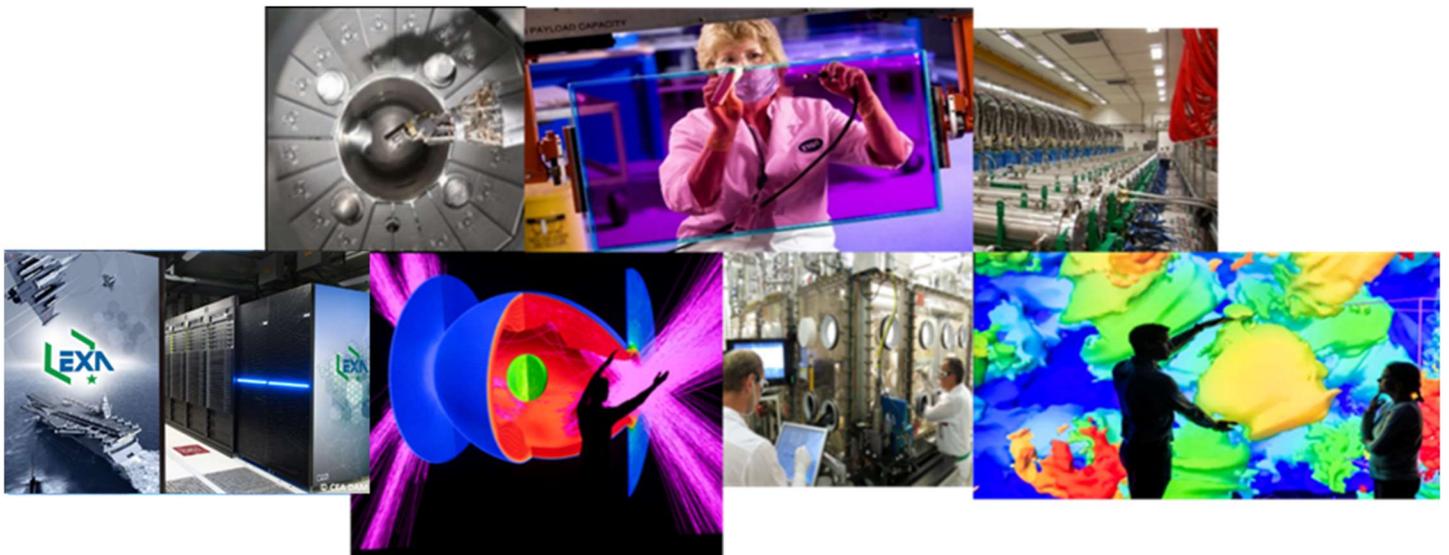




Direction des applications militaires

OFFRES de THESES 2025



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.

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 importants 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

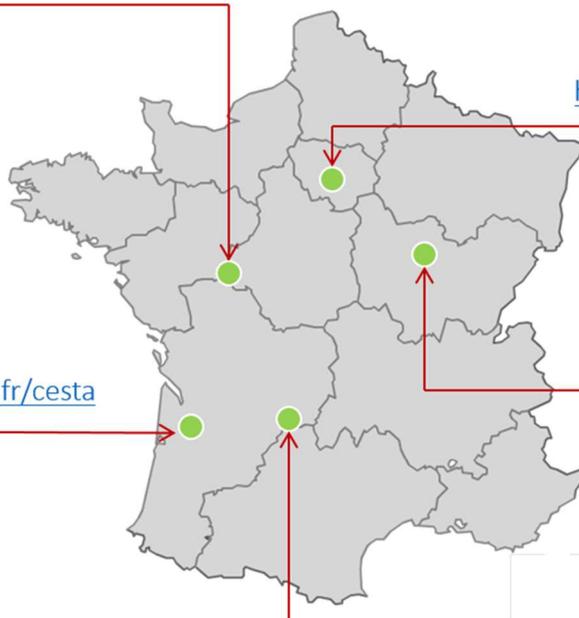
21120 Is-sur-Tille
03.80.23.40.00

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

GRAMAT

BP 80000
46500 Gramat
05.65.10.54.32

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



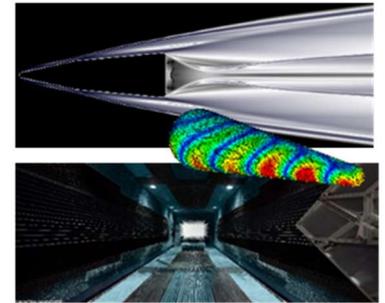
Le CEA/Cesta

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

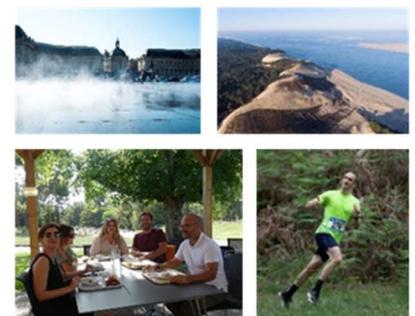
Pour mener à bien les missions dont il a la responsabilité et anticiper les évolutions nécessaires aux programmes futurs, le CESTA développe une politique scientifique dynamique et ambitieuse. Elle a donné naissance à un réseau collaboratif avec de multiples partenariats académiques et industriels qui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

Thématiques métiers

Simulation, Expérimentations, Contrôle, Conception, Méthodes, Aérodynamique, Electromagnétisme, Modélisation, Optoélectronique, Sécurité, Sécurité Nucléaire, Exploitation, Laser, Installations

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>

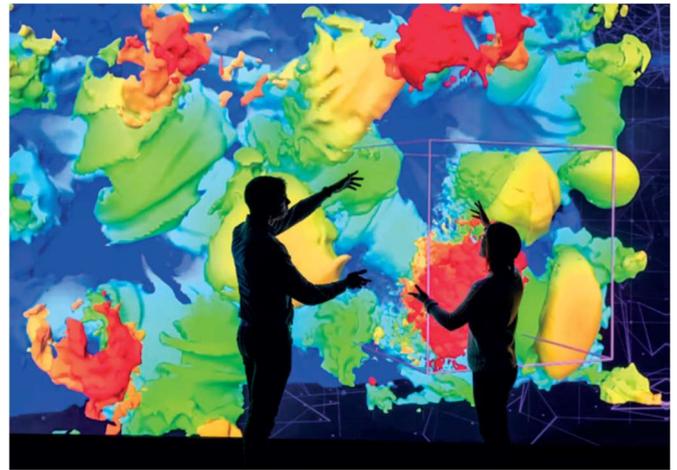
Le centre CEA DAM-Île de France est un des cinq centres de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA. Ses 2 000 salariés – ingénieurs, chercheurs, techniciens, doctorants, partenaires... - sont mobilisés sur des missions au cœur de la dissuasion nucléaire française, ont en charge la surveillance 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

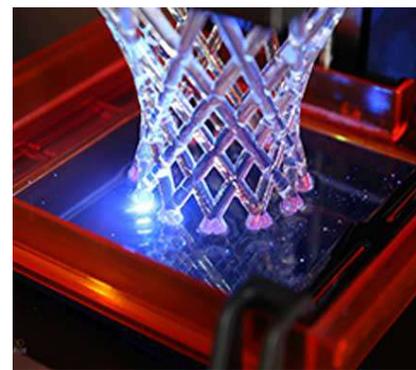
SURVEILLER, ANALYSER ET INTERVENIR POUR LA SÉCURITÉ

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

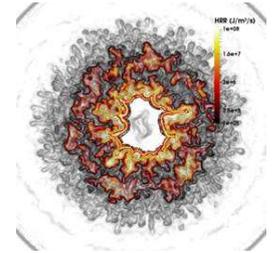
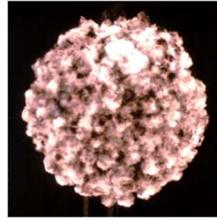
Gramat, la recherche au service de la Défense nationale

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.

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...



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

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.

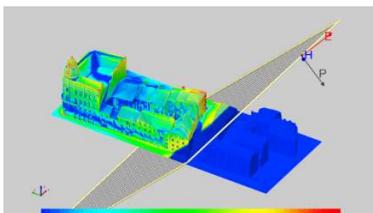
Côté transport, le centre CEA Gramat est situé entre Brive (aéroport et gare) et Toulouse (aéroport). Côté papilles, le célèbre Rocamadour, le foie gras ou la truffe sont les produits phares du Lot. Sur le centre CEA Gramat, une conciergerie et une Association locale vous proposent divers services et 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 Conventionnés (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.



Simulation électromagnétique d'un quartier de ville



Chambre Anéchoïque

Les thèses proposées au CEA/Gramat concernent 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

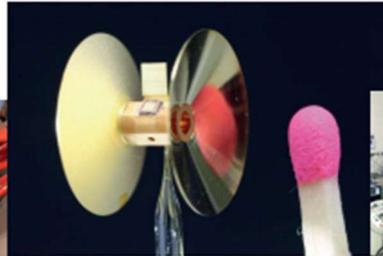
Site Web : <https://www-dam.cea.fr/valduc>

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.

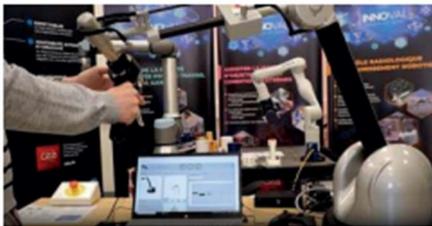
Un environnement épanouissant aux portes du Parc Régional de Bourgogne et à 45 mn de Dijon offre aux salariés des conditions de vie particulièrement agréables.

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 ou au 03 80 23 42 01 pour convenir d'un rendez-vous

LISTE DES THÉMATIQUES DES THÈSES 2025 ET NOMBRE D'OFFRES PAR THÉMATIQUE

PHYSIQUE CORPUSCULAIRE ET COSMOS (6 offres)

Page 13

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

PHYSIQUE DE L'ÉTAT CONDENSÉ, CHIMIE ET

NANOSCIENCES (12 offres)

Page 21

- **CHIMIE PHYSIQUE ET ÉLECTROCHIMIE**
- **MATIÈRE ULTRA-DIVISÉE, PHYSICO-CHIMIE DES MATÉRIAUX**
- **PHYSIQUE ATOMIQUE ET MOLÉCULAIRE**
- **PHYSIQUE DU SOLIDE, SURFACES ET INTERFACES**
- **PHYSIQUE MÉSOSCOPIQUE**

PHYSIQUE THÉORIQUE (4 offres)

Page 35

- **PHYSIQUE NUCLÉAIRE**
- **PHYSIQUE THÉORIQUE**

SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR (14 offres)

Page 41

- **ÉLECTROMAGNÉTISME - ÉLECTROTECHNIQUE**
- **ÉNERGIE, THERMIQUE, COMBUSTION, ÉCOULEMENTS**
- **MATÉRIAUX ET APPLICATIONS**
- **MÉCANIQUE, ÉNERGÉTIQUE, GÉNIE DES PROCÉDÉS, GÉNIE CIVIL**
- **MÉTROLOGIE**
- **OPTIQUE – OPTIQUE LASER – OPTIQUE APPLIQUÉE**

**PHYSIQUE
CORPUSCULAIRE ET
COSMOS**

Modélisation de la dynamique des faisceaux d'électrons dans les accélérateurs linéaires à induction

Physique des accélérateurs

Contexte : Cette thèse s'intéresse à la modélisation enveloppe et Particle-In-Cell (PIC) de la dynamique des faisceaux intenses d'électrons dans les accélérateurs à induction (LIA) et à la validation expérimentale de ce modèle. Les LIA utilisés en radiographie éclair transportent des faisceaux d'électrons impulsions (quelques dizaines de nanoseconde) à la fois intense (plusieurs kA) et de haute énergie (environ 20 MeV) afin de produire une source pénétrante de rayonnement X de faibles dimensions spatiales par rayonnement de freinage sur un matériau dense. Le faisceau initialement produit à une énergie proche de 4 MeV est injecté dans la ligne accélératrice où les électrons acquièrent progressivement de l'énergie en passant au niveau des gaps accélérateurs de cellules à induction. Dans un LIA, la compréhension et la maîtrise de la dynamique des faisceaux d'électrons sont nécessaires au succès d'une expérimentation réalisée dans des conditions extrêmes.

Objectif de la thèse : De nombreuses propriétés d'intérêt du faisceau d'électrons (dimension, position, quantité de mouvement, énergie, émittance) contribuent aux caractéristiques de la source de rayonnement X, elles-mêmes directement reliées à la qualité de la radiographie finale. Les énergies et les intensités des faisceaux sont telles que les forces auto-induites jouent un rôle clé dans leur dynamique. Les codes de simulations contribuent de manière significative à la compréhension et à la maîtrise de la dynamique du faisceau. Aujourd'hui, l'étude de cette dynamique est majoritairement réalisée avec des codes enveloppe qui permettent de l'appréhender macroscopiquement et qui fournissent un formalisme intéressant d'un point de vue opérationnel pour régler le transport du faisceau. La méthode PIC, complémentaire de l'approche enveloppe, est également utilisée pour simuler la dynamique du faisceau. Elle permet une description plus complète de la physique mise en jeu dans les LIA [1] en reproduisant la quasi-totalité des phénomènes (accroissement d'émittance, 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 : L'objectif de cette thèse est d'étudier par modélisations enveloppe et PIC la dynamique des faisceaux intenses d'électrons dans les accélérateurs à induction de l'installation EPURE et de valider ce modèle expérimentalement. Cette étude permettra de quantifier et intégrer les phénomènes physiques participant à l'évolution des propriétés du faisceau lors de son transport. Les outils développés lors de cette étude serviront à optimiser et prédire le transport en intégrant notamment les instabilités de type Beam Break-Up, Corkscrew ou ion hose qui dégradent la qualité du faisceau d'électrons. L'étude de l'impact de ces différentes contributions sur le transport du faisceau permettra d'évaluer les performances d'un accélérateur fonctionnant en simple ou en multi-impulsions. Dans un premier temps, l'étudiant(e) se familiarisera aux codes PIC et enveloppe décrivant la dynamique des faisceaux dans les LIA en vue de les améliorer notamment au moyen d'algorithme génétique permettant d'optimiser le transport via les nombreux éléments de guidage du faisceau (solénoïdes, déviateurs ...). Puis, l'évaluation et la prise en compte de phénomènes physiques complémentaires seront réalisées. Une validation du modèle de simulation sera ensuite faite à partir des données expérimentales obtenues sur les LIA de l'installation EPURE. Des stratégies de transports adaptées à des cas opérationnels et prospectifs multi-impulsions pourront être proposés sur les bases du modèle développé.

