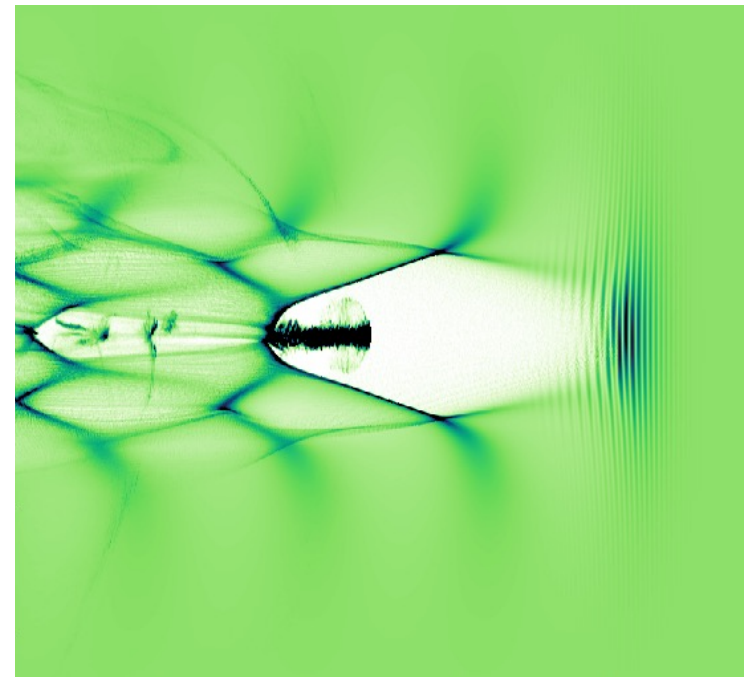
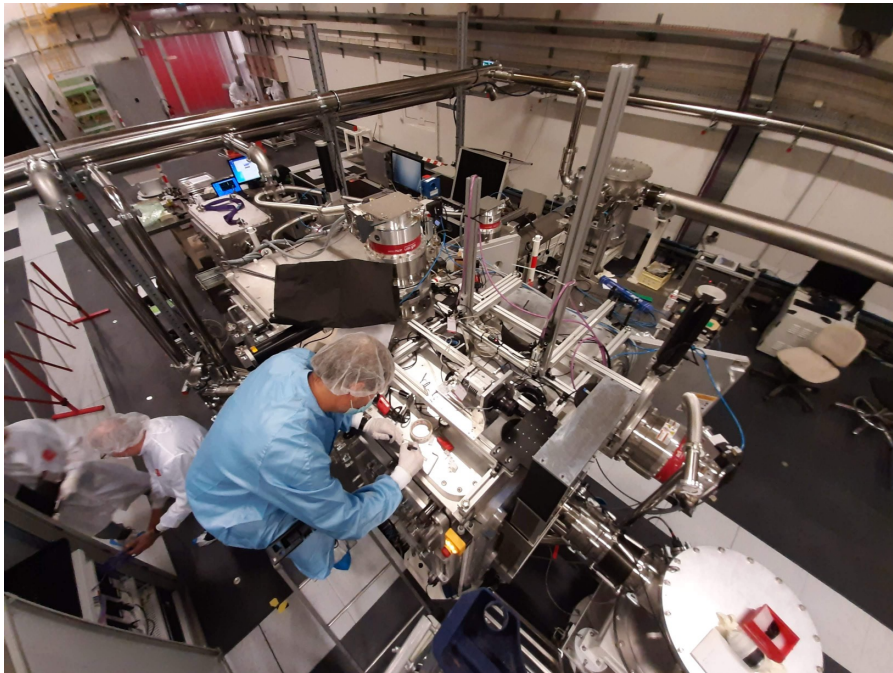
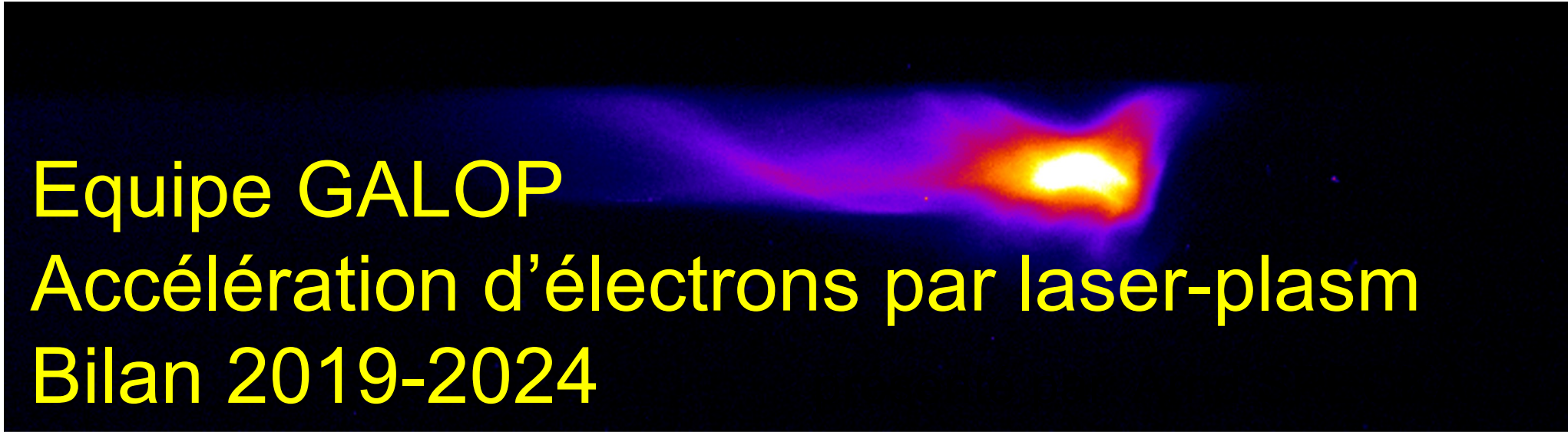


Equipe GALOP  
Accélération d'électrons par laser-plasm  
Bilan 2019-2024



# 3D pic simulation d'ALPe dans le régime de la bulle (blowout)

---



*A. Beck, M. Lobet, F. Massimo & I. Zemzemi*



# GALOP: Groupe Accélérateurs par Laser et Ondes Plasma

---

*Etude expérimentale et numérique de l'accélération laser-plasma d'électrons et de ses applications (dans le périmètre thématique de l'IN2P3)*

## ○ Activités:

1. Développement de l'outil de **simulation** connexe: **SMILEI**
2. participation aux **expériences** sur APOLLON (2020-2022) et LOA-SJ (2023)
3. Développement de l'instrumentation connexe:  
**aimants + détecteurs + bancs de test + code online**
4. Contribution à la coordination nationale et international du domaine EuroNNAC (Hor. Eur. 2021-27, **EuPRAXIA**, CERN-LDG-Expert Panel)

## ○ Membres permanents 2024: Arnaud BECK, Arnd SPECKA

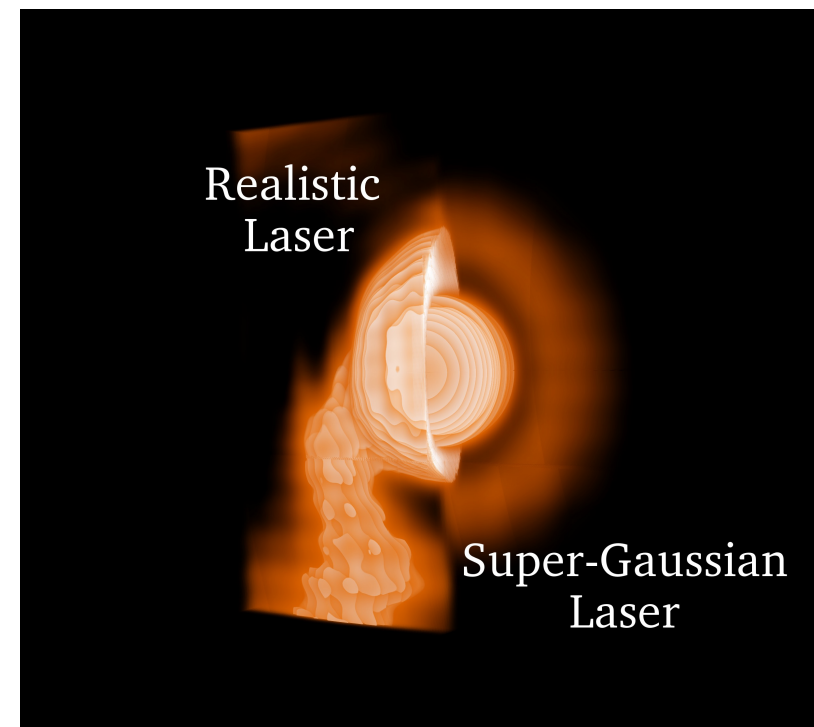
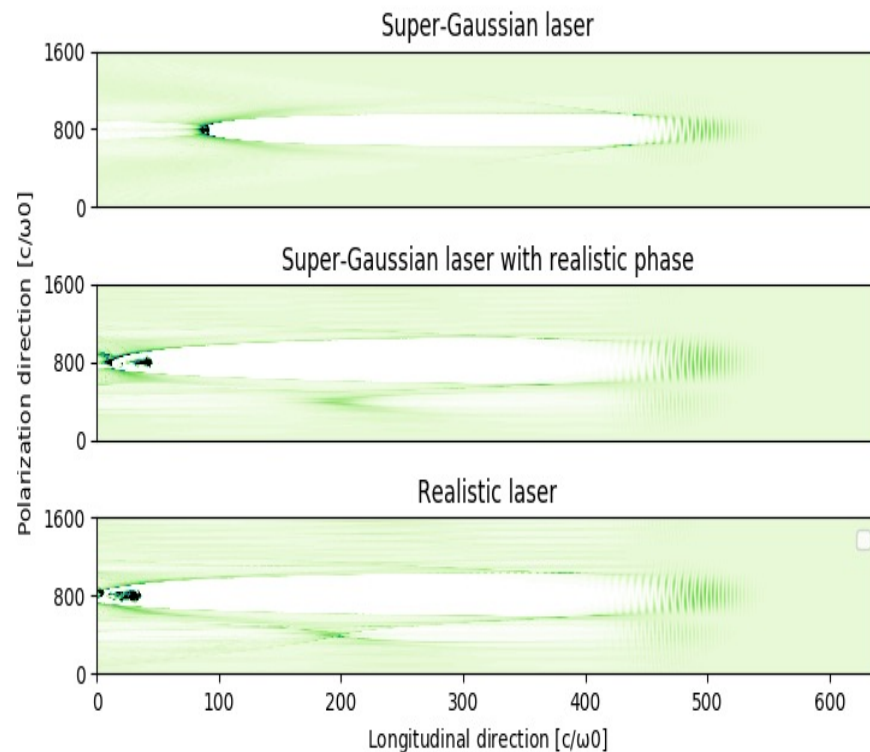
## ○ Soutien technique et développements:

