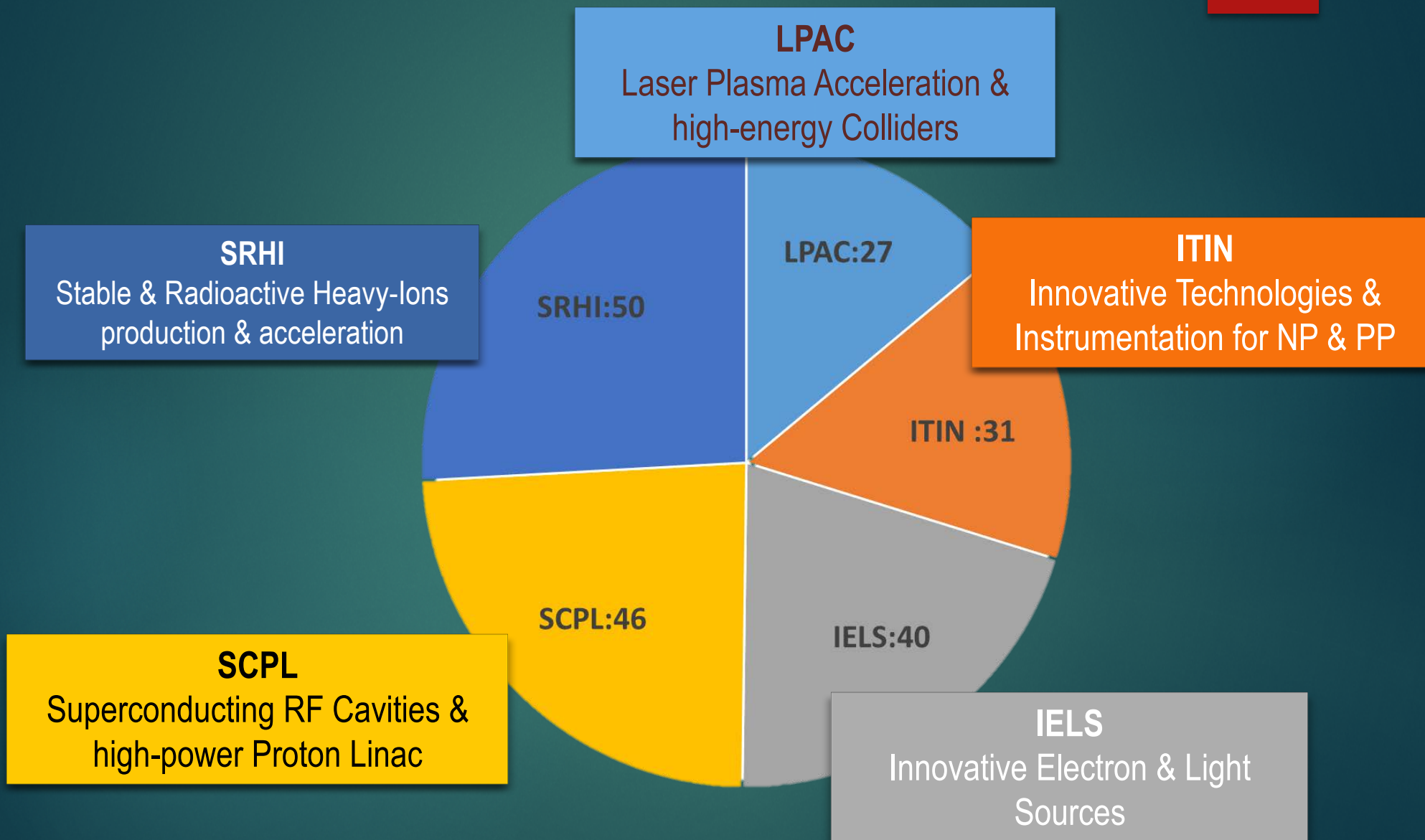
- 1/ Développer des accélérateurs produisant des faisceaux de hautes énergies
- 2/ Développer des accélérateurs produisant des faisceaux de haute intensité (collisions de haute luminosité)
- 3/ Accroître la fiabilité, qualité et efficacité

## Recommandations en cours d'élaboration par la direction de l'Institut


- A partir des travaux du GT 07
- En prenant en compte le résultat des prospectives techniques (métiers, spécialités, etc...)
- En prenant en compte les prospectives européennes