[1] J.M. Plewa et al., "High power electron diode for linear induction accelerator at a flash radiographic facility", Phys. Rev. Accel. Beams, 21, 070401 (2018).

[2] R. Delaunay et al., "Dual-pulse generation from a velvet cathode with a new inductive voltage adder for x-ray flash radiography applications", Phys. Rev. Accel. Beams, 25, 060401 (2022).

Compétences souhaitées : Domaines de spécialité : interaction rayonnement matière, dynamique de faisceaux, physique des accélérateurs, programmation scientifique

Méthodes et logiciels spécifiques : Python, C++

DIRECTEUR DE THESE

ROUSSEAU Patrick
prousseau@ganil.fr

ECOLE DOCTORALE

591

Physique, Sciences de
l'Ingénieur, Matériaux, Energie
(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

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



Contexte : De nombreuses applications, telles que la fusion par confinement inertiel, demandent de comprendre les mécanismes physiques liés à la propagation de faisceaux laser très énergétiques dans un plasma. En particulier, dans le cas de la fusion, on veut quantifier le dépôt d'énergie laser sur une cible de Deutérium-Tritium cryogénique, et l'efficacité avec laquelle on peut comprimer cette cible pour déclencher les réactions de fusion. Or, la propagation des faisceaux laser peut être entravée par plusieurs effets tels que la diffusion Brillouin stimulée qui entraîne la réflexion d'une partie de l'énergie laser incidente. Par ailleurs, lorsque les faisceaux laser se croisent, ils peuvent échanger de l'énergie, ce qui peut dégrader la symétrie d'implosion.

Le but de la thèse est d'obtenir une description cinétique non linéaire de ces mécanismes d'interaction laser-plasma en s'inspirant de ce qui a déjà été fait dans le cadre d'une autre instabilité, la diffusion Raman stimulée.

Objectif de la thèse : Le but de la thèse est de résoudre de manière analytique les équations de Maxwell-Vlasov de manière à obtenir un modèle cinétique non linéaire de la diffusion Brillouin stimulée et de l'échange d'énergie par croisement de faisceaux. Ce modèle devra être suffisamment simple pour être incorporé dans notre code d'hydrodynamique radiative servant à dimensionner les expériences sur le laser MégaJoule, à l'instar de ce qui a été réalisé dans le cadre de la diffusion Raman stimulée. Un des points clefs de cette modélisation est la détermination des propriétés cinétiques non linéaires d'une onde ionique, que l'on établira tout d'abord lorsqu'il n'existe qu'une seule espèce d'ions, et que l'on généralisera au cas multi-espèces. Cela permettra d'obtenir des équations couplant la propagation des faisceaux laser à la croissance de l'onde ionique. Ces équations devront être assez générales pour tenir compte du lissage spatio-temporel des faisceaux du laser MégaJoule.

Déroulement de la thèse : La première partie de la thèse consistera à établir les propriétés non linéaires d'une onde plasma ionique créée par laser lorsqu'il n'existe qu'une seule espèce d'ions. Cela nécessitera de calculer les fonctions de distribution électronique et ionique, le contenu en harmoniques de l'onde ainsi que sa relation de dispersion non linéaire. Dans l'idéal, cette première partie aura été largement défrichée lors d'un stage préalable. Elle sera complétée par la généralisation des résultats au cas multi-espèces.

Dans la deuxième partie de la thèse, on établira la modélisation cinétique non linéaire de la diffusion Brillouin stimulée et de l'échange d'énergie par croisement de faisceaux. Cela impliquera d'écrire les équations couplant la propagation laser à la croissance de l'onde ionique. On le fera tout d'abord sans se préoccuper du lissage des faisceaux laser puis en en tenant compte.

Compétences souhaitées : Physique des plasmas, Physique théorique, Méthodes numériques

Méthodes et logiciels spécifiques : Programmation C++, FORTRAN

DIRECTEUR DE THESE

BENISTI Didier
didier.benisti@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

572
Ondes et Matière (EDOM)
Université Paris Sud, Bat 510,
91405 ORSAY CEDEX

ENCADRANT

BENISTI Didier
didier.benisti@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : De nombreuses applications, telle que la fusion par confinement inertiel, demandent de comprendre les mécanismes physiques liés à la propagation de faisceaux laser très énergétiques dans un plasma. En particulier, dans le cas de la fusion, nous souhaitons quantifier l'efficacité avec laquelle cette cible peut être comprimée pour déclencher les réactions de fusion. Or, lors de leur propagation, les faisceaux laser créent une onde plasma qui croît au détriment de l'énergie laser incidente. La croissance de cette onde plasma s'arrête lorsque l'onde déferle, ce qui s'accompagne de la production d'électrons chauds pouvant préchauffer la cible et entraver sa compression.

Le but de la thèse est d'étudier le déferlement à la fois d'un point de vue théorique et numérique, en utilisant des codes cinétiques de type Vlasov. Il s'agit, de plus, de décrire le déferlement depuis sa phase linéaire jusqu'au régime non linéaire, ce qui permet de quantifier la création d'électrons chauds.

Objectif de la thèse : Le but de la thèse est d'aboutir à une modélisation théorique de la diffusion Raman stimulée allant jusqu'au calcul des électrons chauds résultant du déferlement de l'onde plasma, qui est lui-même dû à la croissance instable de modes satellites. Dans un premier temps, on établira la description théorique, à un niveau purement linéaire, de cette instabilité. Les résultats linéaires seront comparés aux résultats de simulations cinétiques de type Vlasov, sur des plasmas de dimensions réduites et dans une géométrie unidimensionnelle. La difficulté à surmonter, à la fois d'un point de vue théorique et numérique, réside dans la discontinuité des fonctions de distribution à étudier. Concernant les simulations numériques, on pourra s'appuyer sur les méthodes de type Galerkin-discontinu, qui semblent bien adaptées à ce problème.

Dans un deuxième temps, on s'intéressera au régime non linéaire de l'instabilité et à la création d'électrons chauds. On étudiera en particulier la possibilité de modéliser le régime non linéaire à partir d'une approche de type diffusive, c'est-à-dire en utilisant une équation de Fokker-Planck. Il s'agira aussi de déterminer si la diffusion s'établit dans un régime de type chaotique ou de type quasi-linéaire. Là encore, les prédictions théoriques seront comparées aux résultats de simulations Vlasov.

Enfin, dans une troisième partie, on essaiera de modéliser de manière la plus simple possible la création d'électrons chauds. Cette modélisation aura vocation à être utilisée dans les codes permettant de dimensionner les expériences sur le Laser Mégajoule.

Déroulement de la thèse : La première partie de la thèse sera consacrée à l'établissement d'une théorie linéaire adaptée à la discontinuité de la fonction de distribution. On passera ensuite aux aspects numériques et à l'écriture d'un code Vlasov traitant correctement les discontinuités. Enfin, dans la dernière partie, on estimera la production d'électrons chauds au travers d'une théorie quasilineaire de l'instabilité.

Compétences souhaitées : Physique des plasmas, Physique théorique, Méthodes numériques

Méthodes et logiciels spécifiques : Programmation C++, FORTRAN

DIRECTEUR DE THESE

BENISTI Didier
didier.benisti@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

572
Ondes et Matière (OM)
Université Paris Sud
Bât. 510
91405 ORSAY CEDEX

ENCADRANT

BENISTI Didier
didier.benisti@cea.fr

CENTRE

CEA 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

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

ECOLE DOCTORALE

579

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

ENCADRANT

BERNECKER Benoît
benoit.bernecker@cea.fr

CENTRE

CEA 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 the letters.

Simulation d'une source gamma énergétique générée par un laser ultra-intense

Physique des plasmas et interactions laser-matière

Contexte : Grâce à l'émergence de nouvelles installations laser de forte puissance (multi-petawatts), l'interaction du faisceau laser ultra-intense avec un plasma permet de successivement accélérer des électrons à haute énergie (plusieurs GeV), produire des photons gamma de hautes énergies (quelques dizaines de MeV à plusieurs GeV) lors de l'interaction des électrons accélérés avec le champ laser intense, et générer des paires électron-positron lors de la désintégration de ces photons gamma sous l'effet du champ laser de grande amplitude.

Le but de cette thèse sera d'étudier cette nouvelle physique, et d'estimer les caractéristiques des sources gamma qu'on peut ainsi produire.

Objectif de la thèse : L'émission des photons gamma et leur désintégration sous forme de paires sont décrites par les lois de l'électrodynamique quantique en champ fort (QED en champ fort). Cette théorie modélise l'interaction entre le rayonnement et des particules chargées, dans un régime extrême caractérisé par des effets relativistes et quantiques, en présence d'un champ électromagnétique de forte amplitude. Outre l'étude fondamentale de ce régime exotique qui peut expliquer la formation de matière à partir de lumière, atteindre ce régime dans des expériences permettra de générer de source gamma de hautes énergie et très brillantes. En effet, les efficacités de conversion de l'énergie laser vers les photons gamma devraient être très importantes dans ces conditions d'interaction, ce qui ouvre des perspectives intéressantes pour les applications nécessitant de telles sources gamma.

Le but de cette thèse sera de simuler la production de ces sources gamma avec le code PIC (Particle-In-Cell) CALDER développé dans l'équipe et dédié à la simulation de ce type de physique (interaction d'un laser ultra-intense avec un plasma, émission de photons et de paires dans le régime de QED en champ fort). Le/La candidat(e) s'attachera à simuler des scénarios d'interaction laser-cible qui sont prévus dans des expériences dédiées à la génération de ces sources gamma, et de proposer des solutions pour optimiser ces sources.

Déroulement de la thèse : La thèse débutera par la prise en main du code CALDER, et par l'étude de la bibliographie nécessaire à la compréhension de ce sujet. Ensuite, un travail de simulation portera sur l'analyse d'expériences réalisées sur ce sujet par nos collaborateurs en 2023 et 2024. Suite à la meilleure compréhension des résultats expérimentaux, le/la doctorant(e) pourra proposer des améliorations pour les prochaines expériences, voire étudier de nouveaux scénarii pour optimiser la production des sources gamma, et la production de paires électrons/positrons grâce aux processus de QED en champ fort.

DIRECTEUR DE THESE

SEBBAN Stéphane
stephane.sebban@ensta-paris.fr

ECOLE DOCTORALE

626
Institut Polytechnique de PARIS
(IP PARIS)
Route de Saclay, 91120
PALAISEAU

ENCADRANT

DAVOINE Xavier
xavier.davoine@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Les magnétosphères planétaires du système solaire sont le lieu d'évènements intenses, impliquant et résultant d'une forte variabilité des champs électromagnétiques intimement liés aux plasmas qui peuplent ces zones. La magnétosphère terrestre est celle pour laquelle on dispose de plus de mesures, qui ont permis de valider (ou invalider) les simulations visant à reproduire les phénomènes physiques principaux que l'on peut y trouver : ailes d'Alfvén, plasmoides, oval auroral...

Pour étudier ces mécanismes, de nombreux codes de simulation ont vu le jour, se concentrant majoritairement sur les interactions entre le vent solaire et la magnétosphère externe (ou météo spatiale).

Le but de cette thèse est d'étudier les transferts d'énergie entre les champs électromagnétiques et les plasmas, pour des conditions pouvant s'appliquer aux magnétosphères planétaires mais aussi aux expériences laser qui étudient les mêmes phénomènes à plus petite échelle.

Objectif de la thèse : A l'aide des outils développés dans l'équipe (comme le code MHD CLOVIS) et des moyens mis à disposition par le CEA, le/la candidat(e) s'intéressera à la distribution de cette énergie et à son impact sur différents mécanismes. En particulier, les expériences menées ces dernières années, essentiellement au LAPD (LArge Plasma Device), serviront de base pour définir les critères clés communs aux expériences, simulations fluides et applications astrophysiques. L'étude des différents régimes de génération de chocs et de cavités diamagnétiques ayant déjà débuté dans l'équipe pourra s'étendre dans un premier temps vers des paramètres et des configurations plus contraignantes car plus réalistes.

Les critères déterminés via les expériences lasers pourront ensuite être transposés au modèle fluide et testés dans des gammes de paramètres plus étendus et plus proches des systèmes astrophysiques. Effectivement, les codes MHD restent plébiscités pour les études de ces milieux aux échelles astronomiques, comme pour les satellites des planètes géantes.

Ces dernières années, les missions s'intéressant à l'environnement jovien créent une dynamique autour de ce système riche en mécanismes physiques intenses. Cette thèse s'inscrit dans ce cadre favorable et s'intègre dans les thématiques d'intérêt pour la communauté scientifique internationale.

Déroulement de la thèse : La thèse se déroulera exclusivement au CEA/DAM Île-de-France et débutera par un travail de recherche bibliographique et de synthèse afin de s'approprier la thématique et les différents formalismes utilisés par les différentes communautés. Simultanément, il faudra développer les outils nécessaires au dimensionnement des simulations les plus pertinentes et à la comparaison des résultats à ceux de la littérature.