Lorenzo BERNARDI, Antoine CAUCHOIS, Ali MAHJOUR

---

# 1. Simulation LPA (laser plasma acceleration)

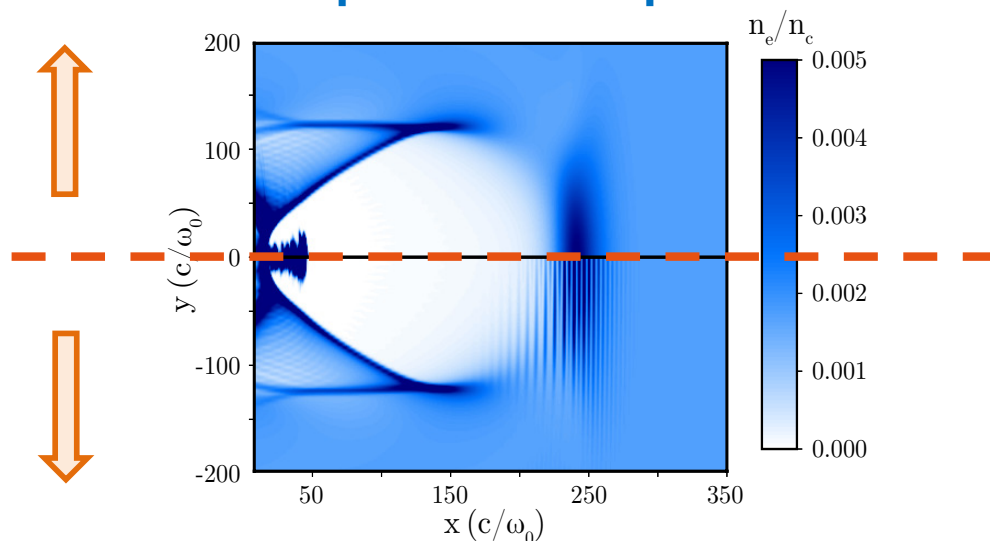
- Collaboration Open Source: LLR, LULI, Maison de la Simulation
- 2020: Soutenance Thèse Imène Zemzemi (dir. : A. Beck)
  - spectral modes azimutaux AM
  - modélisation de laser réalistes (APOLLON)



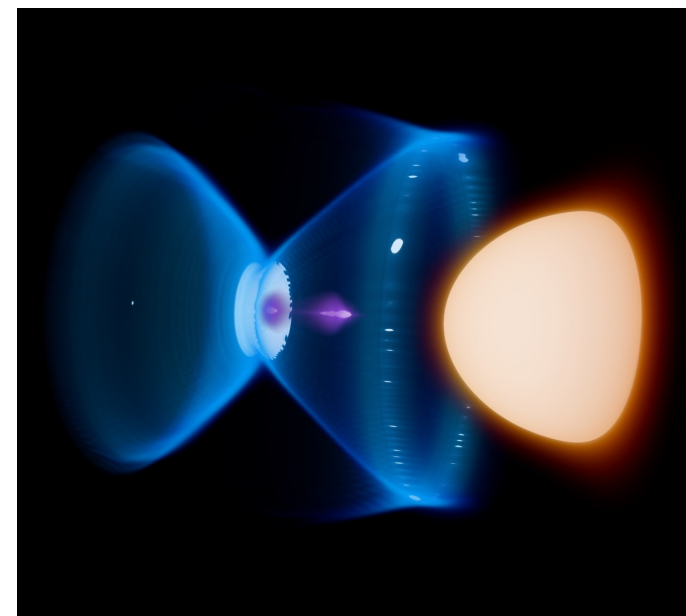
2019-2021: postdoc Francesco Massimo (2024: CR. LPGP, Paris-Saclay)

- Méthode SDMD pour optimisation des communications et couplage avec solveur spectral (Derouillat & Beck Journal of Physics: Conference Series 1596, 2020)
- Modèle d'enveloppe cartésien => speed-up ~ 5x (Massimo et. al., PPCF 2019)
- Modèle d'enveloppe en AM => speed-up ~ 100x (Massimo et. al., Journal of Physics: Conference Series 1596, 2020)
- Inclusion de l'ionisation en modèle d'enveloppe (Massimo et. al., Physical Review E 102 (3), 033204)

**TOP: envelope model -> speed**

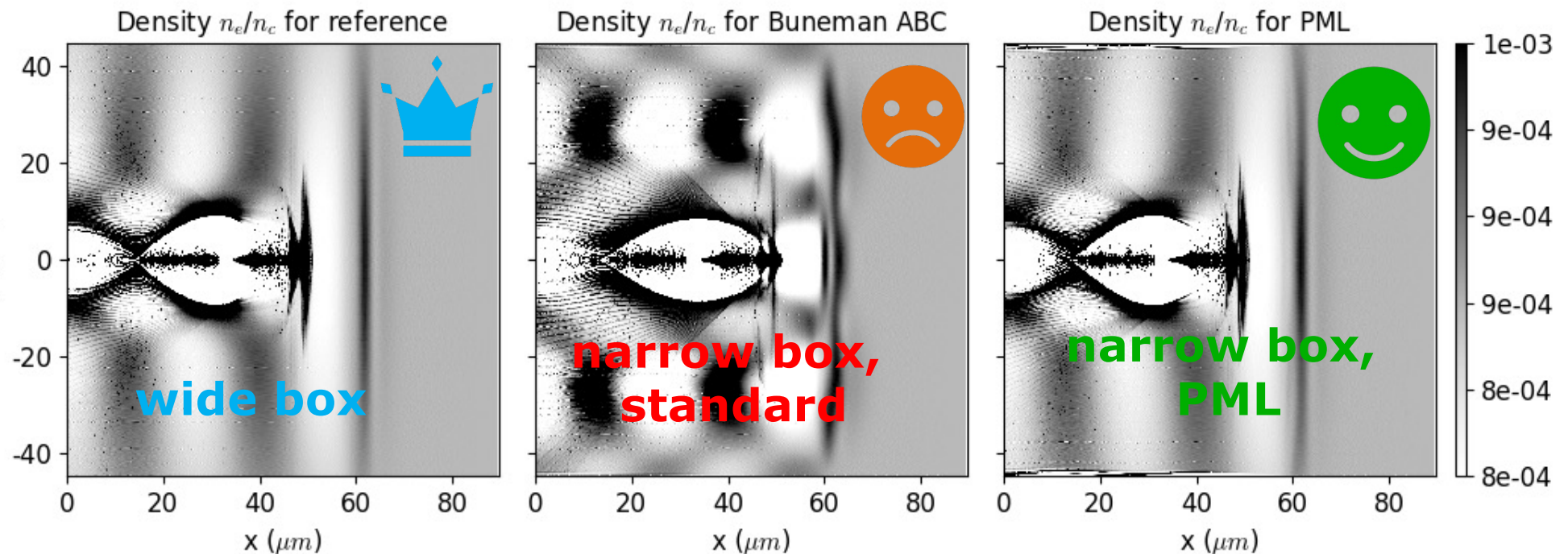


**BOTTOM: detailed simulat<sup>o</sup>-> precision**

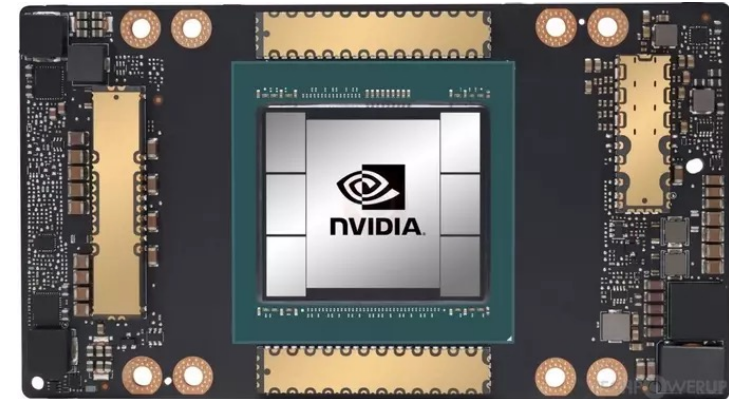


2020-2022: postdoc Guillaume Bouchard (2024: CEA-DAM, CDI)

