

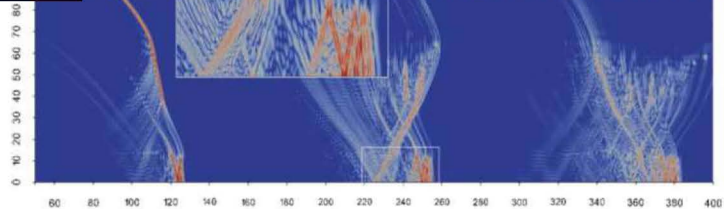
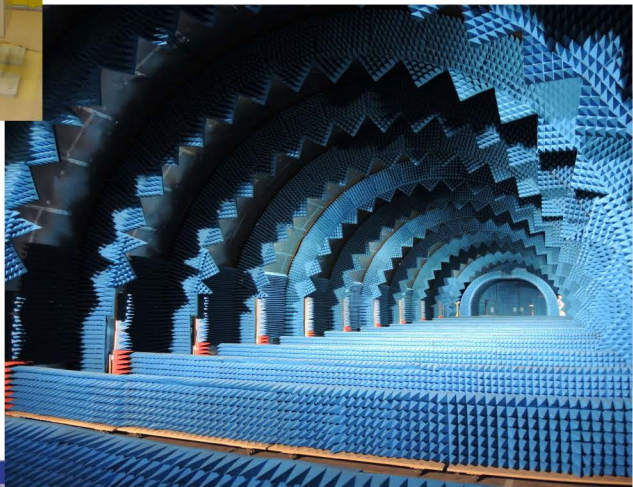
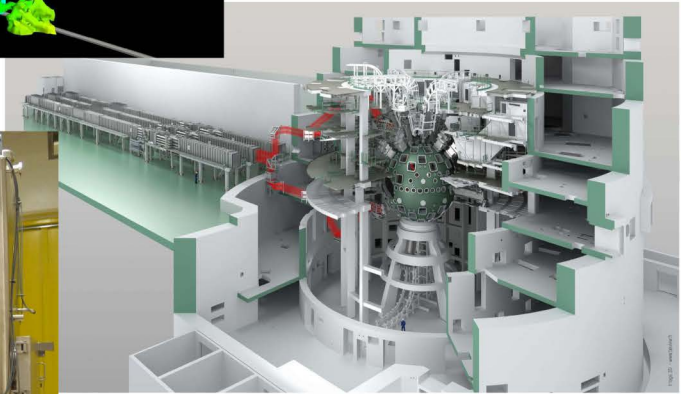
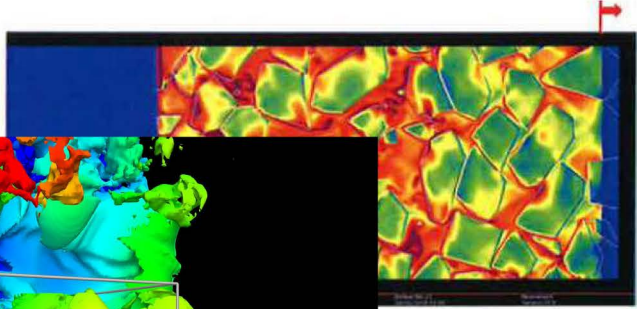
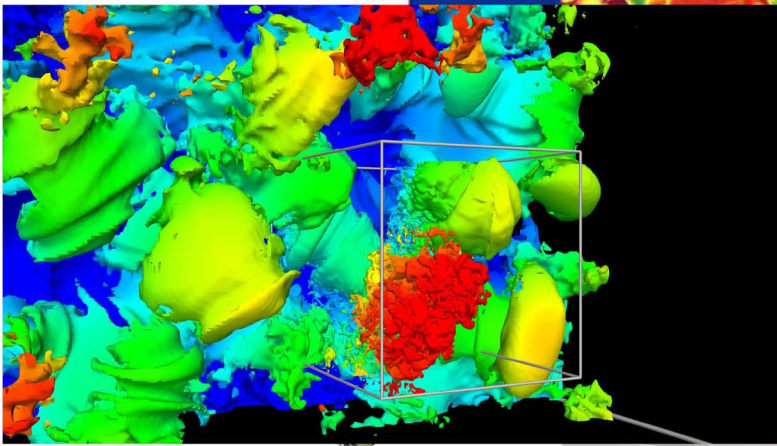