Après cette familiarisation avec le sujet et les outils, le/la candidat(e) participera à la production, l'analyse et la mise en forme de résultats pour la publication d'articles et la participation à des conférences, et enfin rédigera son manuscrit de thèse.

Compétences souhaitées : Physique des plasmas, Magnétohydrodynamique

Méthodes et logiciels spécifiques : Méthodes numériques, Python, Fortran

DIRECTEUR DE THESE

RIPOLL Jean-Francois
jean-francois.ripoll@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

572
Ondes et Matière (EDOM)
Rue André Rivière
Bât. 520
91405 ORSAY

ENCADRANT

MENU Mélissa
melissa.menu@cea.fr

CENTRE

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



PHYSIQUE DE L'ÉTAT CONDENSÉ, CHIMIE ET NANOSCIENCES

Amélioration d'explosifs par structuration des cristaux avec le procédé d'Evaporation Flash de Spray

Contexte : De nouvelles voies de formulation de matériaux énergétiques sous forme de granulés de RDX enrobés d'ONTA et d'aluminium enrobé d'ONTA ont été identifiées dans la littérature chinoise et coréenne. La vitesse de détonation annoncée pour un explosif formulé à partir de granulés ONTA-HMX en rapport 1:1 molaire est supérieure à celle de l'octogène avec une sensibilité au choc proche de celle de l'ONTA, ce qui est prometteur dans l'optique de nouveaux explosifs à usage conventionnel.

Nous avons réalisé des simulations thermochimiques de compositions HMX-ONTA-Al à différents taux d'HMX qui montrent une nette amélioration des performances balistiques et de brisance par rapport à l'octogène et la composition PBXN109, sans dégrader les effets de souffle. Ces travaux mettent en exergue une nouvelle voie de formulation permettant d'allier une performance accrue des explosifs et une faible sensibilité (celle de l'ONTA).

Objectif de la thèse : La technique d'Evaporation Flash de Spray (SFE en anglais) développée par le laboratoire NS3E (Nanomatériaux pour des Systèmes Sous Sollicitations Extrêmes) sous tutelle de l'ISL, du CNRS et de l'Université de Strasbourg (UAR 3208) permet d'obtenir une structuration de l'explosif à l'échelle micrométrique à nanométrique. La thèse de Maxime Blanchon (2021-2024) a permis de produire les premières structures cœur-coquilles HMX-ONTA avec un ratio molaire 1:1. Les poudres obtenues présentent une sensibilité intermédiaire entre le HMX et l'ONTA avec des performances détoniques en accord avec la thermochimie, tout en conservant la capacité à détoner sous forme de charges de 3 mm de diamètre.

Ce travail constitue un sujet de thèse novateur et en rupture technologique avec ce qui se fait actuellement. Il est proposé de poursuivre ces travaux par une nouvelle thèse pour compléter la caractérisation des matériaux obtenus et les améliorer en jouant sur la nature des constituants et les balances en oxygène, en mesurant les caractéristiques détoniques à petite échelle sur des charges de dimensions centimétriques, en fonction de la densité, puis en étudiant leur comportement détonique (transition vers la détonation) via des expériences de laboratoire et des simulations.

Compétences souhaitées : Chimie, cristallographie

Méthodes et logiciels spécifiques : Techniques d'analyse optique, RAMAN et RX

Chimie physique et
électrochimie

DIRECTEUR DE THESE

COMET Marc
marc.comet@isl.eu

ECOLE DOCTORALE

222

Sciences chimiques (SC)
CDE / 46 bd de la victoire / 67000
Strasbourg

ENCADRANT

OSMONT Antoine
antoine.osmont@cea.fr

CENTRE

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

The logo for CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) consists of the lowercase letters 'cea' in a white, sans-serif font, positioned above a horizontal white line. The logo is centered within a red square.

Contexte : Le CEA Le Ripault est chargé de concevoir des matériaux variés pour diverses applications, et notamment des matériaux énergétiques. Ceux-ci doivent concilier une performance élevée (autrement dit une densité d'énergie importante) avec une relative insensibilité aux agressions extérieures. Afin d'identifier des composés présentant un compromis satisfaisant entre performance et stabilité, les travaux récents reposent sur des critères basés sur les caractéristiques individuelles des molécules, issus d'un petit nombre d'observations empiriques ou de considérations physiques parfois en contradiction avec les données expérimentales. Pour la majorité des applications, ces travaux n'ont pas permis d'identifier des alternatives satisfaisantes aux molécules synthétisées depuis plusieurs décennies.

Objectif de la thèse : Le but de la thèse est de mettre en place une nouvelle procédure pour la conception de nouveaux matériaux énergétiques, exploitant au mieux les connaissances actuelles sur ces matériaux. Pour cela, de nouveaux critères de sélection des molécules seront introduits, basés sur leur capacité à former des cristaux denses et stables, ainsi que sur une estimation de leur point de fusion. Une attention particulière sera portée à la recherche de cristaux compacts constitués de molécules de grandes tailles, qui constitue théoriquement la voie la plus prometteuse vers l'identification de matériaux énergétiques à la fois performants et stables (notamment du point de vue de la stabilité thermique). Cependant, comme les grandes molécules présentent le plus souvent des formes relativement complexes peu propices à des empilements compacts, cette voie demeure actuellement largement sous-explorée. L'objectif de cette thèse est donc de mener cette exploration de manière approfondie.

Déroulement de la thèse : En plus des nombreux outils disponibles sur internet (chimie quantique, intelligence artificielle...) le(la) doctorant(e) disposera d'outils commerciaux (Cambridge Structural Database) et codes académiques, notamment pour prévoir les structures cristallines (USPEX). Les étapes envisagées pour la thèse sont les suivantes :

1. Recherche d'une corrélation reliant la compacité des cristaux à des descripteurs moléculaires, en appliquant des méthodes de Machine Learning aux données de la Cambridge Structural Database.
2. Sur la base de cette corrélation, recherche de grandes molécules énergétiques susceptibles de conduire à des empilements compacts (et donc à une densité élevée) et compatibles avec des critères de faisabilité synthétique.
3. Mise en place d'une procédure de génération rapide d'empilements cristallins et application de celle-ci aux molécules identifiées ci-dessus.
4. Recommandations au sujet du choix des cibles synthétiques retenues.

Compétences souhaitées : Notions de physico-chimie ou sciences des matériaux

Méthodes et logiciels spécifiques : Programmation

DIRECTEUR DE THESE

MATHIEU Didier
didier.mathieu@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

552

Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers (EMSTU)
ED Energie Matériaux Sciences de la Terre et de l'Univers
Château de la Source 45067
Orléans Cedex 2

ENCADRANTS

WESPISER Clément
clement.wespiser@cea.fr
DANIEL Matthieu
matthieu.daniel@cea.fr

CENTRE

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



Mesure de la vitesse du son dans H₂, He constitutifs des intérieurs des géantes gazeuses

Contexte : La structure interne des planètes Jupiter et Saturne est déduite de modèles théoriques utilisant des équations d'état pour l'hydrogène, l'hélium et leurs mélanges [1]. Or il existe très peu de données expérimentales dans le diagramme de phase de ces systèmes en régime dense et chaud. Nous avons construit un banc de spectroscopie Raman/Brillouin sous chauffage laser pour l'étude des systèmes moléculaires en cellule à enclumes de diamant. Notre nouveau dispositif est basé sur un concept d'interféromètre (VIPA) qui permet de gagner un facteur 20 sur le temps d'acquisition des spectres Brillouin [2]. Il est donc particulièrement adapté à l'étude de ces systèmes fugaces et réactifs.

[1] S. Howard et al., *Astronomy & Astrophysics* 672, A33 (2023).

[2] A. Forestier, G. Weck, F. Datchi & P. Loubeyre, *High Pressure Research*, 42:3, 259-27 (2022).

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse est d'étudier les mélanges hydrogène-hélium en phase fluide à haute pression et haute température. La cellule à enclumes diamant, couplée au chauffage laser, permet d'explorer un vaste domaine de pression et de température représentatif des intérieurs planétaires (1-300 GPa, 300-4000 K). La spectroscopie Raman permet de sonder les changements chimiques susceptibles d'apparaître en conditions extrêmes. La spectroscopie Brillouin donne accès à la vitesse du son adiabatique et aux équations d'état de ces systèmes en phase fluide.

Déroulement de la thèse : Les études seront réalisées sur site, à Bruyères-le-Châtel.

Les résultats attendus de ce travail de thèse sont les suivants :

- Mesure des courbes de fusion de H₂, He et de la courbe de démixtion H₂/He à la concentration proto-solaire jusqu'à 100 GPa.
- Mesure de la vitesse du son dans les fluides denses et chauds de He, H₂ et leurs mélanges, et construction de leurs équations d'état.
- Utilisation de ces nouvelles données pour la modélisation des intérieurs de Jupiter et Saturne.

Compétences souhaitées : Physique du solide, Thermodynamique

Matière ultra-divisée,
physico-chimie des
matériaux

DIRECTEUR DE THESE

LOUBEYRE Paul
paul.loubeyre@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

564
Physique en Île-de-France (PIF)
Université Paris-Saclay
470 rue André Rivière
91405 ORSAY CEDEX

ENCADRANTS

WECK Gunnar
gunnar.weck@cea.fr
FORESTIER Alexis
alexis.forestier@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Les matériaux énergétiques tels que les propergols ou les explosifs représentent un ensemble de molécules à la physico-chimie particulière. Pour chaque application, ceux-ci doivent répondre à des contraintes antagonistes de performances détoniques tout en restant parfaitement stables face à diverses sollicitations. Le CEA est engagé dans une démarche de compréhension de cette physico-chimie à l'échelle moléculaire. D'un côté, les propriétés détoniques de ces matériaux sont assez bien comprises sur la base de la structure moléculaire. En revanche, les aspects de stabilité, notamment thermique, restent difficiles à évaluer à partir de la seule structure moléculaire. Etant donné les risques associés à la manipulation de ces matériaux, cette thèse propose d'étudier la stabilité thermique de molécules énergétiques par simulation moléculaire.

Objectif de la thèse : Les avancées récentes en apprentissage par réseaux de neurones couplés à des calculs DFT permettent de mettre en place des potentiels d'interaction interatomiques ayant une précision proche des calculs de structure électronique, pour une fraction du temps de calcul. Le premier objectif de la thèse sera donc d'établir un tel potentiel d'interaction pour des molécules modèles, représentatives des molécules énergétiques. Lors de cette étape, des techniques d'échantillonnage biaisées, telle que la métadynamique, seront utilisées pour échantillonner des structures proches des états de transitions potentiellement rencontrés lors du processus de décomposition. Ce potentiel sera ensuite interfacé avec un code de dynamique moléculaire, puis utilisé pour étudier le processus de décomposition thermique dans différentes conditions de température et de pression. Ce sera le deuxième objectif, qui consistera à mettre en place un protocole de simulation robuste et reproductible. Finalement, l'objectif final sera la détermination des mécanismes de décomposition les plus probables à partir des trajectoires générées, pour les molécules modèles. En particulier, les variables collectives permettant une interprétation intuitive du processus de décomposition thermique, à l'échelle moléculaire, devront être identifiées. Comme lors de la première étape, des techniques d'apprentissage automatique pour la réduction de dimension seront utilisées.

Déroulement de la thèse : Cette thèse se déroulera en collaboration entre le centre du CEA Le Ripault et le groupe de chimie théorique du département de chimie de l'Ecole Normale Supérieure (Paris).

Compétences souhaitées : Physico-chimie, calculs DFT, première expérience en apprentissage automatique (machine learning) appréciée.

Méthodes et logiciels spécifiques : python, LAMMPS, CP2K, deePMD-kit

DIRECTEUR DE THESE

STIRNEMANN Guillaume
guillaume.stirnemann@ens.psl.eu

ECOLE DOCTORALE

388
Chimie-Physique et Chimie
Analytique (Tour 32-42, 1er étage, pièce 114,
Sorbonne Université, 4 place
Jussieu, 75005 PARIS

ENCADRANTS

WESPISER Clément
clement.wespiser@cea.fr
MATHIEU Didier
didier.mathieu@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : La matière dense et tiède (« Warm Dense Matter ») se retrouve à la frontière de la physique de la matière condensée et de la physique des plasmas. En particulier, elle se caractérise par des températures comparables à celles du niveau de Fermi (103-104 K) et pour des masses volumiques relevant de celles du solide. Dans ce régime de la matière, la bonne connaissance des propriétés de transport, telle la conductivité électrique, est cruciale afin de pouvoir aussi bien modéliser les magnétosphères de planètes rocheuses que les instabilités hydrodynamiques se produisant lors des expériences de fusion par confinement inertiel.

Objectif de la thèse : Le CEA DAM Île-de-France dispose depuis plusieurs années d'installations expérimentales permettant d'étudier la matière sous conditions extrêmes, depuis l'état solide jusqu'au plasma. En particulier, l'Enceinte à Plasma Pulsé (EPP) utilise des décharges pulsées de très forts courants (20-500 kA) pour étudier les changements d'états depuis le solide jusqu'au plasma sur des durées sub-microseconde. L'interprétation et la compréhension de ces diverses expériences nécessitent la comparaison à des codes de simulation hydrodynamique et/ou magnéto-hydrodynamique (MHD).

Déroulement de la thèse : L'objectif de cette thèse consistera à étudier et décrire le comportement en détente de métaux de transition de Z intermédiaires à lourds sous décharge pulsée, ainsi que de quelques alliages modèles. Les données acquises permettront de discriminer des modèles théoriques existants ou d'en développer de nouveaux. Ces modèles pourront être validés par des simulations de MHD.

