

---

# Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

## *Accélérateurs et instrumentation associée*

---

### **TITRE DE LA CONTRIBUTION – LAPLACE**

---

#### **Auteur principal**

Nom : FAURE Jérôme

Affiliation : CNRS - LOA

Email et coordonnées : [jerome.faure@ensta-paris.fr](mailto:jerome.faure@ensta-paris.fr)

LOA-ENSTA

828, boulevard des Maréchaux

91120 Palaiseau cedex France

#### **Co-auteurs**

*LOA, SOLEIL, THALES, Institut Curie*

Contribution à rédiger en français ou en anglais et à envoyer à [PROSP2020-GT07-COPIL-L@IN2P3.FR](mailto:PROSP2020-GT07-COPIL-L@IN2P3.FR)  
avant le **1<sup>er</sup> novembre 2019**

## 1. Informations générales

**Titre : Centre d'Accélération Laser Plasma**

**Acronyme : LAPLACE**

**Résumé (max. 600 caractères espaces compris)**

LAPLACE est le premier centre de recherche français sur l'accélération de particules par interaction laser-plasma. Il associe recherche et innovation pour le développement d'accélérateurs de nouvelle génération et la mise à disposition de sources ultrabrèves d'électrons ou de rayons X pour des applications académiques et industrielles. LAPLACE, basé au LOA, a trois axes de développement autour de 2 plateformes : une plateforme haute énergie pour des faisceaux d'électrons au GeV, et une plateforme haute cadence pour des sources de particules et de rayonnements à haute cadence (>100 Hz).

**Préciser le domaine de recherche (plusieurs choix possibles)**

- *Physique des accélérateurs (nouveaux concepts machines, optique et dynamique des faisceaux...)*
- *Sources de particules (électrons, positrons, muons, protons, ions lourds stables, ions radioactifs...) et cibles associées*
- *Accélération plasma (électrons, ions...) et interaction lasers/faisceaux*

**Préciser la motivation principale visée par la contribution :**

- *Accélérateurs pour les sources de lumière ou de neutrons*
- *Accélérateurs pour les applications sociétales (santé, énergie, industrie...)*

## 2. Description des objectifs scientifiques et techniques

LAPLACE a pour ambition d'être le premier **centre de recherche et innovation français autour des accélérateurs laser-plasma (ALP)**. Cette technique émergente permet d'accélérer des faisceaux d'électrons sur de courtes distances et d'obtenir des sources aux caractéristiques uniques (compacité, petite taille de source et durée femtoseconde) qui permettent d'envisager de nombreuses applications sociétales, en science fondamentale (physique, biologie, médecine), pour l'industrie et la défense.

Le projet est structuré autour des équipes et des infrastructures du **Laboratoire d'Optique Appliquée (LOA)**, laboratoire pionnier qui jouit d'un rayonnement et d'une visibilité importante au plan national et international sur cette thématique. LAPLACE et le LOA bénéficient de l'appui de partenaires clef du monde **académique** et **industriel** qui ont des expertises complémentaires : SOLEIL-Synchrotron, l'Institut Curie et Thales.

LAPLACE est organisé pour répondre à plusieurs problématiques de recherche et innovation :

- **Approfondir la physique des sources laser-plasma (SLP)** : étudier les nouvelles méthodes d'injection, de guidage, cibles plasmas, mais aussi nouvelle physique fondamentale (beam-driven, physique du cycle optique...). Ces aspects doivent permettre une meilleure compréhension des processus mis en jeu et à terme un contrôle accru de la source d'électrons.
- **Développer des applications des sources laser-plasma** : au-delà des premières démonstrations prévues sur la plateforme basse cadence, il est aujourd'hui incontournable de faire fonctionner les SLP à des cadences de 100 à 1000 Hz en vue d'expériences d'applications. Des applications ont déjà été identifiées –et même démontrées pour certaines– : radiographie, radiobiologie, contrôle non destructif, dynamique ultra-rapide.
- **Aller vers la conception de prototypes industriels basés sur les accélérateurs laser-plasma**. Ce volet innovation comprend le développement de thématiques orientées vers la technologie des accélérateurs. Il est non seulement question d'aller vers le développement de solutions industrielles intégrées (laser + source d'électrons + applications) mais également d'y ajouter certaines actions ciblées cruciales à ce développement telles que le transport et la synchronisation de faisceaux, les diagnostics, les boucles de rétroaction sources-plasma-laser, le contrôle commande, la fiabilisation de la machine pour ne citer que les principales.

