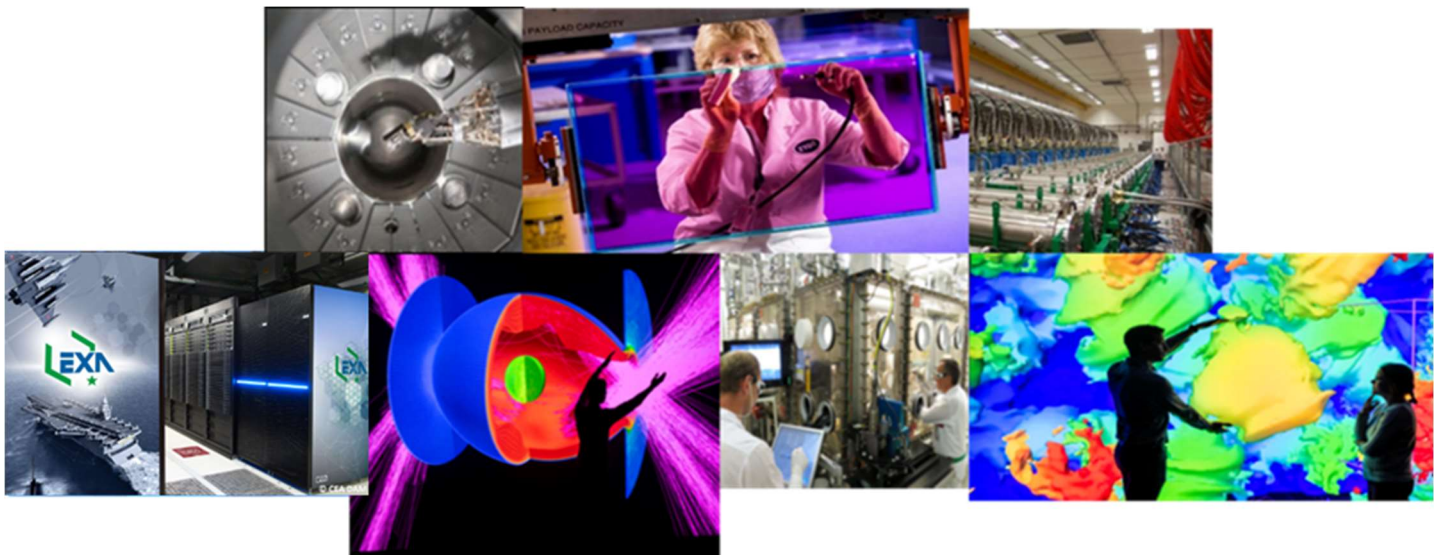


# OFFRES de THESES 2024



**Liens utiles :**

<https://www.cea.fr/>

<https://www-dam.cea.fr/>

<https://www.emploi.cea.fr/> rubrique « Consulter nos sujets de Thèses »

<https://instn.cea.fr/these/>

[E-mail \(candidature spontanée\) : stage-DAM@cea.fr](mailto:stage-DAM@cea.fr)

MISSION  HANDICAP

Vous êtes actuellement en formation bac+5 et démarrez votre recherche active pour réaliser un doctorat ? Ce recueil est fait pour vous ! Il recense, classé par domaine de compétences, l'ensemble des sujets de thèses proposés à ce jour par les équipes de la Direction des applications militaires (DAM) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

### **S'ENGAGER POUR LA DÉFENSE ET LA SÉCURITÉ DE LA FRANCE**

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.

### **PARTICIPER À DE GRANDS PROJETS À LA POINTE DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE**

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 qu'elles soient en lien direct avec le domaine scientifique approfondi durant le doctorat ou transverses (« soft skills »)..

### **ACCÉDER À DES ÉQUIPEMENTS DE RECHERCHE AU MEILLEUR NIVEAU MONDIAL**

Vous bénéficierez d'un environnement de recherche exceptionnel en termes de moyens disponibles : centres de calcul (EXA1, Très Grand Centre de Calcul...) équipés de calculateurs pétaflopiques, voire de classe exaflopique, 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...

### **SE FORMER ET CONSTRUIRE VOTRE PROJET PROFESSIONNEL**

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... Cet environnement passionnant et stimulant est un formidable atout pour la réussite de vos travaux de thèse.

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.

Certaines thèses peuvent faire l'objet d'un parcours dans un laboratoire français ou étranger avec lequel des coopérations existent.

**Page 3**

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, de vous accompagner dans cette démarche et de vous en faciliter l'accès.

L'accompagnement dont vous pourrez bénéficier tout au long de votre thèse au sein du CEA, notamment grâce aux différentes formations proposées par l'INSTN, vous seront particulièrement utiles pour parfaire vos compétences transverses, faire murir votre projet professionnel et permettre sa réalisation concrète à l'issue du doctorat.

### **VALORISER VOS TRAVAUX DE THESE**

L'excellence scientifique et technique des équipes du CEA/DAM se matérialise également 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, et de publications dans les revues à comité de lecture 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.

Les perspectives de recrutement sont toujours nombreuses au CEA/DAM, 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 des sujets de thèse déjà disponibles à ce jour, que vous trouverez également sur le site Internet du CEA/DAM (<http://www-dam.cea.fr/dam>). Les offres sont par ailleurs publiées individuellement sur le site de l'INSTN (<http://www-instn.cea.fr/formations/formation-par-la-recherche/doctorat/liste-des-sujets-de-these.htm>). Prenez 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 vous précise que le financement est acquis pour tous les sujets publiés par le CEA/DAM.

Initier votre projet de recherche par la réalisation d'un stage au sein d'un de nos laboratoires est une excellente démarche permettant d'une part de vous conforter dans votre choix de vous engager pour 3 ans dans une thèse et d'autre part, de prendre en main le sujet à traiter et de réaliser des premières études. Je vous invite à parcourir en parallèle nos offres de stage publiées sur le portail emploi du CEA (<https://www.emploi.cea.fr>) et sur le site DAM ; plusieurs sont d'ores et déjà affichées comme pouvant déboucher sur une thèse.

Participant à la protection nationale, une enquête administrative est réalisée pour tous les salariés du CEA afin d'assurer l'intégrité et la sécurité de la nation.

Conformément aux engagements pris par le CEA en faveur de l'intégration des personnes en situation de handicap, les offres de postes au CEA sont ouvertes à tous et toutes.

A très bientôt au CEA/DAM !

**Laurence BONNET**  
Chargée de mission relations école/université  
et formation par la recherche

# Les centres CEA / DAM

## LE RIPAULT

37260 Monts  
02.47.34.40.00

<http://www-dam.cea.fr/ripault>

## DAM ÎLE-DE-FRANCE

Bruyères-le-Châtel  
91297 Arpajon  
01.69.26.40.00

<http://www-dam.cea.fr/damidf>

## CESTA

BP2  
33114 Le Barp  
05.57.04.40.00

<http://www-dam.cea.fr/cesta>

## VALDUC

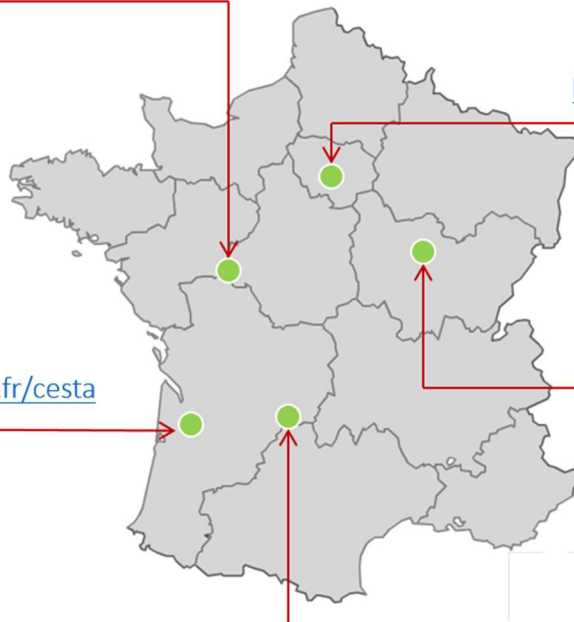
21120 Is-sur-Tille  
03.80.23.40.00

<http://www-dam.cea.fr/valduc>

## GRAMAT

BP 80000  
46500 Gramat  
05.65.10.54.32

<http://www-dam.cea.fr/gramat>





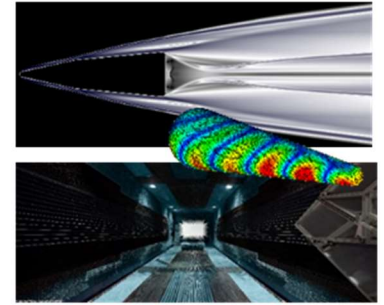
# Le CEA/Cesta

Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine

Site Web : <https://www-dam.cea.fr/cesta>

Le CESTA est un des 5 centres de recherche et de développement technologique de la Direction des Applications Militaires du CEA. Il rassemble 1000 salariés sur un site de 700 hectares au cœur de la Nouvelle Aquitaine, au sud de la Gironde, entre Bordeaux et Arcachon.

Le CESTA assure la conception d'ensemble des têtes nucléaires de la force de dissuasion française à partir de **méthodes d'ingénierie collaborative intégrée**. Le CESTA est également responsable de la démonstration de fiabilité, de sûreté et de performance (tenue aux environnements, furtivité, rentrée atmosphérique), dans une démarche de simulation. Ce triptyque « modélisation/calculs/essais » s'appuie sur des **modélisations physiques de haut niveau**, des **calculateurs parmi les plus puissants au monde** et un **parc exceptionnel de moyens d'essais**.



Le CESTA dispose de la **plus grande installation laser d'Europe, LMJ/PETAL** (Laser MégaJoule/PETawatt Aquitaine Laser), instrument de recherche **unique** qui permet d'étudier la matière dans des conditions extrêmes de température et de pression, représentatives du fonctionnement des armes nucléaires et du cœur des étoiles. Pour cela, le CESTA accueille une **expertise reconnue mondialement, en conception laser, en technologie des composants optiques, en informatique industrielle...**

## Une politique scientifique dynamique

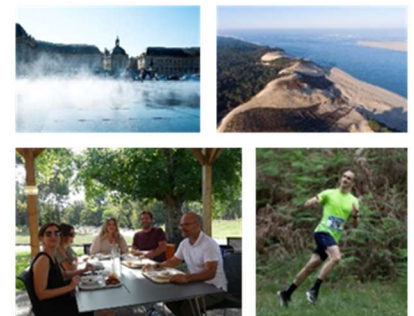
Pour mener à bien les missions dont il a la responsabilité et anticiper les évolutions nécessaires aux programmes futurs, le CESTA développe une politique scientifique dynamique et ambitieuse. Elle a donné naissance à un réseau collaboratif avec de multiples partenariats académiques et industriels qui permet notamment de former de nombreux étudiants dans un cadre stimulant, sur des sujets variés, à la pointe de la technique.

## Thématiques métiers



## Le CESTA, une qualité de vie au TOP !

- Réseau de bus CEA, accès gares, covoiturage
- Restauration sur place
- Possibilité de télétravail
- Service de Conciergerie (courrier, pressing, panier du marché...)
- Associations culturelles et sportives
- Salle de sport et parcours santé



**Stagiaires, alternants, doctorants, post-doctorants, en rejoignant le CESTA, vous bénéficierez de conditions idéales pour exprimer vos compétences et développer vos talents !**

# Le CEA/DAM Île-de-France (CEA DIF)

Site Web : <https://www-dam.cea.fr/damidf>

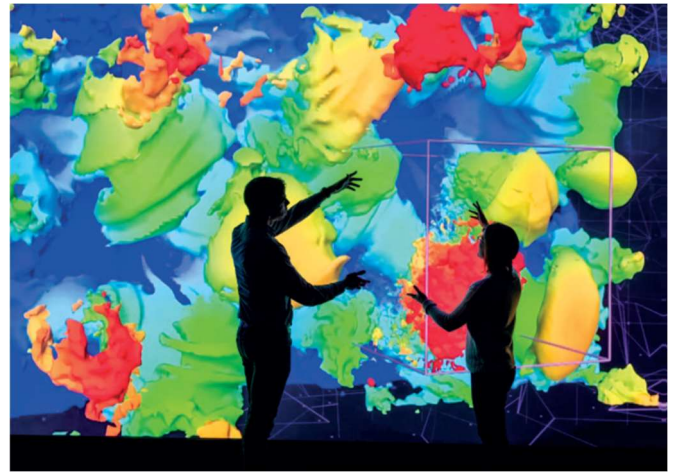
Le centre CEA DAM-Île de France est un des cinq centres de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA. Ses 2 000 salariés – ingénieurs, chercheurs, techniciens, doctorants, partenaires... - sont mobilisés sur des missions au cœur de la dissuasion nucléaire française, ont en charge la surveillance de risques nationaux (terrorisme, séisme et tsunamis...) et du respect des traités internationaux, ou encore l'ingénierie de grandes installations pour la Défense. Le centre CEA DIF accueille également le Très Grand Centre de calcul du CEA, campus des savoir-faire en Calcul Haute Performance en France, et qui héberge les supercalculateurs de classe mondiale.

À proximité immédiate du complexe scientifique du plateau de Saclay, le CEA DIF est en interaction directe avec l'Université Paris Saclay et l'Institut Polytechnique de Paris. Ses équipes proposent des thèses, stages ou alternances dans le domaine de l'informatique, des mathématiques, de la physique des plasmas, de la physique de la matière condensée, de la chimie, de l'électronique, de l'environnement ou encore de la géophysique.

## LES MISSIONS

### AU CŒUR DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

- La conception des armes nucléaires françaises, et la garantie de leur fiabilité et de leur sûreté, en s'appuyant sur le programme simulation.
- L'alerte auprès des autorités, 24h sur 24 et 365 jours par an, en cas d'essai nucléaire étranger, de séisme sur le territoire national et de séisme majeur à l'étranger, ainsi que de tsunami survenant dans la zone euro-méditerranéenne.
- La maîtrise d'œuvre d'ingénierie et l'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la construction et le démantèlement d'ouvrages complexes.
- La lutte contre la prolifération et le terrorisme nucléaire en contribuant au respect du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (Tice) et du Traité de non-prolifération (TNP).



Simulation numérique

## DES RESSOURCES INÉGALÉES

Le centre CEA DAM Île-de-France est aujourd'hui reconnu comme un leader européen en calcul numérique haute performance et en calcul intensif.



Supercalculateur Joliot-Curie du Très grand centre de calcul du CEA



Il exploite le Très grand centre de calcul du CEA (TGCC), ouvert à la communauté académique et industrielle. Le TGCC est l'un des composants du technopôle Teratec, premier espace français – et l'un des plus grands d'Europe – entièrement consacré à la simulation et au calcul haute performance.





# Le CEA/Le Ripault

Site Web : <https://www-dam.cea.fr/ripault>



## Un pôle de compétences unique pour l'étude et la conception de matériaux performants et innovants

Le CEA Le Ripault est situé à Monts, près de Tours, en Région Centre Val de Loire. Il rassemble, au profit de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA, tous les métiers et les compétences scientifiques et techniques nécessaires à la mise au point de nouveaux matériaux et de systèmes, depuis leur développement jusqu'à leur industrialisation :



- Ingénierie moléculaire & Synthèse
- Microstructures & Comportements
- Conception & Calculs
- Prototypage & Métrologie
- Fabrication & Traitement de surface
- Caractérisation & Expertise

### Missions : Les salariés du Ripault unissent leurs compétences et leurs talents pour :

#### RÉPONDRE AUX ENJEUX DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

- Armes nucléaires
- Lutte contre la prolifération nucléaire
- Réacteurs nucléaires de propulsion navale

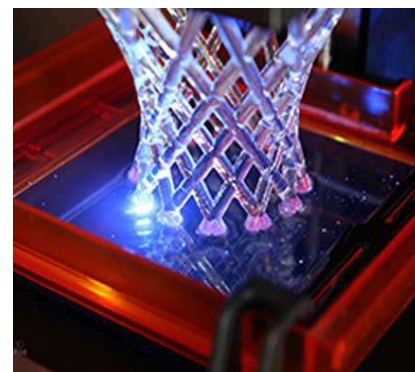
#### SURVEILLER, ANALYSER ET INTERVENIR POUR LA SÉCURITÉ

#### CONTRIBUER À L'EXCELLENCE DE LA RECHERCHE ET À LA COMPÉTITIVITÉ DE L'INDUSTRIE

Le CEA/Le Ripault propose des stages, alternances, thèses et des post-doctorats d'excellence dans les domaines des matériaux organiques, céramiques et composites, de l'électromagnétisme, des systèmes énergétiques bas carbone, des procédés de fabrication innovants et dans celui des matériaux énergétiques.