L'unité d'accueil au CEA DAM Île-de-France est donc à la recherche d'un.e étudiant.e en contrat de thèse dont les tâches principales porteraient sur :

- Une revue bibliographique de l'état de l'art pour les métaux de Z intermédiaire et les mélanges binaires en régime détendu.
- La conception/réalisation/interprétation d'expériences de hautes puissances pulsées sur métaux purs et mélanges binaires.
- La réalisation d'expériences numériques de MHD et confrontation aux expériences.

Compétences souhaitées : • Etudiant.e Bac+5 minimum en fin de cursus ingénierie ou Master 2ème année.

- Connaissances de base en physique de la matière condensée, des plasmas et en électromagnétisme.
- Connaissances de base en programmation.
- Capacités d'organisation, rigueur

DIRECTEUR DE THESE

ECOLE DOCTORALE

ENCADRANTS

JODAR Benjamin
benjamin.jodar@cea.fr
BOUTEILLER Paul
paul.bouteiller@cea.fr

CENTRE

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



Description des transitions de phases dans un système fortement corrélé : le cérium

Physique du solide, surfaces et interfaces

Contexte : Les matériaux à base de lanthanide ou d'actinide ont la particularité d'avoir leur électrons de valence situés dans la bande formée par la sous-couche des orbitales f. Ces états électroniques 4f ou 5f sont généralement partiellement remplis et localisés spatialement, conduisant à de fortes interactions électroniques répulsives qui sont à l'origine de nombreux phénomènes physiques tels que les changements de volumes importants observés le long de la série des actinides, [1] la présence de l'effet Kondo dans le cérium, responsable de l'existence d'un point critique dans une transition solide-solide, [2] ou encore le magnétisme local et dynamique dans le plutonium solide. [3] La compréhension de ces phénomènes nécessite ainsi de pouvoir reproduire ces effets de corrélations électroniques de manière ab initio. Cependant, cette tâche reste un challenge important car il s'agit d'un problème à N-corps complexe.

Objectif de la thèse : Aujourd'hui, l'une des méthodes de choix pour traiter ce type de système est la combinaison de la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT), permettant de décrire de manière précise les électrons délocalisés, avec la théorie du champ moyen dynamique (DMFT) pour le traitement des électrons fortement corrélés. [4] Cette méthode DFT+DMFT permet ainsi de réduire le problème à N-corps du réseau cristallin à un problème d'impureté locale placée dans un bain d'électrons. Le problème à N-corps local peut ensuite être résolu à l'aide d'un solveur Monte-Carlo quantique (QMC). Cette méthode est particulièrement adaptée aux systèmes à électrons f.

Dans les systèmes à électrons f, différents effets physiques agissent : l'interaction coulombienne entre électrons, l'interaction d'échange purement quantique, le couplage spin orbite d'origine relativiste, et la distorsion structurale responsable des transitions de phase et des phonons. Ces effets rendent la mise en oeuvre informatique complexe.

L'objectif du travail est donc de les prendre en compte dans un code de calcul performant (ABINIT) ou dans une librairie associée. Dans un deuxième temps, nous utiliserons cette implémentation afin de décrire l'anharmonicité des phonons des phases alpha et gamma du cérium, et leur contribution entropique qui est actuellement un sujet non résolu.

Déroulement de la thèse : Cette thèse sera co-encadré par B. Amadon et F. Gendron.

[1] K. T. Moore, G. van der Laan, Rev. Mod. Phys. 2009, 81, 235.

[2] (a) B. Chakrabati, M. E. Pezzoli, G. Sordi, K. Haule, G. Kotliar, Phys. Rev. B 2014, 89, 125113.

(b) B. Amadon, A. Gerossier, Phys. Rev. B 2015, 91, 161103.

[3] M. Janoschek et al. Sci. Adv. 2015, 1, e1500188.

[4] G. Kotliar, D. Volhardt, Physics Today 2004, 57, 53.

Compétences souhaitées : Des connaissances en mécanique quantique, en physique-chimie du solide et un goût pour la programmation et l'informatique est indispensable sont requis.

Méthodes et logiciels spécifiques : Physique Quantique, Physique des solides, Bases de programmation

DIRECTEUR DE THESE

AMADON Bernard
bernard.amadon@gmail.com

ECOLE DOCTORALE

564
Physique en île-de-France (PIF)
24 rue Lhomond, 75005 PARIS

ENCADRANTS

AMADON Bernard
bernard.amadon@cea.fr
GENDRON Frédéric
frederic.gendron@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Établir les propriétés d'un matériau en fonction de la température et de la pression est un des plus grands enjeux de la physique moderne. Dans ce cadre, les calculs ab initio jouent un rôle important. En partant d'une description quantique de la structure électronique, ils permettent de caractériser la matière, même dans des conditions thermodynamiques extrêmes pour lesquelles aucune expérience n'est réalisable. Dans ce cadre, les simulations de dynamique moléculaire ab initio (AIMD) permettent de capturer les effets liés à la pression et à la température. Cependant, ces simulations ont un coût de calcul prohibitif et il devient difficile de les répéter pour de nombreux points thermodynamiques afin de construire un diagramme de phases complet.

Objectif de la thèse : Nous avons montré récemment qu'il était possible d'accélérer de deux ordres de grandeur les simulations AIMD en faisant appel à un potentiel interatomique « machine learning » (MLIP) de substitution pour échantillonner la distribution canonique d'équilibre [1,2,3]. Cette stratégie d'apprentissage à la volée garantit d'obtenir une précision quasiment égale à celle d'un calcul AIMD équivalent et est aujourd'hui disponible dans le code python MLACS que nous développons et utilisons en production. Cependant, cela reste très coûteux en temps de calcul (et parfois hors de portée) de répéter ce type de simulations des dizaines/centaines de fois pour échantillonner régulièrement un diagramme de phases.

Durant cette thèse, le/la candidat(e) introduira une méthode optimale et automatique d'échantillonnage. L'objectif est double : réduire le nombre de simulations MLACS nécessaire à la construction d'un diagramme de phases et fournir une incertitude sur le résultat obtenu. Le/La candidat(e) s'appuiera sur des travaux récents de la littérature.

[1] A. Castellano, F. Bottin, J. Bouchet, A. Levitt & G. Stoltz, Phys. Rev. B 106, L161110 (2022).

[2] P. Richard, A. Castellano, R. Béjaud, L. Baguet, J. Bouchet, G. Geneste & F. Bottin, Phys. Rev. Lett. 131, 206101 (2023).

[3] F. Bottin, R. Béjaud, B. Amadon, L. Baguet, M. Torrent, A. Castellano & J. Bouchet, Phys. Rev. B 109, L060304 (2024).

Déroulement de la thèse : Le/La candidat(e) s'attachera à implémenter dans MLACS une méthode d'inférence bayésienne basée sur des processus gaussiens puis effectuera des tests sur des systèmes déjà étudiés dans l'équipe. Enfin, il/elle réalisera des simulations de production sur des systèmes d'intérêt présentant d'importants effets explicites de température et donc nécessitant ce type d'approche. Tous les calculs seront effectués sur les supercalculateurs du CEA DAM.

DIRECTEUR DE THESE

GENESTE Grégory
gregory.geneste@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

571
Molécules, Matériaux,
Instrumentation et Biosystèmes
(2MIB)
Université Paris Saclay
Avenue Jean Perrin
Bât. 350, Bureau 11
91400 ORSAY

ENCADRANTS

BOTTIN François
francois.bottin@cea.fr
BEJAUD Romuald
romuald.bejaud@cea.fr

CENTRE

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

Contexte : Cette thèse porte sur la simulation de matériaux en conditions extrêmes, plus précisément dans le régime dit de la matière dense et tiède. Ce régime correspond à une région du diagramme de phase entre le solide et le plasma où les températures peuvent varier de 0.1 à 100 eV (1 eV ~ 11600 K!) et les pressions peuvent parfois atteindre le TPa ! Ces conditions extrêmes sont par exemple obtenues dans différents corps célestes comme au coeur des planètes. L'étude de la matière dense et tiède est particulièrement complexe car elle nécessite de pousser les techniques, qu'elles soient numériques ou expérimentales, dans leurs retranchements. Du point de vue expérimental, ce régime est difficile à atteindre et très souvent transitoire, ce qui nécessite une capacité à sonder la matière de manière très rapide. Du point de vue de la simulation, des méthodes avancées sont nécessaires pour décrire la structure électronique de la matière, ce qui requiert d'importantes ressources de calcul.

Objectif de la thèse : Le but de cette thèse est l'étude des propriétés électroniques (absorption, coefficients de transport...) de métaux dans le régime dense et tiède par des méthodes basées sur la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT). Elle se fera en collaboration forte avec des physiciens de l'European Spectroscopy Research Facility (ESRF) et du CEA qui effectuent des mesures d'absorption de rayons X de matériaux après choc laser sur le synchrotron de l'ESRF à Grenoble. Une partie importante du travail sera donc focalisée sur le calcul de spectres d'absorption X, en particulier proche du seuil (X-ray Absorption Near-Edge Spectra -XANES-), et leur confrontation aux résultats expérimentaux. Cette confrontation est primordiale pour l'interprétation des spectres expérimentaux. L'un des objectifs sera de trouver une méthodologie fiable afin de remonter à la température à partir des spectres XANES, puisque c'est l'une des grandeurs les plus difficiles à mesurer expérimentalement. Les simulations numériques se feront sur les supercalculateurs du CEA grâce au code ABINIT, un projet collaboratif international dont notre groupe est l'un des principaux membres. Ce projet comporte également un volet méthodologique dont le but est d'améliorer les méthodes de calcul dans ABINIT, par exemple en utilisant des approches de type machine learning afin d'accélérer considérablement les calculs.

Déroulement de la thèse : Les principales étapes de la thèse seront :

Première année :

- Travail bibliographique
- Prise en main de la chaîne de calcul actuelle dans ABINIT
- Premiers calculs de spectres XANES

Deuxième année :

- Calculs en collaboration avec les expérimentateurs ; publication scientifique associée
- Exploration d'une ou plusieurs améliorations de la chaîne de calcul dans ABINIT

Troisième année :

- Calculs (incluant les améliorations) en collaboration avec les expérimentateurs ; publication scientifique associée
- Rédaction du manuscrit de thèse

Compétences souhaitées : Une connaissance des bases de la physique du solide et de la mécanique quantique, ainsi qu'un intérêt pour le calcul scientifique et la programmation sont nécessaires. Une bonne connaissance de la DFT ou du langage de programmation Fortran serait un plus.

DIRECTEUR DE THESE

TORRENT Marc
marc.torrent@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

564
Physique en Île-de-France
(EDPIF)
24 rue Lhomond
75005 PARIS

ENCADRANTS

BRIEUC Fabien
fabien.brieuc@cea.fr
BOUST James
james.boust@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Les matériaux composites à matrice céramiques sont employés pour leur haute résistance mécanique en température (1000°C et plus). Ces matériaux fonctionnent par le biais d'un endommagement qui survient dès les premières sollicitations et le domaine élastique souvent restreint. La détermination de la loi de comportement nécessite l'établissement d'un modèle, la détermination des paramètres de ce modèle demandant la mesure la plus complète possible en température du couple contrainte/déformation pour des géométries d'intérêt, y compris en sollicitations complexes. Cette mesure est délicate à haute température et pose problème aux techniques usuelles de mesure de déformation. Une solution est alors d'utiliser la tomographie X qui donne accès à l'intégralité du champ de déplacement.

Objectif de la thèse : Dans le cadre des travaux de thèse proposés, le(la) candidat(e) aura à réaliser des essais mécaniques sous tomographie X de différentes natures (flexion, traction, torsion, ...) sur un composite composite à matrice céramique (CMC) oxyde/oxyde stratifié. Ces essais seront analysés par corrélation d'image volumique, une technique que le(la) candidat(e) devra continuer à développer sur la base de travaux antérieurs. Les résultats obtenus alimenteront une loi de comportement endommageable que le(la) candidat(e) devra déterminer par le biais d'un dialogue essai-calcul, tout cela en température jusqu'à 800°C-1000°C. Enfin le(la) candidat(e) devra étudier la phénoménologie de l'endommagement du matériau (développement de fissures, rôle des porosités, ...) accessible à température ambiante aussi bien qu'à des températures élevées grâce à la tomographie X.

Déroulement de la thèse : La thèse sera principalement réalisée au sein du CEA Le Ripault (Tours). Ponctuellement, des déplacements pourront être nécessaires sur le site de l'Université de rattachement. Le sujet convient à un profil de candidat(e) associant des connaissances théoriques solides en matériaux et modélisation thermo-mécanique, avec un attrait pour la recherche appliquée. Sujet pluridisciplinaire, cette thèse permettra le développement de compétences liées à la modélisation de comportements thermo-mécaniques couplés aux effets environnementaux, aux procédés et aux tests en conditions extrêmes.

Compétences souhaitées : Compétences en essais mécaniques et en calculs éléments finis

DIRECTEUR DE THESE

ECOLE DOCTORALE

ENCADRANT

QUET Aurélie
aurelie.quet@cea.fr
BERNARD Benjamin
benjamin.bernard@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Le CEA cherche à mettre au point des matériaux spécifiques du point de vue de leurs propriétés microstructurales et de leurs propriétés thermiques à différentes échelles, afin d'obtenir des matériaux optimisés pour des applications à haute température. Une démarche de modélisation avancée a été initiée en collaboration avec l'Institut PPrime de l'Université de Poitiers dans le cadre de travaux de thèse précédents, pour prendre en compte les deux modes de transfert de chaleur dans des structures poreuses, à savoir la conduction de la chaleur dans le milieu et le rayonnement dans les pores et le solide si celui-ci est semi-transparent. La prédiction des propriétés thermiques théoriques a pu être menée sur une réalisation 3D numérique représentative du matériau pour chaque mode de transfert par des procédés entièrement stochastiques : marcheurs browniens pour simuler la conduction et lancer de rayons pour simuler le rayonnement.