Direction des Applications Militaires

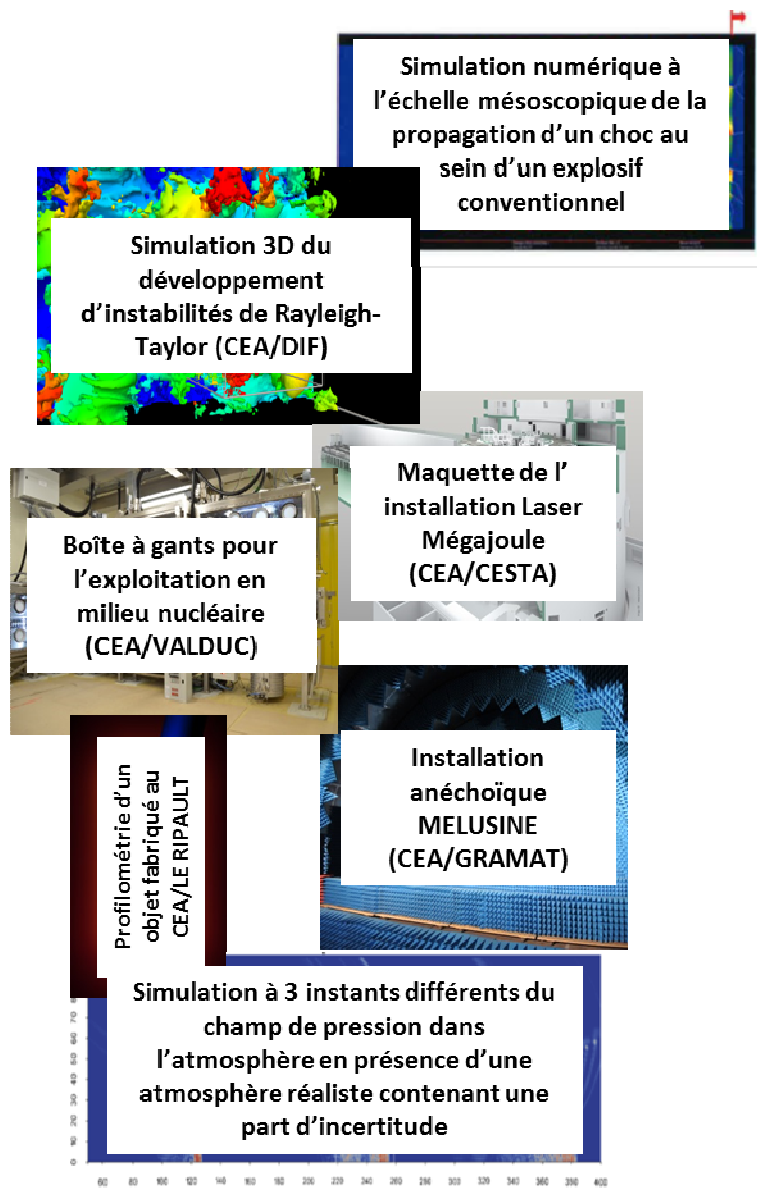
# Thèses proposées au CEA/DAM pour l'année 2020

Sujets de thèse  
en lien avec le LMJ

ENGAGEMENT – INTEGRITE – AMBITION – ESPRIT D'EQUIPE – ACCOMPLISSEMENT INDIVIDUEL



## Illustration couverture



Vous êtes aujourd'hui en Master 2 ou en dernière année d'école d'ingénieurs et vous envisagez de poursuivre votre formation par une thèse ? Ce recueil est fait pour vous !

Il recense, classé par domaine scientifique, l'ensemble des sujets de thèse proposés par les laboratoires et équipes de recherche et développement de la Direction des applications militaires (DAM) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). Depuis plus de 60 ans, les hommes et les femmes de la DAM contribuent, par leur engagement et leur sens du service, au maintien de la capacité de dissuasion de la France en relevant chaque jour des défis scientifiques et techniques pour assurer ensemble la réalisation des programmes de défense que leur confie l'Etat.

Vous aspirez à apporter votre contribution à de grandes missions de Défense tout en poursuivant une activité de recherche de haut niveau ? Rejoignez-nous ! Quel que soit le domaine scientifique ou technique qui vous intéresse, de la physique de la matière à la chimie en passant par les mathématiques appliquées, les sciences de l'information, l'optique, la mécanique des structures, la mécanique des fluides, l'électronique, la neutronique, le traitement du signal, la détection ou encore la propagation des ondes qu'elles soient électromagnétiques, infrasonores ou sismiques..., que vous soyez attiré(e) plutôt par la théorie, l'expérimentation, le numérique ou la technologie, le CEA/DAM peut vous proposer des sujets d'étude répondant à vos centres d'intérêt et à votre souhait de développement de compétences.

Vous bénéficierez d'un environnement de recherche exceptionnel en termes de moyens disponibles : centres de calcul (TERA 1000, Très Grand Centre de Calcul...) équipés de calculateurs pétaflopiques et d'outils logiciels nécessaires à leur utilisation intensive, développés en mode collaboratif et en open Source, moyens d'expérimentation dont les performances sont au meilleur niveau mondial, qu'ils soient de taille considérable comme le Laser MégaJoule couplé au laser Pétawatt PETAL implanté près de Bordeaux, ou que ce soit des installations de dimensions plus réduites et exploitées dans chacun des centres en fonction des thématiques scientifiques, moyens de recherche et développement de procédés en chimie qu'elle soit organique ou inorganique ou encore dans le domaine des matériaux, nucléaires ou non, moyens de caractérisation, moyens de test aux environnements... Dans de nombreux domaines scientifiques, vous pourrez bénéficier, pour réaliser votre projet de recherche, d'interactions avec plusieurs laboratoires et équipes en France ou à l'étranger en vous appuyant sur les nombreuses collaborations dans lesquelles les ingénieurs-chercheurs et techniciens du CEA/DAM sont des acteurs de premier plan. Celles-ci leur permettent d'être associés, en France ou à l'étranger, à des projets impliquant des équipes venues de différents pays, comme du co-développement d'outils logiciels ou des expériences, mais aussi d'être des acteurs majeurs du déploiement et de l'exploitation de réseaux internationaux comme par exemple le réseau international de surveillance déployé dans le cadre du traité d'interdiction complète des essais nucléaires...