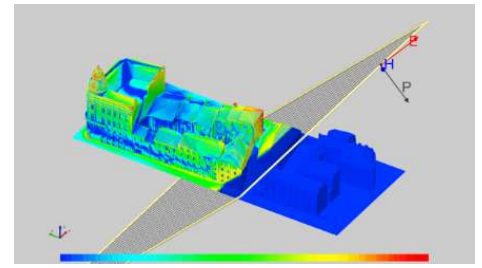
Une plateforme d'innovation est à disposition des salariés pour y mener des projets transversaux autour de la qualité de vie au travail, de la sobriété énergétique et de l'industrie du futur...





# Le CEA/Gramat

Site Web : <https://www-dam.cea.fr/gramat>

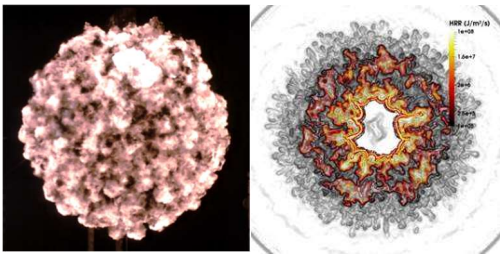


## Gramat, la recherche au service de la Défense nationale

Situé dans la région Occitanie - Pyrénées Méditerranée, le site de Gramat compte 250 salariés et s'étend sur plus de 300 hectares.

Ses activités sont organisées autour de trois domaines d'applications : Dissuasion - Défense conventionnelle et Sécurité civile. Dans ces trois domaines, le CEA Gramat a la charge des études de vulnérabilité et de durcissement (capacité à résister à une agression) des systèmes d'armes face à des agressions nucléaires ou conventionnelles. A ce titre, il étudie notamment la vulnérabilité et la protection des installations vitales civiles et militaires de la nation.

Pour accomplir leurs missions, les équipes exploitent des moyens d'expertise de très haut niveau, qu'il s'agisse de simulations numériques haute performance ou de plateformes d'expérimentation physique uniques en France et en Europe.



Vue expérimentale et simulation numérique d'une boule de feu (explosif en détonation)



Chambre anéchoïque

Les domaines scientifiques étudiés sont très vastes et se rapportent à de nombreuses branches de la physique théorique ou expérimentale : mécanique des fluides et des structures, comportement dynamique des matériaux, détonique (science des explosifs), thermique, électromagnétisme, électronique, interactions rayonnement-matière, physique des plasmas, métrologie...

## Douceur de vivre

Le centre CEA Gramat est au cœur du Parc naturel régional des Causses du Quercy, situé entre Rocamadour et Padirac dans le Lot. Côté nature, des paysages typiques du Lot sont d'une grande diversité. Côté loisirs, randonnées, canoë sur la Dordogne, sport, culture, festivals... des activités pour tous les goûts. Côté transport, le centre CEA Gramat est situé entre Brive (aéroport et gare) et Toulouse (aéroport). Côté papilles, le célèbre Rocamadour, le foie gras ou la truffe sont les produits phares du Lot. Sur le centre CEA Gramat, une conciergerie et une Association locale vous proposent divers services et activités culturelles, sportives et musicales.

## Un rayonnement régional attractif

Afin de développer son niveau scientifique, le Centre s'appuie sur de nombreuses universités françaises (Limoges, Toulouse, Rennes...) et sur de grandes écoles d'ingénieurs (Ecole Polytechnique, Ecole des Mines...). Les ingénieurs du centre participent aux Pôles de compétitivité Aerospace Valley (Occitanie – Nouvelle Aquitaine, aéronautique, systèmes embarqués), et ALPHA Route des Lasers et Hyperfréquences (Nouvelle Aquitaine, lasers, micro-ondes et réseaux). Au niveau régional, le CEA Gramat développe ses partenariats avec les écoles doctorales et les laboratoires des régions proches. Cela se traduit par la création de Laboratoires de Recherche Conventonnés (LRC) permettant de renforcer les compétences de chacune des parties en matière de recherche académique et de recherche appliquée.

Ces collaborations se concrétisent par une récurrence d'une quinzaine de doctorants, d'une vingtaine d'apprentis et d'une vingtaine de stagiaires présents sur le site dans les domaines de l'électromagnétisme, de l'électronique, de la détonique (science des explosifs), de la dynamique des structures, de l'expérimentation et de la simulation numérique.

# Le CEA/Valduc

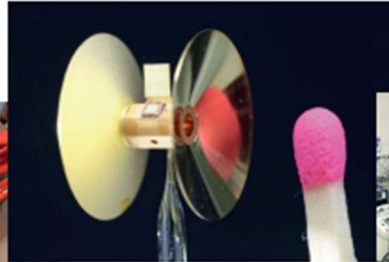
Site Web : <https://www-dam.cea.fr/valduc>

## Valduc , un site de production unique !

Dédié à la fabrication des composants nucléaires des armes de la dissuasion, le CEA Valduc est à la fois un centre de recherche et un site industriel en évolution constante. Caractérisé par des produits de très haute valeur ajoutée et des procédés high-tech, il rassemble toutes les compétences et les moyens techniques nécessaires à l'accomplissement de sa mission, de la recherche de base sur les matériaux nucléaires aux procédés de fabrication et à la gestion des déchets.

Ses compétences sont principalement centrées sur la métallurgie de pointe, la chimie séparative et l'exploitation de grandes installations nucléaires.

Le centre accueille également l'installation radiographique franco-britannique Epure, dans laquelle sont réalisées des expériences hydrodynamiques.



## Valduc, un cadre de vie exceptionnel !



L'existence d'une structure collaborative ouverte à tous contributeurs sur le centre permet le brassage d'idées au service de projets innovants dans un état d'esprit type Fab-Lab.

Un environnement épanouissant aux portes du Parc Régional de Bourgogne et à 45 mn de Dijon offre aux salariés des conditions de vie particulièrement agréables.

La qualité de vie au travail à Valduc, c'est aussi profiter des structures sportives, participer à des événements festifs (Tour du Centre, Fête de la Musique, Vœux, ...), bénéficier de services et d'offres (bibliothèque, spectacle, séjours sportifs, vacances...) grâce aux associations culturelles et sportives du centre.

## Valduc, un attracteur de jeunes talents !

Au-delà des moyens classiques, Valduc mène de nombreux développements pour intégrer les dernières évolutions dans des domaines très variés\* dans lesquels les jeunes en apprentissage ou en stage pourront se former et exprimer tout leur talent. Des sujets de thèse et de post-doctorat sont aussi proposés dans le cadre de collaborations étroites que le centre établit notamment avec l'Université de Bourgogne Franche Comté, l'Université de Toulouse, de Nancy, mais également en partenariat avec de nombreuses écoles (ESIREM, ENSAM, ENSMM, Mines de Nancy...).

\* Physico-Chimie- Matériaux- Chimie organique et inorganique- Sûreté nucléaire - Soudage laser - Usinage d'ultraprécision - Fonderie - Mécanique- Microtechnologie - Calcul de structure - Bureau d'étude - Génie des procédés - Exploitation et maintenance de procédés chimiques - Mesures physiques - Radioprotection - Contrôle non destructif, dimensionnel - Maintenance électrotechnique & automatisme- Robotique et mécatronique - Infrastructures chauffage et fluides - Systèmes de vidéo contrôle - Supervision - Cybersécurité - Informatique- Ventilation nucléaire- Cryogénie



## Valduc, se donner rendez-vous !

Intégrer le CEA Valduc, c'est avoir la perspective d'une carrière diversifiée dans des métiers de pointe ; c'est aussi donner un sens à son action, en contribuant à une mission au service de l'intérêt général.

Rendez-vous sur le site <http://www-dam.cea.fr/valduc> pour en savoir plus ou contactez-nous [recrutement.valduc@cea.fr](mailto:recrutement.valduc@cea.fr) ou au 03 80 23 42 01 pour convenir d'un rendez-vous

# LISTE DES THÉMATIQUES DES THÈSES 2024 ET NOMBRE D'OFFRES PAR THÉMATIQUE

## **PHYSIQUE CORPUSCULAIRE ET COSMOS**

**Page 13**

- **ASTROPHYSIQUE**
- **PHYSIQUE DES ACCÉLÉRATEURS**
- **PHYSIQUE DES PLASMAS ET INTERACTIONS LASER-MATIÈRE**

## **PHYSIQUE DE L'ÉTAT CONDENSÉ, CHIMIE ET NANOSCIENCES**

**Page 21**

- **CHIMIE**

## **SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT**

**Page 23**

- **ENVIRONNEMENT ET POLLUTION**

## **SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR**

**Page 25**

- **ÉLECTROMAGNÉTISME - ÉLECTROTECHNIQUE**
- **ÉLECTRONIQUE ET MICROÉLECTRONIQUE - OPTOÉLECTRONIQUE**
- **ÉNERGIE, THERMIQUE, COMBUSTION, ÉCOULEMENTS**
- **INSTRUMENTATION**
- **MATÉRIAUX ET APPLICATIONS**
- **MATHÉMATIQUES - ANALYSE NUMÉRIQUE - SIMULATION**
- **MÉCANIQUE, ÉNERGÉTIQUE, GÉNIE DES PROCÉDÉS, GÉNIE CIVIL**







# **PHYSIQUE CORPUSCULAIRE ET COSMOS**

**Contexte :** Une supernova à effondrement de cœur est un événement qui arrive à la fin de l'évolution d'une étoile massive. Il se compose des phases suivantes : effondrement, rebond, propagation puis arrêt d'un choc. Ce choc doit alors repartir pour faire exploser l'étoile. Le mécanisme à l'œuvre pour faire repartir le choc est le chauffage par les neutrinos. Si cette affirmation fait consensus aujourd'hui, beaucoup de détails de ce mécanisme sont encore à éclaircir. En particulier, certaines simulations conduisent à une explosion alors que d'autres n'explorent pas, formant alors des trous noirs. Savoir quels progéniteurs (quelles étoiles massives) explosent et lesquels forment des trous noirs est un sujet actif de recherche : il n'existe pas de moyen simple et absolument fiable, sans faire de simulation numérique détaillée, de savoir si un progéniteur donné explose ou forme un trou noir.

**Objectif de la thèse :** Objectifs numériques : Prendre en main le code de calcul, puis progressivement devenir autonome pour implémenter de nouveaux éléments dans le code. Par exemple, implémenter de nouvelles réactions impliquant des neutrinos ou des réactions nucléaires. Etre à l'aise avec le lancement et le dépouillement d'un code parallèle sur supercalculateur.

Objectifs physiques : Connaître en détails la physique des supernovae, mais également la physique stellaire et la physique des étoiles à neutrons.

L'étudiant(e) en thèse se familiarisera avec l'hydrodynamique radiative avec des neutrinos : il(elle) montera en compétence en hydrodynamique et en transfert radiatif. Il(elle) connaîtra également le couplage entre les deux. Ceci dans un contexte relativiste : l'autogravitation de l'étoile est calculée par un formalisme de relativité générale, et en conséquence l'hydrodynamique radiative est relativiste. L'étudiant(e) pourra enrichir ses connaissances en relativité et en physique des trous noirs.

Une possibilité de reproduire certains aspects des explosions de supernovae en laboratoire avec des expériences laser sera étudiée.

**Déroulement de la thèse :** Dans un premier temps, l'étudiant(e) devra créer des progéniteurs simplifiés, à partir de cas en libre accès, cas résultants de codes d'évolution stellaire. Puis, il(elle) réalisera une étude en 2D axisymétrique, en faisant varier certains paramètres bien choisis. Il s'agira de voir quels paramètres ont la plus grande influence sur le devenir de l'étoile, c'est-à-dire si elle explose ou si elle s'effondre en trou noir.

De nombreuses pistes existent pour améliorer cette première étude : réduction de la diffusivité dans l'hydrodynamique, raffinement de maillage, passage à des simulations 3D, implémentation de nucléosynthèse. L'étudiant(e) pourra également proposer ses propres pistes.

L'étudiant(e) pourra travailler sur le centre DIF. Il(elle) sera également amené(e) à travailler au LUTh, à l'Observatoire de Paris-Meudon.

### DIRECTEUR DE THESE

FALIZE Emeric  
meric.falize@cea.fr

### ECOLE DOCTORALE

127  
Astronomie et Astrophysique d'Ile  
de France  
Observatoire de Paris Meudon 5  
place Jules Janssen 92195  
Meudon

### ENCADRANT

PERES Bruno  
bruno.peres@cea.fr

### CENTRE

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00



**Contexte :** La Direction des Applications Militaires du CEA utilise la radiographie éclair pour « caractériser l'état de la matière soumise à des chocs forts ou à une densification importante sous l'effet d'explosifs ». Dans de telles conditions extrêmes, le succès des expériences de radiographie éclair nécessite des sources de rayonnement X impulsives de faibles dimensions spatiales (quelques mm), brèves (environ 60 ns), fortement pénétrantes (quelques MeV) et intenses (plusieurs rads). De telles sources sont produites à partir du rayonnement de freinage créé par une impulsion brève et intense d'électrons (plusieurs kA) de haute énergie dans un matériau cible.

**Objectif de la thèse :** La compréhension et la maîtrise de la dynamique des faisceaux d'électrons dans un LIA sont nécessaires au succès d'une expérimentation. Aujourd'hui, l'étude de cette dynamique est majoritairement réalisée avec des codes enveloppes qui permettent une approche macroscopique du réglage du transport du faisceau. La méthode Particle-In-Cell (PIC), complémentaire de l'approche enveloppe, est également utilisée pour simuler la dynamique du faisceau. Elle reproduit la quasi-totalité des phénomènes physiques [1] (accroissement d'émission, évolution des distributions des particules, développement des instabilités de faisceau ...) au prix cependant d'une importante mobilisation de ressources de calcul. De plus, elle permet d'appréhender les phénomènes mis en jeu lors d'un fonctionnement à plusieurs impulsions [2].

**Déroulement de la thèse :** Une précédente thèse a permis de développer une première version du code de transport EVOLI qui intègre les phénomènes principaux (Beam Break-Up et Corkscrew) perturbant le fonctionnement des LIA mono-pulse. Cette thèse propose de compléter et de poursuivre l'étude expérimentale et numérique des instabilités faisceau. D'autres instabilités (ion hose, Wall Instability ...) seront intégrées et étudiées afin de disposer d'un outil permettant d'améliorer la modélisation des LIA mono-pulse et de dimensionner de futurs accélérateurs multi-impulsions. Dans un premier temps, l'étudiant(e) se familiarisera aux codes de simulation PIC et enveloppe utilisés au CEA/Gramat décrivant la dynamique des faisceaux dans les LIA en vue de les améliorer. Dans un second temps, une confrontation sera effectuée avec les résultats expérimentaux obtenus sur les LIA afin d'établir les domaines de validité des modèles développés. L'étudiant(e) aura également pour objectif d'évaluer l'apport des algorithmes d'intelligence artificielle pour optimiser les stratégies de transport. [1] J.M. Plewa et al., Phys. Rev. Accel. Beams, 21, 070401. [2] R. Delaunay et al., Phys. Rev. Accel. Beams, 25, 060401.

### DIRECTEUR DE THESE

ROUSSEAU Patrick  
prousseau@ganil.fr

### ECOLE DOCTORALE

591  
Physique, sciences de  
l'ingénieur, matériaux, énergie  
(PSIME)  
Université de Caen Normandie  
Campus 2  
UFR des Sciences  
Bâtiment sciences 3 – bureau S3  
104  
Boulevard Maréchal Juin · CS  
14032 · 14032 Caen cedex 5

### ENCADRANT

DELAUNAY Rudy  
rudy.delaunay@cea.fr

### CENTRE

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32



**Contexte :** Les progrès en matière de technologie laser se concrétisent par l'avènement progressif d'une nouvelle génération d'installations capables de délivrer des impulsions d'une puissance avoisinant la dizaine de pétawatts et d'une intensité supérieure à  $1e22$  W/cm<sup>2</sup>. Ces outils, parmi lesquels Apollon en France ou le projet européen "Extreme Light Infrastructure", sont potentiellement révolutionnaires car ouvrant la voie à un régime d'interaction laser-matière extrême, couplant physique des plasmas relativistes, génération de champs magnétiques extrêmes, émissions intenses de rayonnements gamma et processus d'électrodynamique quantique : une combinaison de phénomènes inédite en laboratoire, qui, il y a peu encore, n'était envisageable que dans des scénarios astrophysiques de haute énergie, et dont les futures expériences laser devraient permettre de reproduire certains aspects.