→ Communication à venir sur ce point

# Accélérateurs et R&D Détecteurs : le personnel







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

# Faisceaux stables et radioactifs d'ions lourds (SRHI)

## Objectifs scientifiques

Concevoir et optimiser les procédés des sources d'ions intenses

Concevoir et optimiser les procédés d'accélération de faisceaux d'ions stables et radioactifs de haute intensité

## Organisation en Master Projet

### Activités de développements auprès d'installation

SP2-DESIR (B. Blank & F. Varenne, GANIL, IJCLab, CENBG, LPCC)

SP2-NEWGAIN (I. Stefan & M-H. Moscatello, IJCLab, GANIL, IP2I, LPSC, CENBG, IPHC)

SPACE-ALTO (A. Said, IJCLab)

SPES-booster (J. Angot, LPSC)

SPES-cooler (G. Ban, LPCC)

### Activités de R&D

IONS-RADIOACTIFS (P. Delahaye, GANIL, IJCLab, LPSC, IPHC) -- cibles, faisceaux moléculaires ECS...

IONS-STABLES (T. Thuillier, LPSC, GANIL, IPHC) – sources HF, ions métalliques, simulation plasma ECR..

## Personnels et Budget 2022

Environ 50 ETP pour un budget global projet de 100 K€ + TGIR/EQX DESIR + EQX+ NEWGAIN (13,6M€)

# SRHI / Mise en place de l'EquipEX NEWGAIN

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  
(en complément du 1/3 existant)

Subvention obtenue: 13.7M€

Démarrage prévu au 1er octobre 2022

Gouvernance et structuration des activités définies

## 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



Voir présentation  
C. Peaucelle



Superconducting RF Cavities &  
Proton Linac de Haute Puissance  
(SCPL)

# Superconducting RF Cavities & Proton Linac (SCPL)

## Objectifs scientifiques

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

*études de matériaux, procédés chimiques et thermiques de traitement de surfaces  
dopage, études de l'effet multi-pacting, simulations, etc...*

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

*Etudes de fiabilité, contrôles en ligne (IA), contrôle des distributions cryogéniques  
Procédés de validation et d'intégration d'ensembles cavités + tuners coupleurs etc...*

## Organisation des activités

### **Activités de développement auprès d'infrastructures**

→ ESS @ LUND (Suède) -- G. Olry -- IJCLab

→ MYRRHA @ Mol (Belgique) -- L. Perrot & G. Olivier, F. Bouly -- IJCLab, LPSC, IPHC --

→ PIP-II @ FERMILAB -- D. Longuevergne & P. Duchesne -- IJCLab --

### **Activités de R&D**

→ SRF -- D. Longuevergne, IJCLab, LPSC)

→ PACIFICS -- S. Bousson, IJCLab, LPSC)

## Personnels et Budget 2022

Environ 50 ETP pour un budget global projets de 260 K€ + TGIR ESS + FAIR + EQX+ PACIFICS (9,7M€)