Objectif de la thèse : L'objectif de cette thèse est de finaliser le développement de l'outil de modélisation stochastique du transfert thermique couplé du point de vue de son optimisation numérique et de confronter les prédictions des simulations aux résultats expérimentaux. Le couplage conducto-radiatif est réalisé par itération entre les deux modules de calcul existants, le champ de température alimentant le terme d'émission dans le problème radiatif, et le champ de luminance se traduisant par l'apparition d'un terme source de puissance volumique radiative dans le bilan d'énergie. Le travail d'optimisation sera mené pour rendre les procédures de calcul stochastique plus rapidement convergentes (implantation d'algorithmes de minimisation, parallélisation...). Ce travail pourra s'appuyer sur une démarche similaire en cours au CEA CESTA (Bordeaux). D'autre part, il s'agira aussi de valider expérimentalement l'outil numérique en le confrontant aux mesures issues d'un dispositif de caractérisation de la diffusivité thermique et d'un dispositif permettant d'étudier le comportement thermique instationnaire d'un matériau soumis à un flux de chaleur intense pendant une durée limitée. A cette fin, le code devra évoluer afin de prendre en compte des structures poreuses variées (mousses réfractaires, treillis...) via des arrangements réalistes, obtenus par tomographie. L'objectif final de ce travail est d'aboutir à une chaîne de simulation numérique, complète et validée, du couplage conducto-radiatif dans des milieux de microstructures précises et représentatives des matériaux envisagés comme isolants thermiques à hautes températures.

Déroulement de la thèse : Les travaux de thèse se dérouleront au CEA Le Ripault. Le(la) doctorant(e) s'appuiera sur les moyens de caractérisation thermique du CEA Le Ripault et profitera des échanges réguliers entre les équipes du Ripault et du CESTA. Des réunions d'avancement mensuelles seront organisées avec les encadrants afin de faire le point sur l'avancée des travaux.

Méthodes et logiciels spécifiques : Langages C, MatLab

DIRECTEUR DE THESE

ENGUEHARD Franck
franck.enguehard@univ-poitiers.fr

ECOLE DOCTORALE

651
Science et Ingénierie des
Matériaux, Mécanique,
Energétique (MIMME)
Université de Poitiers, bât H1
SP2MI, 11 Bd Marie et Pierre
Curie, Téléport 2, 86360
FUTUROSCOPE CHASSENEUIL

ENCADRANTS

ROCHAIS Denis
denis.rochais@cea.fr
DAOUT Cyril
cyril.daout@cea.fr

CENTRE

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



Comportement non-élastique de composites carbonés par simulations de dynamique moléculaire

Contexte : La capacité des matériaux composites C/C à maintenir des propriétés mécaniques élevées jusqu'à de très hautes températures (supérieures à 3000 K), associée à leurs faibles densités, justifie l'utilisation de ces matériaux en conditions extrêmes, notamment dans des applications aérospatiales et de dissuasion. Cependant, en raison de la très forte anisotropie de leurs constituants, de leur ordre cristallin partiel, et de la difficulté à effectuer certains tests dans les conditions d'utilisation, la relation entre la structure de ces matériaux et leur comportement mécanique est incomplète. Notamment, la prédiction du comportement individuel des différents constituants (fibres, matrices) aux petites échelles est une étape fondamentale dans la mise au point de matériaux virtuels aux échelles du composite ou de la pièce.

Objectif de la thèse : Le développement récent d'une méthode de synthèse numérique de carbones denses anisotropes (PolyGranular Image Guided Atomistic Reconstruction PG-IGAR) a permis la reconstruction d'une grande base de données de microstructures de matrices de pyrocarbones (pyCs) anisotropes de l'ordre de $12 \times 12 \times 12 \text{ nm}^3$ [1,2]. Les propriétés structurales et texturales de ces matériaux ont été finement analysées et mises en regard avec leur constantes élastiques [3], éléments essentiels à la mise en place de lois de comportement aux échelles supérieures [4,5].

L'objectif de cette thèse est de caractériser les mécanismes de déformation non linéaires des matrices de pyrocarbone (pyC) et des fibres de carbone, sortant ainsi du cadre de l'élasticité classique, déjà abordé dans une précédente thèse.

Déroulement de la thèse : La méthode PG-IGAR a récemment été implémentée dans un code de dynamique moléculaire hautement parallélisable, permettant la génération de microstructures de plus grande taille, plus adaptée à l'étude de leur comportement mécanique en grandes déformations. Elle sera également adaptée à la génération de textures plus complexes comme celle des fibres de carbone (Cf). Finalement, les synthèses de nanocomposites pyC/Cf et pyC-diamant, en tant que modèles des composites SiC/SiC à interphases de pyC, seront également envisagées. Les comportements de ces systèmes en grandes déformations seront étudiés sous plusieurs angles. Premièrement, on étudiera l'influence de la vitesse de déformation et de la taille des systèmes sur leur réponse mécanique. On abordera également la détermination de leurs surfaces d'écoulement sous cisaillement et traction/compression, éléments permettant de calibrer et d'informer les modèles aux échelles supérieures. Enfin, des simulations spécifiques seront mises en place afin d'aborder les problématiques de propagation et déviation de fissures aux abords des interfaces dans les nanocomposites.

Compétences souhaitées : Formation plutôt orientée sur la physique et la mécanique des matériaux, sciences des matériaux avec un penchant sur la modélisation numérique

Méthodes et logiciels spécifiques : python ; linux ; C ; C++

Physique mésoscopique

DIRECTEUR DE THESE

LAFOURCADE Paul
paul.lafourcade@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

564

Physique en Île-de-France
Ecole Normale Supérieure, 24 rue
Lhomond, 75005 Paris

ENCADRANT

LAFOURCADE Paul
paul.lafourcade@cea.fr

CENTRE

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



Modélisation multiéchelle du comportement thermo-mécanique d'un cristal moléculaire : le HMX

Contexte : Le comportement thermomécanique des matériaux énergétiques (explosifs) est extrêmement complexe du fait de leur structure interne. Ces matériaux sont des cristaux moléculaires dont les propriétés en température et en pression diffèrent de celles de matériaux métalliques ou céramiques. Afin de construire une loi de comportement à l'échelle continue, exploitable dans des codes de simulations de type éléments finis, une chaîne de calcul multiéchelle a été mise en place ces dernières années. Cette chaîne exploite les simulations de dynamique moléculaire classique, où les interactions interatomiques sont résolues via un potentiel interatomique calibré sur des calculs ab initio et résultats expérimentaux.

L'objectif de la thèse est de bâtir une loi de comportement pour le HMX à partir des simulations atomistiques.

Objectif de la thèse : L'objectif est de bâtir une loi de comportement à l'échelle continue pour le HMX à partir de simulations atomistiques.

Les compétences acquises seront en lien avec la simulation multiéchelle : simulations atomistiques de dynamique moléculaire, simulations continues en champ de phase, et en lien avec la mécanique : mécanismes de déformation, formulation continue. D'autres compétences liées aux outils seront aussi développées : High Performance Computing (HPC), développement d'outils d'analyse en python, calibration et optimisation.

Déroulement de la thèse : La première partie de la thèse sera dédiée à la mise en place des simulations de dynamique moléculaire. A l'aide de ces simulations à l'échelle moléculaire, certaines propriétés thermodynamiques de l'explosif pourront être calculées. Ces simulations seront également exploitées pour mieux comprendre les mécanismes de déformation impliqués dans le comportement sous haute vitesse de déformation et sous choc. Une fois les propriétés thermodynamiques calculées et les mécanismes de la déformation identifiés, la seconde partie de la thèse consistera à construire une loi de comportement à l'échelle continue. Les simulations à l'échelle continue seront ensuite validées par comparaison directe avec les simulations à l'échelle atomique et potentiellement avec des mesures expérimentales aux échelles compatibles. La littérature contient déjà beaucoup d'éléments concernant ce matériau et le code de mécanique que l'on développe au CEA permet d'ores et déjà d'exploiter les lois de comportement de la littérature. Enfin, la nouvelle loi de comportement sera exploitée pour étudier le comportement de polycristaux de HMX sous choc.

Méthodes et logiciels spécifiques : Python

Physique mésoscopique

DIRECTEUR DE THESE

LAFOURCADE Paul
paul.lafourcade@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

564
Physique en Île-de-France
(EDPIF)
Ecole Normale Supérieure, 24 rue
Lhomond, 75005 PARIS

ENCADRANTS

MAILLET Jean-Bernard
jean-bernard.maillet@cea.fr
LAFOURCADE Paul
paul.lafourcade@cea.fr

CENTRE

CEA 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.

PHYSIQUE THÉORIQUE

Contexte : Au-delà du fer, certains éléments instables tels que les deux isotopes les plus abondants de l'uranium se séparent naturellement en deux noyaux plus légers. La dynamique de ce mécanisme réactionnel dit de fission, principe fonctionnel du cœur de nos centrales nucléaires et à l'œuvre dans la nucléosynthèse lors de la fusion d'étoiles à neutrons, n'est pas encore bien saisie par les modèles théoriques. Les fragments issus des réactions de fission se dés excitent en émettant majoritairement des neutrons et des raies γ . Ces émissions, accessibles expérimentalement, nous renseignent sur les paramètres des modèles que sont le partage de l'énergie d'excitation du noyau fissible entre les deux fragments, leurs distributions de spin et leurs déformations. Ainsi, la mesure des émissions promptes de fission permet actuellement une compréhension plus fine du processus de fission.

Objectif de la thèse : La thèse en physique nucléaire expérimentale vise à améliorer notre description de la formation des fragments de fission. Leurs propriétés, après scission du noyau, ne sont pas observables mais peuvent être déduites en mesurant les neutrons et raies γ issues de leur dés excitation. Ainsi, l'étudiant(e) prendra part à des expériences de fission spontanée (CEA/DIF) et induite par neutron à NFS/GANIL. Le dispositif de détection des fragments et raies γ émises comportera une double chambre à fission et un spectromètre γ (SFyNCS). L'étudiant(e) sera en charge des détecteurs, de l'analyse des données pour déterminer l'énergie cinétique et la masse des fragments et le nombre et l'énergie des raies γ . L'étudiant(e) s'intéressera aussi à mesurer les émissions de neutrons. Une nouvelle méthode, liée à l'intelligence artificielle, sera requise pour obtenir les distributions de probabilités des émissions. Ces mesures inédites seront comparées aux prédictions des modèles : l'objectif final sera de contraindre les distributions de spin et la répartition d'énergie d'excitation entre les fragments.

Déroulement de la thèse : L'étudiant(e) s'intéressera au fonctionnement des deux détecteurs et l'analyse de l'expérience de fission spontanée (2025). Il/elle sera amené(e) à employer des outils d'acquisition numérique et à construire un code d'analyse (C++/ROOT, python) intégrant la simulation des détecteurs (GEANT4). Il/elle participera ensuite à la seconde expérience de fission induite (GANIL, 2026). Les résultats lui permettront d'interpréter les grandeurs mesurées à la lumière des prédictions théoriques décrivant la formation et décroissance des fragments de fission. Pour cela, une collaboration avec le laboratoire L2IT (Université Paul Sabatier) pourra être envisagée. Au fil de la thèse, l'étudiant(e) profitera des compétences expérimentales et théoriques de l'équipe. Il/elle sera invité(e) à participer aux autres recherches du groupe, et à communiquer ses travaux au sein de journaux à comité de lecture et de conférences internationales.

DIRECTEUR DE THESE

GAUDEFROY Laurent
laurent.gaudefroy@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

576

Particules Hadrons Energie et
Noyau : Instrumentation, Image,
Cosmos et Simulation
(PHENIICS)

Campus scientifique Orsay, rue
André Ampère Bâtiment 200,
91405 Orsay Cedex

ENCADRANT

FOUGERES Chloé
chloe.fougeres@cea.fr

CENTRE

CEA 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.

Etude de la désexcitation radiative du noyau avec une méthode de type Oslo

Contexte : La capture d'un neutron par un noyau amène à un noyau composé prompt à se désexciter en émettant des raies gammas si l'énergie d'excitation est inférieure à quelques MeV. Ce processus est appelé capture radiative. Cette réaction dont on sait précisément mesurer la section efficace pour des noyaux stables ou proches de la vallée de stabilité, reste difficilement mesurable pour des noyaux plus exotiques. Les modèles de réactions nucléaires basés sur les noyaux stables peinent à apporter des prédictions fiables sur ces noyaux exotiques. Des avancées ont permis d'entrevoir des voies d'améliorations significatives en s'intéressant aux ingrédients plus microscopiques, qui restent accessibles à des mesures : la fonction de force gamma et la densité de niveaux. Ceux-ci gèrent respectivement la manière dont la cascade gamma se déroule et la structure du noyau à haute énergie d'excitation. Leur amélioration a un impact direct sur la prédiction des sections efficaces pour des noyaux instables.

Objectif de la thèse : Cette thèse en physique nucléaire expérimentale vise une mesure précise de ces ingrédients utilisés dans les modèles de réaction. Cela nécessite de mettre en place un dispositif expérimental complexe composé de détecteurs NaI et de Si afin d'extraire les bonnes observables pour les noyaux à étudier créés lors d'une réaction nucléaire. La mise en œuvre de ces détecteurs et l'analyse de données seront les objectifs principaux de la thèse. Une comparaison avec différents modèles théoriques constituera l'objectif final de la thèse. Des implications de la mesure au niveau astrophysique seront aussi regardées.