**Objectif de la thèse :** La thèse proposée, en cotutelle entre le CEA DAM Ile-de-France et l'Institut d'Astrophysique de Paris (IAP), vise à améliorer la modélisation de l'interaction laser-plasma à ultra haute intensité et de ses applications astrophysiques. Ce problème est simulé numériquement au moyen du code "particle-in-cell" (PIC) CALDER qui inclut déjà divers mécanismes de rayonnement et de création de paires électron-positron survenant dans les plasmas relativistes créés par laser. À de nombreux égards, ces plasmas s'apparentent à ceux rencontrés dans certains événements astrophysiques, tels les sursauts gamma ou les vents de pulsars, caractérisés par l'émission de particules et rayonnements très énergétiques et leur interaction mutuelle. Le but de la thèse sera d'examiner, par la simulation PIC et la modélisation théorique, diverses configurations laser-plasma, faisceau-plasma et gamma-plasma donnant lieu à des processus dynamiques et radiatifs d'intérêt astrophysique.

**Déroulement de la thèse :** Dans un premier temps, l'étudiant(e) implémentera dans le code CALDER des modules Monte Carlo décrivant la création de paires par collisions photon-photon et photon-électron, et en optimisera quelques autres, déjà présents (telle la diffusion Compton), pour une description plus précise de certains phénomènes de cascades électromagnétiques.

Dans un second temps, il(elle) réalisera des simulations d'interaction entre des faisceaux de particules/photons et des plasmas : il(elle) examinera en détail les phénomènes collectifs mis en jeu et leurs implications sur les mécanismes d'accélération et de rayonnement. 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 travail de thèse sera effectué au sur le site du CEA DAM Ile-de-France avec des visites fréquentes à l'IAP.

**DIRECTEUR DE THESE**

LEMOINE Martin  
lemoine@iap.fr

**ECOLE DOCTORALE**

127  
Astronomie Astrophysique d'Île-de-France  
OBSERVATOIRE DE PARIS /  
Section de Meudon  
5 place Jules Janssen  
92195 MEUDON-CEDEX

**ENCADRANT**

GREMILLET Laurent  
laurent.gremillet@cea.fr

**CENTRE**

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00





**Contexte :** L'ionosphère est une couche d'atmosphère, composée majoritairement d'ions, située entre 100 km et 1000 km d'altitude autour de la Terre. Loin d'être un milieu calme et homogène, l'ionosphère possède une dynamique complexe proche d'un régime turbulent, notamment liée à l'alternance jour-nuit. De fortes fluctuations spatiales de densité de plasma apparaissent à la tombée de la nuit dans la région F (~200 km d'altitude) de l'ionosphère, à des latitudes proches de l'équateur. Ce phénomène naturel, appelé "equatorial spread F", altère les mesures radars de l'ionosphère mais impacte également toutes les ondes électromagnétiques dans les gammes d'intérêt, radio et micro-onde. Ces fluctuations de densité de plasma ont pour origine des instabilités proches de l'instabilité Rayleigh-Taylor.

**Objectif de la thèse :** Dans ce cadre, le CEA/DAM développe d'une part un outil numérique, le code de magnétohydrodynamiques CLOVIS pour étudier la dynamique à grande échelle des perturbations de l'ionosphère, et d'autre part des outils analytiques pour décrire ces instabilités agissant à petite échelle de façon similaire à l'instabilité de Rayleigh-Taylor. L'objectif de la thèse est de développer des modèles de turbulence pour prendre en compte l'évolution des structures de petite échelle dans le code de calcul d'environnement ionosphérique grande échelle CLOVIS.

**Déroulement de la thèse :** Pour réaliser ce travail, il s'agira dans un premier temps de s'appropriier la bibliographie sur les modèles de turbulence existants pouvant être adaptés aux conditions de l'ionosphère.

Une fois un modèle de turbulence sélectionné, il sera confronté à des simulations directes de l'instabilité Rayleigh-Taylor avec le code spectral de magnétohydrodynamique incompressible STRATOSPEC.

En intégrant le modèle de turbulence, reproduisant l'évolution de la zone de mélange et du spectre d'énergie, dans le code CLOVIS, il sera possible de simuler les différentes échelles des instabilités ionosphériques.

En complément, ces nouveaux modèles de turbulence pourront être améliorés par l'utilisation des nouveaux outils d'intelligence artificielle.

### DIRECTEUR DE THESE

GREA Benoit-Joseph  
benoit-joseph.grea@cea.fr

### ECOLE DOCTORALE

579  
Sciences Mécaniques et  
Energétiques, Matériaux et  
Géosciences (SMEMAG)  
ENS Paris Saclay  
4 Avenue des sciences  
91190 Gif sur Yvette France

### ENCADRANT

BERNECKER Benoît  
benoit.bernecker@cea.fr

### CENTRE

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00

The logo for CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) is displayed in white on a red square background. It consists of the lowercase letters 'cea' in a stylized, rounded font, with a horizontal line underneath.

**Contexte :** Un diagnostic de diffraction X a été mis au point sur l'installation LULI2000, et sera adapté prochainement sur le Laser MégaJoule. Un tel dispositif offre la possibilité d'étudier les transitions de phases de matériaux cristallins comprimés à l'aide d'un laser et soumis à de très hautes pressions relevant du domaine de la matière dense et tiède. Lors de la première étude, les changements de phase solide/solide et solide/liquide du fer, matériau d'intérêt géophysique, ont été explorés le long de son Hugoniot afin d'acquérir des données importantes quant à la compréhension des intérieurs planétaires. En outre, le diagramme de phase du bismuth a été exploré avec une cinétique inédite offerte par ce type d'installation, i.e. en comprimant le matériau avec l'aide de rampes laser. Ce diagramme apparaît différent des diagrammes de phase statiques ou explorés sous choc et met ainsi en lumière toute l'importance d'étudier les effets cinétiques des transitions de phase.

**Objectif de la thèse :** A la manière des études citées ci-dessus, l'objectif de cette thèse est d'exploiter ce nouveau dispositif sur l'installation LULI2000 afin d'identifier la fusion sous choc de matériaux pour lesquels il subsiste des désaccords majeurs entre les courbes de fusion statiques et dynamiques. Il s'agira aussi d'explorer le diagramme de phase de matériaux multiphasiques avec des dynamiques de compression inédites hors-Hugoniot. En plus de participer activement à la préparation et à la réalisation de ces expériences, le(a) doctorant(e) sera amené(e) à développer les outils nécessaires à la prévision et à l'analyse du diagnostic de diffraction X. En parallèle, il(elle) devra réaliser des simulations hydrodynamiques afin d'analyser les données parallèles permettant d'évaluer les conditions extrêmes de pression et de température sondées. Il(elle) participera en cela à l'amélioration et à la validation des modèles d'interaction laser-matière et des modèles hydrodynamiques (équations d'état multi-phases, conductivité thermique, cinétique des changements de phase) utilisés dans ces calculs.

**Déroulement de la thèse :** Il sera tout d'abord demandé à l'étudiant(e) d'analyser les premières expériences de diffraction X afin de se familiariser à la fois avec les méthodes expérimentales utilisées pour étudier la matière dense et tiède à l'aide d'un laser de puissance, avec les outils de dépouillement qu'il(elle) se devra de compléter, ainsi qu'avec les simulations hydrodynamiques. Ceci lui permettra ensuite de préparer, de réaliser et d'analyser les différentes campagnes expérimentales citées ci-avant. Pendant toute la durée du doctorat, l'étudiant(e) bénéficiera d'un co-encadrement multidisciplinaire CEA/LULI composé d'expérimentateurs laser et synchrotron, de théoriciens et de géophysiciens, ce qui l'amènera à participer également à des expériences sur des installations synchrotron (ESRF, Grenoble) et XFEL (Hambourg).

**DIRECTEUR DE THESE**

BENUZZI-MOUNAIX Alessandra  
alessandra.benuzzi-  
mounaix@polytechnique.edu

**ECOLE DOCTORALE**

626  
Institut polytechnique de Paris (IP  
Paris)  
Ecole Polytechnique, Route de  
Saclay, 91120 Palaiseau

**ENCADRANT**

DENOEUD Adrien  
adrien.denoed2@cea.fr

**CENTRE**

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00



**Contexte :** Le sujet s'inscrit dans les études de R&D menées dans le cadre de la conception des futurs diagnostics de spectro-imagerie X et de l'évolution des imageurs actuellement en place du Laser MégaJoule (LMJ). Cela concerne en particulier la technologie des réseaux dispersifs. Les systèmes actuels ont le principal inconvénient de disperser le rayonnement X selon différents ordres, rendant nécessaire une filtration amont du rayonnement. Cela entraîne une multiplication d'optiques sur la chaîne de mesure rendant l'alignement des diagnostics très complexe. Les derniers développements en cours ont montré qu'à partir d'une géométrie de gravure innovante sur les réseaux il était possible de supprimer les ordres de diffraction supérieurs, rendant la conception des diagnostics X plus simple et leur alignement plus robuste. Cette technologie n'est toutefois pas mature et nécessite des investigations afin de rendre la fabrication réalisable à grande échelle par le tissu industriel classique.

**Objectif de la thèse :** Conception et réalisation d'un prototype de spectro-imageur X à base de réseaux en transmission supprimeur d'ordre. Pour cela, le(a) doctorant(e) bénéficiera d'un prototype de réseau dans le domaine visible développé en amont dont il(elle) étudiera les limites et proposera une évolution en vue de son adaptation dans le domaine UV puis X sur un diagnostic d'imagerie plasma.

**Déroulement de la thèse :** 1 : Etude bibliographique et synthèse :

- Sur les différents systèmes d'imagerie X existants dans la communauté des installations de fusion (en particulier l'état de l'art sur les spectro-imageurs et les détecteurs utilisés). Analyse des besoins des diagnostics d'imagerie plasma et identification des spectro-imageurs susceptibles de bénéficier de réseaux supprimeur d'ordre.

- Sur les dernières avancées en matière d'usinage micrométrique et submicrométrique pour les fabrications d'optiques X interférentielles

2 : A partir du prototype de test existant, étude du potentiel et des limites des réseaux supprimeur d'ordre appliqués dans le domaine des rayons X sur un diagnostic au moyen par exemple d'une chaîne de simulations. Etudes de la vulnérabilité aux débris et au flux de photons. Enfin, identification des compromis à réaliser pour l'utilisation dans le cadre d'un diagnostic LMJ.

3 : Mise en évidence des ruptures technologiques et des améliorations apportées par réseaux supprimeur d'ordre aux diagnostics. Etablissement de lien avec le tissu industriel de la gravure et certains laboratoires institutionnels afin d'identifier les développements à grande échelle de tels réseaux.

4 : Dimensionnement, réalisation et qualification d'un réseau dans le domaine X et intégration dans un prototype de diagnostic pour une installation de FCI (LULI ou OMEGA de l'université de Rochester par exemple) pour démontrer l'intérêt des choix de concept retenus sur une expérience de spectroscopie d'absorption.

**DIRECTEUR DE THESE**

LE PAPE Sébastien  
sebastien.lepape@polytechnique.fr

**ECOLE DOCTORALE**

626  
Institut Polytechnique de Paris (IP  
Paris)  
Ecole Polytechnique, Route de  
Saclay, 91120 Palaiseau

**ENCADRANT**

ROUSSEAU Adrien  
adrien.rousseau@cea.fr

**CENTRE**

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00







# PHYSIQUE DE L'ÉTAT CONDENSÉ, CHIMIE ET NANOSCIENCES

**Contexte :** Le CEA s'intéresse au développement de matériaux énergétiques très performants présentant une excellente stabilité thermique. Ces deux critères ne sont pas nécessairement incompatibles, comme l'atteste l'exemple du HMX, un explosif parmi les plus performants dont le point de fusion est proche de 300°C. Un composé présentant des performances comparables combinées à une stabilité accrue, ou au contraire des performances encore plus élevées associées à une stabilité comparable, pourrait s'avérer prometteur en vue de nouvelles applications. L'obtention de bonnes performances nécessite des molécules porteuses de groupements fonctionnels explosophores très énergétiques, et par conséquent instables. Afin d'obtenir un matériau conforme aux attentes, il est donc nécessaire de stabiliser ces groupements d'une manière ou d'une autre.

**Objectif de la thèse :** La voie explorée au cours de cette thèse pour stabiliser les groupements explosophores exploite la stabilité du réseau cristallin. Elle consiste à se focaliser sur des molécules de grande taille dotées en outre d'un degré élevé de symétrie. Le but est ainsi d'obtenir des cristaux présentant un point de fusion élevé. En deçà du point de fusion, la stabilité du matériau est en effet généralement garantie par la cohésion du réseau cristallin qui restreint la mobilité des molécules et dont les possibilités de décomposition. La difficulté de cette approche réside dans le fait que les grandes molécules présentent le plus souvent des formes assez complexes ne permettant pas un empilement compact, par exemple dans le cas où les molécules présentent des concavités ne pouvant pas être comblées par les molécules voisines.

Compétences acquises : utilisation de logiciels de chimie quantique et simulation moléculaire, scripts Python, modélisation.

**Déroulement de la thèse :** L'objet de la thèse consistera donc à concevoir de grandes molécules dont les formes seront optimisées de manière à former des empilements compacts. Le concept sera ensuite validé par prédiction explicite des empilements cristallins. Le(la) candidat(e) sera amené(e) à utiliser des outils de prédiction des propriétés des matériaux énergétiques, ainsi qu'un code de prédiction de structures cristallines. Le travail sera réalisé au sein du CEA le Ripault.

### DIRECTEUR DE THESE

MATHIEU Didier  
didier.mathieu@cea.fr

### ECOLE DOCTORALE

552  
Energie Matériaux Sciences de la  
Terre et de l'Univers (EMSTU)  
Château de la Source 5 rue du  
Carbone Bureau 213 6749  
45067 Orléans Cedex 2

### ENCADRANT

MATHIEU Didier  
didier.mathieu@cea.fr

### CENTRE

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02-47-34-40-00



# **SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT**

**Contexte :** Le CEA-DAM et EDF partagent un intérêt fort pour les thématiques de R&D émergentes en matière d'environnement atmosphérique. Ces thèmes visent à faire progresser la simulation de la dispersion sur les centres du CEA-DAM et les CNPE d'EDF, représentés par leurs Jumeaux Numériques Atmosphériques. Le CEA-DAM et EDF mettent en œuvre des modèles de CFD (Computational Fluid Dynamics) tenant compte du relief, du bâti et des conditions météorologiques. Ceci permet de calculer précisément les concentrations des radionucléides dans l'atmosphère et sur le sol et, en corollaire, les expositions radiologiques en tout point du domaine de simulation. Si les modèles de CFD ont prouvé leur intérêt, leurs temps de calcul sont longs, y compris sur des ressources informatiques puissantes. Or, les méthodes d'apprentissage profond donnent des résultats convaincants dans la reconstruction et la généralisation de champs de concentration à la proximité de sources de rejets.

**Objectif de la thèse :** La thèse vise à développer des méthodes d'apprentissage profond, inspirées par la physique, afin de modéliser la dispersion atmosphérique. Ces méthodes devraient permettre d'obtenir des gains considérables en temps de calcul après apprentissage sur une base de données de simulation. Ils devraient également permettre, non seulement, de reproduire les cas de calcul de la base de données, mais surtout d'interpoler et d'extrapoler ces simulations à d'autres conditions météorologiques, à d'autres sources de rejets, voire à d'autres centres. Au final, on attend le développement de Jumeaux Numériques Atmosphériques fidèles et ultra-rapides pour les études d'impact autour des centres du CEA-DAM ou sites nucléaires d'EDF, pour ne citer qu'eux. En pratique, les méthodes développées au cours de la thèse ne seront pas adhérentes à un modèle physique puisqu'elles pourront, en principe, apprendre de tout modèle de dispersion atmosphérique. Dans un premier temps, elles seront mises en application en utilisant des simulations de référence de Code\_SATURNE. Ce logiciel est « open source » et sa version atmosphérique est développée par le CEREAS.