Cette excellence se matérialise par une production scientifique considérable, de plus de 400 publications par an dans des revues internationales à comité de lecture de premier plan, par une capacité d'innovation concrétisée notamment par une trentaine de brevets déposés chaque année, par des logiciels informatiques en open source ou encore par des outils de simulation physique du meilleur niveau mondial développés en collaboration. Elle se traduit également par une très forte visibilité des équipes du CEA/DAM au sein du monde académique, grâce notamment aux collaborations déjà mentionnées avec les meilleures équipes françaises (implication dans des projets collaboratifs, participation aux groupes de recherche...) et internationales. Immergé(e) au sein de telles équipes, vous serez encouragé(e) à valoriser votre travail, au travers de présentations dans des séminaires, congrès, workshops, que ce soit en France ou à l'étranger, afin de donner à vos résultats toute la visibilité qu'ils méritent et ainsi mettre en lumière les compétences et connaissances que vous aurez acquises et qui seront importantes pour votre futur parcours professionnel.

Certaines thèses peuvent faire l'objet d'un parcours dans un laboratoire français ou étranger avec lequel des coopérations existent. Si de plus vous êtes intéressé(e) par un complément de formation aux Etats-Unis à l'issue de votre thèse, sous forme d'un post-doctorat par exemple, le CEA/DAM propose, au travers de ses collaborations établies avec les laboratoires de haut niveau du Department Of Energy (Lawrence Livermore National Laboratory en Californie, Sandia et Los Alamos National Laboratories au Nouveau-Mexique), de vous accompagner dans cette démarche et de vous en faciliter l'accès.

Vous constaterez à la lecture du recueil que les thèses proposées bénéficient d'un co-encadrement, généralement par deux experts, un du CEA/DAM et un choisi au sein du monde académique. Un suivi du bon déroulement de la thèse et de l'avancement des travaux réalisés est également mené chaque année par l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN). L'ensemble de ces éléments concourent à un encadrement de qualité et à un suivi rigoureux du (de la) doctorant(e) et sont autant de conditions favorables à la réussite de votre travail de thèse ainsi qu'à l'élargissement de votre réseau professionnel initié pendant vos stages antérieurs ou votre année de césure.

Les perspectives de recrutement au sein du CEA/DAM sont nombreuses dans les années qui viennent, soutenues par des besoins croissants d'ingénieurs et de docteurs en sciences et techniques liés d'une part à de nombreux départs en retraite et d'autre part à l'évolution des activités vers le développement et la maîtrise de techniques toujours plus pointues et à l'élargissement de la démarche de simulation à de nombreux projets. Pour être à même de réaliser, dans le respect des délais et avec le niveau de performances requis, l'ensemble des travaux nécessaires aux projets à long terme que l'Etat lui a confiés, le CEA/DAM s'appuiera sur des hommes et des femmes de talent, recrutés parmi les viviers constitués grâce à l'accueil régulier de stagiaires, alternant(e)s, doctorant(e)s et post-doctorant(e)s.

Je vous invite à parcourir avec attention le recueil de sujets déjà disponibles, que vous trouverez également sur le site Internet du CEA/DAM (<http://www-dam.cea.fr/dam>) et sur celui de l'INSTN (<http://www-instn.cea.fr/formations/formation-par-la-recherche/doctorat/liste-des-sujets-de-these.htm>). N'hésitez pas à prendre contact avec les responsables des sujets qui vous intéressent pour obtenir auprès d'eux des précisions et également échanger sur vos centres d'intérêt et les conditions de déroulement du travail de thèse proposé. De nouveaux sujets pourront être ajoutés au fil des mois, en fonction de l'avancée des travaux de recherche et développement menés et des besoins de recherche identifiés. Je vous encourage à consulter régulièrement les sites indiqués pour y trouver la mise à jour des listes de sujets proposés.

Je souhaite sincèrement que ces échanges vous donneront envie d'aller au-delà des clôtures qui délimitent nos centres pour découvrir la richesse de nos activités et notre ouverture sur le monde.

A très bientôt au CEA/DAM !

**Laurence BONNET**

**Directrice scientifique du CEA/DAM**

# Les centres CEA / DAM

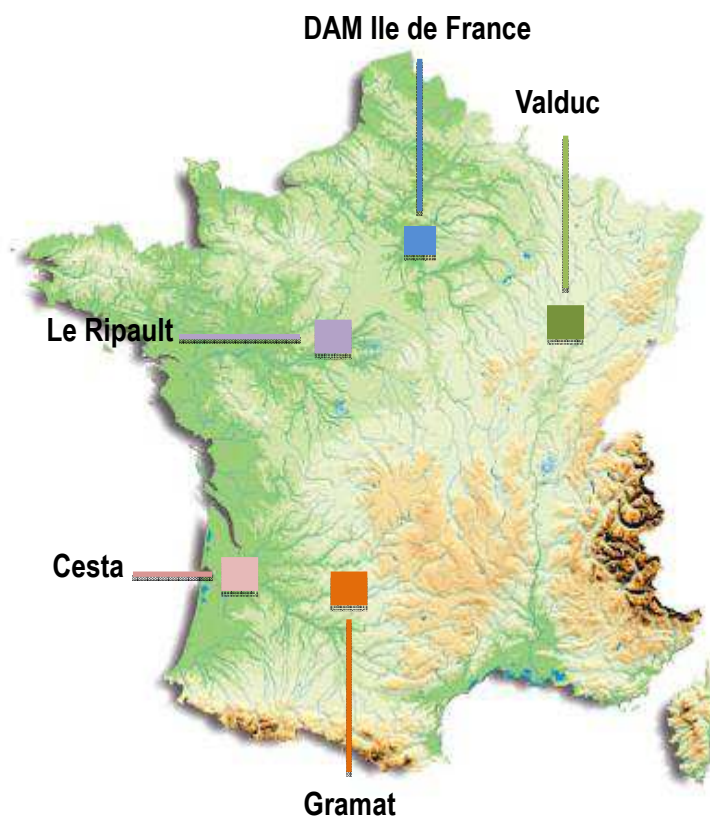
**CEA/Cesta** 05 57 04 40 00  
B.P. 2  
33114 Le Barp  
<http://www-dam.cea.fr/cesta>