- implémentation de la PML (perfectly matched layer)
- PML = «sophisticated boundary conditions» -> volume simulation plus petit
- testé, abondamment utilisé (!), **Utilisation massive de SMILEI par PALLAS (IJCLAB)**
- soumis pour publication, arXiv:2409.06287



- SMILEI remporte régulièrement des attribution importantes de temps de calcul au GENCI.
- Défi de portabilité vers **GPU** d'un code HPC
  - centres de calcul français
  - 12/2022 Grand Défi GENCI sur Adastra au CINES
  - 04/2023 Hackathon Jean-Zay à l'IDRIS
- Attractivité de Smilei
  - **Recrutement** d'un CR pour simulation plasma et développement Smilei au LPGP (**poste INSIS**) d'un ancien post-doc GALOP (F. Massimo)
  - **Recrutement** d'un IR fléché Smilei à la **Maison de la Simulation** via la DDOR suite à une demande conjointe IN2P3 + INP (C. Prouveur)





# Prix science ouverte du logiciel libre de la recherche 2023

## ○ Smilei : lauréat de la catégorie « Scientifique et technique »

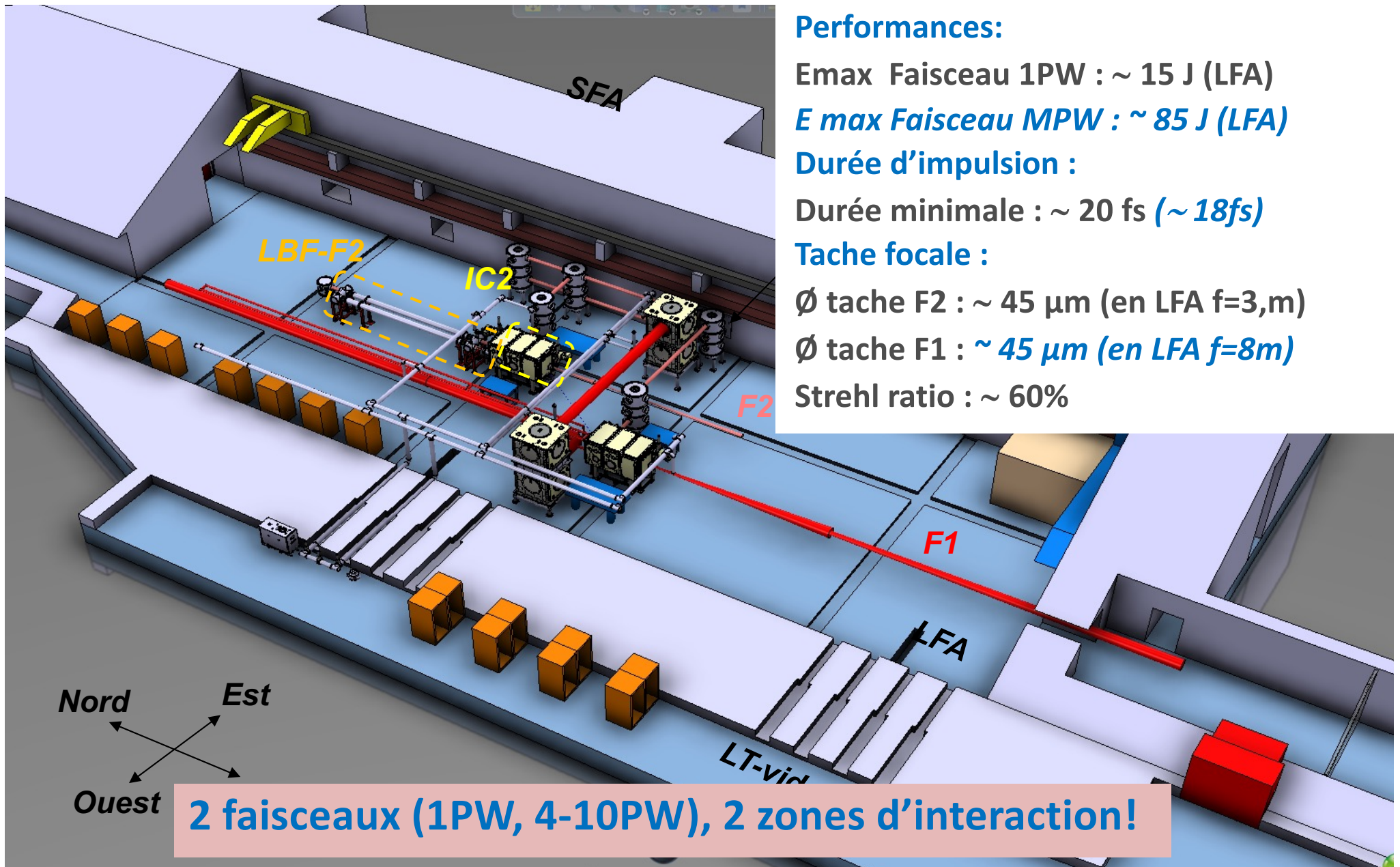
<https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/remise-des-prix-science-ouverte-du-logiciel-libre-de-la-recherche-2023-93732>



---



## 2. Campagnes d'expériences sur laser de puissance

# APOLLON laser: Long Focal Area (LFA) electrons et gammas



# Experiences APOLLON

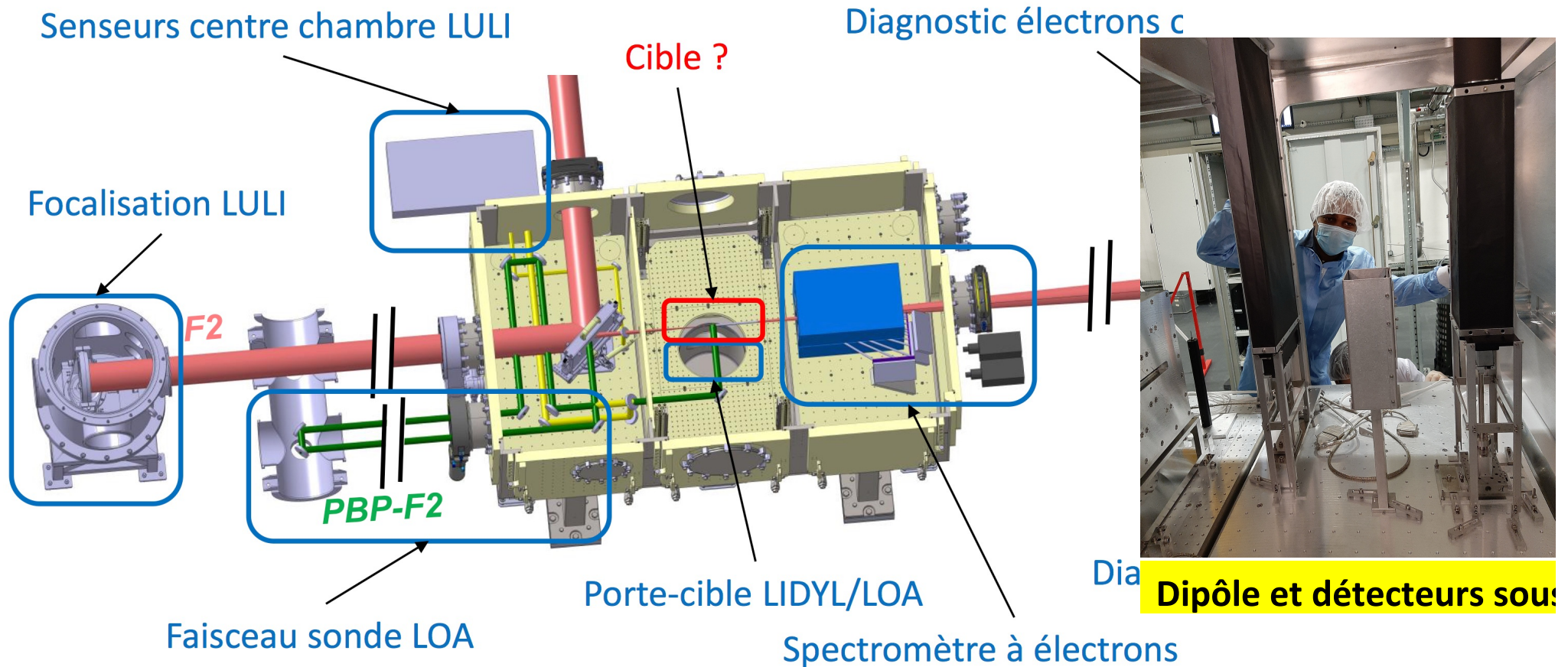
---

- 1ère campagne commissioning APOLLON LFA (nov 2020)
  -  Objectifs principaux: techniques!
    - Rodage des procédures laser journalières
    - Validation de la radioprotection
    - Démonstration de répétabilité du laser
    - Rodage interfaçage laser-experience
    - Synchronisation, EM
  -  **Excellent soutien technique du LLR !**
- 2ème campagne commissioning APOLLON LFA (avril 2021)
- 1er campagne d'ouverture sur APOLLON LFA (mars 2022)  
“Production de positrons par conversion” (Avec Queens U Belfast)

# 1ère campagne *commissioning* sur APOLLON Nov 2020



- LLR-LOA-LIDYL-LULI
- Laser: Focale = 3m (F/20) ,  $E < 12\text{J}$ , 22fs,
- Plasma: gaz jet 5mm et 10mm He+ 2%N<sub>2</sub>