**Déroulement de la thèse :** T0 (démarrage) à T0 + 6 mois – Bibliographie sur les méthodes d'apprentissage profond utilisables dans le cadre de la thèse.  
T0 + 6 mois à T0 + 12 mois – Réalisation d'expériences jumelles de dispersion dans des environnements d'intérêt.  
T0 + 12 mois à T0 + 24 mois – Codage de méthodes d'apprentissage profond.  
T0 + 24 mois à T0 + 30 mois – Evaluation des méthodes et conclusions sur leurs apports.  
T0 + 30 mois à T0 + 36 mois – Rédaction du mémoire de thèse.  
On visera la rédaction d'une publication par année de thèse.

### DIRECTEUR DE THESE

BOCQUET Marc  
marc.bocquet@cerea.enpc.fr

### ECOLE DOCTORALE

531  
Sciences, Ingénierie et  
Environnement (SIE)  
Université Paris-Est  
6-8, rue Blaise Pascal  
77454 Marne-la-Vallée CEDEX 2

### ENCADRANT

ARMAND Patrick  
patrick.armand@cea.fr

### CENTRE

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00





# SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR

**Contexte :** De nombreuses études menées au CEA/Gramat portent sur le transport d'ondes électromagnétiques de fortes intensités et leurs interactions avec des systèmes électroniques, dans le but de quantifier leur vulnérabilité.

La propagation guidée des ondes électromagnétiques de fortes intensités ne peut s'effectuer via des câbles coaxiaux du fait des fortes atténuations qu'ils induisent au-delà du GigaHertz d'une part, et d'autre part, du fait des claquages fréquents aux interfaces entre les éléments métalliques possédant de faibles rayons de courbure et les diélectriques.

Pour pallier ces deux limites, le recours aux guides d'ondes est effectué pour transporter l'onde électromagnétique du générateur jusqu'au système sous test. Cependant, des phénomènes de claquage dans l'air peuvent être induits au voisinage de défauts, de connecteurs...

Pour ces raisons, la modélisation de la formation de plasmas d'arc dans l'air est nécessaire de façon à maîtriser ce phénomène.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de ces travaux de thèse est d'effectuer une modélisation collisionnelle - radiative des ions produits dans un volume d'air soumis à un champ électrique intense. A partir des sections efficaces des processus d'excitation et d'ionisation induits par les électrons et les photons, et impliquant les différents états excités des ions, le(a) candidat(e) devra développer un code existant permettant de calculer les vitesses de variation des densités des espèces du plasma. Les résultats de ces calculs pourront être confrontés à des mesures effectuées sur un éclateur.

**Déroulement de la thèse :** Dans un premier temps, une étude bibliographique portant sur la génération de plasmas hors équilibre par impulsions de champs électriques sera effectuée. Dans un deuxième temps, un bilan des processus impliquant les électrons et les photons sera effectué en calculant, à l'aide des outils développés au CEA/Gramat, les sections efficaces de tous les processus. La modélisation du plasma sera effectuée dans un troisième temps en tenant compte du rayonnement produit par le plasma, et des collisions entre les ions. Enfin, les résultats du modèle seront validés par comparaison avec des mesures électromagnétiques (courants, tensions, champs E et H) et optiques (spectrométrie d'émission) effectuées sur les dispositifs de hautes puissances pulsées mis en oeuvre au CEA/Gramat.

### DIRECTEUR DE THESE

EICHWALD Olivier  
eichwald@laplace.univ-tlse.fr

### ECOLE DOCTORALE

323

Génie électrique, électronique,  
télécommunications, santé  
(GEETS)

LAAS - CNRS, 7 avenue du  
colonel Roche, BP 54200, 31031  
Toulouse Cedex 4

### ENCADRANT

RIBIERE Maxime  
maxime.ribiere@cea.fr

### CENTRE

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32

The logo of the Commissariat à l'énergie atomique (CEA) is displayed in white on a red square background. It consists of the lowercase letters 'cea' in a stylized, rounded font, with a horizontal line underneath the letters.

**Contexte :** Dans la continuité des travaux de thèse de Benoît Rougier et de Jérémie Mapas appliqués à l'interférométrie radiofréquence sur la compréhension de la propagation d'une onde électromagnétique à travers une onde de choc pour l'étude à coeur des propriétés de matériaux innovants, cette thèse vise à exploiter les signaux bruts du radiointerféromètre pour déterminer simultanément la vitesse d'un choc et la vitesse matérielle dans des solides inertes ou énergétiques soumis à un choc soutenu ou non-soutenu. Un modèle de propagation des ondes millimétriques dans un milieu dissipatif présentant deux couches diélectriques séparées par des interfaces en mouvement a été élaboré pour traiter le cas du choc soutenu. Une résolution du problème inverse du modèle à deux couches avec pertes a été proposée avec l'apport du deep learning et des réseaux convolutifs. Un modèle multicouche sans pertes diélectriques a été également initié pour le cas du choc non soutenu.

**Objectif de la thèse :** Plus particulièrement, l'objectif consistera à mettre en œuvre les outils développés pour analyser les signaux expérimentaux, à valoriser le travail d'inversion du modèle de propagation par réseaux de neurones par une publication scientifique, à améliorer l'architecture des réseaux de neurones afin de pouvoir extraire de manière plus précise la vitesse de choc, la vitesse matérielle et l'indice de réfraction choqué du signal rétrodiffusé dans le matériau, et à valoriser la modélisation des phénomènes de transmission et de réflexion d'une onde électromagnétique se propageant dans un matériau soumis à un choc par la rédaction d'une publication scientifique  
Le déroulement de la thèse est de valoriser et d'approfondir, dans un premier temps, la résolution du problème inverse par deep learning pour l'interférométrie radiofréquence, et dans un deuxième temps, de valoriser la modélisation électromagnétique des matériaux sous choc en tenant compte des pertes diélectriques.

**Déroulement de la thèse :** L'objectif de la thèse est d'approfondir et de valoriser, dans un premier temps, la modélisation électromagnétique des matériaux sous choc en tenant compte des pertes diélectriques pour le choc soutenu et la résolution du problème inverse par deep learning pour l'interférométrie laser et radiofréquence puis, dans un deuxième temps, de développer une modélisation électromagnétique des matériaux sous choc en tenant compte des pertes diélectriques pour le choc non soutenu, et, dans un troisième temps, de proposer une résolution du problème inverse par deep learning qui tienne compte de la multitude des interfaces diélectriques mobiles générées dans les matériaux lors d'un choc non soutenu ou lors d'un phénomène réactif.

Références : Reflection of Electromagnetic Waves on Moving Dielectric Interfaces for Analyzing Shock Phenomenon in Solids, B. Rougier, H. Aubert, A. Lefrancois, Y. Barbarin, J. Luc, A. Osmont, RadioScience, 2018

### DIRECTEUR DE THESE

AUBERT Hervé  
aubert@laas.fr; herve.aubert@toulouse-inp.fr

### ECOLE DOCTORALE

323  
Génie Electrique, Electronique,  
Télécommunications et Santé  
(GEETS)  
LAAS - CNRS, 7 avenue du  
colonel Roche, BP 54200, 31031  
Toulouse Cedex 4

### ENCADRANT

LEFRANÇOIS Alexandre  
alexandre.lefrancois@cea.fr

### CENTRE

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32



**Contexte :** Le CEA Gramat réalise des études dans le domaine de la vulnérabilité et du durcissement des équipements et systèmes militaires vis-à-vis des agressions EM (électromagnétique). A ce titre, de nombreuses expérimentations sont menées notamment en ce qui concerne l'IEMN HA (Impulsion Electromagnétique d'origine Nucléaire Haute Altitude). Les systèmes de mesure liés à cette activité, tels que les capteurs et les chaînes de mesures de champ EM, sont généralement déployés dans des environnements sévères où les conditions de mise en œuvre sont complexes. Ces contraintes imposent de prendre des marges de sécurité importantes quant aux résultats expérimentaux obtenus car les sources d'incertitudes ne sont pas toutes connues et/ou sont difficiles à maîtriser.

**Objectif de la thèse :** La thèse a pour objectif de mettre au point une méthode fiable de propagation des incertitudes dans le domaine impulsif IEMN HA. Actuellement, il semblerait qu'aucune approche ne traite les incertitudes dans ce domaine. Le développement de cette méthode ou algorithme pourra s'effectuer en s'appuyant sur des travaux liés aux problématiques de propagation des incertitudes (équations différentielles multi-variables, méthode de Monte-Carlo, matrice de covariance). Cet algorithme sera ensuite utilisé et validé au CEA Gramat en utilisant les moyens disponibles en interne.

**Déroulement de la thèse :** Le travail débutera par la prise en main des différents moyens métrologiques pour les mesures d'impulsions IEMN HA (capteurs, chaînes de mesures, oscilloscopes, analyseurs de réseau...) ainsi que par une étude bibliographique sur les techniques de propagation des incertitudes dans les domaines temps et fréquence. Une première partie du travail se déroulera au laboratoire de l'Institut Pascal qui apportera son expertise théorique, numérique et expérimentale sur la propagation des incertitudes de mesure en électromagnétisme. Dans un second temps, les sources d'incertitudes environnementales et métrologiques devront être déterminées soit directement dans le domaine temporel ou bien dans le domaine fréquentiel puis ramenées dans le temps. Pour estimer l'incertitude de mesure, il faudra notamment tenir compte des erreurs liées aux désadaptations d'impédance, à l'étalonnage des instruments, aux imperfections dues à l'échantillonnage électro-optique des chaînes de mesure etc. La seconde partie du travail de thèse consistera, à partir des sources d'incertitudes, de développer un algorithme de calcul pour remonter à la mesure temporelle d'une impulsion IEMN HA avec les dispersions associées. Enfin, cet algorithme devra être appliqué sur un grand simulateur expérimental du CEA Gramat en utilisant les moyens métrologiques du centre.

DIRECTEUR DE THESE

ECOLE DOCTORALE

70

Ecole doctorale des sciences  
pour l'ingénieur (SPI)  
DRED, Campus des Cézeaux, 8  
avenue Blaise Pascal, 63178  
Aubière

ENCADRANT

GAPILLOUT Damien  
damien.gapillout@cea.fr

CENTRE

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32



**Contexte :** La vulnérabilité des systèmes électroniques aux agressions électromagnétiques intentionnelles est une question extrêmement sensible au regard des évolutions technologiques et du déploiement de nombreux équipements électroniques pour la gestion de processus critiques. Les effets d'une contrainte couplée sur un réseau électrique basse tension et de sa propagation dans une installation, à travers le circuit de distribution électrique jusqu'aux équipements terminaux, est un sujet actuel d'intérêt vis-à-vis de ces menaces. La détermination des niveaux de contrainte à l'entrée des équipements est une donnée fondamentale pour l'analyse de cette vulnérabilité, et elle est fonction de nombreuses données d'entrée (position et nombre de câbles d'alimentation, impédances de charge terminales), peu précisément connues et très variables d'une installation à l'autre. Une approche stochastique est donc proposée pour estimer les incertitudes et leurs propagations dans un modèle de réseau électrique.

**Objectif de la thèse :** Les objectifs de cette thèse seront de rechercher et d'étudier les performances de méthodes d'apprentissage pour représenter le problème initial par une fonction simplifiée pour une estimation efficace des distributions probabilistes de niveaux de contrainte ou de la probabilité de dépassement de seuil. Pour valider la méthode d'apprentissage retenue, une maquette expérimentale représentative d'un réseau de distribution électrique sera réalisée. Les résultats expérimentaux pourront alors être confrontés à ceux de la méthode stochastique sur cette maquette.

**Déroulement de la thèse :** De T0 à T0 + 4 mois : choix des méthodes et outils de modélisation et état de l'art sur les méthodes d'apprentissage. De T0 + 5 mois à T0 + 6 mois : détermination de configurations d'intérêt et de complexité croissante / Définition des incertitudes et hypothèses de distributions. De T0 + 7 mois à T0 + 18 mois : recherche de méthodes d'apprentissage adaptées au problème posé (propagation d'interférences dans les réseaux électriques) et à sa dimension (nombre de variables d'entrée). Déclinaison de la méthode en fonction de l'objectif de distribution de la contrainte ou de probabilité de dépassement de seuil. De T0+19 mois à T0 + 22 mois : validation théorique et indicateurs de performance, le modèle initial constituant la référence. De T0 + 23 mois à T0 + 30 mois : réalisation d'essais sur maquette expérimentale et confrontation avec l'approche théorique proposée. De T0 + 31 mois à T0 + 36 mois : rédaction du manuscrit de thèse.

### DIRECTEUR DE THESE

BESNIER Philippe  
philippe.besnier@insa-rennes.fr

### ECOLE DOCTORALE

610  
Mathématiques et sciences et  
technologies de l'information et  
de la communication  
(MATHSTIC)  
Espace Doctoral - Bâtiment 1 -  
Campus de Beaulieu - 35042  
Rennes

### ENCADRANT

LE TOUZ Nicolas  
nicolas.letouz@cea.fr

### CENTRE

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32





**Contexte :** Le CEA Gramat est le centre d'expertise du CEA DAM (Direction des applications militaires) dans le domaine de l'électromagnétisme. Il réalise à ce titre des études de vulnérabilité de matériels soumis à des agressions électromagnétiques diverses.

Les interférences électromagnétiques intentionnelles intenses sont capables de générer des perturbations électriques transitoires, analogues à celles produites par la foudre, se propageant sur les réseaux de distribution en électricité jusqu'aux alimentations des équipements électroniques. Plusieurs études ont montré les effets destructeurs de ces courants impulsionnels sur les équipements électroniques critiques. Cependant, les phénomènes à l'origine des destructions ne sont souvent pas suffisamment compris pour être correctement modélisés. Ainsi, des travaux de recherche doivent être mis en oeuvre dans le but de prédire, en utilisant la simulation numérique, les effets des impulsions électriques intenses sur des alimentations à découpage.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de la thèse est d'élaborer une modélisation prédictive de la destruction d'alimentations à découpage lorsqu'elles sont soumises à des courants impulsionnels de forts niveaux. Celle-ci sera réalisée par fonctions de l'alimentation (filtre d'entrée, redressement, découpage, etc.). Il s'agira de modéliser les fonctions sensibles en étudiant leur comportement en dehors de leurs spécifications et en prenant en compte la variabilité des technologies utilisées.

**Déroulement de la thèse :** Le travail de thèse se décompose en trois grandes étapes :

o La première étape est l'élaboration d'un état de l'art sur :

- les effets d'impulsions électriques de forts niveaux sur les alimentations à découpage,
- les types de modélisations existantes (nature des modèles, méthodologie d'élaboration, travaux normatifs associés),
- les différentes fonctions des alimentations à découpage et leurs topologies représentatives suivant leurs spécifications techniques (puissance, tension de sortie, etc.),
- les moyens d'essais permettant d'extraire les paramètres nécessaires à la modélisation,

o La deuxième étape aborde une approche expérimentale, envisagée pour :

- caractériser le comportement hors spécifications et extraire les paramètres électriques nécessaires à la modélisation de chaque fonction en utilisant des moyens d'essais existants de mesures fréquentielles (VNA, PNAX) ou à concevoir (source impulsionnelle paramétrable),
- prendre en compte, au travers d'une approche statistique à définir, l'influence de la variabilité des caractéristiques des alimentations (technologie, topologie, routage, etc.) sur leur susceptibilité dans le but de généraliser les résultats.

o La troisième étape porte sur le choix de la modélisation pour chaque fonction et l'assemblage de ces modèles pour rendre compte du comportement d'alimentations et prédire leur seuil de destruction. Chaque modèle pourra par exemple comporter des sous-ensembles linéaires, non linéaires et comportementaux pour reproduire la défaillance.

### DIRECTEUR DE THESE

VINASSA Jean-Michel / DUBOIS  
Tristan  
jean-michel.vinassa@ims.fr -  
tristan.dubois@u-bordeaux.fr

### ECOLE DOCTORALE

209  
Sciences Physiques et de  
l'Ingénieur (SPI)  
Université de Bordeaux - Campus  
Peixotto, 351 cours de la  
libération, Bât A1 - RDC, 33405  
Talence

### ENCADRANT

PUYBARET Frédéric  
frederic.puybaret@cea.fr

### CENTRE

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32



**Contexte :** Parmi ses activités, le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives) est responsable de la conception et la qualification d'équipements électroniques résistants aux effets de différents environnements radiatifs. Actuellement, les principaux moyens utilisés pour apporter la garantie de durcissement d'une électronique sont expérimentaux. Le CEA développe également ses compétences dans le domaine de la simulation de systèmes électroniques. Le travail de thèse proposé s'inscrit dans cette démarche de simulation afin de consolider et d'enrichir les méthodes de modélisation électrique des composants et des fonctions sous radiations. L'encadrement sera assuré dans un contexte de collaboration entre le CEA Île-de-France et le laboratoire d'Intégration du Matériau au Système à Bordeaux.