**CEA/DAM Ile-de-France** 01 69 26 40 00  
Bruyères le Châtel  
91297 Arpajon  
<http://www-dam.cea.fr/damidf>

**CEA/Le Ripault** 02 47 34 40 00  
B.P. 16  
37260 Monts  
<http://www-dam.cea.fr/ripault>

**CEA/Gramat** 05 65 10 54 32  
B.P. 80 200  
46500 Gramat  
<http://www-dam.cea.fr/gramat>

**CEA/Valduc** 03 80 23 40 00  
21120 Is-sur-Tille  
<http://www-dam.cea.fr/valduc>



Le CEA/DAM est également fortement impliqué dans trois Unités mixtes de recherche : le **LCTS** (Laboratoire des composites thermo-structuraux) et le **CELIA** (Centre lasers intenses et applications) situés à l'Université de Bordeaux (33) ainsi que le **LULI** (Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses) situé à Palaiseau (91).



# ASTROPHYSIQUE

**Sujet :****Astrophysique de laboratoire en régime relativiste****Contexte :**

Une nouvelle génération de lasers multi-pétawatts, tels les installations LMJ/PETAL et Apollon en France, ou le projet européen *Extreme Light Infrastructure*, capables, pour certains, d'atteindre des intensités supérieures à  $10^{22} \text{ Wcm}^{-2}$ , ouvre la voie à un régime d'interaction laser-matière inédit, couplant physique des plasmas relativistes, effets radiatifs et mécanismes d'électrodynamique quantique. Sources intenses de particules et rayonnements très énergétiques, mais aussi de champs quasi statiques d'amplitude extrême, ces lasers à « ultra haute intensité » (UHI) pourront servir à la reproduction en laboratoire de problèmes astrophysiques dominés par des processus cinétiques et relativistes.

**Objectif de la thèse :**

La thèse proposée, de nature théorique et réalisée en cotutelle entre le CEA/DAM et l'Institut d'Astrophysique de Paris (IAP), vise à poursuivre les efforts menés au CEA/DAM sur la modélisation de l'interaction laser-plasma UHI et ses applications astrophysiques. Ce problème est simulé numériquement au moyen du code *particle-in-cell* (PIC) CALDER qui inclut également des mécanismes de production de photons X ou  $\gamma$  (synchrotron, Bremsstrahlung) et de paires électron-positron (Breit-Wheeler, Bethe-Heitler) survenant dans les plasmas relativistes créés par laser. Par leur énergie typique, les champs électromagnétiques, externes ou auto-induits, qui les baignent et les instabilités qui les animent, ces plasmas peuvent s'apparenter à ceux attendus dans certains objets astrophysiques (supernovæ, vents de pulsars, sursauts gamma, etc.), caractérisés par l'émission de particules et rayonnements très énergétiques, et dont l'origine reste encore très débattue. Dès lors, les lasers UHI constituent des outils prometteurs pour la validation expérimentale de modèles astrophysiques, en complément de données observationnelles ou de calculs plus ou moins *ab initio*. Le but de la thèse sera d'examiner, par la simulation PIC et la modélisation théorique, diverses configurations laser-plasma donnant lieu à des processus dynamiques et radiatifs d'intérêt astrophysique.

**Déroulement de la thèse :**

Deux types de scénarios seront principalement explorés. Le(la) doctorant(e) s'intéressera d'abord à l'interpénétration à grande vitesse de jets de plasma électron-ion ou électron-positron, en présence ou non d'un champ magnétique externe. Les instabilités excitées et leurs effets sur la dynamique du plasma seront analysés en détail, notamment afin de déterminer les conditions conduisant à la formation de chocs « sans collisions ».

Seront ensuite considérés des systèmes, également électron-ion ou électron-positron, comprenant des nappes de courant propices à des processus de reconnexion magnétique. La configuration de référence mettra en jeu l'interaction entre des bulles de plasma créées par des impulsions laser focalisées côte à côte.

Pour chaque étude, les simulations seront réalisées à la fois dans les conditions expérimentales et astrophysiques afin de révéler les processus communs mais aussi ceux spécifiques à l'interaction laser-plasma. Le doctorant pourra être amené à réaliser des développements au sein de CALDER, visant à en améliorer l'efficacité ou à introduire de nouveaux effets physiques.

Le travail de thèse sera effectué au CEA/DIF avec des visites fréquentes à l'IAP. Le(la) candidat(e) devra avoir suivi une formation en physique ainsi qu'en programmation et calcul scientifique. Les simulations numériques seront réalisées sur les supercalculateurs du TGCC/CCRT.