# SCPL / Conclusion de l'implication accélérateur sur ESS

## Engagements de l'IN2P3

### Cryomodules à Cavités Spoke (13)

Fabrication de 13 cryomodules : 11/13 aujourd'hui

10 cryomodules produits / 7 livrés @ Lund /

1 in validation @ Uppsala / 2 stockés @ Orsay

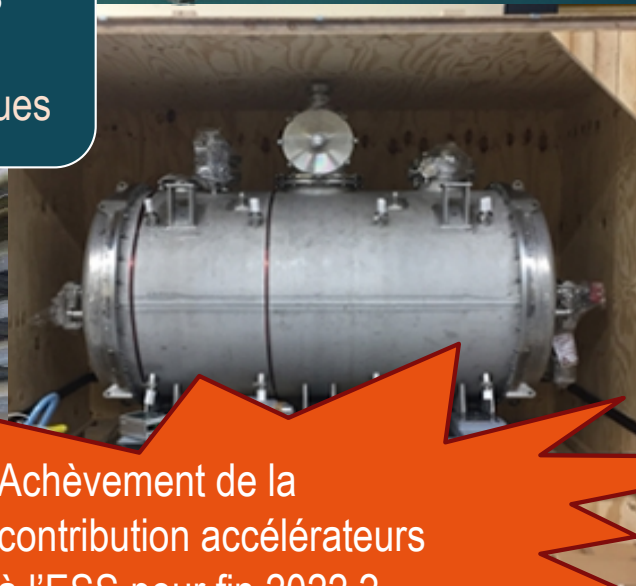
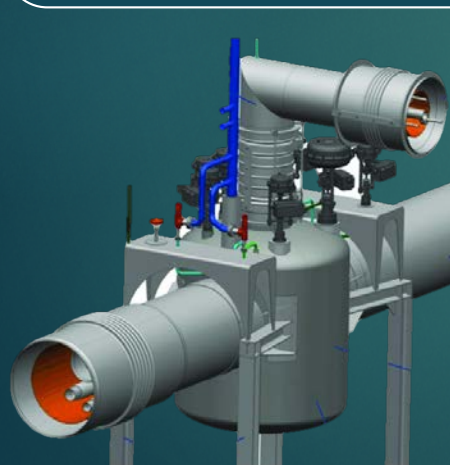
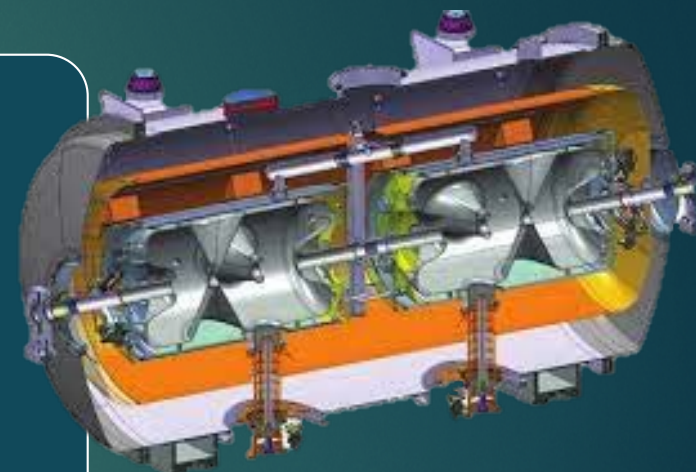
### Lignes de distribution cryogénique

Toutes les boîtes à valves (23) livrées sur site

Section de distribution cryogénique en cours de modification par industriels

Unité de transition secteurs Spoke / Elliptic sections prête en Juin

Mise en froid à l'été – conditionnera l'intégration des CM Spoke & elliptiques



Achèvement de la contribution accélérateurs à l'ESS pour fin 2022 ?

# SCPL / Préparation à la phase de production PIP-II

## Engagements de l'IN2P3

### Phase-2 : design et pré-production des Cryomodules SSR2

- Inspection et tests des cavités, tuners, coupleurs de puissance prototypes
- Passer les commandes des fournitures (lien avec industriels)
- Définition du traitement des cavités (traitements chimiques, procédure cleaning)
- Test des 4 CM complètes de la pre-production selon protocole défini

### Phase-3 : Fourniture/Assemblage/Fabrication des CM SSR2

- Actions avec industriels pour fabrication & applications procédés de surface
- Tester les 33 cavités en CV (cavités avec 2 tuners et low power coupler LPC)



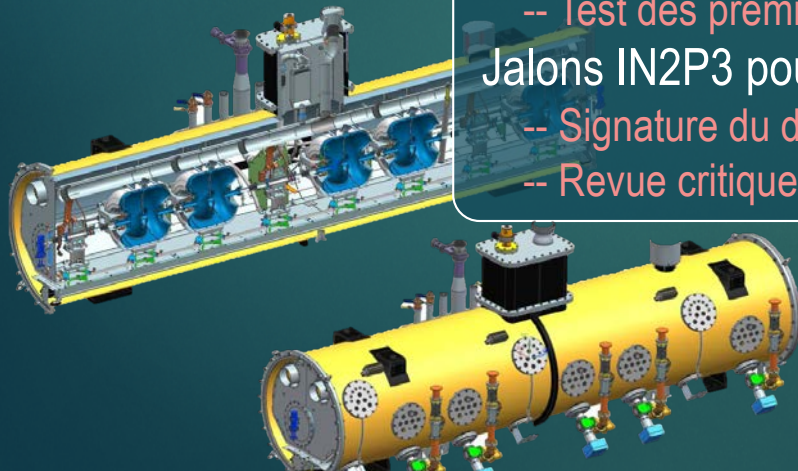
## Calendrier IN2P3

### Jalons importants du projet PIP-II en 2022

- Revue critique CD-3 DOE en 2022 / Validation de la phase de construction
- Test des premiers prototypes CM SSR2 - notamment des cavités