**Objectif de la thèse :** L'objectif du travail sera de proposer une méthodologie de modélisation des composants élémentaires à semi-conducteur (transistors et diodes) prenant en compte les effets transitoires pendant l'irradiation à haut niveau. Ces modélisations seront d'abord réalisées au moyen de codes de simulation standard basés sur le langage Spice et sur des bibliothèques existantes de modèles fonctionnels des composants. Par la suite, de nouveaux modèles de composants seront à développer dans un environnement logiciel à définir pour parvenir à une simulation plus réaliste et optimisée des électroniques sous très fortes contraintes radiatives. Les données d'entrée seront issues de la littérature, d'expérimentations passées et d'expériences spécifiques à réaliser dans le cadre de la thèse. Une approche générique d'une méthode de caractérisation expérimentale sera à développer afin de déterminer les paramètres d'un modèle de composant dans un environnement radiatif donné. Les modèles radiatifs seront à valider pour différentes technologies de composants par comparaison entre la simulation et l'expérience.

**Déroulement de la thèse :** La synthèse bibliographique sur la modélisation des effets transitoires des radiations à très forte contrainte sur les dispositifs électroniques constituera la première étape. Une démarche de modélisation innovante sera proposée dans une seconde étape. Des expérimentations serviront à confronter le comportement du modèle numérique du composant à celui relevé après l'analyse des mesures électriques.

Le travail de thèse s'effectuera par périodes à définir dans les locaux du CEA en Île de France ou dans le laboratoire universitaire à Bordeaux. Il sera demandé à l'étudiant(e) la rédaction d'articles et de rapports complétée par la présentation orale de son travail.

**DIRECTEUR DE THESE**

LAPUYADE Hervé  
herve.lapuyade@ims-bordeaux.fr

**ECOLE DOCTORALE**

209  
Sciences Physiques et de l'Ingénieur (SPI)  
Université de Bordeaux - Campus Peixotto, 351 cours de la libération, Bât A1 - RDC, 33405 Talence

**ENCADRANT**

BRISSET Christophe  
christophe.brisset@cea.fr

**CENTRE**

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00



**Contexte :** Le sujet proposé s'inscrit dans le cadre des travaux, actuellement en cours visant à obtenir l'allumage de réactions de fusion thermonucléaire au moyen de lasers de fortes puissance. On parle dans cette configuration de fusion par confinement inertiel (FCI).

La FCI consiste à irradier la surface d'une capsule sphérique contenant un mélange fusible par un puissant rayonnement. L'ablation de la matière externe de la capsule engendre de formidables pressions provoquant l'implosion de l'édifice. La capsule, violemment accélérée, devient le siège d'instabilité hydrodynamique du type " Rayleigh-Taylor " pouvant compromettre l'uniformité de l'implosion et l'intégrité de la capsule elle-même. Le risque le plus délétère associé à un développement non contrôlé de ces instabilités hydrodynamiques est le percement de la capsule conduisant à un mélange du combustible avec la matière constituant la capsule.

**Objectif de la thèse :** Si de nombreuses études expérimentales ont été dédiées à ce sujet, la mise en évidence et la caractérisation des effets de percement restent toujours difficiles et peu explorées. Le projet proposé a pour objectif de développer des critères de percement à partir de quantités mesurables expérimentalement. La croissance de différents types de défauts de surface sera étudiée ainsi que leurs signatures expérimentales, radiographiques en particulier. On utilisera pour cela des simulations numériques et des algorithmes de Machine Learning pour permettre d'inférer des phénomènes de percement à partir de radiographies.

L'objectif de cette thèse est donc, sur la base de résultats de simulations numériques et de résultats expérimentaux, de définir des critères de percement, de modéliser le développement de ces percements et d'analyser leurs impacts sur des implosions de FCI

**Déroulement de la thèse :** Les grandes lignes du déroulement de cette thèse sont les suivantes :

- Etude bibliographique
- Sur la base de résultats de simulation numérique 2D, utiliser des algorithmes de machine learning pour relier des quantités intégrées (radiographies synthétiques) à des phénomènes de percement.
- Applications de ces résultats à des résultats expérimentaux déjà obtenus sur NIF dans le cadre d'une collaboration internationale [1].
- Extensions des résultats précédents aux simulations et expériences en 3D plan (expériences NIF)
- Simulations (2D) et modélisation de la croissance de défauts localisés. On s'efforcera dans cette partie d'évaluer les masses d'ablateur injectées par le percement.

[1] Martinez et al., PRL, 115, (2015)

### DIRECTEUR DE THESE

CASNER Alexis  
alexis.casner@cea.fr

### ECOLE DOCTORALE

209  
Sciences Physiques et de  
l'Ingénieur (SPI)  
Université de Bordeaux - Campus  
Peixotto,  
351 cours de la libération  
Bât A1-RDC, 33405 Talence  
Cedex

### ENCADRANT

MASSE Laurent  
laurent.masse@cea.fr

### CENTRE

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00



**Contexte :** La fusion par confinement inertiel (FCI) vise à produire de l'énergie à partir de réactions nucléaires de fusion d'éléments légers. Une voie possible pour obtenir les hautes densités et températures nécessaires au déclenchement de ces réactions, consiste à imploser un micro-ballon, rempli d'un mélange fusible, au moyen d'un rayonnement intense. Ce rayonnement provoque une vaporisation violente – ablation – de l'enveloppe du micro-ballon conduisant à l'implosion de celui-ci. La maîtrise des instabilités hydrodynamiques au sein de ces écoulements d'ablation est un élément critique pour parvenir au déclenchement des réactions de fusion et pour la réussite de la FCI. La durée limitée de l'implosion met en exergue la nécessité d'identifier d'éventuelles croissances transitoires de perturbations susceptibles de dominer l'écoulement sur des temps courts. Une telle identification nécessite l'emploi de méthodes propres à l'analyse de stabilité non-modale.

**Objectif de la thèse :** L'approche suivie, élaborée au cours de thèses précédentes, a conduit à un code numérique de stabilité hydrodynamique linéaire à haute résolution pour des écoulements de base instationnaires correspondant à des ondes d'ablation planes auto-semblables représentatives de la phase précoce d'une implosion. Ce code met en œuvre une méthode direct-adjoint de l'analyse de stabilité non-modale permettant de déterminer les perturbations initiales et, dans un travail de thèse en cours, les perturbations extérieures les plus dangereuses pour un écoulement donné.

Le travail de thèse proposé vise à étendre la recherche de croissances transitoires de perturbations à des écoulements d'ablation fortement accélérés, à symétrie plane ou sphérique, pertinents pour décrire des phases ultérieures d'une implosion. Ce travail impliquera dans un premier temps d'adapter et d'enrichir la méthode d'analyse de stabilité non-modale existante à ces nouvelles familles d'écoulements, puis de mener à bien des études de stabilité pour différentes configurations représentatives. La pertinence des résultats obtenus pourra ensuite être éprouvée dans des contextes plus réalistes au moyen de simulations multi-physiques d'implosions de micro-ballon.

Le sujet est à la croisée de plusieurs disciplines : mécanique des fluides compressibles, physique des plasmas de FCI, analyse de stabilité non-modale, méthodes d'optimisation, méthodes numériques pseudo-spectrales. Du fait de ce caractère multidisciplinaire, l'expérience acquise au cours de la thèse pourra aussi être valorisée dans d'autres domaines que la FCI (par exemple, dynamique des fluides réactifs, mécanique des fluides numérique, simulation numérique).

**Déroulement de la thèse :** Acquisition des notions nécessaires, méthodes de calcul des écoulements d'ablation fortement accélérés et implantation dans le code de stabilité (12-18 mois). Etudes de stabilité, simulations, rédaction d'articles et du mémoire (18-24 mois).

**DIRECTEUR DE THESE**

COUAIROU Arnaud  
arnaud.couairon@polytechnique.  
edu

**ECOLE DOCTORALE**

626  
Institut polytechnique de Paris (IP  
Paris)  
Ecole polytechnique, Route de  
Saclay,  
91128 Palaiseau Cedex

**ENCADRANT**

CLARISSE Jean-Marie  
jean-marie.clarisse@cea.fr

**CENTRE**

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00



## Simulation multi-fidélité de la sollicitation dynamique de structures complexes par une explosion

Energie, thermique,  
combustion,  
écoulements

**Contexte :** Les explosions dans l'air génèrent des ondes de choc, appelées ondes de souffle, dont les effets peuvent être dévastateurs. En interagissant avec les parois d'un bâtiment, les ondes de souffle imposent à la structure une sollicitation dynamique qui peut conduire à sa destruction partielle ou totale. Face à la montée des risques terroristes et au retour des conflits de haute intensité, la résilience des bâtiments civils devient un enjeu de sécurité crucial.

Dans ce contexte, le CEA a développé une expertise dans la simulation numérique des interactions choc-structure. Ces interactions sont modélisées par des simulations haute-fidélité d'écoulements compressibles longues et coûteuses en ressources informatiques. Au contraire, la multiplicité des scénarios envisageables aujourd'hui nécessite des simulations nombreuses et rapides.

Or les méthodes existantes sont limitées à des géométries de bâtiment très simples, et sont donc difficilement généralisables.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de la thèse est de développer une approche multi-fidélité pour prédire la sollicitation dynamique de tout type de bâtiments. Deux axes de recherche complémentaires s'offrent au(à la) candidat(e) :

- Le premier consiste à développer une approche multi-fidélité combinant des simulations convergées avec un maillage fin avec des simulations rapides obtenues pour un maillage grossier. Les incertitudes associées à cette approche devront être quantifiées.
- Le second consiste à corriger les prédictions obtenues avec des maillages grossiers par des méthodes d'apprentissage automatique. L'apprentissage bénéficiera des bases de données expérimentales et synthétiques générées par de nombreuses simulations numériques haute-fidélité.

Le sujet offre de belles opportunités de publication et s'insère dans une thématique de recherche actuellement très dynamique. Le(a) candidat(e) disposera d'un accès privilégié aux ressources des supercalculateurs de la DAM pour réaliser les simulations.

**Déroulement de la thèse :** En première année, le(a) candidat(e) prendra en main le code de calcul haute-fidélité avec lequel il(elle) réalisera plusieurs simulations. Il(elle) se formera en quantification des incertitudes et prendra connaissance de l'état de l'art via une étude bibliographique approfondie.

En deuxième année, le(a) candidat(e) mettra en œuvre les deux approches de simulation multi-fidélité mentionnées ci-dessus. Un intérêt particulier sera porté aux approches novatrices basées sur l'apprentissage automatique. La participation à une conférence/workshop scientifique en France ou à l'étranger est encouragée.

La troisième année sera consacrée à la finalisation des recherches entreprises précédemment, et surtout à la valorisation des résultats obtenus. La publication d'au moins un article dans une revue scientifique est attendue, ainsi que la participation à une conférence internationale.

### DIRECTEUR DE THESE

CHASSAING Jean-Camille  
Jean-cmille-  
chassaing@sorbonne-  
universite.fr

### ECOLE DOCTORALE

391  
Sciences mécaniques,  
acoustique, électronique et  
robotique de Paris (SMAER)  
Campus des Cordeliers  
15 rue de l'école de médecine  
75006 PARIS

### ENCADRANT

TERRANA Sébastien  
sebastien.terrana@cea.fr

### CENTRE

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00

The logo of the Commissariat à l'énergie atomique (CEA) is displayed in white on a red square background. It consists of the lowercase letters 'cea' in a stylized, rounded font, with a horizontal line underneath the letters.



**Contexte :** Les mousses aqueuses constituent un moyen de protection efficace contre la détonation d'engins explosifs. En effet, utilisées en recouvrement de ce type de menace, elles réduisent significativement le souffle et capturent efficacement les particules micrométriques pouvant être émises. La modélisation de ces phénomènes dans un code multiphasique est ainsi d'importance pour pouvoir traiter une grande variété de cas complexes. Plusieurs thèses sur le sujet ont abouti à un modèle reproduisant convenablement l'atténuation du souffle mais la modélisation de la capture des particules est encore à parfaire.

**Objectif de la thèse :** La thèse proposée prend la suite directe de la dernière réalisée sur le sujet. Celle-ci avait abouti à une modélisation de la traînée des particules dans la mousse qui est encore perfectible au niveau de sa formulation et dont le champ d'application reste limité. L'objectif de la thèse est donc de proposer un nouveau modèle pouvant être intégré à un code de simulation multiphasique et permettant de restituer la capture de particules micrométriques par une mousse aqueuse. Pour cela, le(la) doctorant(e) pourra s'appuyer sur une ré-exploitation des données expérimentales existantes, des simulations détaillées à l'échelle de la particule. Le(la) doctorant(e) pourra également réaliser de nouvelles expériences élémentaires si cela s'avérait nécessaire.

**Déroulement de la thèse :** Au cours de la première année, l'étudiant(e) réalisera une étude bibliographique, se familiarisera avec le code de simulation multiphasique et réexploitera les données expérimentales existantes. Grâce à cela, il(elle) proposera un programme de travail qu'il(elle) appliquera en deuxième année. Ce programme pourra comprendre des simulations détaillées à l'échelle de la particule et quelques expériences élémentaires en tube à choc ou avec un canon électrique à plasma. En dernière année, le(la) doctorant(e) exploitera les résultats dans le but d'établir et d'implémenter un nouveau modèle qu'il(elle) validera grâce aux données expérimentales existantes ou produites pendant la thèse.

DIRECTEUR DE THESE

ECOLE DOCTORALE

653  
Sciences et ingénierie (SI)  
Université de Limoges  
33 rue François Mitterrand  
87032 LIMOGES

ENCADRANT

REYNAUD Maxime  
maxime.reynaud@cea.fr

CENTRE

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32



**Contexte :** Le Laser MégaJoule (LMJ) est une installation expérimentale permettant de réaliser des expériences de fusion par confinement inertiel à l'aide de faisceaux laser focalisés sur une cible millimétrique disposée au centre d'une chambre d'expérience. L'objectif est d'acquérir des données expérimentales permettant la validation de modèles numériques. Un ensemble de diagnostics permet de réaliser des images spécifiques de l'implosion dans le domaine des rayonnements X ou visible-proche UV grâce à une caméra ultra-rapide dont le cœur est un tube électronique dit Tube à Balayage de Fente. Le fonctionnement de ce tube repose sur une conversion des photons incidents en électrons par une photocathode. Ces électrons sont accélérés et focalisés vers un écran luminophore dont l'image est enregistrée par une caméra CCD. Les performances requises pour les nouveaux diagnostics nécessitent de concevoir une nouvelle génération de tubes, avec des résolutions et une dynamique très améliorées.

**Objectif de la thèse :** Le principal but de la thèse sera d'augmenter la dynamique de mesure des tubes à balayage de fente, en améliorant la compréhension de l'impact de chaque étage du tube sur la défocalisation électronique par effet de charge d'espace. Le(a) candidat(e) devra mener en parallèle une approche expérimentale, en mettant en évidence ces effets de défocalisations, soit sur des tubes complets, soit sur des systèmes plus simples (type diode), et une approche par simulation numérique à l'aide du code de calcul CST STUDIO SUITE® / Particle Studio (simulation en dynamique des trajets de faisceaux d'électrons à travers des optiques électroniques), qui lui permettra de modéliser les objets qu'il(elle) caractérisera expérimentalement.

**Déroulement de la thèse :** Le travail de thèse débutera par l'appropriation des concepts de base :

- Fonctionnement d'un tube à balayage de fente (photocathode, optiques électroniques, écran luminophore).
- Procédures et équipements permettant de le caractériser (lasers impulsionnels, générateurs de rampe haute tension, acquisition des images via la caméra CCD et traitements numériques associés).
- Recherche bibliographique approfondie sur les optiques électroniques et leurs facteurs limitants.
- Prise en main du code de simulation de tubes électroniques CST STUDIO SUITE® / Particle Studio

Dans un premier temps, le(a) candidat(e) devra mettre en place une expérience de base visant à mettre en évidence ces effets de charge d'espace et la simuler. Ensuite, il serait judicieux d'étudier les effets de cette charge d'espace sur des systèmes plus simples, de type diode à focalisation de proximité.

A l'issue de ces expériences et de ces simulations, le(a) candidat(e) devra être à même de combler nos lacunes actuelles sur les limitations induites par la charge d'espace et être capable de proposer et réaliser une évolution vers une deuxième génération de structures de tube à balayage de fente avec une meilleure dynamique.