**Directeur de thèse et école doctorale :****M. LEMOINE (IAP)**

École Doctorale « Astronomie Astrophysique d'Île-de-France » (ED 127)

**Contacts :****GREMILLET Laurent**

CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – laurent.gremillet@cea.fr

# ELECTROMAGNETISME



## Sujet :

**Etude numérique et expérimentale d'un nouveau type d'accélérateur de protons par voie laser**

## Contexte :

Le schéma de Target Normal Sheath Acceleration (TNSA) est actuellement le mécanisme le plus couramment utilisé et le plus robuste pour générer et accélérer des faisceaux de protons par interaction d'un laser de puissance avec une cible. Cependant, les faisceaux de protons générés par ce processus ont une distribution d'énergie cinétique très étendue et une grande divergence angulaire, ce qui limite l'intérêt d'emploi d'un tel mécanisme pour des applications telles que : le chauffage protonique isochore pour évaluer l'équation d'état des matériaux, la protonthérapie et la production de radio-isotopes dans le domaine médical, ou encore la radiographie protonique des plasmas laser.

Des études et expériences récentes, menées à la Queen's University of Belfast et également au CEA (projet FASSILE) ont montré que l'utilisation d'un solénoïde, de dimension millimétrique, connecté à la face arrière de la cible d'interaction laser, permettait d'obtenir une meilleure focalisation et collimation du faisceau de protons, une post-accelération de 0.5 GeV/m, ainsi qu'un début de sélection en énergie cinétique. Le principe de ce type de dispositif repose sur l'utilisation de l'intense courant de décharge, résidu de l'éjection de charge (électrons, protons, ions) suite à l'interaction laser-plasma, pour produire une Impulsion ElectroMagnétique (IEM) locale qui accélère et focalise les « paquets » de protons générés en face arrière de la cible d'interaction. Des premières simulations numériques, menées au CEA/DAM sur le super-calculateur Tera-1000 avec le code SOPHIE, ont également permis de reproduire les phénomènes observés expérimentalement avec ce nouveau modèle d'accélérateur laser.

## Objectif de la thèse :

L'enjeu de cette thèse est donc de concevoir un nouveau type d'accélérateur de protons par voie laser, dont les performances seraient optimisées pour les applications : de chauffage protonique isochore, de production de radio-isotopes pour le médical ou de radiographie protonique pour les expériences plasma laser. L'optimisation sera réalisée par simulation numérique, la fabrication de prototypes exploitera les technologies actuelles (fabrication additive par exemple), et la validation expérimentalement sera effectuée grâce à des campagnes d'expériences menées sur de grandes installations laser (LULI2000, LMJ-PETAL).

L'objectif est d'allier sur un seul et même dispositif les avantages des deux grandes classes d'accélérateurs actuels : radiofréquence (pour la focalisation et la sélection en énergie) et laser (pour l'accélération et la « compacité »). Le principe de ce dispositif repose sur l'utilisation du courant intense de décharge, résidu de l'éjection de charges et responsable de la génération d'IEM, pour alimenter un second étage d'accélération. L'emploi d'un tel prototype sur un laser aussi puissant que le faisceau PETAL pourrait produire une source de protons avec des propriétés d'énergie cinétique et de fluence encore jamais observées. Le doctorant pourra s'appuyer sur les études numériques et expérimentales (campagnes Pacman 1 et 2 sur LULI2000) déjà menées par le CEA/DAM ces dernières années. Son travail s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre le CEA, le LULI (UMR Ecole Polytechnique-CNRS-CEA) et le Celia (UMR Université de Bordeaux-CNRS-CEA).

## Déroulement de la thèse :

La première année sera consacrée à l'analyse des résultats de la campagne Pacman 2, réalisée sur l'installation laser LULI2000 au mois de février 2020, et à la conception par simulation numérique de nouveaux dispositifs adaptés au chauffage protonique isochore. La seconde année sera dédiée à l'élaboration de modèles « simplifiés » de propagation des protons dans le dispositif ainsi qu'à la réalisation d'une troisième campagne d'expérience Pacman 3 dont l'objectif sera l'application des nouveaux dispositifs à une expérience de chauffage isochore. L'analyse de cette dernière campagne sera effectuée lors de la dernière année de thèse. Les six derniers mois seront consacrés à la rédaction du manuscrit.

## Directeur de thèse et école doctorale :

**D'HUMIERES Emmanuel**  
Celia-Université de Bordeaux  
33405 Talence

## Contacts :

**BARDON Matthieu**  
CEA/CESTA - CS 60001 - 33116 Le Barp  
Tél. : 05.57.04.40.00 – matthieu.bardon@cea.fr

# INSTRUMENTATION

### Sujet :

**Développement d'une méthode de restitution de la température absolue à partir d'une mesure de pyrométrie optique dans des plasmas créés par laser**

### Contexte :

Le Laser MégaJoule (LMJ) est une installation laser de puissance située sur le centre CEA/CESTA. Par le nombre et la puissance de ses faisceaux, le LMJ permet d'étudier l'interaction rayonnement-matière dans une grande variété d'expériences. Les expériences dites « d'équation d'état » consistent à faire converger les faisceaux laser sur une cible afin d'y générer un choc permettant d'atteindre des conditions de température ( $10^4$  à  $10^6$  K) et de pression (Mbar au Gbar) impossibles à obtenir par des moyens plus classiques (presse hydraulique, canon à gaz,...). Ces conditions sont, par exemple, proches de celles rencontrées dans le cœur des planètes géantes ou les intérieurs stellaires.