LAPLACE est bâti sur une mise en commun des expertises mais également des équipements. Le LOA sera en charge des aspects bâtiment et du développement de l'accélérateur laser-plasma. LOA et THALES développeront les installations de puissance. Les lignes de faisceaux seront pilotées ou co-pilotées par le LOA, SOLEIL-Synchrotron, l'Institut Curie, partenaires du centre LAPLACE. De façon plus générale, LAPLACE est ouvert à toute la communauté

académique et industrielle régionale Ile de France, pour le développement et le (co-)pilotage potentiel de lignes de faisceaux et leur utilisation : le LPGP et le LAL (FLUO), le Lidyl au CEA, le LLR à l'IP Paris, les laboratoires de l'IRS NanoTheRad à titre d'exemples. L'industriel SourceLab va par ailleurs piloter la première ligne de développement industriel de Contrôle Non Destructif par laser-plasma (CND) en co-pilotage avec le LOA.

La plateforme haute énergie, **LAPLACE-HE** a pour objectif le développement de faisceaux d'électrons de qualité, stables, reproductibles, dans la gamme du GeV. Cette plateforme comportera cinq lignes d'accélération indépendantes couvrant non seulement les aspects les plus fondamentaux de l'ALP mais aussi le développement de lasers à électrons libres (LEL) et de source de particules à haut débit de dose pour la radiobiologie (Ligne PHENIX).

Avec la démonstration récente de l'accélération laser-plasma au kHz au LOA, la France a une longueur d'avance sur ce sujet au niveau international. Le développement de la plateforme haute cadence **LAPLACE-HC** est donc capital pour faire des accélérateurs laser-plasma de véritables sources compétitives et industrialisables. La motivation principale de LAPLACE-HC est donc de développer une source d'électrons relativistes de durée femtoseconde dans la gamme 5-40 MeV, fonctionnant à très haute cadence (>100 Hz). Ce type d'installation est beaucoup plus compact et moins coûteux que la partie haute énergie. Le projet LAPLACE inclut une stratégie à moyen-terme de développement d'un système laser à haute cadence, de plusieurs dizaines de TW, pouvant desservir deux lignes expérimentales d'accélération. La première sera spécialisée sur la production d'électrons pour des applications à la diffraction d'électrons ultrarapide, et la seconde spécialisée pour la génération et applications d'une source X ultrabrève (femtoseconde) Compton ou bétatron.

La France, et plus particulièrement **la région Ile de France, est pionnière dans le domaine de l'accélération laser-plasma** depuis les années 1990, et le LOA s'est imposé depuis les années 2000 comme un des leaders mondiaux du domaine. Malgré ces atouts et le soutien financier de l'Europe (5 bourses ERC ont été obtenus par les partenaires de LAPLACE) qui ont permis de conserver un leadership national et international, il est devenu urgent que des investissements conséquents dans ce domaine soient maintenant réalisés et de construire un projet d'envergure structurant et attractif permettant l'agglomération d'une masse critique de scientifiques. Cette étape est aujourd'hui indispensable pour permettre à la recherche française de conserver son rang au plus haut niveau international dans cette thématique, mais aussi pour qu'elle puisse bénéficier de la valorisation de tout le travail réalisé ces vingt dernières années, à un moment de développement qui est reconnu comme critique/stratégique par toute la communauté internationale. Nos concurrents européens, américains et asiatiques l'ont parfaitement compris. Cet état de fait se manifeste par des investissements massifs chez tous les principaux leaders internationaux en Europe, aux USA et en Asie.

LAPLACE veut répondre aux enjeux scientifiques, académiques et industriels dans ce domaine scientifique. Il se positionne comme la base pour la structuration de la communauté française de l'accélération laser-plasma en agglomérant des expertises complémentaires autour d'un projet fédérateur et de laboratoires leader au niveau international et national.