### DIRECTEUR DE THESE

SANTOS João Jorge  
joao.santos@u-bordeaux.fr

### ECOLE DOCTORALE

209  
Sciences Physiques et de  
l'Ingénieur (SPI)  
Université de Bordeaux - Campus  
Peixotto, 351 cours de la  
libération, Bât A1 - RDC, 33405  
Talence

### ENCADRANT

CHAMPEAUX Stéphanie  
stephanie.champeaux@cea.fr

### CENTRE

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00



**Contexte :** Le projet EOLE explore une nouvelle technique originale pour simuler en laboratoire les effets d'une explosion de forte énergie. L'injection d'un courant impulsionnel intense dans un fil fin provoque son explosion et génère une onde de souffle sphérique qui se propage dans l'air ambiant puis vient interagir avec une maquette sous test. La loi d'échelle indique que si la maquette est à l'échelle 1/N, un effet de souffle similaire à celui généré par une explosion réelle peut être obtenu avec une énergie  $N^3$  fois plus faible. EOLE, dieu des vents, étend donc son champ d'action au souffle d'une « Electro-explosion Obéissant à la Loi d'Echelle ». La faisabilité de cette technique a été démontrée en 2021 au CEA de Gramat en développant un générateur compact de courant impulsionnel intense (400 kA – 400 ns) ainsi qu'une configuration de fil exposé permettant de générer une explosion sphérique d'énergie 5 kJ environ.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de la thèse proposée est de mettre au point cette technique pour simuler les effets d'une explosion sur des maquettes à échelle réduite. Un haut niveau de qualité devra être atteint pour que EOLE devienne un simulateur d'effet de souffle capable de mener un grand nombre d'expérimentations dans des conditions parfaitement fiables et reproductibles sur des maquettes 3D d'architectures et de positionnements variables.

**Déroulement de la thèse :** A partir des résultats de l'étude de faisabilité, les points à améliorer concernent notamment la maîtrise de l'énergie injectée par le générateur dans le fil durant et après l'explosion, l'homogénéité et la sphéricité du front de l'onde de choc, la maîtrise du temps clair durant lequel l'effet de souffle n'est perturbé par aucun effet parasite et l'adaptation de la configuration expérimentale pour l'intégration de maquettes. Sur la base suivante, de nombreux moyens de diagnostics devront être implantés ou améliorés pour permettre ces optimisations : capteurs de courant et de tension, imagerie rapide de l'explosion initiale du fil, capteurs de pression miniaturisés, cinématographie rapide par ombroscopie laser, dans les 3 dimensions, de la propagation du front d'onde de choc et de son interaction avec les maquettes.

Des analyses, des modélisations et des simulations numériques devront également être menées pour orienter et optimiser les configurations expérimentales ainsi que pour étudier leurs possibilités de réglages et pour évaluer les incertitudes des grandeurs caractéristiques. Ces études concerneront notamment la modélisation du dépôt d'énergie dans le fil prenant en compte le couplage avec le générateur, ainsi que la vérification des corrélations entre les principales grandeurs caractéristiques telles que : l'énergie déposée et la puissance de l'explosion, la vitesse de propagation du front d'onde de choc sphérique, les fronts de montée, de décroissance et les niveaux de pression de ce front d'onde.

### DIRECTEUR DE THESE

VIROT Florent  
florent.virot@ensma.fr

### ECOLE DOCTORALE

651  
Mathématiques, Informatique,  
Matériaux, Mécanique,  
Energétique (MIMME)  
Université de Poitiers - 15, rue de  
l'Hôtel Dieu - TSA 71117 - 86073  
POITIERS Cedex 9

### ENCADRANT

ZUCCHINI Frédéric  
frederic.zucchini@cea.fr

### CENTRE

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32



**Contexte :** Pour caractériser le comportement des matériaux dans des gammes de vitesse très importantes, le CEA a recouru à des expériences de détonique où la sollicitation est générée par explosif. La plupart du temps il s'agit d'édifices de formes cylindriques ou sphériques remplis d'explosif qui sont confinés par le matériau à étudier. Des observations optiques qualitatives sont actuellement mises en place mais, du fait de la spécificité et la complexité des expériences de détonique, elles ne dépassent pas le cadre de la simple observation. Les mesures quantitatives mises en place sont actuellement des sondes de vitesse et de chronométrie mais elles ne permettent pas de remonter aux informations mécaniques du matériau.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de la thèse est d'utiliser la stéréocorrélation d'images sur les expériences de détonique afin de caractériser les paramètres matériau via les mesures de champs. Le but est d'utiliser ces mesures afin de caractériser les temps d'apparition des éclats générés lors des expériences de détonique ainsi que leur géométrie afin de contraindre les codes prédictifs développés au CEA.

L'application des mesures de champs sur des expériences de détonique nécessite des développements et des améliorations technologiques non négligeables. Par ailleurs, les confrontations expériences/simulations devront être menées. L'objectif est de contraindre les modèles par l'enrichissement des bases de données expérimentales.

Le(a) candidat(e) devra acquérir des compétences en détonique, mesure de champ, simulation.

**Déroulement de la thèse :** Lors des 6 premiers mois, le(a) candidat(e) devra acquérir l'ensemble des compétences théoriques et expérimentales en dynamique ultra-rapide et sur la formation d'éclats. L'étudiant(e) aura la possibilité de mettre en pratique ses avancées lors d'expériences de laboratoire au sein du GeM.

Les 3 à 6 mois suivants seront consacrés au développement et à la conception d'expériences en détonique. Il s'agira de développer une méthodologie répondant au mieux au besoin de caractérisation des paramètres matériau nécessaires à la prédiction du temps d'apparition des éclats et de leur caractéristiques géométriques sur un grand champ d'observation. Cette conception devra tenir compte des contraintes fortes liées aux expériences de détonique.

Les 18 à 21 mois suivants, le(a) candidat(e) devra réaliser les séries d'expériences conçues au préalable. Une grande quantité d'information sera acquise et systématiquement comparée aux codes de simulation qui évolueront avec les nouveaux résultats d'expériences.

Enfin, les 6 derniers mois de la thèse seront consacrés à la rédaction du manuscrit.

### DIRECTEUR DE THESE

RETHORE Julien  
julien.rethore@ec-nantes.fr

### ECOLE DOCTORALE

602  
Sciences de l'ingénierie et des  
systèmes (SIS)  
Ecole Centrale de Nantes  
1 Rue de la Noé  
44300 Nantes

### ENCADRANT

BESNARD Gilles  
gilles.besnard2@cea.fr

### CENTRE

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00



**Contexte :** Certaines parties des véhicules de rentrée atmosphérique nécessitent des matériaux capables de défier des températures extrêmes, supérieures à 2000 °C, pendant des durées relativement courtes de l'ordre de quelques minutes. Les composites thermostrostructuraux fibreux sont de bons candidats en tant que matériaux de structure. Face aux atmosphères de fonctionnement oxydantes, des phénomènes de récession sont cependant observés. Une des solutions est de les protéger via l'application de revêtements à leur surface.

Souvent associés à des ajouts pour diminuer les vitesses d'oxydation, les matériaux ultra-réfractaires (en anglais UHTC, Ultra High Temperature Ceramics), qui se caractérisent par des températures de fusion supérieures à 2500-3000 °C, sont proposés. La thèse consistera à développer des systèmes ultra-réfractaires pouvant répondre à ces conditions de fonctionnement extrêmes.

**Objectif de la thèse :** Dans le cadre précédemment défini, le travail de thèse consistera à mettre à profit la projection plasma pour développer des systèmes architecturés (multi-couches, gradients de composition) de façon à obtenir des systèmes substrats/revêtements performants pour résister à des températures supérieures à 2000 °C. En effet, pour la mise en œuvre de ces matériaux, le procédé de projection plasma présente de nombreux atouts tels sa capacité à réaliser des revêtements à microstructures variées à base de matériaux à haut point de fusion, d'épaisseurs ajustables, et ce sur des pièces de géométries complexes. Une hybridation avec d'autres procédés de mise en œuvre des matériaux UHTC est également envisageable.

En ce qui concerne la composition du revêtement, des questions telles l'ajout d'éléments permettant de limiter les vitesses d'oxydation de la matrice UHTC et la quantité de phases liquides seront étudiées. L'adéquation du revêtement avec le ou les substrats envisagés sera prise en compte. Egalement, l'analyse du comportement des matériaux à des températures supérieures à 2000 °C constitueront un axe important de travail. Après l'étude sur substrats plans, l'application des revêtements les plus prometteurs sur des pièces présentant des géométries d'intérêt pourra être évaluée.

**Déroulement de la thèse :** Après étude de l'état de l'art, la thèse sera ensuite divisée en trois parties avec des itérations possibles. Dans un premier temps, il sera question de mettre en forme les matériaux en adaptant les microstructures (taux de porosité, taille, quantité et morphologie des différents matériaux). La deuxième phase consistera à caractériser les revêtements obtenus en termes de microstructures et de propriétés thermo-mécaniques. Le comportement du matériau face à des sollicitations dynamiques pourra également être caractérisé à travers un test d'érosion à mettre en place. La troisième phase consistera en l'évaluation du comportement des matériaux à des températures supérieures à 2000 °C avec des moyens de test tels les jets plasma. Des diagnostics permettant d'analyser les phénomènes qui interviennent lors de l'oxydation des ultra-réfractaires pourront être développés.

La thèse sera principalement réalisée au sein du CEA Le Ripault. Ponctuellement, des déplacements pourront être effectués sur le site de l'Université de rattachement. Le sujet convient à un profil de candidat associant des connaissances théoriques solides en matériaux et procédés, avec un attrait pour la recherche appliquée. Sujet pluridisciplinaire, cette thèse se caractérise par un fort volet expérimental qui peut être renforcé par un aspect modélisation et permettra le développement de compétences liées aux procédés, aux matériaux composites, à la réactivité et au comportement thermo-mécanique des matériaux, aux moyens de diagnostics pour des tests en conditions extrêmes.

DIRECTEUR DE THESE

ECOLE DOCTORALE

ENCADRANT

QUET Aurélie  
aurélie.quet@cea.fr

CENTRE

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02-47-34-40-00





**Contexte :** Les technologies de fabrication additive changent les façons de concevoir de fabriquer et de réparer les objets. L'intérêt du procédé cold spray, par rapport aux autres types de procédé de fabrication additive métallique, réside dans la possibilité de mettre en forme le matériau sans passer par une phase liquide. Le champ applicatif est vaste avec, par exemple, la réalisation de renforcements de structure, la réalisation de pièces complexes pour le secteur aérospatial et la réparation ou le rechargement. Ce procédé, associé à la robotique, permet de traiter des pièces de grandes dimensions, incluant des formes complexes. La thèse portera sur l'étude de l'impact des paramètres de projection sur les propriétés d'Inconel 625 puis la maîtrise de ces derniers pour la transposition sur pièces opérationnelles tel que des cylindres de grandes dimensions (ex : arbre de transmission) ou 3D (ex : aubages de turbine).

**Objectif de la thèse :** L'objectif de la thèse sera de définir des paramètres pour la projection thermique d'alliage base nickel (ex : Inconel 625) afin de répondre à des problématiques industrielles. Les propriétés devront être analysées (ex : microstructure, analyse des phases en présence, propriétés mécaniques, ...) et pourront être améliorées par traitement thermique. La variabilité des propriétés devra être analysée afin d'envisager la transposition des dépôts sur pièces industrielles. La définition de trajectoires robotiques optimisées fera également partie de la thèse. Une attention particulière sera portée sur les contraintes générées pour la réalisation de dépôts de forte épaisseur d'Inconel 625 sur cylindres de grandes dimensions comme pour la définition de trajectoires permettant la réalisation d'une aube de turbine par fabrication additive "cold spray".

### DIRECTEUR DE THESE

CORMIER Jonathan  
jonathan.cormier@ensma.fr

### ECOLE DOCTORALE

651  
Mathématiques, informatique,  
matériaux, mécanique,  
énergétique (MIMME)  
Université de Poitiers - 15, rue de  
l'Hôtel Dieu - TSA 71117 - 86073  
POITIERS Cedex 9

### ENCADRANT

QUET Aurélie  
aurelie.quet@cea.fr

### CENTRE

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02-47-34-40-00



**Contexte :** Le CEA Le Ripault travaille depuis de nombreuses années sur le développement de matériaux optiques à vocation de revêtements de surface pour les composants du laser de puissance LMJ. Un des besoins est la mise au point d'un revêtement antireflet fonctionnant dans le domaine ultraviolet ou infrarouge, avec une propriété de transmission optique optimale. Le revêtement utilisé aujourd'hui est à base d'une monocouche de silice qui se caractérise par une forte porosité (ouverte) permettant de répondre de manière adéquate aux spécifications optiques. Cependant, cette porosité ouverte s'accompagne d'une sensibilité à la pollution ambiante qui peut potentiellement générer une baisse de transmission dans le temps et parfois un endommagement lié à une absorption.

**Objectif de la thèse :** L'objectif est l'étude et le développement d'un revêtement de surface résistant à la contamination ambiante (volatile et/ou particulaire). Les baisses de performances (perte de transmission et de tenue au flux) au cours du temps des optiques en silice revêtues sol-gel ont un impact sur le coût d'exploitation du laser LMJ. La contamination sur chaîne des revêtements antireflets par des polluants particulaires et volatils est un contributeur important. Les polluants particulaires regroupent notamment les poussières, des particules métalliques et des fragments de verres laser. Les polluants volatils regroupent les huiles de pompes, les graisses, les plastifiants... Ces polluants sont une des principales causes de contamination dans les sections à basse pression du laser.

L'objectif de cette thèse est la mise au point d'un revêtement antireflet pour les optiques en silice qui répond aux spécifications du LMJ tout en étant résistant à la pollution des composés volatils en particulier.

**Déroulement de la thèse :** Pour répondre aux objectifs de la thèse, deux volets seront étudiés :

- réalisation d'une classification des polluants en fonction de leur(s) localisation(s) dans les différentes zones du laser LMJ, de leur nature chimique et concentration, du type de contamination qu'ils entraînent et de leur impact sur les performances des composants optiques en silice ;
- développement de revêtements résistants aux polluants identifiés en jouant sur plusieurs paramètres comme la chimie de surface (par exemple par greffage chimique), la topologie de surface (nanostructuration de surface) ou l'architecture de l'empilement (mono ou multicouches, dense ou poreux).

Il faudra tout d'abord mettre au point des méthodes de pollution contrôlées ainsi que des méthodes pour analyser cette pollution à la fois de manière globale et locale sur les optiques, par exemple via spectroscopie IR ou visible ou bien encore par ellipsoporosimétrie. Ensuite, l'impact d'une pollution déterministe sur les revêtements sera étudié afin de déterminer la criticité de ces pollutions spécifiques sur les propriétés optiques des revêtements et sur l'endommagement des optiques sur chaîne.

Ce travail sera mené en collaboration avec le CEA CESTA pour l'étude du rôle des polluants (terme source, évolution des propriétés des optiques sur chaîne, caractérisations...), la validation des performances en transmission et en tenue au flux des optiques avec les revêtements antireflets identifiés.

DIRECTEUR DE THESE

BELLEVILLE philippe  
Philippe.belleville@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

552

Energie, Matériaux, Science de la  
Terre et de l'Univers (EMSTU)  
Château de la Source 5 rue du  
Carbone Bureau 213 6749  
45067 Orléans Cedex 2

ENCADRANT

BOSCHER Christophe  
Christophe.boscher@cea.fr

CENTRE

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02-47-34-40-00



**Contexte :** Le CEA Valduc, en collaboration étroite avec l'Université de Bourgogne Franche Comté et l'ENSAM Cluny travaille depuis plusieurs années au développement d'une méthode de cémentation basse pression du tantale. Le tantale est un métal possédant une résistance à la corrosion parmi les plus élevées. Cependant son exposition pendant une longue durée à des métaux ou des sels fondus peut attaquer la surface du tantale et entraîner une pollution de la pièce par diffusion aux joints de grains. Une solution pour pallier ce problème est la cémentation, c'est-à-dire former un carbure de tantale protégeant ces joints de grains.

Une méthode de cémentation basse pression a été développée et brevetée qui permet d'obtenir des carbures de tantale ou de tantale allié. L'utilisation de pièces en tantale carburé dans des essais menés au CEA Valduc a montré une corrosion faible de ces pièces par les sels fondus mais aussi un début d'attaque à l'interface avec les métaux fondus mis en contact.