### Jalons IN2P3 pour le projet

- Signature du document de planification du projet - printemps 2022
- Revue critique interne IN2P3 en vue de la phase de construction



Lancement de la  
phase de production  
en 2022

# SCPL / lancement de l'EquipEX PACIFICS

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

### R&D sur les aimants supraconducteurs

*infrastructures pour études matériaux, cryogénie, banc tests de caractérisation de haute précision etc...*

### R&D structures Supraconductrices RF (SRF)

*matériaux, banc-tests pour études et procédés de traitement de surface, etc...*

### R&D Accélération Laser plasma

*plateforme de recherche en vue de la validation du multistaging dans la production de faisceau (PALLAS)*

### R&D Sources d'ions de haute intensité de haute fréquence

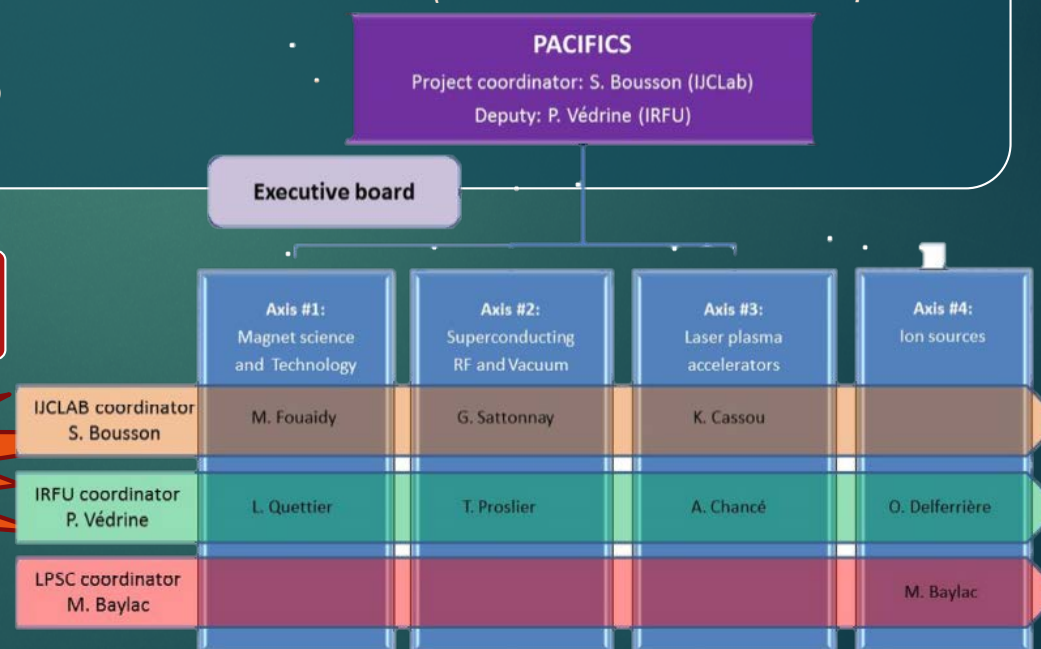
*plateforme de caractérisation et développement de sources d'ions lourds (contamination, haute fréquence)*

Subvention obtenue: 9.7M€ dont 4.2 pour l'IN2P3


Démarrage prévu en 2022

## Contribution des laboratoires IN2P3

EquipEx : 2022 - 2028







Accélération Laser-Plasma et  
Collisionneurs de haute énergie  
(LPAC)

# Laser-Plasma et Accélérateurs Innovants (LPAC)

## Objectifs scientifiques

Concevoir les accélérateurs pour les futurs collisionneurs de hautes énergies & intensités  
*e-e<sup>+</sup> : production, stabilisation et contrôle de nano-beam, production de positrons, polarimétrie  
monitoring de luminosité - hh : vide dynamique*

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

*accélérations d'électrons : Injecteur LP, démonstration de stabilité et reproductibilité, simulations,  
accélération d'ions : compréhension, caractérisation et (code de) simulations*

## Organisation en Master Projet

### Activités de développement

FCC-NPC (A. Faus-Golfe, IJCLab, LAPP) – nanobeams, polarimétrie, mesure luminosité, etc...