Déroulement de la thèse : L'étudiant(e) participera au montage, aux tests de mise en fonctionnement de cet ensemble de détection, ainsi bien sûr qu'à l'expérience au sein de l'équipe. Pour l'analyse et l'interprétation, une partie de la thèse sera consacrée à la simulation précise du détecteur, en utilisant le code de simulation GEANT4. Il(elle) sera impliqué(e) dans l'utilisation du système d'acquisition numérique associé à l'ensemble de détection. Les premières mesures sont prévues pour fin 2025, début 2026. Les noyaux à étudier seront créés à l'aide de réactions (d,p) sur notre accélérateur ou d'autres (d,X) sur celui de l'IJCLab d'Orsay. Les améliorations recherchées ont un impact direct sur la prédiction des sections efficaces pour des noyaux instables que l'on trouve notamment dans la nucléosynthèse stellaire. La prochaine étude pourrait s'intéresser à l'isotope ^{188}Re qui, associé au ^{187}Os , constitue un cosmo-chronomètre d'intérêt pour le processus s. L'étudiant(e) sera responsable de l'analyse et l'interprétation de ces premières mesures. L'étudiant(e) bénéficiera de l'expertise de l'équipe tant expérimentale que théorique pour développer le sujet. L'étudiant(e) pourra être amené(e) à participer à d'autres expériences du groupe, notamment au GANIL, à communiquer ses résultats au cours de conférences internationales et à publier des articles scientifiques dans des revues à comité de lecture.

Compétences souhaitées : Physique nucléaire, instrumentation, programmation, anglais

Méthodes et logiciels spécifiques : C++

Physique nucléaire

DIRECTEUR DE THESE

ROIG Olivier
olivier.roig@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

576

Particules, Hadrons, Energie,
Noyau, Instrumentation, Imagerie,
Cosmos, Simulation (PHENIICS)
91405 Orsay Cedex

ENCADRANT

FOUGERES Chloé
chloe.fougeres@cea.fr
ROIG Olivier
olivier.roig@cea.fr

CENTRE

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

The logo of the Centre for Energy and Environment (cea) is displayed in white text on a red square background. The letters 'cea' are in a lowercase, sans-serif font, with a horizontal line underneath the 'a'.

Contexte : La fission est l'une des réactions nucléaires les plus difficiles à décrire, reflétant la diversité des aspects dynamiques du problème à N-corps. Au cours de ce processus, le noyau explore des états de déformations extrêmes aboutissant à la formation de 2 fragments. Alors que le nombre de degrés de liberté (DLC) mis en jeu est extrêmement grand, l'approximation de champ moyen est un bon point départ qui opère une réduction drastique des DLC, l'élongation et l'asymétrie étant incontournables. Cette réduction introduit des discontinuités dans la génération successive des états par lesquels le noyau transite, la continuité en énergie n'assurant pas la continuité des états issus d'un principe variationnel. Récemment, une nouvelle méthode, basée sur des contraintes associées aux recouvrements de fonctions d'onde, a été mise en œuvre afin d'assurer cette continuité jusqu'à la scission et au-delà (vallée de Coulomb). Cette continuité est capitale pour décrire la dynamique du processus.

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse que nous proposons est de réaliser pour la première fois la mise en œuvre à 2 dimensions de cette nouvelle approche afin de prendre en compte l'ensemble de la collectivité générée par l'élongation et l'asymétrie. Les développements théoriques et numériques s'inscrivent dans le cadre de la méthode de la coordonnée génératrice dépendant du temps. Ce type d'approche contient une première étape statique, qui consiste en la génération de surfaces d'énergie potentielle (PES), obtenues par des calculs Hartree-Fock-Bogoliubov sous contraintes, et une seconde étape dynamique, qui décrit la propagation dynamique d'un paquet d'onde sur ces surfaces via la résolution de l'équation de Schrödinger dépendant du temps. C'est à partir de cette 2ème étape que les observables sont en général extraites.

Déroulement de la thèse : 1) Construire des PES à 2 dimensions pour l'état de plus basse énergie et les premiers états excités. Cela mettra en œuvre les 3 algorithmes Link, Drop et Deflation.
2) Résoudre l'équation dynamique sans et avec excitations.
3) Extraire des observables accessibles par ce type d'approches : les rendements, le bilan énergétique à la scission, la déformation des fragments, le nombre moyen de neutrons émis. Nous souhaitons en particulier étudier l'impact des excitations intrinsèques sur les observables de fission, qui se manifestent essentiellement dans la descente du point selle vers la scission. Enfin, ces résultats seront confrontés aux données expérimentales, dans des actinides et des pré-actinides d'intérêt. Notamment, les mesures récentes très précises, obtenues par les expériences SOFIA pour des noyaux peu à très exotiques, devraient contribuer à tester la précision et la prédictivité de nos approches, et à guider les futurs développements des approches à N-corps et de l'interaction nucléaire dans le cadre de la fission.

Méthodes et logiciels spécifiques : C++, Python

DIRECTEUR DE THESE

VIDEAU Laurent
laurent.videau@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

576
Particules, Hadrons, Energie,
Noyau, Instrumentation, Imagerie,
Cosmos et Simulation
(PHENIICS)
Université Paris-Saclay
Bât. 100
15 rue George Clémenceau,
91405 ORSAY CEDEX

ENCADRANT

PILLET Nathalie
nathalie.pillet@cea.fr

CENTRE

CEA 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 : Avec l'exploration de plus en plus avancée des planètes de notre système solaire et la découverte de plus de 5000 exoplanètes dans des systèmes stellaires voisins, il est de plus en plus nécessaire de développer des modèles détaillés de structure et d'évolution de ces objets. Un des points d'achoppement se situe dans la caractérisation physique et thermodynamique de mélanges complexes particulièrement communs dans ces objets : mélanges hydrogène-hélium, hydrogène-eau, eau-silicates, silicates-fer,... ainsi que de nombreux autres. Or, les propriétés de ces mélanges influencent très grandement l'évolution des planètes : différenciation et effet dynamo dans les planètes rocheuses, sédimentation de l'hélium dans les planètes géantes, inhibition du refroidissement des planètes glacées... Il est donc essentiel de pouvoir caractériser le comportement de ces systèmes dans des conditions extrêmes.

Objectif de la thèse : Les simulations ab initio ont apporté des progrès immenses en la matière en permettant de caractériser avec précision des systèmes complexes et ce en tenant compte du caractère quantique des électrons. Ces simulations sont toutefois très exigeantes en temps de calcul et sont limitées à des systèmes de petite taille. Pour accélérer le calcul et accéder à des temps de simulation plus longs pour des systèmes beaucoup plus larges, il est possible d'utiliser des potentiels numériques calibrés sur une base de donnée de simulations ab initio à l'aide de l'apprentissage automatique.

L'objectif de ce projet de thèse est de développer des outils pour le développement de potentiels numériques hautement fidèles pour les intégrer dans différents types de simulations permettant de caractériser les transitions de phase dans des mélanges complexes.

Déroulement de la thèse : Il s'agira tout d'abord de réaliser une série de simulations ab initio sur des systèmes complexes tels que le mélange eau-silicates et silicates-fer qui sont essentiels dans les planètes géantes glacées et les super-Terres. Il sera ensuite nécessaire de développer des potentiels numériques capables de reproduire le plus précisément possible l'ab initio pour ensuite les utiliser et caractériser les transitions de phases à ultra-haute pression selon plusieurs méthodologies complémentaires. Le tout permettra d'offrir des contraintes fiables sur les structures de plusieurs types de planètes ainsi que sur les scénarios de formation. Au cours de cette thèse, l'étudiant(e) aura l'opportunité d'interagir avec de nombreux experts numériques, mais également de participer à des campagnes expérimentales et d'échanger avec des astrophysiciens.

Compétences souhaitées : Des connaissances en physique théorique sont nécessaires, notamment en physique statistique et en thermodynamique.

Méthodes et logiciels spécifiques : Python, Linux

DIRECTEUR DE THESE

ECOLE DOCTORALE

ENCADRANT

SOUBIRAN François
francois.soubiran@cea.fr

CENTRE

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

SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR

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 résistant 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 sera la première étape. Dans une deuxième étape du travail de la thèse, une démarche de modélisation innovante sera proposée. 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/DAM Île-de-France ou dans le laboratoire universitaire à Bordeaux. Il sera demandé au(à la) candidat(e) la rédaction d'articles et de rapports complétée par la présentation orale de son travail.

Compétences souhaitées : Connaissance de base des principes de fonctionnement des composants électroniques analogiques élémentaires tels que les transistors et les diodes. Expérience dans le domaine de la simulation numérique appliquée à l'électronique. Expérience dans la mise en oeuvre de mesures électriques avec des appareils de laboratoire.

Méthodes et logiciels spécifiques : modélisation numérique, Spice, VHDL-AMS

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

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



Contexte : Le CEA Gramat est le centre de référence de la Défense en vulnérabilité des systèmes et des infrastructures et efficacité des armements. Il étudie notamment la vulnérabilité de composants électroniques aux effets induits par des particules de haute énergie. Ces études ont pour objectif d'estimer le degré de susceptibilité de ces systèmes en environnement radiatif sévère. Les technologies de composants électroniques évoluent rapidement pour répondre aux exigences croissantes de vitesse, transmission de puissance, compacité, bande passante, fonctionnement à des températures élevées. Les nouveaux composants vont permettre de répondre aux besoins futurs des applications hyperfréquences et aux problématiques de la commutation rapide de puissance. Dans le cadre des domaines de l'aérospatial, de la défense, du nucléaire, du médical, et des recherches de physiques, ces composants devront en plus résister à l'impact de rayonnements ionisants.

Objectif de la thèse : L'objectif de cette thèse est d'étudier l'impact de rayonnements ionisants (exemples : X, électrons, protons...) sur des composants innovants utilisés dans le domaine de l'émission en radio-fréquence et en commutation rapide. L'étude envisagée porte principalement sur des matériaux à grand gap (exemple GaN et SiC) mais d'autres technologies prometteuses pourront être envisagées. Les composants seront étudiés dans des régimes de fonctionnement dynamiques dans leur contexte d'utilisation. Cette thèse sera constituée d'un volet expérimental important qui permettra d'observer et de quantifier les effets de l'irradiation sur les différents composants. En parallèle, le second volet aura pour objectif de modéliser et d'expliquer les effets observés, notamment en dynamique, afin de déterminer quelles structures et quels matériaux sont les plus aptes à être utilisés dans les futures applications.

Déroulement de la thèse : Cette thèse s'effectuera avec le laboratoire XLIM de l'Université de Limoges et fera l'objet de collaborations avec la société INOVEOS. Elle débutera par une étude bibliographique qui permettra d'identifier les composants d'intérêt. Ensuite l'approvisionnement, la conception et la réalisation des cartes de test seront conduits par le/la doctorant(e). La méthode de métrologie et le banc de test seront définis avant de procéder aux essais sous différents moyens d'irradiation qui auront lieu principalement au CEA. Une phase d'identification de la structure des composants sera réalisée avant et après irradiation. En parallèle, la modélisation du composant et la simulation de l'impact de l'interaction rayonnement matière seront réalisées à l'aide différents codes de calculs (exemple MCNP, GEANT4, TCAD, ADS, CST...).

Compétences souhaitées : Physique des semiconducteurs, notions d'interactions rayonnement-matière, électronique analogique en particulier compréhension du fonctionnement des principaux composants électroniques, compétences radio-fréquence et microondes, conception, mise en œuvre

Méthodes et logiciels spécifiques : Labview, Python, Matlab, VHDL, KiCAD, PSPICE, TCAD, SRIM, GEANT4, ADS, CST

DIRECTEUR DE THESE

SOMMET Raphaël
raphael.sommet@xlim.fr

ECOLE DOCTORALE

653
Sciences et Ingénierie (SI)
33 rue François Mitterrand BP
23204 87032 Limoges

ENCADRANT

DIOT Jean-Christophe
Jean-Christophe.diot@cea.fr

CENTRE

CEA 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 de susceptibilité. 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.

Compétences souhaitées : connaissances en méthodes numériques, en probabilités et statistiques, en électronique et électromagnétisme

DIRECTEUR DE THESE

BESNIER Philippe
philippe.besnier@insa-rennes.fr

ECOLE DOCTORALE

601
Mathématiques,
télécommunications,
informatique, signal, systèmes,
électronique (MATISSE)
Espace Doctoral - Bâtiment 1 -
Campus de Beaulieu - 35042
Rennes

ENCADRANTS

LE TOUZ Nicolas
nicolas.letouz@cea.fr
Stéphane VAUCHAMP
stephane.vauchamp@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Le projet EOLE « Electro-explosion Obéissant à la Loi d'Echelle » explore une technique originale pour simuler les effets d'une explosion de forte énergie. L'injection d'un courant impulsionnel intense dans un fil ou un ruban 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 faisabilité de cette technique a été démontrée en 2021 au CEA/Gramat en développant un générateur compact de courant impulsionnel intense (qq centaines de kA) ainsi qu'une configuration de fil explosé permettant de générer une explosion sphérique d'énergie conforme aux attentes.

Objectif de la thèse : L'objectif de ces travaux de thèse est d'utiliser différents codes de calculs développés au CEA afin de caractériser le plasma généré lors des expérimentations avec le générateur EOLE. Plus précisément, il s'agit de caractériser le plasma produit lorsqu'un courant impulsionnel intense se propage dans un fil métallique placé dans l'air ambiant.