**Objectif de la thèse :** La première partie de l'étude consistera à produire des pièces en tantale carburé de différentes compositions selon la méthode brevetée. L'impact du procédé de mise en forme notamment sur la microstructure des pièces sera étudié. Des essais de mise en contact avec des sels et des métaux fondus seront réalisés afin d'évaluer la durabilité chimique des pièces carburées. Il sera nécessaire d'étudier la mouillabilité des pièces carburées par les métaux fondus, ainsi que les phénomènes pouvant survenir lors des changements de température.

Les techniques mises en œuvre lors de cette étude pour caractériser les matériaux seront principalement :

- Microscopie optique et électronique
- Diffraction des électrons rétrodiffusés
- Diffraction des rayons X
- Mesure de dureté

Un volet simulation par la méthode CALPHAD est également inclus dans ce projet, visant à affiner la connaissance du diagramme de phase ternaire Ta-W-C et les conditions de cémentations. Il sera nécessaire de compléter la base de données du système existant en la rendant compatible des modèles thermodynamiques de la base de données du CEA Valduc. Dans un deuxième temps, la possibilité de constituer une base de données de mobilité a minima pour le système Ta-W-C sera étudié et la réalisation d'expériences sur des couples de diffusion pourrait être envisagée. L'établissement de cette base de données de mobilité devra permettre par l'utilisation d'un code de diffusion de type DICTRA de mieux appréhender et chercher à optimiser les conditions de cémentation des creusets.

**Déroulement de la thèse :** La thèse débutera par une phase dans les locaux de l'ENSAM Cluny pour travailler sur la partie fabrication/carburation des pièces métalliques. Dans un second temps, l'étudiant(e) sera localisé(e) à l'Université de Bourgogne pour effectuer les caractérisations des matériaux. Les périodes de présence à l'Université de Bourgogne seront associées avec des déplacements sur le site du CEA pour les essais haute température ainsi que la partie simulation.

### DIRECTEUR DE THESE

VIGNAL Vincent / JACQUET  
Philippe  
vincent.vignal@u.bourgogne.fr /  
philippe.jacquet@ensam.eu

### ECOLE DOCTORALE

432  
Sciences des Métiers de  
l'Ingénieur (SMI)  
Arts et Métiers ParisTech-  
ENSAM  
Bureau du doctorat  
147 boulevard de l'hôpital  
75013 Paris

### ENCADRANT

DALGER Thomas  
thomas.dalger2@cea.fr

### CENTRE

Valduc  
21120 Is-sur-Tille  
Tél. : 03-80-23-40-00



**Contexte :** Cette thèse est à la frontière entre modèles physiques, simulations sous incertitudes et BigData/IA. Améliorer nos connaissances en physique dépend de plus en plus de notre capacité à exploiter efficacement un grand volume de données expérimentales (sous forme d'images, radiographies, films etc.). En dynamique rapide par exemple, des films représentant des gouttes sur lesquels un choc ( $Mach > 4$ ) est envoyé permettent d'étudier la formation du brouillard engendré, sa taille, sa densité etc. L'analyse de ces données volumineuses peut être complexe et parfois même fastidieuse : une automatisation de l'interprétation permettrait de considérablement améliorer nos connaissances des phénomènes en jeu. De plus ces données physiques et leurs incertitudes associées sont ensuite utilisées pour éprouver, valider ou améliorer la simulation des phénomènes physiques.

**Objectif de la thèse :** 1) Mise en place d'outils d'interprétation physique de films d'essais basés sur l'apprentissage profond; avec en première application les films de dynamique rapide généraux. 2) Mise en place d'une méthodologie d'estimation des incertitudes associées aux caractéristiques extraites. 3) Construction d'une stratégie de validation de la simulation des modèles physiques hiérarchisés en s'appuyant sur les concepts de "vraisemblance" et de "posterior" provenant de la calibration et de l'inférence bayésienne.

**Déroulement de la thèse :** Déroulement en 3 phases: 1) extraction automatisée de données (avec incertitudes associées) issues de films expérimentaux (choc sur gouttes, impacts hypervéloces) et construction d'une vraisemblance bayésienne. Formation à l'inférence bayésienne, outil d'inversion rigoureux en présence d'incertitudes mais souvent coûteux (temps de calcul). 2) Une bibliographie est attendue sur les architectures de réseaux de neurones traitant des problématiques de détection et suivi d'objets (par exemple ceux des voitures autonomes). On s'attachera à sélectionner des techniques nécessitant peu d'activité de labélisation. 3) Grâce aux vraisemblances construites, des calibrations sous incertitudes (inférence bayésienne) seront possibles. Les codes permettant la résolution des modèles sont souvent coûteux : un travail conséquent sur l'accélération de l'échantillonnage des densités a posteriori (produites par l'inférence bayésienne) devra être effectué: ce travail, en contexte "grandes dimensions", "sortie fonctionnelle" (dû à l'obtention de données temporelles issues des films) et "entrées corrélées" passera par la construction de métamodèles par réseaux de neurones profonds (MLP, LSTM etc.). 4) Plusieurs modèles physiques sont disponibles pour expliquer le même phénomène, la même expérience. L'étudiant(e) devra effectuer un travail bibliographique sur la sélection de modèles, proposer une méthodologie adaptée pour être en mesure de les comparer, les choisir, les hiérarchiser rigoureusement dans un contexte incertain.

**DIRECTEUR DE THESE**

GIOVANELLI Jean-François  
giova@ims-bordeaux.fr

**ECOLE DOCTORALE**

209  
Sciences Physiques et de  
l'ingénieur (SPI)  
Université de Bordeaux - Campus  
Peixotto,  
351 cours de la libération  
Bât A1-RDC, 33405 Talence  
Cedex

**ENCADRANT**

POETTE Gaël  
gael.poette@cea.fr

**CENTRE**

Cesta  
BP 2 – 33114 Le Barp  
Tél. : 05-57-04-40-00



**Contexte :** Le travail de thèse s'inscrit dans le contexte du calcul haute performance pour la simulation numérique de phénomènes physiques complexes. Le CEA fournit depuis des années les moyens matériels et logiciels pour atteindre les puissances de calcul requises (calculateur Atos/Bull EXA1, futur calculateur Jules Verne). Depuis plusieurs générations de machines, nous sommes témoins de l'avènement des accélérateurs. Ceci entraîne de nouvelles problématiques quant à leur utilisation. En particulier, on constate une diminution du ratio taille mémoire par nombre d'unités de calcul et la gestion mémoire devient de fait un point critique pour atteindre des performances de nature exaflopique. Ce problème sera encore plus critique dans les générations suivantes. Il touche tous les domaines nécessitant des traitements calculatoires sur un grand volume de données, comme la visualisation. Ainsi, de nombreux aspects traités au cours de cette thèse seront généralistes et présenteront un intérêt global.

**Objectif de la thèse :** Le but de cette thèse sera de proposer un modèle asynchrone de mise à disposition des données via des techniques de compression/décompression, assez performantes pour être utilisées "à la volée" (c'est-à-dire pendant les phases de calcul sans pour autant les ralentir), permettant de relâcher les contraintes mémoires. Les codes de calcul ciblés sont itératifs et enchaînent différentes phases. Ils sont en cours de réécriture afin d'exploiter les nouvelles architectures hybrides des supercalculateurs du CEA. Idéalement, tous les calculs seront effectués sur les accélérateurs, laissant les ressources CPUs inoccupées. Le modèle proposé devra tirer parti de cette puissance de calcul inutilisée pour lisser les étapes de compression/décompression des données. De récents travaux ont montré l'intérêt de la compression de données dans le cadre de la simulation numérique, malgré l'utilisation de méthodes "avec pertes". Dans notre cadre, nous nous intéresserons à des algorithmes sans pertes pour ne pas avoir d'écarts numériques sur les résultats et ainsi éviter une validation supplémentaire. Bien exploiter les spécificités de nos codes de calculs permettra de minimiser l'impact sur les performances. L'étudiant(e) devra mettre en oeuvre les algorithmes de compression les plus pertinents dans le modèle proposé. Le but final de cette thèse sera d'intégrer le modèle développé dans un code représentatif des besoins du CEA afin d'en évaluer les gains dans un contexte industriel.

**Déroulement de la thèse :** 12 mois : bibliographie sur les algorithmes de compression, familiarisation avec les codes de calcul cibles et les supercalculateurs du CEA. Définition du modèle théorique, à présenter et publier. 18 mois : mise en oeuvre incrémentale (contexte CPUs multithreads, puis GPUs) du modèle via des miniapps représentatives puis dans les codes de calcul cibles pour évaluation de l'apport. S'il le souhaite, l'étudiant(e) pourra développer un nouvel algorithme de compression (optionnel). 6 mois : rédaction du manuscrit

### DIRECTEUR DE THESE

LEDOUX Franck (CEA/DAM) /  
LUCAS Laurent (URCA)  
franck.ledoux@cea.fr  
laurent.lucas@univ-reims.fr

### ECOLE DOCTORALE

620  
Sciences du numérique et de  
l'ingénieur (SNI)  
Université de Reims Champagne-  
Ardenne  
Bâtiment du CREA  
2 Esplanade Roland Garros  
51100 REIMS

### ENCADRANT

LETIERCE François  
francois.letierce@cea.fr

### CENTRE

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00





**Contexte :** Les céramiques projetées plasma sont couramment utilisées comme barrière thermique dans les moteurs d'avions ou comme protection à la corrosion ou l'abrasion. Leur microstructure lamellaire comporte une matrice dense avec une quantité importante de pores et de microfissures intra et interlamellaires. Ces défauts présentent un intérêt pour atténuer des ondes de choc, qui seraient générées lors d'impacts de micrométéorites ou microdébris, ou lors des expériences sur de grandes installations scientifiques comme le Laser MégaJoule (LMJ).

Les expériences de choc laser réalisées sur l'installation GCLT (Générateur de Choc Laser Transportable) mettent clairement en évidence une atténuation significative de l'onde de choc. Elles montrent également que les mécanismes d'endommagement sont fortement sensibles aux conditions de chargement (compression/traction, quasi-statique/dynamique).

**Objectif de la thèse :** Les objectifs de cette thèse sont d'étudier les mécanismes d'endommagement des céramiques projetées plasma sous chocs lasers successifs, de développer des approches de modélisation, et de les valider en s'appuyant sur les données expérimentales.

**Déroulement de la thèse :** La première partie de la thèse sera consacrée à une synthèse bibliographique des travaux de recherche menés ces dernières années sur l'endommagement de matériaux fragiles ou semi-fragiles face à des chocs laser. L'étudiant(e) pourra notamment poursuivre l'analyse des résultats expérimentaux obtenus dans le cadre du projet de recherche CAPRIC-DYN, sur deux céramiques projetées plasma à base de zirconium yttré.

La deuxième partie de la thèse consistera à dimensionner et réaliser des expériences de choc laser, en utilisant l'installation laser SIHL (Simulateur d'Impact Hypervélocité par Laser) du CEA/CESTA. L'objectif de ces expériences sera d'étudier et d'analyser les effets des conditions de chargement sur les mécanismes d'endommagement de ces céramiques projetées plasma. Un intérêt particulier sera porté à l'action de chargements successifs sur l'initiation et la propagation de fissures.

Enfin, ces résultats expérimentaux serviront de base pour le développement d'approches de modélisation représentant les mécanismes d'endommagement. Des modèles physico-numériques seront développés et implantés dans les codes du CEA, avant d'être validés à l'aide de confrontations expérience/calcul.

**DIRECTEUR DE THESE**

DE RESSEGUIER Thibaut  
resseguier@ensma.fr

**ECOLE DOCTORALE**

651  
Mathématiques, Informatique,  
Matériaux, Mécanique,  
Énergétique (MIMME)  
Université de Poitiers - 15, rue de  
l'Hôtel Dieu - 86073 POITIERS  
Cedex 9

**ENCADRANT**

MALAISE Frédéric  
frederic.malaise@cea.fr

**CENTRE**

Cesta  
BP 2 – 33114 Le Barp  
Tél. : 05-57-04-40-00



cea

**Contexte :** Un des sujets d'étude du laboratoire de recherche commun Cosims, liant le Centre d'Études Scientifiques et Techniques d'Aquitaine (CEA-CESTA) et l'institut de mécanique et d'ingénierie de l'université de Bordeaux (I2M), concerne l'endommagement mécanique des matériaux céramiques induit par une onde de choc résultant des impacts de micro-débris ou d'une irradiation laser. Les ondes sont caractérisées par le déplacement de la face arrière du matériau qu'elles induisent. Sans un régime de sollicitation modérée, des résultats montrent de fortes fluctuations de ce déplacement, suggérant une influence significative du caractère hétérogène des matériaux étudiés sur la propagation des ondes. La porosité des matériaux (distribution aléatoire de zones de vide, pores) peut en effet induire une diffusion multiple des ondes, et largement perturber la trajectoire rectiligne caractéristique des matériaux homogènes.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de la thèse est double, comprenant une partie théorique et une partie expérimentale. Du point de vue théorique (travail réalisé au CEA-CESTA), l'objectif est de développer un modèle de propagation d'une onde élastique d'amplitude finie dans un matériau hétérogène et d'effectuer les simulations associées. Du point de vue expérimental (travail réalisé à l'I2M), il s'agit de mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant l'étude en laboratoire de la propagation d'ondes dans le matériau engendrées et détectées par lasers. Plusieurs matériaux céramiques seront étudiés (avec différentes porosités). Les résultats des deux parties seront analysés et comparés.

**Déroulement de la thèse :** Concernant la partie théorique, on supposera une amplitude finie des ondes, ce qui permet de se placer en régime quasi-acoustique où la dynamique devrait pouvoir être décrite par une équation d'onde non-linéaire. Le(La) doctorant(e) développera un code mésoscopique de propagation d'onde où les pores seront décrits explicitement. Ensuite le(la) doctorant(e) effectuera des simulations de propagation afin d'étudier les fluctuations d'amplitude de l'onde en face arrière du matériau. Il(elle) étudiera l'influence de la distribution de porosité (densité, géométrie, et taille des pores), et construira un modèle d'homogénéisation.

Concernant la partie expérimentale, des impulsions laser d'une durée de quelques nanosecondes seront focalisées en face avant de l'échantillon. Par conversion thermo-élastique ou par ablation, des ondes élastiques de polarisation longitudinale et transverse seront engendrées puis diffractées dans le volume du matériau. La détection en face arrière sera réalisée au moyen d'un interféromètre laser. Au moyen d'outils de traitement des signaux et d'analyse statistique, le(la) doctorant(e) analysera l'impact de la porosité des céramiques sur les résultats expérimentaux et confrontera ceux-ci aux résultats issus de simulations réalisées par ailleurs.

### DIRECTEUR DE THESE

AUDOIN Bertrand  
bertrand.audoin@u-bordeaux.fr

### ECOLE DOCTORALE

209  
Sciences Physiques et de  
l'ingénieur (SPI)  
Université de Bordeaux - Campus  
Peixotto,  
351 cours de la libération  
Bât A1-RDC, 33405 Talence  
Cedex

### ENCADRANT

DUCHATEAU Guillaume  
guillaume.duchateau@cea.fr

### CENTRE

Cesta  
BP 2 – 33114 Le Barp  
Tél. : 05-57-04-40-00



**Contexte :** L'endommagement d'un métal consécutif au passage d'une onde de choc, ou écaillage, est un problème très ouvert pour la modélisation. Il se produit lorsque deux ondes de détente se croisent, provoquant localement une tension importante sur l'échantillon. Cette tension induit l'initiation de pores qui croissent et coalescent, ce qui peut conduire à la fracturation totale de l'échantillon à l'échelle macroscopique. Ce phénomène se produit à un taux de déformation très élevé. L'une des difficultés actuelles est la caractérisation des effets collectifs dus à la croissance simultanée de nombreux pores macroscopiques en interaction avec les défauts de l'échantillon. Des questions se posent sur la statistique des pores générés, leur lien aux défauts microstructuraux et la possible prise en compte dans les modèles de cette diversité.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de la thèse est de caractériser le rôle des défauts de microstructure sur la germination de pores. Plusieurs questions se posent sur le seuil de cavitation, le rôle de la compressibilité, l'influence des défauts (lacunes, dislocations, joints de grains) sur cette initiation et la conséquence sur les distributions de tailles de pores générées.

Néanmoins le suivi de phénomènes nanométriques est impossible à atteindre expérimentalement en temps réel. Post-mortem, de nombreux événements se surimposent à la germination, il devient difficile d'en extraire le phénomène d'intérêt. Cette étude est en revanche potentiellement abordable via des simulations travaillant à l'échelle micrométrique.