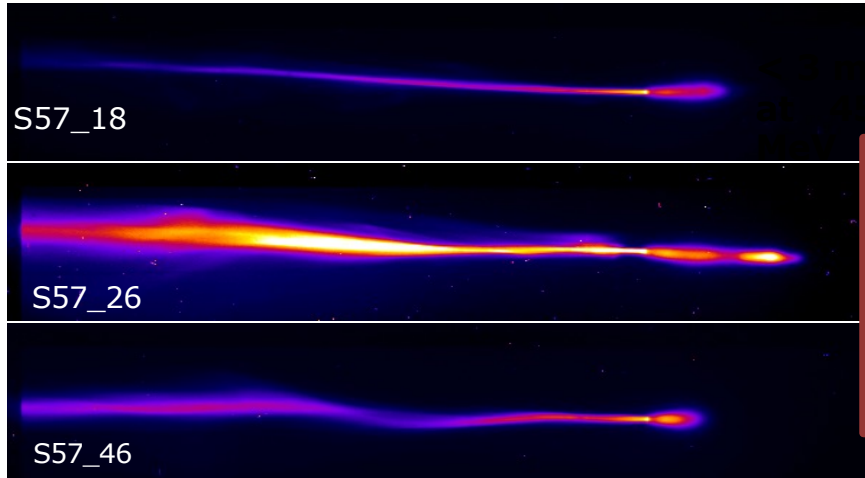


# APOLLON 2<sup>nd</sup> electron commissioning run: pré-l. results

Electron spectra observed in detection windows:

## 26/04 Spectra in 6mm long gas cell 175 MeV – 750MeV (LANEX out vac)

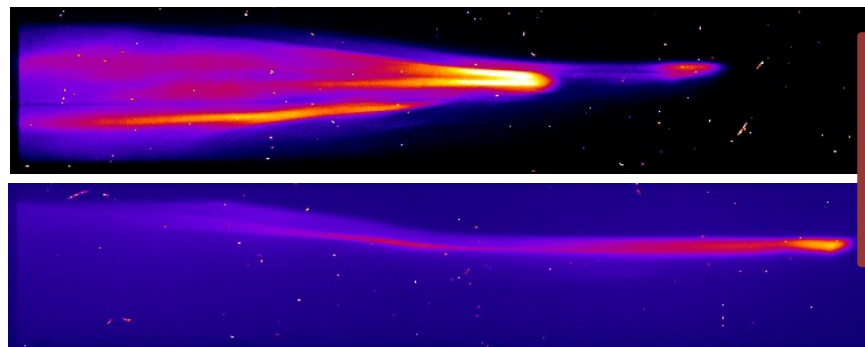
175MeV 450MeV 800MeV 450 MeV – 1.6 GeV (YAG in vac.)



Observed energy range and distribution in agreement with predictions, from simulations performed with focal spot measured in Nov. 2020 as input

## 30/04 Spectra in 13 mm long gas cell

175MeV 450MeV 800MeV

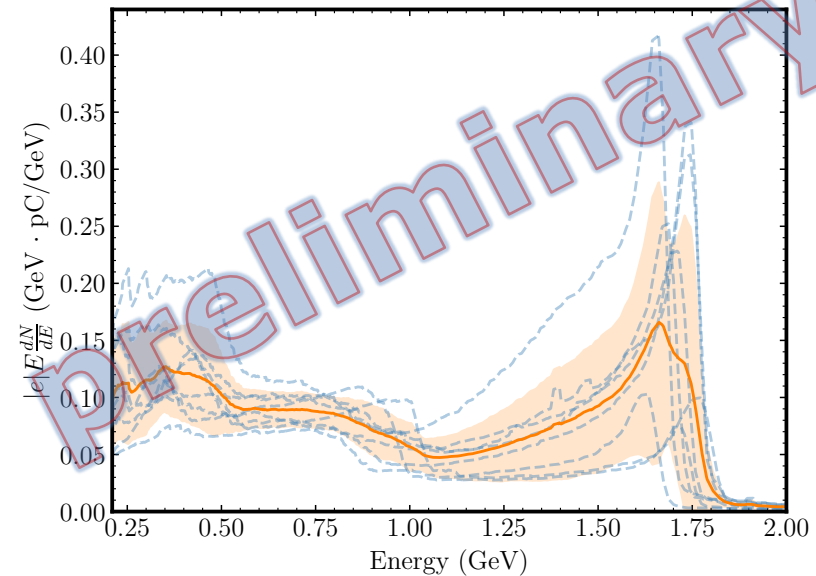
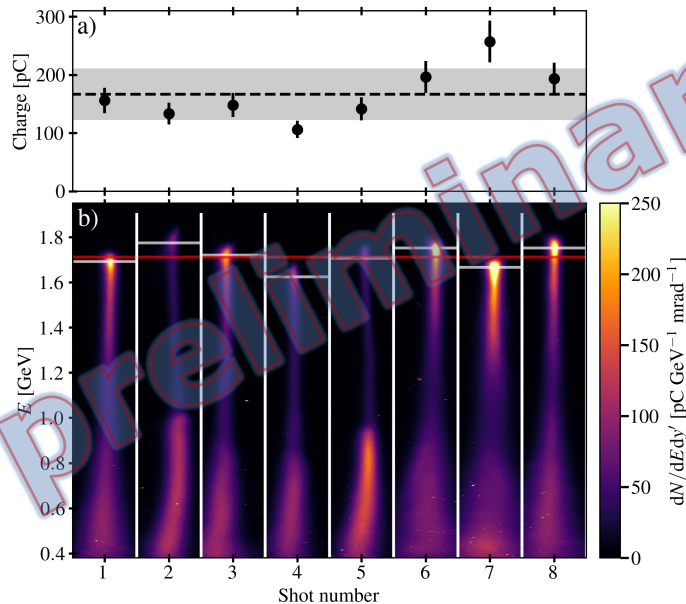
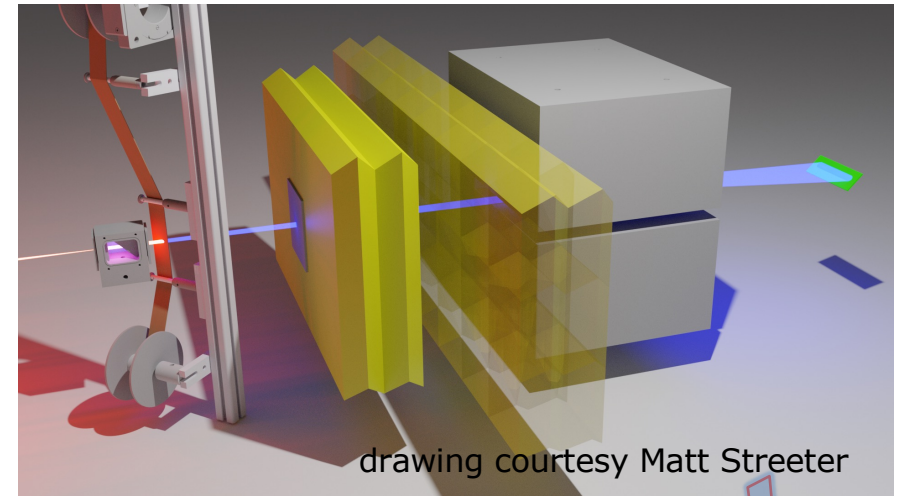


Larger shot to shot instability on the 30th of April, link to measured focal spot quality will be studied in future simulations

**(analysis ongoing)**

# run APOLLON (2022): positron production (w/ Queens U, Belfast)

- production  $e^+$  par conversion sur cible en Ta ou W
- détection  $e^-$  et  $e^+$ : avec dipôle et détecteurs *in-vacuo* du LLR
- électrons  $E > 1\text{GeV}$  : routine, haute charge
- série stable  $\langle E \rangle \sim 1.65\text{ GeV}$
- en  $\sim 20\text{mm}$  . (CLIC would need  $>20\text{meters}$ )



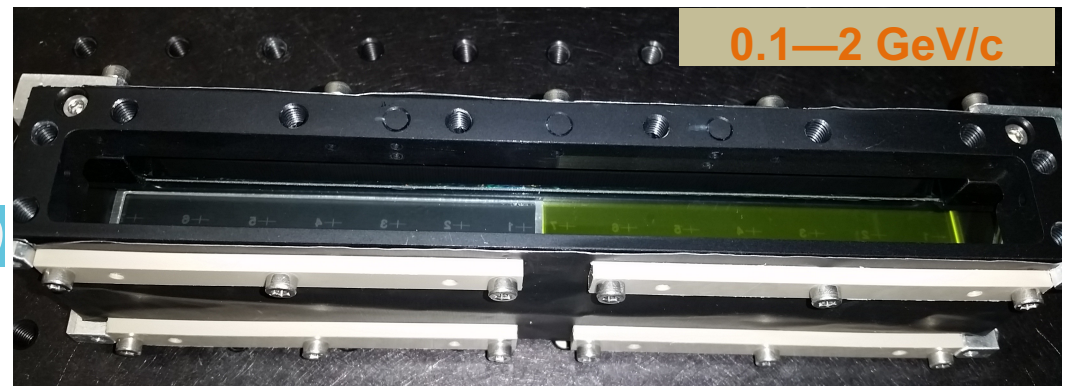
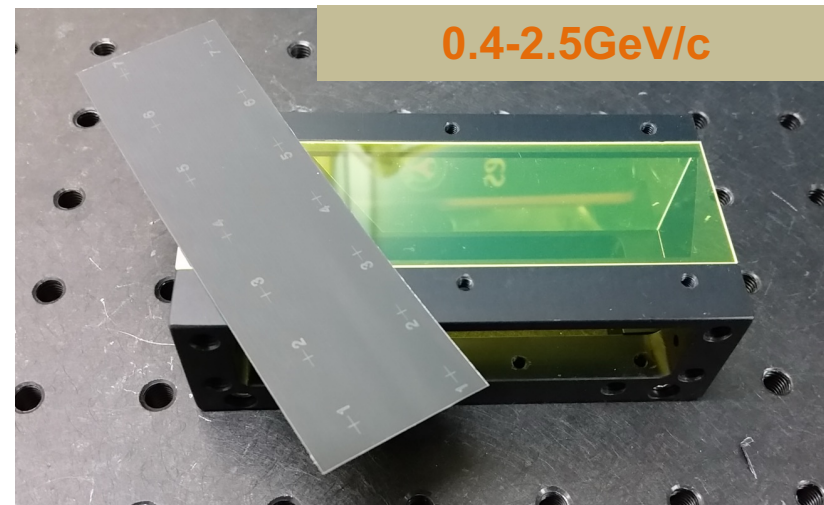
Gamma spectrometer results : Experimental characterization of a single-shot spectrometer for high-flux, GeV-scale gamma-ray beams, Cavanagh, N., et al. Physical Review Research. 5, 9 p., 043046.