→ PALLAS (K. Cassou, IJCLab, LLR) – voir suite

I-FAST (W. Kaabi, IJCLab, LLR)

### Activités de R&D

ALP-e (A. Specka, LLR, IJCLab) – R&D accélération laser plasma d'électrons / Apollon / simulation

ALP-ions (F. Hannachi, CENBG) – R&D accélération laser plasma d'ions

## Personnels et Budget 2022

Environ 27 ETP pour un budget global projets de 150 K€ + EQX PACIFICS (9,7 M€)

# Programme européen EuPRAXIA ... dans ESFRI

## EUROPEAN PLASMA RESEARCH ACCELERATOR WITH EXCELLENCE IN APPLICATIONS

The Eu-PRAXIA vise la construction de deux sites majeurs accueillant un Accélérateur LP :  
-- laser-based plasma acceleration  
-- electron-beam-driven plasma acceleration  
Il s'appuie sur une petite dizaine de centres d'excellence en Europe (1 en France)



# LPAC / Position française actuelle dans Eupraxia

## 2 projets principaux

### PALLAS (IN2P3)

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 and ses applications

- Source à haut taux de répétition (>100 Hz)
- FEL -driven development, qualité faisceaux



## 4 principaux laboratoires impliqués...

**IJCLab/LLR** : multi-PW driven LPA experimental demonstration @**APOLLON**, applications to HEP and other field, beam diagnostics and compact beam transport @ PALLAS, theory simulations and developments of PIC

**LULI** : new advanced laser technology development : Compressor, intensity stabilization, focal spot alignment stabilization, amplification stage, beam transport (close links with the laser industrial 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

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

# LPAC / Le projet PALLAS à l'IN2P3

## Projet PALLAS

R&D et construction d'un injecteur laser-plasma électron (10 Hz, 150 MeV)  
*basé sur la plateforme LaserIX (40 TW – 10 Hz)*  
Utilisation de LaserIX pour une installation laser-plasma  
Développement de cible plasma (cellule plasma)  
Validation du multi-staging et contrôle de LPI  
Budget : PACIFICS, Orsay, AP IN2P3

## Phasage du projet ...

### Phase-1 (2020-2023)

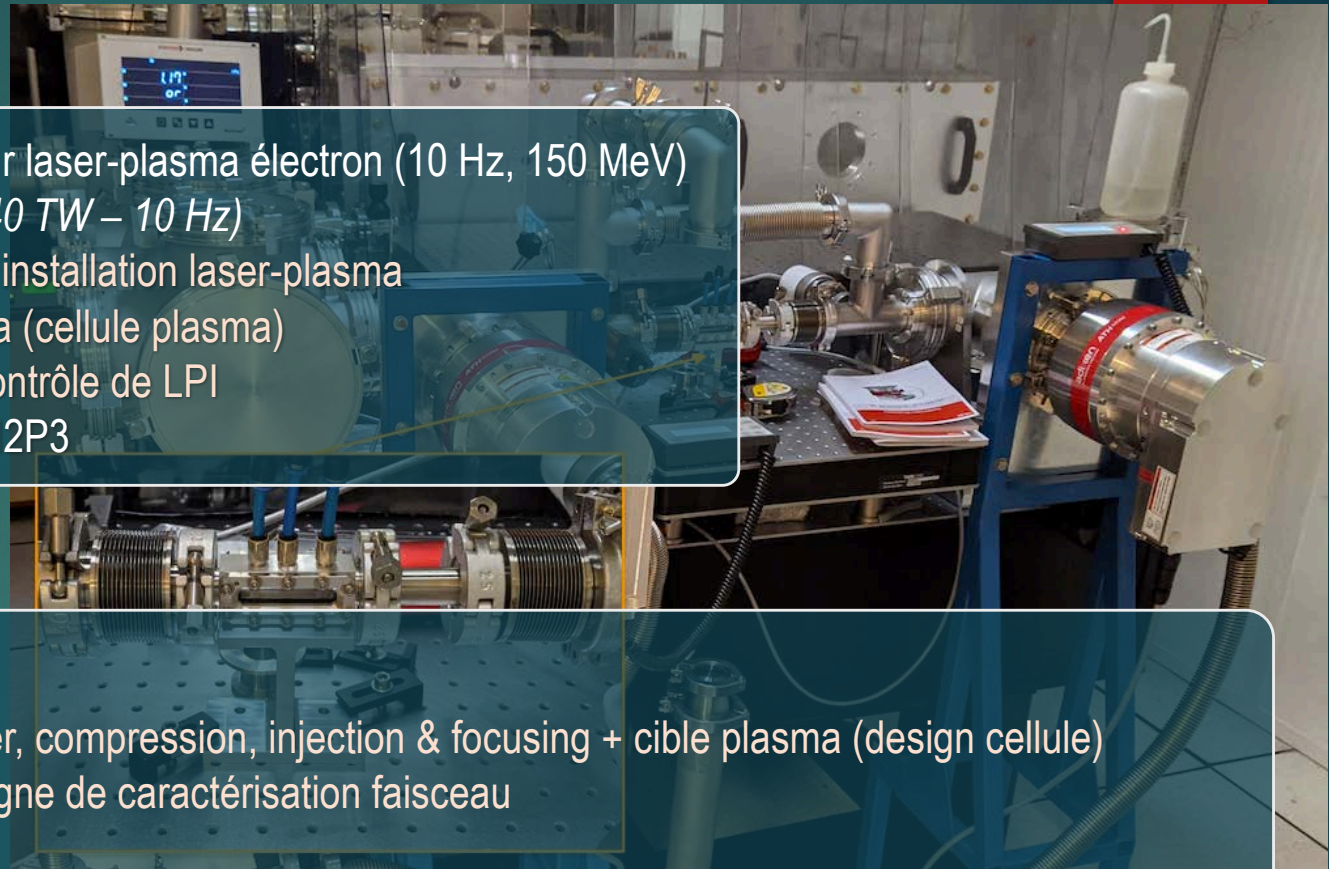
Construction de transport laser, compression, injection & focusing + cible plasma (design cellule)  
Design et construction de la ligne de caractérisation faisceau