Un ensemble de systèmes de mesure (appelés diagnostics et développés sur le centre CEA/DIF) est installé autour de la chambre d'expérimentation du LMJ afin de mesurer divers paramètres physiques de la cible pendant la durée de l'expérience, typiquement quelques ns à quelques dizaines de ns. Un diagnostic en particulier est capable de mesurer des vitesses (par chronométrie optique et/ou interférométrie Doppler laser) et des températures, par pyrométrie optique, utilisant le rayonnement de corps noir émis par la cible lorsqu'elle est comprimée et chauffée par les faisceaux laser. Après analyse, les résultats expérimentaux sont transposés dans un diagramme de phase et comparés à des résultats de simulation pour contraindre les modèles physiques utilisés dans les codes de calculs.

La pyrométrie optique nécessite un étalonnage en photométrie absolue et une mesure de la réflectivité du matériau constitutif de la cible pour en déduire son émissivité, paramètre fondamental de l'émission de corps noir et permettre ainsi de remonter à une température.

### Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est de disposer d'une méthode et d'un dispositif d'étalonnage de la voie pyrométrie permettant de maîtriser les incertitudes sur les grandeurs physiques des mesures, en englobant les incertitudes liées à la configuration expérimentale et celles liées à la chaîne d'acquisition. La compréhension des phénomènes physiques mis en jeu, pendant l'expérience et dans le dispositif d'étalonnage, est essentielle pour en dégager les paramètres pertinents à analyser, et concevoir toute la chaîne d'étalonnage.

### Déroulement de la thèse :

Une première étape consistera à réaliser une étude bibliographique sur les méthodes d'étalonnage et les technologies des sources optiques utilisées dans ce domaine, en échangeant avec des équipes du LULI (Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses de l'École Polytechnique), du LLE (Laboratory for Laser Energetics de l'université de Rochester) et de l'Institut d'Optique. Ceci permettra de définir les méthodes d'étalonnage en photométrie absolue et en réflectivité. Les conclusions de cette étude bibliographique permettront d'orienter les études nécessaires à la réalisation des démonstrateurs de sources et de la chaîne d'étalonnage, qui s'appuieront sur des outils de simulations (logiciels du commerce comme ZEMAX et développements en Python), en intégrant dans leur conception la maîtrise des incertitudes et également les contraintes expérimentales du LMJ. En parallèle, l'algorithme de dépouillement des mesures permettant d'estimer, de manière absolue, la température sera élaboré, en prenant en compte le traitement de la propagation des incertitudes. Des expériences seront réalisées en collaboration avec le LULI et le LLE pour démontrer la faisabilité expérimentale des méthodes d'étalonnage.

### Directeur de thèse et école doctorale :

**BALEMBOIS François**

École doctorale Ondes et Matière (OM) – ED 572 /  
Université Paris Saclay

### Contact :

**DARBON Stéphane**

CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – stephane.darbon@cea.fr

# OPTIQUE - OPTIQUE LASER - OPTIQUE APPLIQUEE

### Sujet :

**Développement d'amplificateurs lasers de nouvelle génération pour les pilotes de lasers de puissance**

### Contexte :

Un faisceau laser de puissance type LMJ/PETAL est schématiquement constitué d'un système laser pilote qui crée et met en forme une impulsion, suivi d'une section amplificatrice constituée d'une série de plaques de verres laser dopés au Néodyme, permettant d'atteindre une énergie de l'ordre de la dizaine de kilojoules. En tant que premier élément du système, le pilote a un rôle primordial car c'est à son niveau que toutes les caractéristiques du faisceau sont définies. Le pilote est un élément qui reste de taille relativement raisonnable par rapport au reste de l'installation et qui peut donc évoluer durant toute la phase d'exploitation d'un laser de puissance. Dans ce cadre, nous développons actuellement différentes briques technologiques novatrices fibrées ou massives (amplificateurs ytterbium de forte énergie, sources semi-conducteur, amplificateurs à barreau ou à disque, ...) susceptibles d'être intégrées dans les systèmes pilote de nouvelle génération.

### Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est de développer de nouvelles têtes amplificatrices :

- équipées de matériaux amplificateurs de natures différentes pour optimiser la bande de gain,
  - équipées de matériaux composites collés pour optimiser le refroidissement,
- et de proposer des méthodes de refroidissement alternatives.

### Déroulement de la thèse :

Il s'agira, dans le cadre d'une démarche scientifique classique, de développer des études expérimentales et numériques pour valider des concepts technologiques dans l'objectif de parvenir à des systèmes réellement exploitables dans le contexte exigeant des lasers de puissance.

Ce sujet permettra au(à la) doctorant(e) de mettre à profit ou d'élargir ses compétences en laser, fibres optiques, mise en forme et caractérisation d'impulsions,...

Les développements seront menés au sein du laboratoire travaillant sur les nouvelles technologies laser, en particulier dans le cadre du projet LEAP (Lasers Energétiques en Aquitaine pour les Plasmas à haute puissance moyenne) soutenu par la région Nouvelle-Aquitaine. Ils se feront en collaboration avec une autre unité du CESTA spécialisée en optomécanique et également avec l'équipe du CIMAP (université de Caen) qui élabore de nouveaux matériaux.

