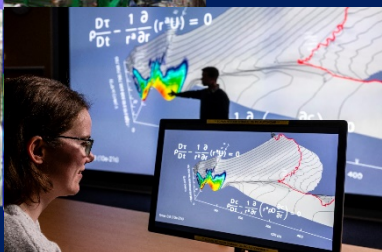
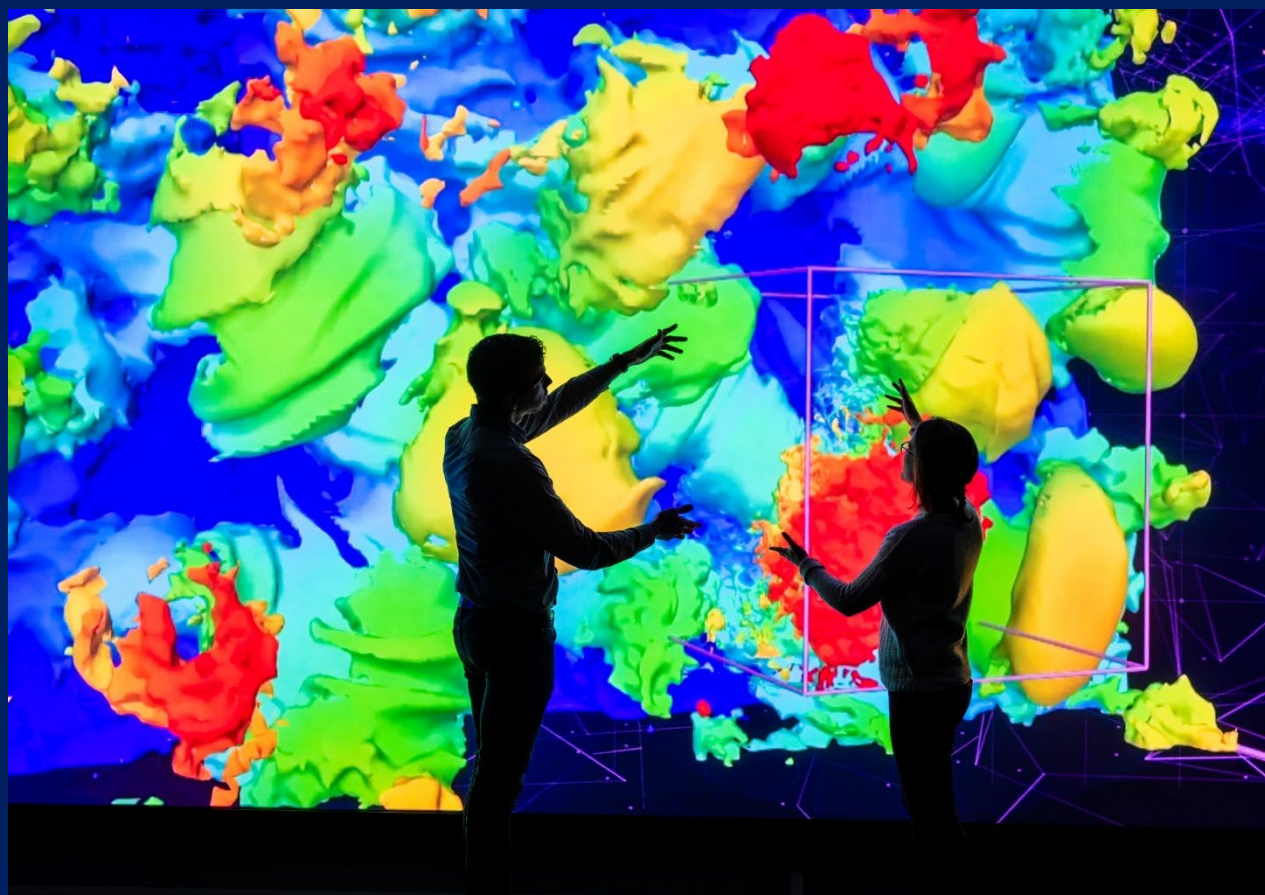


OFFRES DE THESES

2022 - 2023



Direction des applications militaires



Vous êtes aujourd'hui en Master 2 ou en dernière année d'école d'ingénieurs et vous envisagez de poursuivre votre formation par une thèse ? Ce recueil est fait pour vous ! Il recense, classé par domaine scientifique, l'ensemble des sujets de thèse proposés à ce jour par les laboratoires et équipes de recherche et développement de la Direction des applications militaires (DAM) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

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.