A partir de mesures expérimentales mises en oeuvre (spectroscopie, mesures de vitesse, mesures de pression, ...), le(a) candidat(e) devra restituer ces résultats par simulation avec des codes existants. L'une des premières restitutions consiste à utiliser une modélisation collisionnelle - radiative des ions pour comprendre la phénoménologie du plasma créé. Un deuxième outil consiste à utiliser un code Lagrangien monodimensionnel prenant en compte les effets hydrodynamiques engendrés par l'explosion.

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, les modélisations avec le code 1D Lagrangien permettront de déterminer les paramètres macroscopiques du plasma. 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 le moyen EOLE.

Compétences souhaitées : Mesures physiques, simulations de phénomènes physique et mécanique, connaissances en physique des plasmas et électromagnétisme.

Méthodes et logiciels spécifiques : Python, Fortran

DIRECTEUR DE THESE

BONIFACI Nelly
nelly.bonifaci@g2elab.grenoble-
inp.fr

ECOLE DOCTORALE

220
Electronique, électrotechnique,
automatique, traitement du signal
(EEATS)

Ecole doctorale EEATS
Maison du doctorat Jean
Kuntzmann
110 rue de la Chimie
38400 Saint-Martin-d'Hères

ENCADRANTS

SOULIE Simon
simon.soulie@cea.fr
RIBIERE Maxime
maxime.ribiere@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Les infrasons sont des ondes acoustiques de fréquence inférieure à 20 Hz qui sont produits par des sources telles que les explosions. Ils se propagent dans l'atmosphère sur des distances pouvant atteindre plusieurs milliers de kilomètres. Les signaux de surpression enregistrés sont généralement des paquets d'onde dont les caractéristiques relèvent des mécanismes d'émission et de l'interaction des ondes avec le milieu. L'atmosphère est un écoulement complexe, présentant des variations de grande échelle de la température et des vents et des fluctuations turbulentes ayant des échelles spatiales proches des longueurs d'onde. Ces dernières sont notamment générées par le déferlement des ondes de gravité (ondes dues à la flottabilité de l'air) et affectent considérablement les arrivées infrasonores. L'interaction entre les infrasons et la turbulence atmosphérique reste un sujet ouvert dont la compréhension s'avère incontournable pour améliorer notre capacité d'analyse des enregistrements.

Objectif de la thèse : La modélisation de la propagation atmosphérique des infrasons peut être réalisée sans approximations par résolution directe des équations de Navier-Stokes. De récents travaux de recherche, en collaboration entre le LMFA et le CEA, s'appuyant sur cette méthode ont mis en évidence certains des phénomènes physiques influençant les infrasons, tels que la réfraction due aux variations de grande échelle de la température et des vents, les effets non-linéaires, l'absorption et la diffraction.

L'objectif de la thèse est de poursuivre dans cette démarche et d'étudier la propagation des ondes infrasonores générées par une source impulsive dans une atmosphère turbulente induite par le déferlement d'ondes de gravité. Pour cela, des simulations numériques 3-D des équations de Navier-Stokes instationnaires et compressibles seront réalisées à l'aide d'un algorithme basé sur une méthode aux différences finies d'ordre élevé. Cette approche permet de décrire simultanément l'évolution spatio-temporelle de l'atmosphère turbulente (génération des ondes de gravité, déferlement, cascade turbulente) et la propagation des infrasons dans le champ atmosphérique turbulent. Les calculs seront effectués sur des clusters de GPUs, en utilisant un code écrit en langage C/C++/CUDA.

Déroulement de la thèse : Dans cette thèse, il s'agira tout d'abord d'élaborer une stratégie de forçage des champs atmosphériques moyens dans une méthode de résolution directe des équations de la mécanique des fluides, puis d'exciter un spectre réaliste d'ondes de gravité. L'interaction entre les hétérogénéités turbulentes et les signaux acoustiques enregistrés à quelques centaines de kilomètres de la source sera ensuite analysée. Les effets de la turbulence sur la forme d'onde et le contenu fréquentiel seront plus particulièrement discutés en fonction des caractéristiques de la source infrasonore (énergie, spectre) ainsi que de la nature des arrivées. Enfin, les simulations seront confrontées aux enregistrements d'événements d'intérêt.

Compétences souhaitées : Cette thèse nécessite de bonnes bases en mécanique des fluides et en propagation d'onde ainsi qu'en modélisation. Des connaissances en géophysique et en physique de l'atmosphère sont un plus. Le/la candidat(e) devra faire preuve de rigueur et de créativité. Profil M2 ou école d'ingénieur.

Méthodes et logiciels spécifiques : Python, C++, Cuda, MPI, Paraview

DIRECTEUR DE THESE

SABATINI Roberto
roberto.sabatini@ec-lyon.fr

ECOLE DOCTORALE

162
Mécanique Energétique Génie
civil et Acoustique (MEGA)
ED MEGA Bat Direction INSA,
69621 Villerbanne

ENCADRANT

GAINVILLE Olaf
olaf.gainville@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Lors de leur rentrée dans l'atmosphère, les météorites créent des ondes de choc et des écoulements turbulents qui produisent des signatures acoustiques détectables sous forme d'infrasons. Ces infrasons, avec des fréquences inférieures à 20 Hz, peuvent se propager sur de très longues distances, parfois à plusieurs milliers de kilomètres de leur lieu d'émission. Les modèles aéroacoustiques actuels doivent être améliorés pour capturer la dynamique complexe des écoulements hypersoniques et les interactions non linéaires qui en résultent.

Objectif de la thèse : Cette thèse propose de développer et d'affiner des modèles aéroacoustiques capables de simuler avec précision les écoulements des météorites et de prédire les signatures infrasonores correspondantes. En intégrant des techniques avancées de simulation numérique (calcul HPC) et des méthodes de traitement des signaux, cette recherche vise à améliorer notre compréhension des processus aéroacoustiques et à renforcer les capacités de détection des infrasons produits par les météorites. Cette approche permettra non seulement de mieux comprendre les événements d'entrée des météorites (occurrence dans les bulletins du Système de surveillance international), mais aussi de contribuer à la surveillance globale des phénomènes géophysiques rares.

Déroulement de la thèse :

Année 1 : étude des phénomènes aéroacoustiques liés aux écoulements hypersoniques, analyse des méthodes de détection et de caractérisation des infrasons générés par les météorites (fragmentation, choc, ...) et identification des lacunes des modèles actuels. Collecte des données (mesures et simulation) sur les infrasons.

Année 2 : développement et validation des modèles aéroacoustiques par CFD (Computational Fluid Dynamics) et adaptation pour calculer la signature infrasonore. Validation par comparaison à des données expérimentales et des observations réelles, optimisation des modèles pour améliorer la fiabilité des prédictions.

Année 3 : évaluation et applications : comparaison à des résultats publiés et évaluation des gains des modèles à grande distance.

Compétences souhaitées : Mécanique des fluides, mathématiques appliquées.

DIRECTEUR DE THESE

MOSCHETTA Jean-Marc
jean-marc.moschetta@isae-
supaero.fr

ECOLE DOCTORALE

467
Aéronautique & Astronautique
(AA)
ED 467

ENCADRANT

MILLET Christophe
christophe.millet@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : L'étude des relations microstructure-propriétés est un domaine considérable de la métallurgie et plus généralement de l'ingénierie des matériaux. C'est par exemple leur microstructure martensitique, due à un changement de phase dans le fer, qui est responsable de la dureté des aciers trempés. Ici, nous abordons une métallurgie de l'extrême, en soumettant des échantillons métalliques à des pressions dans le domaine des 100 GPa=1 millions d'atmosphères, ce qui permet de synthétiser des phases cristallines nouvelles et présentant potentiellement des propriétés intéressantes (dureté, magnétisme, etc.).

Objectif de la thèse : Nos systèmes d'étude seront l'étain, puis l'indium et le cobalt, qui présentent tous trois un polymorphisme riche sous haute pression et température. Nous chercherons à élucider le rôle des défauts étendus dans les mécanismes mésoscopiques de ces transitions : en particulier les macles et fautes d'empilement, sur la thermodynamique et la cinétique de ces transitions. Les outils de génération de haute pression/température sont notamment la cellule à enclumes de diamants chauffée par laser, et les outils de caractérisation, l'imagerie X in situ par diffraction et tomographie ainsi que la microscopie électronique. Les sources de rayons X utilisées seront des sources synchrotron ainsi que le laser X à électrons libres européen.

Déroulement de la thèse : La déroulement de la thèse sera jalonné par des demandes de temps de faisceau sur les synchrotrons avec lesquels notre équipe collabore (synchrotron Soleil, synchrotron ESRF) [1-3], ainsi que sur la source Eu-XFEL. L'étain transite vers une phase γ tétragonale centrée vers 10 GPa [4], et nous proposons d'élucider le mécanisme mésoscopique (son caractère martensitique, le rôle du maillage) de cette transition via les microstructures formées sous différentes conditions. Nous disposons déjà de données collectées lors d'une précédente thèse pour cette transition, ce qui permettra à l'étudiant(e) de se former sur les outils d'analyse puis de collecter ses propres données en travaillant sur des échantillons de microstructure complètement contrôlée.

Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons à la transition archétypale hexagonal compact-cubique face centrées subie par le cobalt à haute pression et haute température. Elle peut être induite à la fois par une augmentation de pression et de température. Le mécanisme de transition entre ces deux structures compactes met en jeu des fautes d'empilement dont la formation dépend de paramètres thermodynamique et cinétiques que nous éluciderons.

DIRECTEUR DE THESE

DEWAELE Agnès
agnes.dewaele@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

564
Physique en Île-de-France
(EDPIF)
Université Paris-Saclay
LPS Orsay
Bât. 510

ENCADRANT

BRUZY Nicolas
nicolas.bruzy@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Les radiations produisent des défaillances et accélèrent le vieillissement des composants électroniques. L'ionisation et les charges produites au cours d'une irradiation perturbent les électroniques des systèmes de manière transitoire ou cumulée. Cela produit des courants transitoires entraînant la dérive des caractéristiques des composants. Il est capital d'évaluer précisément les densités de porteurs de charges générées par les radiations dans les parties sensibles des composants, où les charges induites se transforment en signal transitoire et les isolants dans lesquels peuvent se piéger des quantités de charges croissantes. La modélisation fine du transport des particules dans les matériaux est essentielle pour estimer au mieux le dépôt dans les volumes sensibles.

Objectif de la thèse : Dans ce contexte, le CEA avec l'ONERA a développé, au cours de plusieurs thèses, le module MicroElec implémenté dans le framework international Geant4 dédié au transport des particules dans la matière. Ce module permet d'estimer de manière fine la distribution spatiale des charges consécutives au passage d'un ion dans le matériau actif des transistors Silicium.

Depuis quelques années, la R&D dans le domaine des composants en Nitrure de Gallium (GaN) a fortement progressé en performance, fiabilité et coût. Désormais, la technologie GaN présente un intérêt industriel pour les applications sous radiations avec un fort niveau de fiabilité. Cependant, certains matériaux du GaN ne sont pas encore pris en compte dans MicroElec. Ainsi, le(la) doctorant(e) contribuera à l'extension de la liste de matériaux de MicroElec qui sera proposée à la communauté de recherche scientifique de la collaboration internationale Geant4 dont les encadrants de cette thèse font partie. Les modèles développés seront confrontés à des résultats de tests de composants GaN effectués au laboratoire auxquels le(la) candidat(e) pourra assister ou participer. Les outils TCAD (Technology Computer-Aided Design) du laboratoire pourront être utilisés pour simuler les effets électroniques des perturbations évaluées par MicroElec dans les composants électroniques.

Déroulement de la thèse : Etude bibliographique : fonctionnement des composants GaN et environnements radiatifs d'intérêt.
Prise en main du comportement électrique des composants GaN et des modules Geant4 existants
Amélioration des modèles Geant4 pour le GaN
Confrontation des résultats numériques à des résultats expérimentaux
Présentation des travaux lors de conférences internationales (NSREC, RADECS, Collaboration Geant4, etc.) et soumission d'articles scientifiques

DIRECTEUR DE THESE

INGUIMBERT Christophe
christophe.inguibert@onera.fr

ECOLE DOCTORALE

323

Génie Electrique, Electronique,
Télécommunications et Santé du
système au nanosystème (GEET)
7 avenue du Colonel Roche
31077 Toulouse Cedex 4

ENCADRANT

LAMBERT Damien
damien.lambert@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : La fragmentation d'enveloppes métalliques en expansion dynamique est un sujet de recherche majeur pour différents domaines de l'industrie (énergie, défense). Elle s'initie au niveau de zones de localisation de la déformation plastique sous forme d'amincissements locaux (strictions) qui évoluent jusqu'à la rupture. Le développement de l'ensemble du processus et une description fine de la statistique des éclats en terme de nombre, masse, vitesse et angle d'éjection dépendent du chargement mais aussi et surtout du comportement mécanique dynamique du matériau de l'enveloppe. Ces travaux de thèse s'inscrivent donc dans une démarche globale, au sein du CEA, d'amélioration de la compréhension du phénomène de fragmentation et des paramètres qui le gouvernent. Ils visent à dimensionner et mettre en oeuvre des expériences nouvelles et en proposer une analyse mécanique à différentes échelles.

Objectif de la thèse : Les travaux de thèse porteront sur la mise en expansion par choc laser d'une paroi métallique mince pouvant conduire au développement de localisations plastiques et, éventuellement, à sa fragmentation. Il s'agira tout d'abord de concevoir et de dimensionner, à l'aide des simulations en dynamique rapide à l'échelle macroscopique, les expériences et analyses qui permettront d'acquérir des données hautement résolues en temps et en espace. La maîtrise de la sollicitation mécanique induite par le dépôt laser intense fera l'objet d'une attention particulière. Les simulations auront aussi pour objectif de reproduire qualitativement l'ensemble des phénomènes. Une analyse à l'échelle de la structure polycristalline du matériau, qui peut jouer un rôle important sur ces géométries de petites dimensions, sera également mise en oeuvre au moyen de calculs loupe utilisant un modèle de plasticité cristalline.