### Directeur de thèse et école doctorale :

**CAMY Patrice**

Ecole doctorale Physique, Sciences de l'ingénieur,  
matériaux, Énergie (ED 591, PSIME)  
Normandie Université

### Contact :

**MONTANT Sébastien**

CEA/CESTA - CS60001 - 33116 LE BARP CEDEX  
Tél. : 05.57.04.40.00 – Sebastien.Montant@cea.fr

## Sujet :

### Modélisation et caractérisation d'un amplificateur laser fonctionnant en régime de saturation

#### Contexte :

Un faisceau laser de puissance type LMJ est schématiquement constitué d'un système laser pilote qui crée et met en forme une impulsion, suivi d'une section amplificatrice constituée d'une série de plaques de verre laser dopé au néodyme, permettant d'atteindre une énergie de l'ordre de la dizaine de kilojoules. En tant que premier élément du système, le pilote a un rôle primordial car c'est à son niveau que toutes les caractéristiques du faisceau sont définies. Le pilote est un élément qui reste de taille relativement raisonnable par rapport au reste de l'installation et qui peut donc évoluer durant toute la phase d'exploitation d'un laser de puissance. Dans ce cadre, nous développons actuellement différentes briques technologiques novatrices fibrées ou massives (amplificateurs ytterbium de forte énergie, sources semi-conducteur, amplificateurs à barreau ou à disque, ...) susceptibles d'être intégrées dans les systèmes pilote de nouvelle génération. Ces amplificateurs peuvent fonctionner selon deux régimes : en régime petit signal et en régime de saturation. Le fonctionnement en saturation induit des modifications importantes sur la forme temporelle et spectrale.

#### Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est d'étudier le comportement d'un amplificateur laser en régime de saturation :

- en fonction de l'élargissement homogène et/ou inhomogène des raies d'émission laser de matériaux vitreux et cristallins,
- en cherchant les limites de l'approche « fonction de transfert », afin de proposer des méthodes de compensation spectrale adaptable aux changements de régime.

#### Déroulement de la thèse :

Il s'agira, dans le cadre d'une démarche scientifique classique, de développer des études analytiques, numériques et expérimentales pour valider des concepts de compensation de la courbe de gain d'amplification en régime de saturation dans l'objectif de parvenir à un système réellement exploitable dans le contexte exigeant des lasers de puissance.

Ce sujet permettra au(à la) candidat(e) de mettre à profit ou d'élargir ses compétences en laser, fibres optiques, mises en forme et caractérisation d'impulsions,...

Les développements seront menés au sein d'une unité du CEA/CESTA près de Bordeaux travaillant sur les nouvelles technologies laser, en particulier dans le cadre d'un projet soutenu par la région Nouvelle-Aquitaine. Ils se feront en collaboration avec le CIMAP à Caen.

#### Directeur de thèse et école doctorale :

**BRAUD Alain**

Ecole doctorale Physique, Sciences de l'ingénieur,  
matériaux, Énergie (ED 591, PSIME)  
Normandie Université

#### Contact :

**BOURSIER Élodie**

CEA/CESTA - CS60001 - 33116 LE BARP CEDEX  
Tél. : 05.57.04.40.00 – Elodie.Boursier@cea.fr

# PHYSIQUE DES PLASMAS & INTERACTIONS LASER- MATIERE

### Sujet :

**Etude expérimentale de l'interaction laser-plasma en configuration multifaisceaux dans le contexte de la fusion thermonucléaire contrôlée par confinement inertiel laser**

### Contexte :

Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans le cadre des études préparatoires à l'atteinte de l'ignition sur le laser Mégajoule. La thèse portera plus particulièrement sur la thématique de l'interaction laser-plasma. Celle-ci est l'une des premières à maîtriser en vue de réaliser la fusion thermonucléaire inertielle par laser (FCI) en laboratoire puisqu'elle vise à optimiser l'efficacité et la qualité du couplage de l'énergie laser à la cible de FCI. La configuration retenue dans un premier temps pour les expériences à l'échelle mégajoule est celle de l'irradiation indirecte dans laquelle la capsule remplie de combustible deutérium-tritium est placée au centre d'une cavité en or de dimensions millimétriques: l'énergie laser est d'abord convertie en rayonnement X sur les parois internes de la cavité avant d'irradier la capsule. Les faisceaux laser (plus de 100 faisceaux à terme) sont distribués en cônes et superposés à l'entrée de la cavité pour irradier les parois de façon relativement homogène. L'éclairement laser résultant et la répartition régulière favorisent les couplages résonants instables entre les modes propres du plasma et les faisceaux laser au travers d'instabilités dites collectives où l'une des ondes est stimulée par plusieurs faisceaux répartis sur un cône. Ce type d'effets a récemment été mis en évidence dans nos expériences réalisées sur l'installation laser Omega aux Etats-Unis

### Objectif de la thèse :

Dans ce contexte, l'objectif de la thèse sera de définir, réaliser et analyser des expériences dédiées, en lien avec les codes en cours de développement, sur la thématique de l'interaction multi-faisceaux. Plus précisément, il s'agira de poursuivre la mise en évidence des mécanismes de couplage collectif et d'identifier les paramètres clé qui gouvernent leur développement dans les expériences FCI. A terme, l'objectif est de définir les conditions laser et plasma permettant de maîtriser ces effets à l'échelle mégajoule.