---

### 3. Développement de l'instrumentation pour LPA

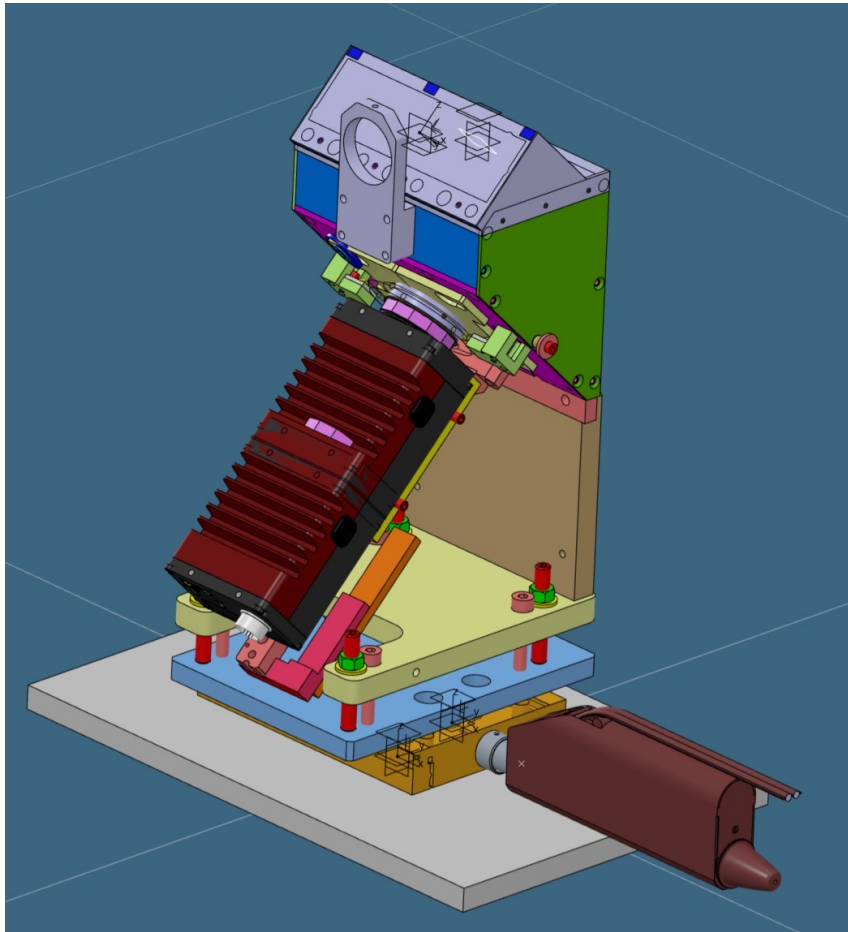


# Instrumentation: from ex-vacuo to in-vacuo screens (APOLLON 2)

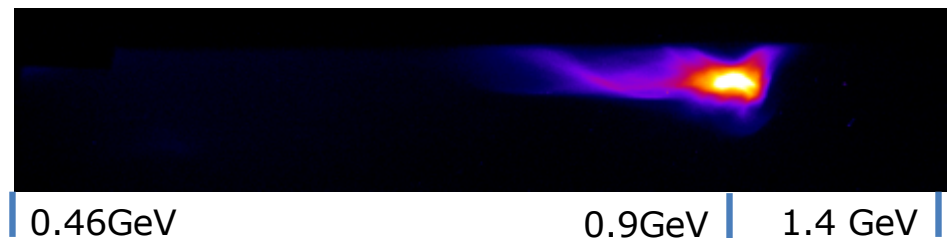


Antoine Cauchois (IR mécanique)  
Ali Mahjoub (IR mécanique)  
Ali Fahad (CDD IE mécanique) 100%

# Instrumentation: from ex-vacuo cameras to fully in-vacuo (APOLLON 3)

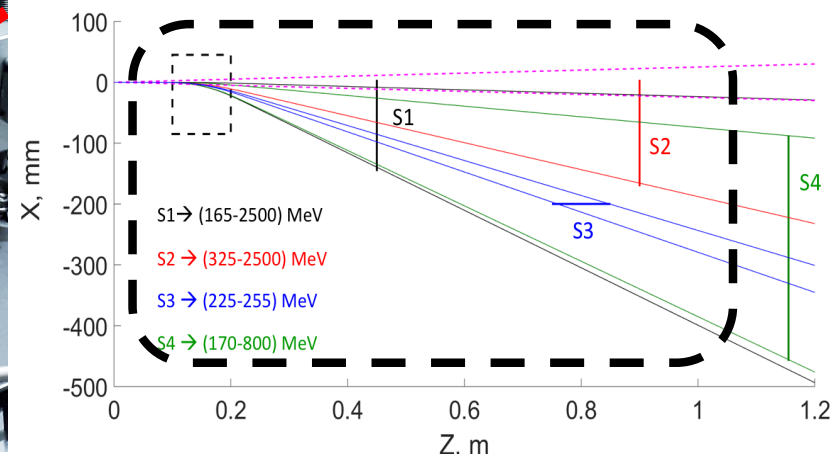
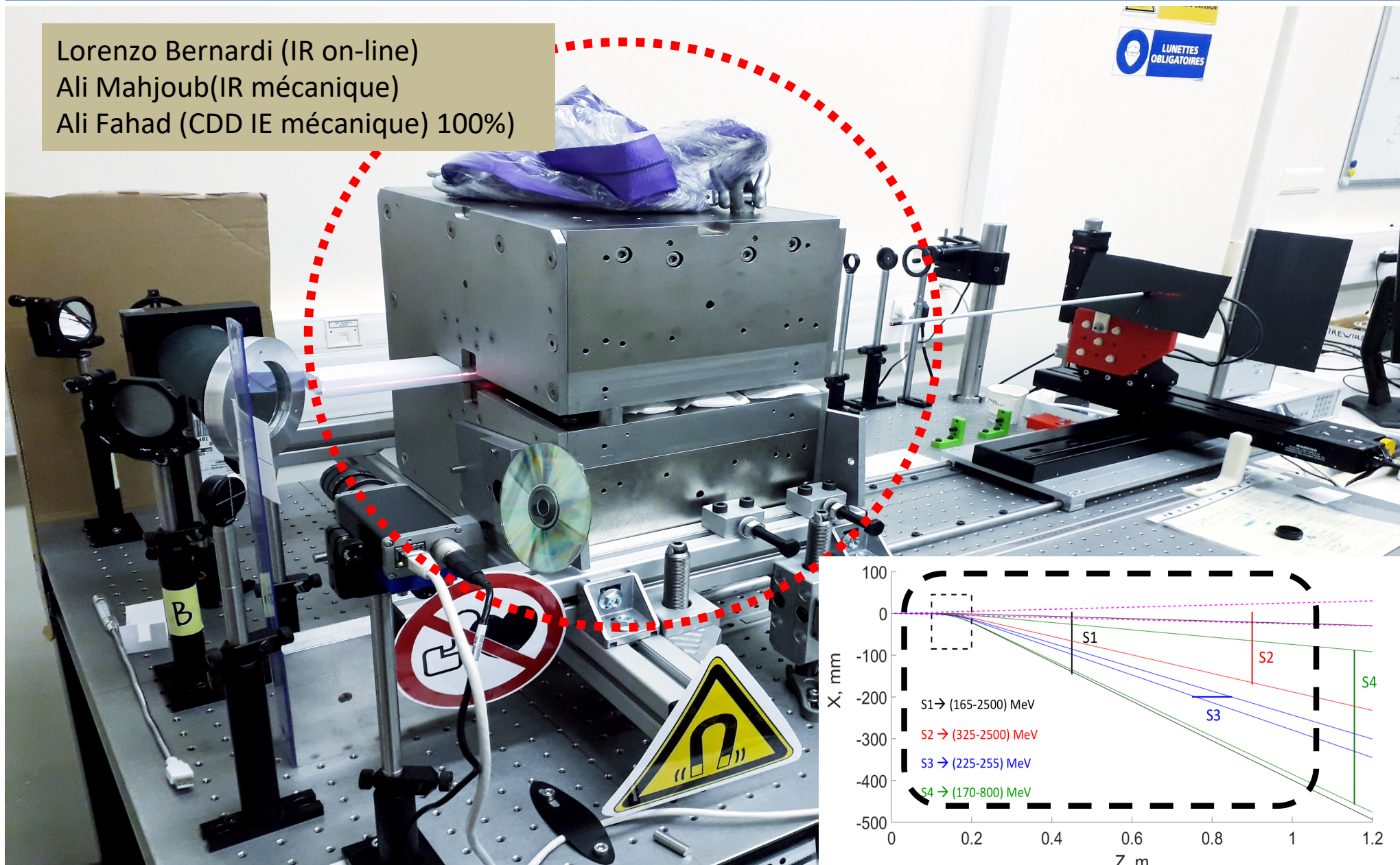