### Phase-2 (2022-2024)

Implémentation d'une section focalisante à la sortie du plasma vers la ligne faisceau électron  
Upgrade du Laser Driver (intensité), réglage LWFA & optimisation; contrôle rétroactif surligne électrons  
Amélioration/contrôle de la qualité du faisceau d'électrons à la sortie de cellule plasma

### Phase-3 (2024-2026)

Implémentation d'une ligne de transport pour injection dans une ème étape laser plasma stage,  
Contrôle du LPI + *Simulation SMILEI PIC code (simulation LWFA, cible plasma, diagnostics faisceau)*





Sources innovantes d'électrons  
et de lumière  
(IELS)

# Programme : Sources d'électrons et photons innovants (IELS)

## Objectifs scientifiques

**Concevoir des accélérateurs innovants pour la production de faisceaux intenses d'électrons et de photons**

*Sources de lumière intense*

*Energy Recovery Linac (ERL)*

## Organisation en Master Projet

Activités de développement (auprès) d'installations

ELI-NP (F. Zomer, IJCLab) – projet en standby

THOM-X (H. Monard, IJCLab) – 1<sup>er</sup> faisceaux accéléré dans le Linac en 2021

→ PERLE (W. Kaabi, IJCLab) – projet en cours de structuration internationale

Activités de R&D

ILE (A. Martens, IJCLab)