### Déroulement de la thèse :

Pour cela, le travail expérimental s'appuiera sur trois grands types d'expériences réalisées sur les installations laser complémentaires disponibles en France (à l'Ecole Polytechnique et au CEA/CESTA) et aux Etats-Unis (Omega à l'Université de Rochester). Ces expériences seront définies pour étudier et quantifier les instabilités collectives dans des configurations impliquant jusqu'à 40 faisceaux. Les principaux diagnostics qui seront mis en place dans ces expériences sont optiques dans les domaines visible, UV et X. En raison des enjeux liés aux pertes d'énergie potentiellement importantes par ces instabilités, de tels instruments sont en cours de réalisation et seront bientôt disponibles pour l'installation LMJ du CESTA. Les expériences associées fourniront des résultats dans des conditions de plus en plus représentatives de la FCI permettant de tester les modèles qui auront été développés au travers des expériences élémentaires. L'interprétation des observations expérimentales correspondantes s'appuiera sur les codes PIC (Particle in Cell) et de couplage d'ondes existants et en cours de développement. Au-delà de l'apport pour le développement des codes d'interaction dans le cadre de la FCI, ces expériences de base intéressent les différents schémas d'amplification d'impulsions courtes dans des plasmas visant à repousser les limites vers les ultra-hautes intensités au-delà de la limite technologique de tenue au flux des réseaux inhérente à la méthode CPA.

A l'issue de la thèse, l'étudiant(e) sera formé(e) à la conception d'une expérience sur une installation laser de puissance et plus généralement à la conduite d'un grand projet scientifique. Sur le plan de la physique, il(elle) devrait avoir acquis une formation solide sur la thématique de la physique des plasmas, de l'interaction laser-plasma ainsi qu'une vision d'ensemble sur toutes les problématiques liées à l'atteinte de l'ignition par laser. Sur le plan pratique, l'étudiant(e) aura acquis une expérience solide en optique dans les domaines visible, UV et X et en analyse de données.

### Directeur de thèse et école doctorale :

**LABAUNE Christine**

Ecole doctorale Ondes et Matière (OM)  
ED 572 / Université Paris Saclay

### Contact :

**DEPIERREUX Sylvie**

CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – sylvie.depierreux@cea.fr



### Sujet :

#### Propagation d'un faisceau laser intense dans un plasma magnétisé

### Contexte :

Dans le cadre des études visant à obtenir la fusion de noyaux nucléaires en laboratoire, une des voies explorées consiste à utiliser l'énergie portée par des lasers de puissance afin de conduire la matière à l'état de plasma, c'est la fusion par confinement inertiel. Les cibles envisagées, cylindriques avec la cible fusible en son centre, nécessitent que les faisceaux laser intenses se propagent dans un plasma ambient avant d'atteindre les parois de ce cylindre. Lors de leur propagation, ces faisceaux se couplent avec le plasma ambient, déclenchant des instabilités qui vont nuire à l'efficacité du processus. Le déclenchement de ces instabilités dépend principalement de la densité électronique et de la température électronique. Une façon de limiter ces instabilités est d'imposer un champ magnétique externe. Ce champ a pour effet de modifier la conduction thermique électronique des plasmas, et par conséquent le couplage laser-plasma. Pour ces raisons, la propagation de lasers intenses en plasma magnétisé est un sujet en plein renouveau.

### Objectif de la thèse :

Le sujet proposé a pour objectif expérimental l'acquisition de données détaillées sur la propagation d'un laser dans un plasma sous-dense et magnétisé, ceci afin de compléter les connaissances actuellement très parcellaires dans le domaine. Ces données concernent le plasma (température et densité électronique) et le laser (transmission, absorption, rétrodiffusion). Le pendant de cet aspect expérimental est la modélisation de l'interaction laser plasma : chauffage du plasma et impact de la magnétisation sur la propagation laser

### Déroulement de la thèse :

Dans le cadre de la thèse, qui associe un volet expérimental et un volet simulation, le(la) doctorant(e) étudiera la propagation de lasers intenses dans des plasmas modèles en utilisant les moyens expérimentaux du laboratoire LULI (hébergé sur le site de l'Ecole Polytechnique) et modélisera les expériences à l'aide des codes de propagation 3D et de transport électronique 2D du CEA.

### Directeur de thèse et école doctorale :

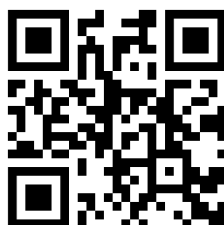
**FUCHS Julien**

Ecole doctorale Onde et Matière (OM) – ED 572 /  
Université Paris-Saclay

### Contacts :

**LOISEAU Pascal**

CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – pascal.loiseau@cea.fr



**CESTA**  
BP 2  
33114 Le Barp  
05 57 04 40 00

**DAM Ile de France**  
Bruyères le Châtel  
91297 Arpajon  
01 69 26 40 00

**Le Ripault**  
BP 16  
37260 Monts  
02 47 34 40 00

**Gramat**  
BP 80200  
46500 Gramat  
05 65 10 54 32

**Valduc**  
21120 Is-sur-Tille  
03 80 23 40 00