- réalisation compatible vide poussé
- écrans scint. inorganiques (YAG:Ce)
- lecture par **caméra CMOS sous vide**



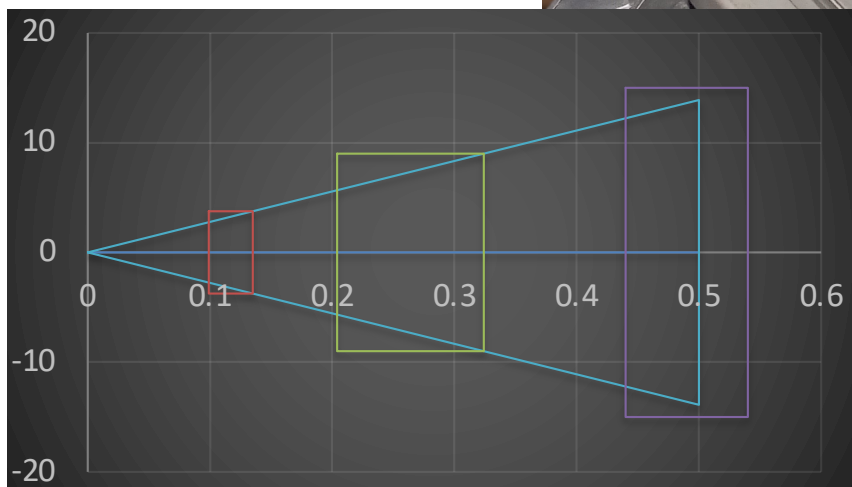
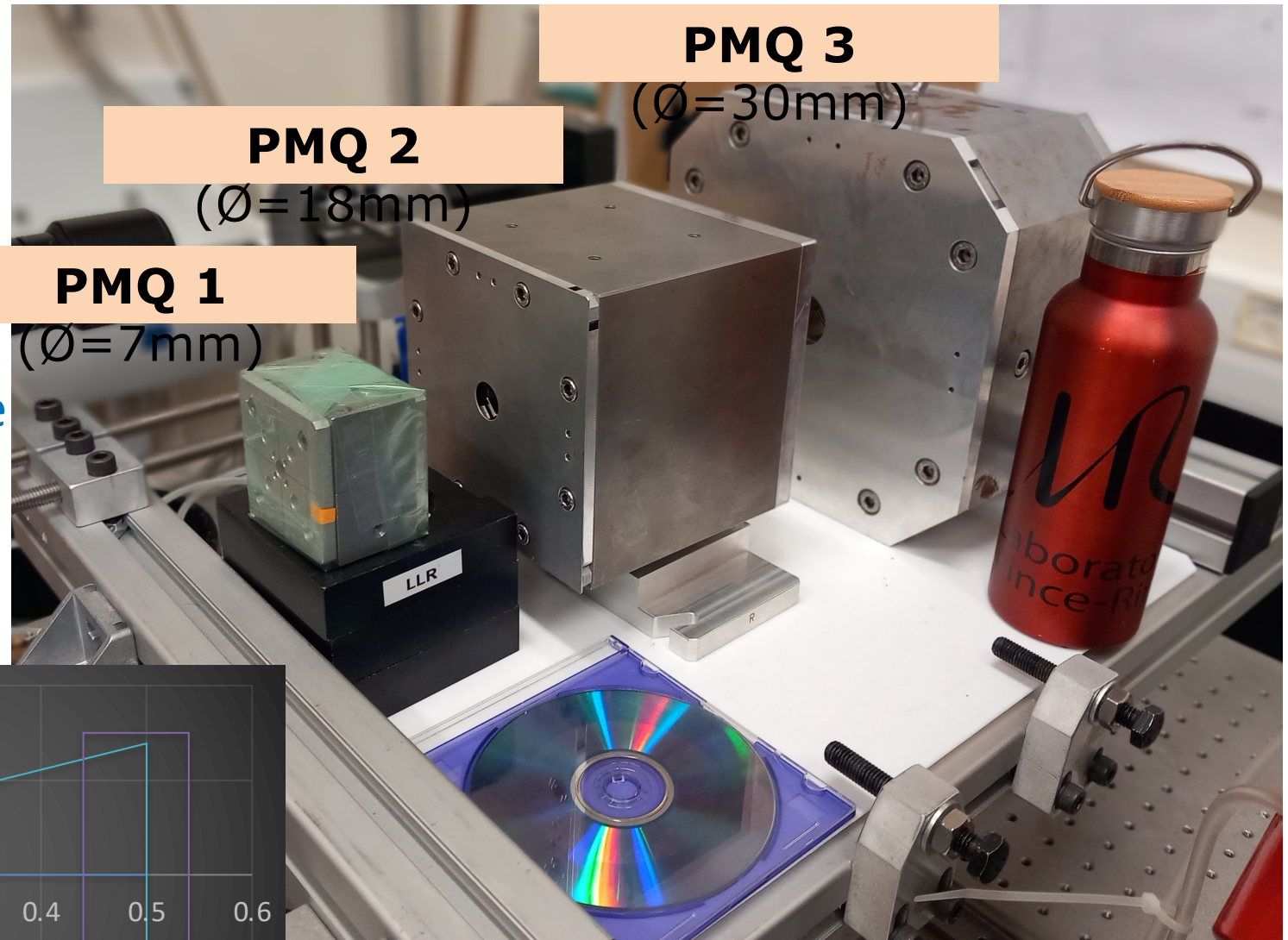
# Instrumentation: dipôle permanent 0.42Tm (->APOLLON 2)

Lorenzo Bernardi (IR on-line)  
 Ali Mahjoub (IR mécanique)  
 Ali Fahad (CDD IE mécanique) 100%



# LLR Permanent Magnet Quadrupole Triplet

- $G \propto 1/R$
- FODOF
- LLR made
- yoke:  
custom made
- pmagnets:  
off-the-shelf

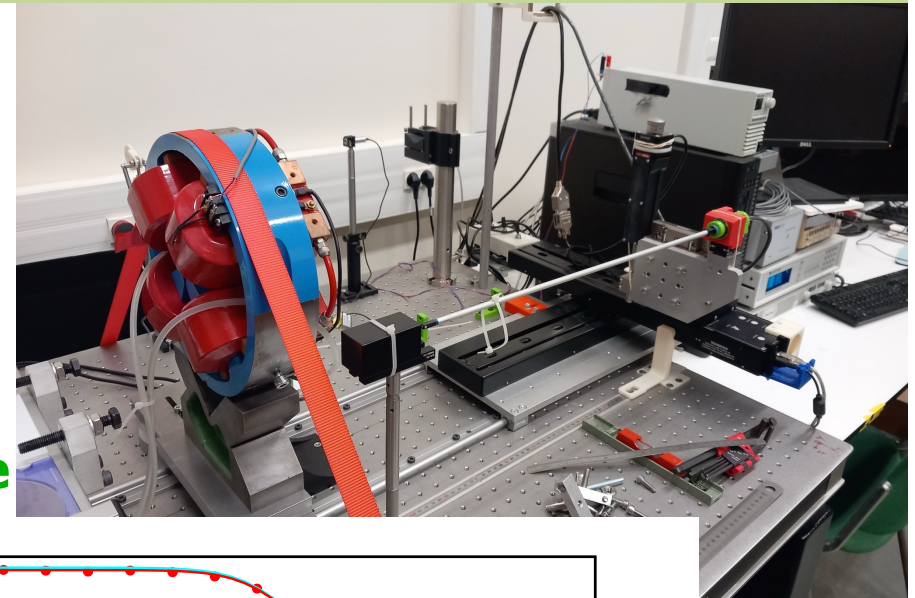


conception, fabrication, métrologie, assemblage:  
Ali Mahjoub + service mécanique

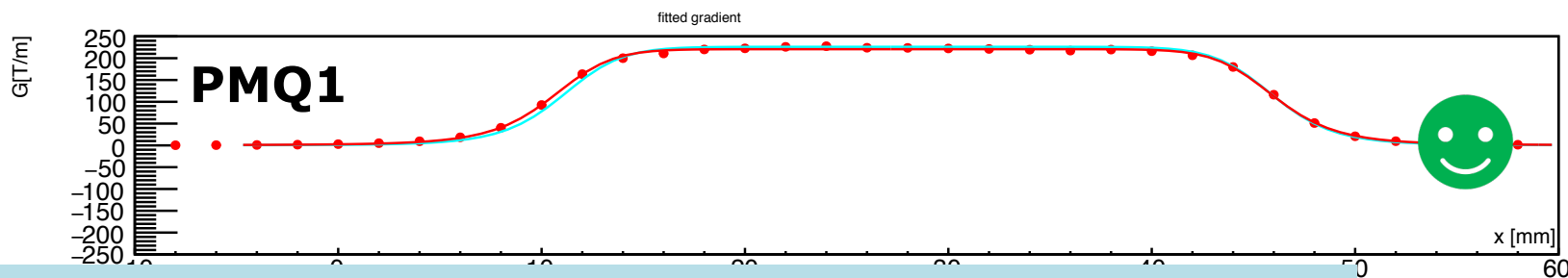
# Field map measurement on Hall-Probe test bench