TWAC (C. Bruni, IJCLab) - THz Wave Accelerating Cavity / EIC 2021

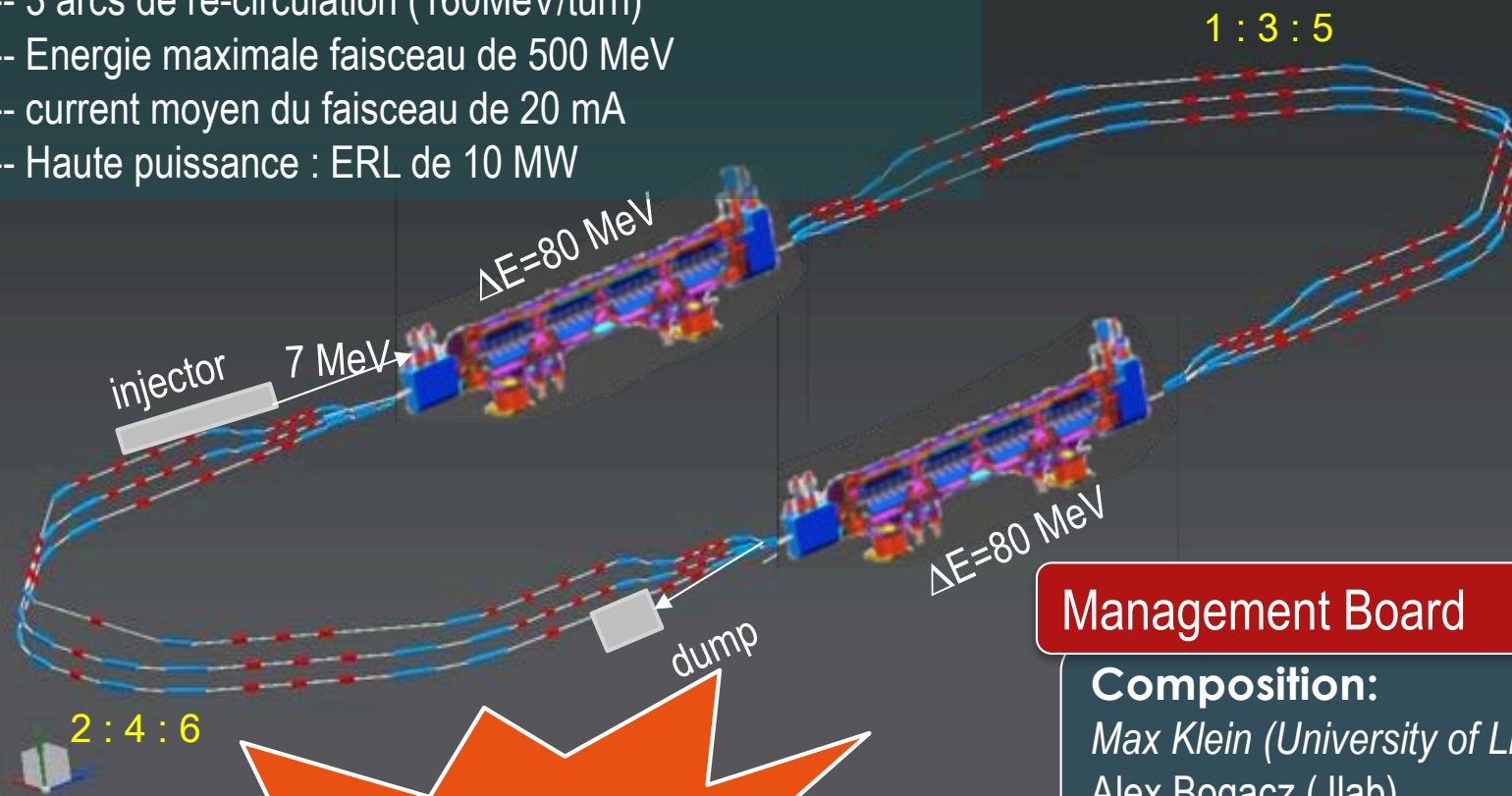
## Personnels et Budget 2022

Environ 40 ETP pour un budget global projets de 15 K€ + ThomX + ELI-NP + PEPR en cours ?

# IELS / Fait marquant : définition du projet PERLE

## Le projet PERLE

- ERL avec 2 SC Linacs (4x 5-cell 801.58 MHz SC cavities)
- 3 arcs de re-circulation (160MeV/turn)
  - Energie maximale faisceau de 500 MeV
  - current moyen du faisceau de 20 mA
  - Haute puissance : ERL de 10 MW



Voir présentation

Travail de collaboration internationale dans le cadre de l'axe-5 de la stratégie européenne

## Management Board

- Composition:**
- Max Klein (University of Liverpool)-spokesperson
  - Alex Bogacz (Jlab)
  - Patx iDuthil(IJCLab)
  - Frank Gerick (CERN)
  - Eugène Levitchev (BINP-Novosibirsk)
  - Frank Marhauser (Jlab)
  - Boris Militsyn (STFC-Daresbury)



# Conclusion

## Accélérateurs : des axes prioritaires définis

Basée sur des expertises et compétences reconnues pour des R&D à la pointe du domaine

*Autour d'infrastructures internationales (ESS, PIP-II, MYRRHA...)*

*Autour de projets internationaux (CERN, DUNE/PIP, FCC-NPC, EIC, FCC-hh..)*

S'appuyant sur un réseau de plateformes (nationales, labellisées, plateaux techniques)

## Une stratégie « Accélérateurs » bien définie

Elaborée à partir de nos prospectives et de la feuille de route européenne

En vue de développer une implication dans les projets majeurs en PP et PN

...Et en assurant le développement d'installations ouvertes aux domaines applicatifs

## Un accent à mettre sur les activités de R&D

Objectif d'accroître la part des activités de R&D à plus de 30% des activités..