### 3. Développements associés, calendrier et budget indicatifs (1 page max. incl. figures)

Le volet **infrastructure** est évalué autour de 5 M€ et correspond à l'adaptation de bâtiments existants sur le site de l'ENSTA-Yvette du campus École Polytechnique pour doter le centre de l'infrastructure indispensable au développement de la R&D laser-plasma. Ces travaux vont également permettre d'établir ce centre comme lieu d'échange et de formation à haute visibilité au niveau régional, national et international via des programmes d'animations scientifiques et technologiques, d'enseignements et d'actions tournées vers le grand public. Le volet **Recherche** représente un effort financier de 5,2 M€. Il comprend principalement la source de puissance de LAPLACE-HE et une partie des équipements des lignes expérimentales. Le volet **Innovation** s'élève à 4 M€. Il inclut les développements de la partie haute cadence et les lignes expérimentales associées.

#### LAPLACE-HE

Infrastructure : 4 M€ pour la rénovation du site, salles blanches, climatisation, onduleurs et radioprotection.

Système de puissance et distribution de faisceaux : 6 M€ (dont 2 M€ in-kind LOA).

Ligne 1 : accélérateur hybride, 2 M€ (dont 1,6 M€ in-kind LOA). Ligne de physique des accélérateurs laser-plasma : accélération par laser, accélération hybride (hybrid beam-driven wakefield acceleration).

Ligne 2 : laser à électrons libres (LEL), 2,4 M€ (dont 2 M€ in-kind : 1,5 M€ SOLEIL et 0,5 M€ LOA). Ligne pilotée par l'équipe de SOLEIL.

Ligne 3 : X ultra bref, 1,7 M€ (dont 1,4 M€ in-kind LOA). Ligne pour le rayonnement Bétatron et Compton et leurs applications.

Ligne 4 : radiobiologie à haute dose, 1,2 M€ (dont 0,8 M€ in-kind LOA). Ligne pilotée par le LOA pour la génération de faisceaux très fortement chargés (nC ou plus) mais pas nécessairement de haute énergie (< 200 MeV).

#### LAPLACE HC

Infrastructure : 1 M€ pour la rénovation du site, salles blanches, climatisation, onduleurs et radioprotection.

Système de puissance et distribution : 3 M€ (dont 0,8 M€ in-kind LOA)

Ligne 6 : accélération laser-plasma haute cadence, 1,1 M€ (dont 0,5 M€ in-kind LOA).

Ligne 7 : X ultrabref haute cadence : 0,9 M€ (dont 0 M€ in-kind).

## **Impact**

***(0.5 page max.)***

Le centre LAPLACE a pour but de donner les moyens d'accéder de manière unique en France et compétitive à l'international, à des sources énergétiques de particules et de rayonnements innovantes qui ont des applications à forts potentiels pour la science fondamentale et pour l'industrie :

- Miniaturisation des accélérateurs pour la physique des hautes énergies, ce qui est un objectif à long terme.
- Développement d'une nouvelle génération de lasers à électrons libres (FEL),
- Accès à des rayonnement X et faisceaux d'électrons ultra-brefs pour l'étude de la matière sur des échelles de temps inégalées. La durée femtoseconde permet d'envisager des applications scientifiques uniques, axées sur le développement et l'utilisation de sondes X ou particulaires ultrabrèves comme (i) l'étude des dynamiques ultrarapides de la matière à l'échelle atomique et (ii) l'étude des mécanismes fondamentaux de la chimie et de la biologie sous irradiations ionisantes courtes et intenses.
- Accès à la radiobiologie à haute dose. L'étude de la radiobiologie sous haut débit de dose, une composante essentielle du projet, pourrait permettre, à terme, l'émergence de nouveaux protocoles de traitement de tumeurs cancéreuses.
- Accès à l'imagerie haute résolution pour le contrôle non destructif dans des gammes spectrales non accessibles par les techniques conventionnelles pour le milieu industriel.
- Accès à la haute cadence des accélérateurs laser-plasma et transfert vers l'industrie comme l'atteste l'intérêt majeur des industriels du secteur laser français (leaders au niveau international) pour fournir de nouvelles instrumentations compactes.
- Proposition de nouvelles solutions technologiques utilisant l'ingénierie laser-plasma et ouverture de nouveaux marchés : vers les systèmes intégrés proposant un produit complet incluant la source laser, les faisceaux de particules ou rayonnements et l'application.