Déroulement de la thèse : La thèse se déroulera suivant les grands axes suivants :

- étude bibliographique sur le processus de localisation et de fragmentation des enveloppes métalliques et sur les moyens de le simuler, tant expérimentalement que numériquement ;
- études numériques pour dimensionner les expériences de choc laser ;
- réalisation et dépouillement des campagnes expérimentales et analyse des échantillons après tirs ;
- étude analytique et numérique de la localisation (approche macroscopique et à l'échelle de la microstructure)
- réalisation de communications scientifiques (congrès internationaux, articles de revues, etc.)
- rédaction du mémoire de thèse.

Compétences souhaitées : Connaissance en Mécanique, Rigueur, Appétence pour le travail expérimental

Méthodes et logiciels spécifiques : Codes de calcul aux éléments finis

DIRECTEUR DE THESE

DEQUIEDT Jean-Lin
jean-lin.dequiedt@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

579
Sciences Mécaniques et
Énergétiques, Matériaux et
Géosciences (SMEMAG)
3 rue Joliot Curie, Bâtiment
Breguet, 91190 GIF-SUR-
YVETTE

ENCADRANT

BARRAUD Etienne
etienne.barraud@cea.fr
SEISSON Gabriel
gabriel.seisson@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : L'endommagement d'un métal consécutif au passage d'une onde de choc, ou écaillage, est un problème très complexe 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 des taux de déformation très élevés. L'une des difficultés actuelles est la caractérisation des effets collectifs dus à la croissance simultanée de nombreux pores macroscopiques. En particulier, il est essentiel de comprendre la statistique des pores générés, leur lien aux défauts microstructuraux et la prise en compte possible de cette diversité dans les modèles.

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse est de caractériser le rôle des défauts de microstructure générés par le choc initial sur la germination des pores. Plusieurs questions se posent concernant le seuil de cavitation, notamment le rôle de la compressibilité et l'influence des défauts (lacunes, dislocations, joints de grains) sur cette initiation. Néanmoins, ces échelles sont impossibles à atteindre en temps réel expérimentalement. L'analyse post-mortem se heurte à de nombreux phénomènes qui se sont ajoutés à la germination, rendant difficile leur décorrélation. Cette étude est en revanche abordable via des simulations à l'échelle micrométrique. Grâce aux nouvelles architectures des supercalculateurs et au développement de codes adaptés à ces machines, les simulations de dynamique moléculaire classique peuvent traiter quelques milliards d'atomes, nombre compatible avec les échelles des défauts étudiés. Cependant, ces simulations génèrent une quantité considérable de données, et la difficulté réside dans leur exploitation afin d'en extraire les quantités d'intérêt pour l'analyse. Une précédente thèse numérique a développé un outil de détection et de suivi d'agrégats, hautement parallélisé, disponible sur le code de dynamique moléculaire interne, rendant possible son exploitation dans une étude de physique.

Déroulement de la thèse : La première étape de la thèse sera d'exploiter les outils de détection et de suivi temporel de l'évolution des vides mis en place. Si nécessaire, l'implémentation d'un algorithme d'estimation locale de densité à l'échelle nanoscopique pour détecter les premières phases de nucléation sera réalisée. Les statistiques de nucléation, croissance et coalescence des vides seront étudiées dans un cas simple de matériau (un monocristal) soumis à un taux de déformation imposé.

Le second objectif est de générer des défauts microstructuraux ad-hoc reproduisant ceux issus d'une simulation de choc. Ils devront pouvoir être détectés et suivis au cours de la simulation grâce à des descripteurs adaptés (développés au laboratoire). Un suivi conjoint des vides et des défauts pourra être réalisé pour comprendre l'influence des défauts sur la nucléation et la croissance des pores. Une bibliothèque de pressions à cavitation et de distributions de tailles de pores sera établie pour différents types de défauts. Ces résultats serviront de références pour développer des modèles de germination représentatifs du comportement microscopique. Ces derniers seront implémentés dans les codes macroscopiques pour fournir en entrée des distributions de tailles de pores et des pressions à cavitation pertinentes, permettant d'utiliser des modèles de croissance de pores inertiels.

Un goût et des capacités prononcés en simulation numérique et en analyse statistique sont préférables pour cette thèse, qui comporte une forte composante numérique.

Compétences souhaitées : Physique statistique, Mécanique, Informatique

Méthodes et logiciels spécifiques : exaStamp

DIRECTEUR DE THESE

DENOUIL Christophe
christophe.denoual@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

579

Science Mécanique et
énergétique, Matériau et
Géoscience (SMEMAG)
Université Paris Saclay

ENCADRANTS

DUBOIS Alizée
alizee.dubois@cea.fr
MAILLET Jean-Bernard
jean-bernard.maillet@cea.fr

CENTRE

CEA 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 text on a red square background. The letters 'cea' are in a lowercase, sans-serif font, with a horizontal line underneath the 'a'.

Contexte : Les matériaux composites à matrice céramiques sont employés pour leur haute résistance mécanique en température (1000°C et plus). Ces matériaux fonctionnent par le biais d'un endommagement qui survient dès les premières sollicitations et le domaine élastique est souvent restreint. La détermination de la loi de comportement nécessite l'établissement d'un modèle, la détermination des paramètres de ce modèle demandant la mesure la plus complète possible en température du couple contrainte/déformation pour des géométries d'intérêt, y compris en sollicitations complexes. Cette mesure est délicate à haute température et pose problème aux techniques usuelles de mesure de déformation. Une solution est alors d'utiliser la tomographie X qui donne accès à l'intégralité du champ de déplacement.

Objectif de la thèse : Dans le cadre des travaux de thèse proposés, le(la) candidat(e) aura à réaliser des essais mécaniques sous tomographie X de différentes natures (flexion, traction, torsion, ...) sur un composite composite à matrice céramique (CMC) oxyde/oxyde stratifié. Ces essais seront analysés par corrélation d'image volumique, une technique que le(la) candidat(e) devra continuer à développer sur la base de travaux antérieurs. Les résultats obtenus alimenteront une loi de comportement endommageable que le(la) candidat(e) devra déterminer par le biais d'un dialogue essai-calcul, tout cela en température jusqu'à 800°C-1000°C. Enfin le(la) candidat(e) devra étudier la phénoménologie de l'endommagement du matériau (développement de fissures, rôle des porosités, ...) accessible à température ambiante aussi bien qu'à des températures élevées grâce à la tomographie X.

Déroulement de la thèse : La première partie de la thèse consistera dans un premier temps à analyser les résultats antérieurs pour proposer un plan d'expériences complémentaire et plus exhaustif que les premiers essais menés lors de travaux précédents. Il s'agira également de proposer des optimisations du protocole d'analyse par corrélation d'image volumique existant. Les résultats des essais menés à la suite de ces réflexions permettront ensuite d'alimenter une loi de comportement endommageable caractéristique de ce type de matériau. La méthodologie de détermination des paramètres de la loi de comportement à partir des résultats obtenus (dialogue essais-calcul) est un des points d'intérêt majeur de la thèse. Enfin, le(la) doctorant(e) devra relier le comportement constaté aux observations 3D amenées par la tomographie X. Il/elle devra pour cela faire appel à des techniques d'analyse d'image 3D.

Compétences souhaitées : compétences en essais mécaniques et en calculs éléments finis

Méthodes et logiciels spécifiques : Essais mécaniques, calcul éléments finis

DIRECTEUR DE THESE

LAURIN Frédéric
frederic.laurin@onera.fr

ECOLE DOCTORALE

579
Sciences Mécaniques et
Énergétiques, Matériaux et
Géosciences (SMEMAG)

ENCADRANTS

GUILLET François
francois.guillet@cea.fr
SAUVET Anne-Laure
anne-laure.sauvet@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Dans la continuité des travaux de thèse de Benoît Rougier et de Jérémi 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 : L'exploitation des signaux bruts de l'interférométrie laser pour la mesure de vitesse d'interface fait également l'objet de nombreux travaux en traitement du signal avec par exemple l'utilisation de la transformée de Fourier glissante, et/ou de la méthode des ondelettes. L'application du deep learning à l'interférométrie laser est recherchée pour permettre d'améliorer l'analyse des résultats. La synergie entre les deux approches métrologiques est un atout pour améliorer l'architecture des réseaux de neurones, notamment avec des méthodes d'apprentissage basées sur la modélisation des signaux bruts.

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

Déroulement de la thèse : Plus particulièrement, l'objectif consistera à approfondir la compréhension et la modélisation des phénomènes de transmission et de réflexion d'une onde électromagnétique se propageant dans un matériau soumis à un choc, à améliorer le travail d'inversion du modèle de propagation à partir de 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 enfin de concevoir des campagnes expérimentales afin d'acquérir des données nous permettant de valider les différents modèles développés.

DIRECTEUR DE THESE

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

ECOLE DOCTORALE

323
Génie Electrique, Electronique,
Télécommunications et Santé du
système au nanosystème
(GEETS)
7 avenue du Colonel Roche
31077 Toulouse Cedex 4

ENCADRANTS

LEFRANCOIS Alexandre
alexandre.lefrancois@cea.fr
BARBARIN Yohan
Yohan.barbarin@cea.fr

CENTRE

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



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

Objectif de la thèse : Une première thèse a permis d'explorer les concepts autour de l'assemblage [1] de matériaux de différentes natures pour optimiser le refroidissement d'un milieu amplificateur [2]. Suite à cette phase exploratoire, il s'agit d'optimiser ces concepts à un système réel avec le développement d'un milieu amplificateur laser hétérogène optimisant le refroidissement et la bande de gain afin de délivrer 1 Joule.

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

- équipées de matériaux amplificateurs de natures différentes pour optimiser la bande de gain,
- équipées de matériaux composites collés pour optimiser le refroidissement,
- d'adapter les milieux à gain à un pompage par diode ou par flash, et de proposer des méthodes de refroidissement alternatives.

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

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

Les développements seront menés au sein d'une équipe CEA travaillant sur les nouvelles technologies laser. Ils se feront en collaboration avec l'équipe « Optique, Matériaux et Laser » du laboratoire CIMAP (université de Caen) qui élabore de nouveaux matériaux.

Références :

[1] L.Zheng. et al "Drastic thermal effects reduction through distributed face cooling...", Opt. Mat. Express pp3214-3221, 7,9 (2017);

[2] T. Dubé et al « Thermal effects reduction in a diode side-pumped rod-like bonded α -quartz||Nd:glass|| α -quartz amplifying medium » EPJ Web of Conferences 266, 06004 (2022)

Méthodes et logiciels spécifiques : Optique, Laser, Instrumentation, COMSOL

DIRECTEUR DE THESE

CAMY Patrice
patrice.camy@ensicaen.fr

ECOLE DOCTORALE

591
Physique, Sciences de
l'Ingénieur, Matériaux et Energie
(PSIME)
Université de Caen Normandie
UFR des Sciences
Bâtiment sciences 3 – bureau S3
104
Boulevard Maréchal Juin · CS
14032 · 14032 Caen cedex 5

ENCADRANTS

MONTANT Sébastien
sebastien.montant@cea.fr
LANTERNIER Catherine
catherine.lanternier@cea.fr

CENTRE

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



Contexte : Le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives) est l'un des plus importants centres de recherche français. Le site de Gramat est le centre de référence de la Défense en vulnérabilité des systèmes et des infrastructures. L'équipe de recherche du LAAS-CNRS, Optical And Smart Integrated Sensors, à Toulouse est l'une des équipes les plus avancées au monde dans la conception de capteurs interférométriques intégrés dit à réinjection optique (Optical Feedback Interferometry - OFI).

Ces capteurs simples et compacts couvrent un vaste domaine de mesures : vibration, vitesse, distance, etc. et plus récemment la mesure de variation de pression dans le domaine acoustique mais également dans des gammes de pression plus élevées comme on en rencontre dans le cas d'explosions. Dans le cadre d'une collaboration entre le LAAS-CNRS et le CEA, un capteur par réinjection optique pour l'observation d'onde de choc a été évaluée et un modèle acousto-optique a été développé.

Objectif de la thèse : Les premiers essais ont démontré à la fois le fort potentiel de cette technologie et les trois difficultés suivantes : l'absence de déport de la mesure par fibre optique, une bande passante globale un peu limitée et suivant les niveaux de pression une résolution limitée.

L'objectif de cette thèse est le développement d'un nouveau capteur dont le laser sera conçu pour fonctionner avec un déport en fibre optique et avec une bande passante approchant le GHz. L'effet de réinjection optique est très différent de ce qui a pu être fait par le passé et la bande passante demandée repoussera grandement les limites actuelles. En parallèle, le(la) doctorant(e) devra améliorer la résolution du capteur soit en agissant sur sa conception pour avoir accès à la phase du signal de mesure soit via un traitement du signal innovant. Les incertitudes de mesure seront également évaluées. La mise en œuvre du futur prototype sur des campagnes de mesures et le traitement de données acquises au CEA-Gramat en seront l'aboutissement.

Compétences souhaitées : Laser, modélisation optique, mesures optiques, mesures physiques, traitement du signal

DIRECTEUR DE THESE

PERCHOUX Julien
julien.perchoux@toulouse-inp.fr

ECOLE DOCTORALE

223

GEET Université de Toulouse
7 avenue du Colonel Roche, BP
54200 31031 Toulouse Cedex 4

ENCADRANT

BARBARIN Yohan
yohan.barbarin@cea.fr

CENTRE

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