- 2021: 1D probe  $B_x$  or  $B_y$
- 2023: 3D probe  $B_x$  &  $B_y$  &  $B_z$
- field map:  $B_i(x,y,z)$  scan
- fit model -> field quality

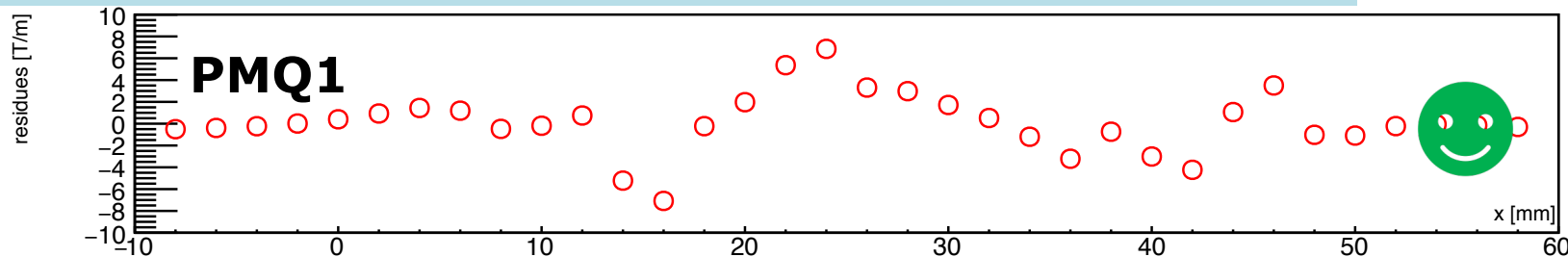
Ali M, Alain B, Antoine C, Lorenzo Bernardi



**G(z): gradient close to design value**



**Fit residues: G(z) well described by standard plateau function**

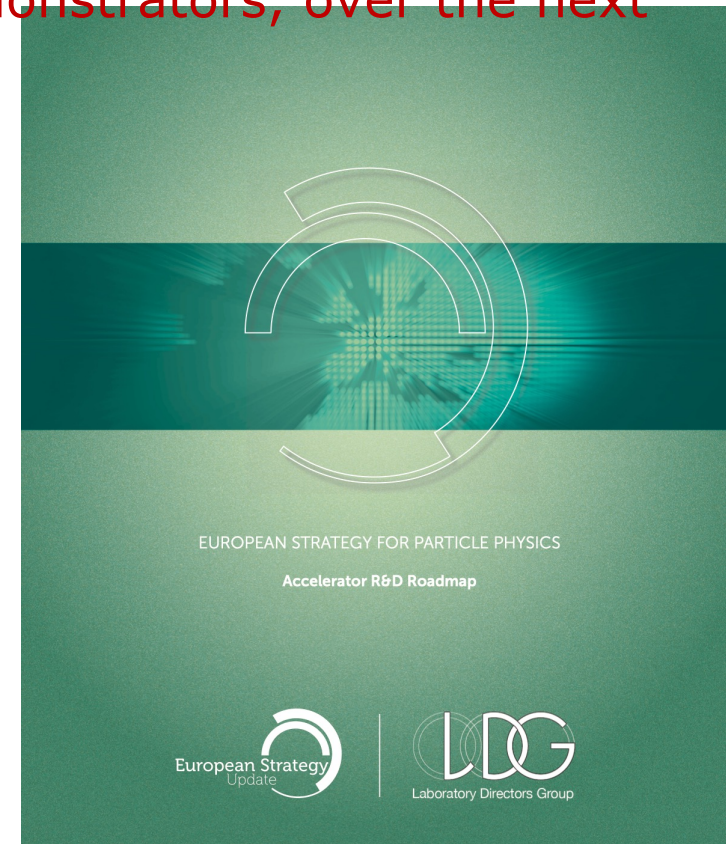
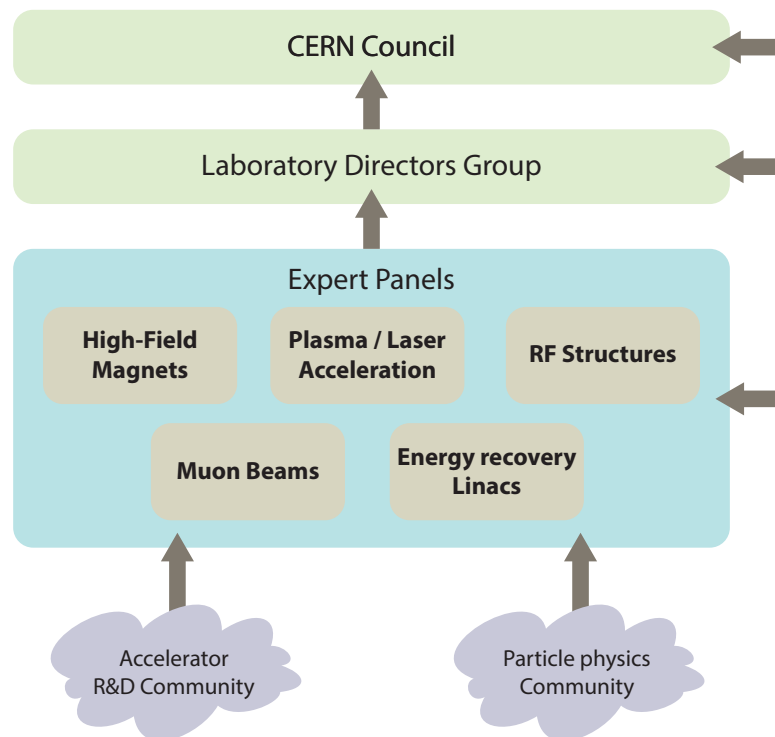


---

4. Contribution à la coordination nationale et internationale du domaine  
Participation EuPRAXIA

## 2021-2022: ESPP Roadmap: study group

- To develop R&D for the next generation of accelerators and colliders (beyond 2045)
- Commissioned by Lab Directors' Group – CERN (2021-2022,2023-...)
- Specify concrete deliverables, including demonstrators, over the next d



# Application User Facility: The EuPRAXIA Project

<http://www.eupraxia-project.eu/>

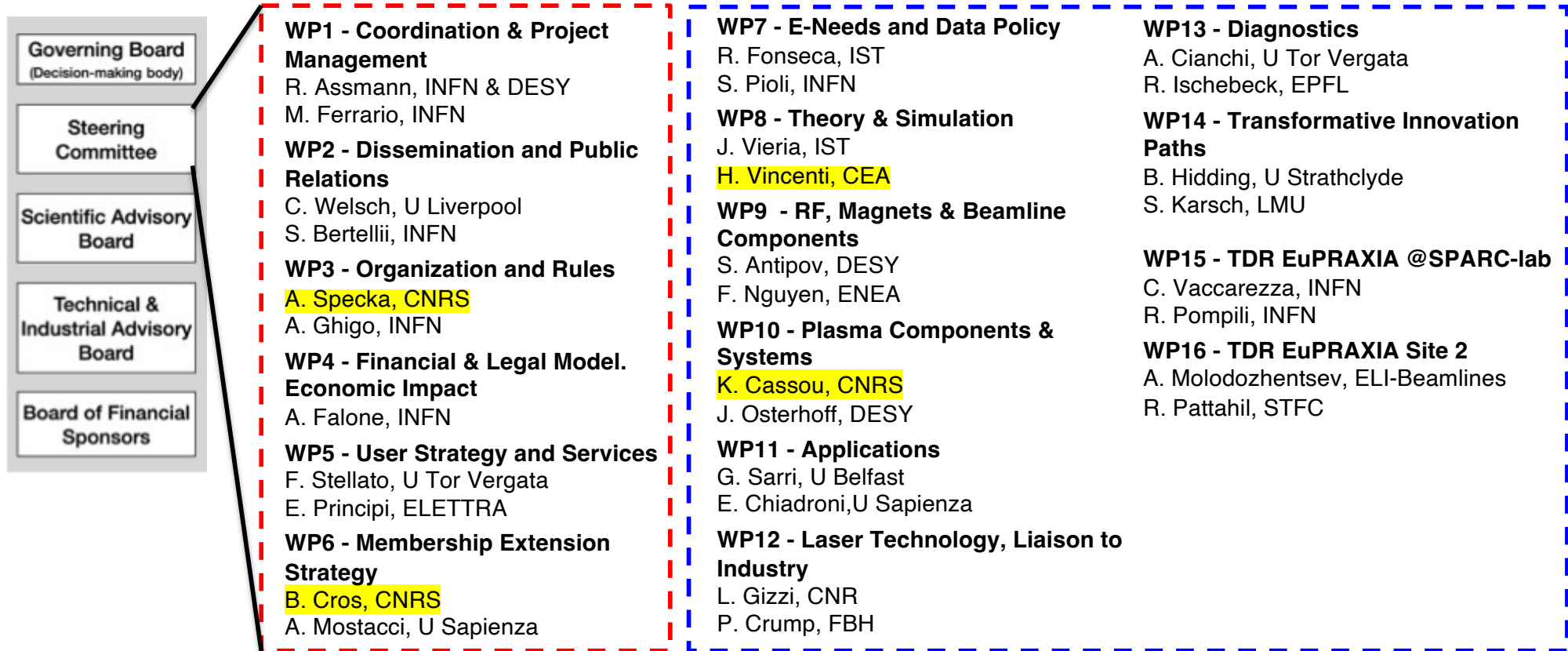
- 1<sup>st</sup> ever design of a **plasma accelerator facility**. 1<sup>st</sup> **ESFRI** plasma acc. project. 1<sup>st</sup> ESFRI acc. project since 2016.
- paramount application: free electron laser
- **Conceptual Design Report for a distributed research infrastructure** funded by EU Horizon2020 program. Completed by 16+25 institutes.
- Challenges addressed by EuPRAXIA since 2015:
  - **Can plasma accelerators produce usable electron beams?**
  - **For what can we use those beams**
- Next phase consortium: **> 50 institutes**
- **Preparatory Phase project: 2022 – 2026** (ongoing)
- Start of 1<sup>st</sup> operation: **2028**