**Déroulement de la thèse :** Les simulations de dynamique moléculaire classique peuvent traiter quelques milliards d'atomes mais elles génèrent une quantité considérable de données et leur exploitation demeure un défi.

La mise en place d'un algorithme d'estimation locale de densité par tessellation de Voronoï occupera une première étape de la thèse. Cet algorithme devra ensuite être implémenté dans le code de dynamique moléculaire du CEA et donc s'accomoder aussi bien du parallélisme en mémoire partagée que distribuée.

Le second objectif est ensuite de générer des défauts microstructuraux ad hoc reproduisant ceux issus d'une simulation de choc. Ces défauts devront pouvoir être détectés ultérieurement au cours de la simulation. Une autre équipe du laboratoire développe les indicateurs de détection qui seront utilisés.

Une fois la construction de défauts achevée, la détection des pores nanométriques et des microstructures voisines bien maîtrisée, une bibliothèque de pression à cavitation et de distributions de tailles de pores à petite échelle sera établie pour chaque type de défaut et pour une assemblée aléatoire de défauts. Les résultats finaux de cette thèse alimenteront un code hydrodynamique macroscopique pour lequel la distribution initiale de pores à germination s'avère critique.

**DIRECTEUR DE THESE**

DENOUAL Christophe  
christophe.denoual@cea.fr

**ECOLE DOCTORALE**

579

Sciences mécaniques et  
énergétiques, matériaux et  
géosciences (SMEMAG)  
ENS Paris Saclay  
4 avenue des sciences  
91190 Gif sur Yvette

**ENCADRANT**

DUBOIS Alizée  
alizee.dubois@cea.fr

**CENTRE**

DAM Île-de-France  
Bruyères-le-Châtel - 91297  
Arpajon  
Tél. : 01-69-26-40-00



**Contexte :** Depuis quelques années, le molybdène est utilisé pour plusieurs applications dynamiques, notamment dans le domaine de la défense comme revêtement de charges creuses, impliquant de fortes sollicitations mécaniques (grandes vitesses de déformation, grandes déformations, fortes pressions, ...). Pour autant, ce matériau a été caractérisé essentiellement en quasi-statique ou à des pressions extrêmes pour des besoins en planétologie, par exemple.

Les chocs laser, comparés à d'autres sources de sollicitations dynamiques (impacts, explosifs, ...), bénéficient de plusieurs avantages. Ils permettent de couvrir un large spectre de sollicitations - en faisant varier l'intensité, la taille et la durée du pulse laser - , d'étudier la réponse élasto-plastique du matériau à très hautes vitesses de déformation, et de réaliser des analyses post-mortem facilitées par la capacité de récupération des échantillons offerte par ce dispositif.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de ce travail de thèse, co-encadré par l'Institut Pprime à Poitiers, est de caractériser le comportement du molybdène sous choc laser, sur une gamme de sollicitations représentatives du fonctionnement d'une charge creuse, d'évaluer et de faire évoluer, si besoin, les modèles de comportement existants pour ce matériau. Des configurations innovantes seront également étudiées et mises en oeuvre.

**Déroulement de la thèse :** A cette fin, le(la) candidat(e) devra notamment dimensionner, réaliser et exploiter des essais de choc laser permettant :

- de caractériser le comportement élasto-plastique par des mesures de vitesse en face arrière et, si possible, par des mesures de température ;
- la récupération et l'analyse post-mortem des échantillons ;
- l'étude de la phase d'implosion génératrice du jet d'une charge creuse sur des échantillons entaillés ;
- l'analyse de l'effet d'un choc incliné sur le molybdène.

**DIRECTEUR DE THESE**

DE RESSEGUIER Thibaut  
resseguier@ensma.fr

**ECOLE DOCTORALE**

651  
Mathématiques, Informatique,  
Matériaux, Mécanique,  
Énergétique (MIMME)  
Université de Poitiers - 15, rue de  
l'Hôtel Dieu - TSA 71117 - 86073  
POITIERS Cedex 9

**ENCADRANT**

EL MAI Skander  
skander.elmai@cea.fr

**CENTRE**

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32



cea

**Contexte :** Dans le cadre de ses activités pour la Défense, le CEA-Gramat développe des outils de modélisation pour évaluer la vulnérabilité d'infrastructures en béton armé aux impacts et explosions. La compréhension des mécanismes de dégradation du béton à des niveaux de chargements extrêmes est donc d'importance majeure. En collaboration avec le CEA-Gramat, ces mécanismes sont étudiés par le laboratoire Sols Solides Structures et Risques de l'Université Grenoble-Alpes grâce à la presse triaxiale de très forte capacité « GIGA », unique dans le monde académique.

Plusieurs thèses en lien avec cette presse ont permis d'aboutir à des résultats majeurs montrant que, sous fort confinement, le béton a un comportement d'empilement granulaire non cohésif où l'eau libre joue un rôle prépondérant et la forme des plus gros granulats a peu d'influence.

Le comportement du béton serait donc contrôlé par la partie la plus fine du squelette granulaire du béton, point qui n'a encore jamais fait l'objet d'études.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de la thèse est d'établir le rôle de la nature du squelette granulaire (liant cimentaire et sable) sur le comportement triaxial du béton sous très fortes contraintes, puis de développer une modélisation empirique permettant de prédire le comportement du béton en fonction des paramètres caractéristiques de ce squelette.

**Déroulement de la thèse :** Une étude bibliographique visant à définir les paramètres caractéristiques physiques et chimiques des liants cimentaires et des sables sera d'abord conduite.

Puis, une étude expérimentale consistera à tester différentes formulations de bétons où l'on fera varier la nature du liant cimentaire et du sable. Les essais seront réalisés sur la presse triaxiale de très forte capacité "GIGA". Selon l'avancement, cette étude pourra également s'attacher à la caractérisation du comportement des mortiers, qui constituent la « pâte » des modèles mésoscopiques du béton.

Enfin, il s'agira de développer une modélisation empirique permettant de prédire le comportement triaxial du béton jusqu'à rupture en fonction des paramètres caractéristiques du squelette granulaire initialement définis. La capacité prédictive du modèle pourra être évaluée à partir de la connaissance du comportement du mortier.

Il est envisageable de mener ces travaux de thèse au Laboratoire Sols Solides Structures Risques de l'Université Grenoble-Alpes.

### DIRECTEUR DE THESE

MALECOT Yann  
yann.malecot@univ-grenoble-alpes.fr

### ECOLE DOCTORALE

510  
Ingénierie-Matériaux, Mécanique, Environnement, Énergétique, Procédés, Production (I-MEP<sup>2</sup>)  
Maison du doctorat Jean Kuntzmann, 110 rue de la Chimie  
38400 Saint-Martin-d'Hères

### ENCADRANT

ARLERY Magali  
magali.arlery@cea.fr

### CENTRE

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32

The logo of the Commissariat à l'énergie atomique (CEA) is displayed in white on a red square background. It consists of the lowercase letters 'cea' in a stylized, rounded font, with a horizontal line underneath the letters.



**Contexte :** Dans le cadre de ses activités pour la Défense, le CEA-Gramat développe des outils de modélisation pour évaluer la vulnérabilité d'infrastructures en béton armé aux impacts et explosions. La compréhension des mécanismes de dégradation du béton sous chargements extrêmes est donc d'importance majeure. Plusieurs thèses menées au Laboratoire Sols Solides Structures Risques de l'Université Grenoble-Alpes ont abouti à des résultats fondamentaux, notamment la forte influence de la teneur en eau libre sur le comportement du béton confiné, la mesure effective de pression d'eau interstitielle et la détermination des effets de vitesse du chargement sur matériau sec ou totalement saturé.

Afin d'être encore plus représentatif des applications d'intérêt, les pressions interstitielles atteintes sous chargements cisailants, les effets de vitesses sur béton partiellement saturé en eau ainsi que l'influence d'un pré-endommagement du matériau nécessitent désormais d'être étudiés.

**Objectif de la thèse :** L'objectif de la thèse est de caractériser et modéliser le comportement mécanique du béton à partir d'états initiaux (saturation partielle en eau et pré-endommagement) et dans des gammes de chargement (vitesse et triaxialité) encore inexplorés. La caractérisation sera réalisée sur différents moyens expérimentaux : barres d'Hopkinson, lanceur, presses uniaxiale et triaxiale, microtomographie RX. La modélisation sera réalisée avec le code ABAQUS® et un modèle de comportement poro-hydro-mécanique développé par le laboratoire.

**Déroulement de la thèse :** Une étude bibliographique sera d'abord conduite pour identifier les lacunes des connaissances actuelles en caractérisation et modélisation du béton au regard des applications d'intérêt.

Puis, une étude expérimentale consistera à caractériser le comportement du béton à partir d'états initiaux (saturation partielle en eau et pré-endommagement) et dans des gammes de chargement (vitesse et triaxialité) d'intérêt. Une grande variété de moyens expérimentaux sera mise à disposition : barres d'Hopkinson gros diamètre (~ 80mm), impact de plaques sur lanceur, presses quasi-statiques de compression uniaxiale (INSTRON 1 MN) ou triaxiale (GIGA 850 MPa), microtomographie RX.

Enfin, les essais réalisés seront simulés avec le code ABAQUS® en utilisant le modèle de comportement poro-hydro-mécanique développé par le laboratoire. L'origine des éventuels écarts entre résultats expérimentaux et numériques sera étudiée. Une évolution du modèle pourra être proposée, notamment pour rendre compte des temps caractéristiques des différents mécanismes mis en jeu aux échelles micro- et méso-structurales.

Il est envisageable de mener ces travaux de thèse au Laboratoire Sols Solides Structures Risques de l'Université Grenoble-Alpes.

**DIRECTEUR DE THESE**

FORQUIN Pascal  
pascal.forquin@univ-grenoble-alpes.fr

**ECOLE DOCTORALE**

510  
Ingénierie-Matériaux, Mécanique, Environnement, Énergétique, Procédés, Production (I-MEP<sup>2</sup>)  
Maison du doctorat Jean Kuntzmann, 110 rue de la Chimie  
38400 Saint-Martin-d'Hères

**ENCADRANT**

ARLERY Magali  
magali.arlery@cea.fr

**CENTRE**

Gramat  
BP 80200 – 46500 Gramat  
Tél. : 05-65-10-54-32



**Contexte :** L'évaluation de la sécurité d'une structure pyrotechnique passe par la prédiction du niveau de réaction atteint lors d'agressions mécaniques (impact). Or, la complexité du processus menant de l'impact à une réaction violente n'a pas permis jusqu'ici à la communauté scientifique internationale de proposer une démarche unique. L'un des paramètres clé de la transition à des régimes violents est la manière avec laquelle l'explosif se déforme, s'endommage et se fragmente. La taille et le nombre des défauts et des fragments conditionnent la surface offerte à la combustion et le débit massique de gaz. Or, peu d'études permettent à ce jour de faire le lien entre endommagement et forme/nombre des défauts microstructuraux. Une première thèse a permis de relier, sous certaines conditions, la perte de raideur (endommagement) à la population des défauts générés dans l'explosif par sa déformation sous l'impact. Le CEA cherche à étendre cette approche à tous les types de sollicitations.

**Objectif de la thèse :** Objectif de la thèse :  
Détermination des défauts générés par un impact sur l'explosif.  
Orientation des études expérimentales futures.

Déroulement :

Le matériau étudié est constitué de deux phases cristallines et d'un liant. L'ensemble est densifié par compaction isostatique pour obtenir un matériau à très faible porosité. Sa microstructure est hétérogène.

On se place dans le contexte des modèles phénoménologiques macroscopiques décrivant la réponse moyenne d'un matériau hétérogène sans décrire avec précision l'état de ce dernier à l'échelle de sa microstructure. L'étude pourra s'organiser comme suit :

- Etude bibliographique des lois d'endommagement et des modes de rupture des matériaux granulaires compacts soumis à des chargements complexes et dynamiques. Liens entre les grandeurs globales, tel que l'endommagement, et les défauts à l'échelle méso(micro)scopique (densité de microfissures ouvertes/fermées, taille et forme des fragments).
- Simulation de mésostructures idéales (par exemple, cisaillement de polycristaux de HMX avec décompte des microfissures créées, de leur longueur et de leur espacement, quantification des décohésions grain/grain...) pour orienter la modélisation macroscopique.
- Modélisation de l'endommagement/fragmentation et implémentation de la loi de comportement macroscopique dans ABAQUS®.
- Confrontations à la base expérimentale constituée des essais ayant permis d'observer la réponse mécanique macroscopique du matériau.

Le but de ce travail de recherche est de mettre en place dans le code aux éléments finis ABAQUS® explicite une loi de comportement mécanique dynamique macroscopique pour cette composition explosive.

**Déroulement de la thèse :** L'étudiant(e) sera basé(e) au CEA le Ripault et il(elle) se rendra régulièrement au Laboratoire Gabriel LaMé (Bourges, Blois).

**DIRECTEUR DE THESE**

CALIEZ Michaël  
michael.caliez@insa-cvl.fr

**ECOLE DOCTORALE**

552  
Energie, Matériaux, Science de la  
Terre et de l'Univers (EMSTU)  
INSA-CVL, 3 rue de la  
Chocolaterie  
CS 23410  
41034 Blois cedex

**ENCADRANT**

PICART Didier  
didier.picart@cea.fr

**CENTRE**

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02-47-34-40-00



**Contexte :** Les matériaux composites à matrice céramiques (CMC) sont employés pour leur haute résistance mécanique en température (1000°C et plus). Quelle que soit la famille de CMC (oxyde/oxyde, renfort carbone, renfort SiC), ces matériaux fonctionnent par le biais d'un endommagement qui survient dès les premières sollicitations. Pour un grand nombre d'entre eux, le domaine élastique est quasiment inexistant. Il est dès lors nécessaire de proposer un modèle de loi de comportement rendant compte de cet endommagement et de son effet sur le comportement mécanique. Nous proposons dans le cadre de cette thèse de développer des formalismes permettant de prendre en compte des phénomènes jusque là traités de manière phénoménologique : le frottement des fissures et le caractère tensoriel de l'endommagement.

**Objectif de la thèse :** Le frottement provoqué lors de la fermeture des fissures est responsable de l'hystérésis constatée lors des cycles de charge/décharge et également de la restauration des modules élastiques en compression. Ces effets (hystérésis, restauration de modules) ne sont actuellement pas pris en charge par les modèles.

Le caractère tensoriel de l'endommagement dans certaines familles de CMC n'est actuellement modélisé que par un modèle dit pseudo-tensoriel (non prise en compte du formalisme tensoriel exact) limitant les interprétations et comparaisons.

L'objectif de cette thèse est de développer des formalismes physiques solides pouvant mener à des lois de comportement utilisables dans des codes éléments finis, si elles sont raisonnablement compatibles des moyens de calcul actuels ou au moins servant à valider et améliorer les approches existantes.

Ces développements seront illustrés par l'application à des matériaux C/SiC (renfort carbone à fibres continues). Les données expérimentales à température ambiante et en température seront obtenues pour partie au sein du laboratoire notamment par des essais in situ sous tomographie X mais également par le biais d'une collaboration déjà engagée avec un laboratoire universitaire. Enfin, ces développements de modèles de loi de comportement se feront en collaboration avec l'ONERA.

**Déroulement de la thèse :** L'essentiel de ces travaux de thèse consistera à établir des modèles pertinents et à les mettre en œuvre dans le cadre d'une loi de comportement. Les résultats seront basés sur des résultats expérimentaux d'essais sur des matériaux C/SiC précédemment réalisés dans le cadre d'une autre étude. Une partie des travaux de recherche se produira sur le site de l'ONERA (site de Châtillon) au sein de l'équipe spécialiste des lois de comportement dans les matériaux composites et pionnière dans ce domaine.

Des essais spécifiques, spécialement conçus pour tester et valider les modèles étudiés, pourront être menés au sein du laboratoire.

### DIRECTEUR DE THESE

LAURIN Frédéric  
frederic.laurin@onera.fr

### ECOLE DOCTORALE

579  
Sciences mécaniques et  
énergétiques, matériaux et  
géosciences (SMEMAG)  
Bâtiment Bréguet  
3 rue Joliot Curie  
91190 Gif-sur-Yvette

### ENCADRANT

GUILLET FRANCOIS  
francois.guillet@cea.fr

### CENTRE

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02-47-34-40-00

The logo of the Centre for Energy and Environment (cea) is displayed in white on a red square background. It consists of the lowercase letters 'cea' in a stylized, rounded font, with a horizontal line underneath the letters.