**600+ page CDR**, 240 scientists contributed



# EuPRAXIA Preparatory phase: organisation in work packages



*WP's on coordination & implementation as ESFRI RI (organization, legal model, financing, users)*

*WPs on technical implementation and sites*

# International: EUPRAXIA 2<sup>nd</sup> site

## Démarrage EUPRAXIA preparatory phase

- « Build plasma accelerator driven XFEL laser as USER FACILITY! »
- EUPRAXIA preparatory phase (Horizon Europe 2022-2026) démarré 01/11/22
- Sur ESFRI ROADMAP => installations démarrent opération en 2032
  - Site 1 (Beam driven): INFN Frascati
  - Site 2 (Laser driven): à définir: Prague, Rutherford, Salamanca, Pisa?-> **OPPORTUNITÉS!**
- LLR: WP co-leadership (AS) + 18 mois de postdoc



# Auto analyse du groupe

---

- **Points forts:**
  - expertise reconnu en simulation, instrumentation, expérience
  - bonne intégration dans la communauté nationale et internationale
  - attractivité pour les étudiants
- **Opportunités:**
  - participation dans des collaborations internationales auprès d'installation laser de 1er rang (RAL/CLF, ELI Beamlines)
  - participation dans la réalisation d'une future RI européenne (EuPRAXIA)
  - ouverture vers des thématiques connexes (e.g. QED non-lin.)
- **Points faibles:**
  - faible effectif de l'équipe -> incapacité de conduire seul une campagne
  - activité périphérique au laboratoire
  - valorisation trop faible au sein de l'X (en terme de retombées)
- **Risques:**
  - inconstance d'orientation scientifique des installations (APOLLON)
  - épuisement du fait d'un opportunisme thématique
  - poids croissant des activités secondaires

# Accélération Laser-Plasma: objectifs 2025-2028

## ➤ simulation

- développement continu des vers l'objectif: almost-real-time simulation
- élargir la communauté d'utilisateurs de SMILEI -> Workshop SMILEI

## ➤ mener a bien et valoriser développement de l'**instrumentation**

- aimants de dispersion et de focalisation, banc test, triplet de quad
- détecteur d'électrons ex-vacuo (V1) et in-vacuo (V3)
- banc de calibration optique détecteurs/caméras CCD et CMOS
- optiques magnétiques de capture et de refocalisation

## ➤ mener à bien l'analyse des données des campagnes 2021 et 2022.

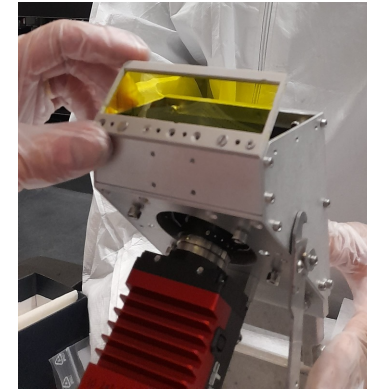
## ➤ participation à la campagne dans PALLAS a l'IJCLab (2025)

## ➤ proposer 1 campagne expérimentales sur APOLLON pour le prochain appel (oct 2025?)

## ➤ EuPRAXIA: définition de contribution (application positrons?)

## ➤ ET TOUT CA AVEC 2 PERMANENTS depuis d'octobre 2022

## ➤ recrutement de 2 postdocs (partiellement financés par EuPRAXIA et PACRI)



---

# ANNEXE 1

# **Equipe GALOP**

## **Groupe d'accélération par laser et ondes plasma**

Bilan 2019-2024

# Composition actuelle de l'équipe GALOP

---

- 2 permanents :
  - **Arnd Specka (CR)**, Arnaud Beck (IR), ...

# Evolution récentes:

---

- 1 thèse soutenue :

- **Imen Zemzemi**

- directeur: Arnaud BECK
- 2017-2020 (soutenance: 16/12/2020)
- Calcul haute-performance et simulation numérique pour l'accélération d'électrons par sillage laser avec des profils laser réalistes
- implémentation de la décomposition en mode azimuthaux dans smilei
- situation en 2024: senior software engineer en entreprise

- 2 postdocs :

- **Francesco Massimo**

- postdoc IN2P3 2019-2021
- Modèle d'enveloppe cartésien et enveloppe ionisation en modèle d'enveloppe
- situation 2024: CR au LPGP, Paris-Saclay

- **Guillaume Bouchard**

- postdoc IN2P3 en 2020-2022
- perfectly matched layer (full laser et envelope)
- situation en 2024: CR au LPGP, Paris-Saclay



# Organisation-fonctionnement du groupe

---

- **Fonctionnement du groupe:**
  - Petite équipe, communication efficace (quotidienne)
  - surcharge malgré soutien technique constant
  - accueil de nombreux stagiaires école d'ingénieur, X, étrangers
- **Dans le laboratoire :**
  - Collaboration étroite avec les service de mécanique et d'informatique

# Responsabilités : recherche, enseignement, autres

---

- Recherche :
- Enseignements :
  - A Specka enseigne à raison de 72h/an en tant que professeur chargé de cours à l'École polytechnique en bachelor (2<sup>ème</sup> année) et ne cycle ingénieur (1<sup>ere</sup> année)
- Implications au niveau national
  - A Specka: coordinateur de pôle "expériences" dans le GDR APPEL (2019-23)
  - A Beck: coordinateur de pôle "simulations" dans le GDR APPEL (2019-22)
- Implications dans la vie du laboratoire:
  - A Beck est responsable adjoint du groupe informatique du LLR
- Demandes et gestion de supports financiers spécifiques:
  - EuPRAXIA preparatory phase (H2020)

# Auto analyse du groupe

---

- **Points forts:**
  - expertise reconnu en simulation, instrumentation, expérience
  - bonne intégration dans la communauté nationale et internationale
- **Opportunités:**
  - participation dans des collaborations internationales auprès d'installation laser de 1er rang (RAL/CLF, ELI Beamlines)
  - participation dans la réalisation d'une future RI européenne (EuPRAXIA)
  - ouverture vers des thématiques connexes (e.g. QED non-lin.)
- **Points faibles:**
  - faible effectif de l'équipe -> incapacité de conduire une campagne
  - activité périphérique au laboratoire
  - valorisation trop faible au sein de l'X (en terme de retombées)
- **Risques:**
  - inconstance d'orientation scientifique des installations
  - épuisement du fait d'un opportunisme thématique
  - poids croissant des activités secondaires

# Evolution du groupe à venir

## (FTE estimés)

---

- recrutement postdoc 2a sur financement européen EuPRAXIA PP expériences et instrumentation, applications
- recrutement postdoc 2a sur financement européen PACRI simulation accélération dans des canaux plasma
- formulation

# Production scientifique

## - Bilan des Publications 2019-2024 du groupe GALOP

---

- A. Beck, M. Lobet, M. Grech, F. Perez et. al., Exascale Simulation for high-gradient accelerators Presentation at European Advanced Accelerator Concept, 2021
- F. Massimo, M. Lobet, J. Derouillat, A. Beck, et. al. , A Task Programming Implementation for the Particle in Cell Code Smilei (in press for publication in The Platform for Advanced Scientific Computing, 2022 <https://arxiv.org/abs/2204.12837>)
- M. Lobet, F. Massimo, A. Beck, et. al. , Simple adaptations to speed-up the Particle-In-Cell code Smilei on the ARM-based Fujitsu A64FX processor, HPC Asia 2022 Workshop proceedings (<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3503470.3503475>)
- R. Assmann et al. "[European Strategy for Particle Physics - Accelerator R&D Roadmap](https://arxiv.org/abs/2201.07895)", Ch.4, CERN Yellow Report, <https://arxiv.org/abs/2201.07895>
- M. Grech et al., "Investigating strong-field QED processes in laser-electron beam collisions at Apollon", preprint, hal-03229914
- Ioquin Moulancier, Lewis Dickson, Charles Ballage, Ovidiu Vasilovici, Aubin Gremaud, et al.. Modeling of the driver transverse profile for laser wakefield electron acceleration at APOLLON Research Facility. Physics of Plasmas, 2023, 30, pp.053109. ;10.1063/5.0142894t;. ;hal-04090611v2t;
- N Cavanagh, K Fleck, M.J.V Streeter, E Gerstmayr, L. T. Dickson, et al.. Experimental characterisation of a single-shot spectrometer for high-flux, GeV-scale gamma-ray beams. Phys.Rev.Res., 2023, 5 (4), pp.043046. ;10.1103/PhysRevResearch.5.043046t;. ;hal-04100110t;