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 (Lawrence Livermore National Laboratory en Californie, Sandia et Los Alamos National Laboratories au Nouveau-Mexique), de vous accompagner dans cette démarche et de vous en faciliter l'accès.

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

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

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

A très bientôt au CEA/DAM !

Laurence BONNET

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>

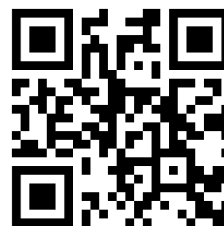
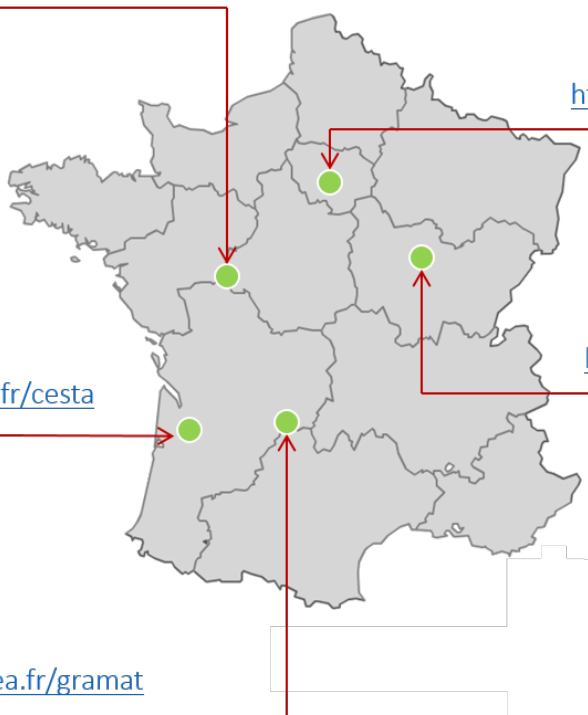
GRAMAT

BP 80000

46500 Gramat

05.65.10.54.32

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



Le centre CEA/Cesta

Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine

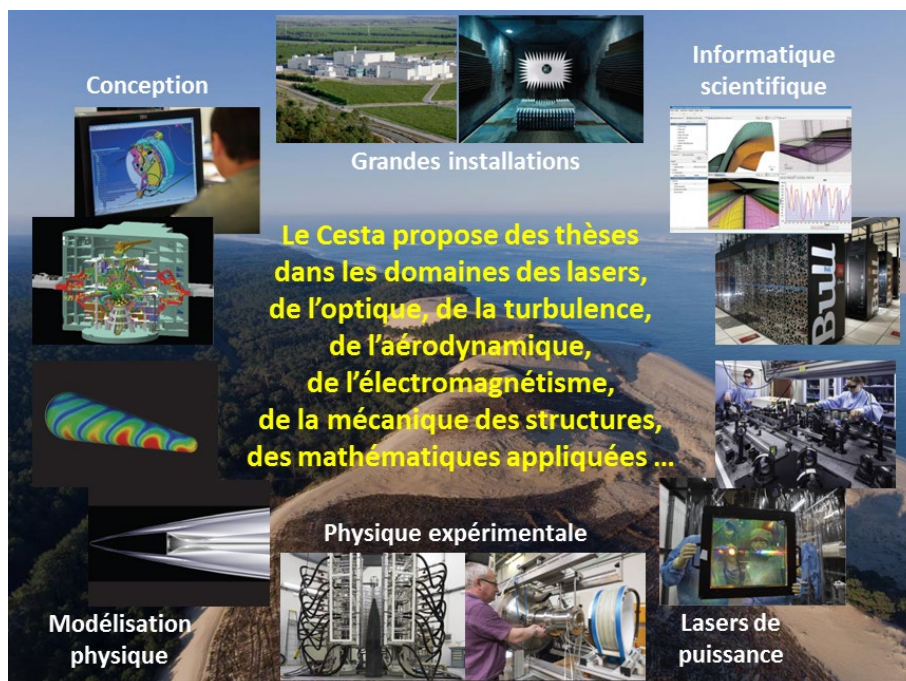
Site Web : <http://www-dam.cea.fr/cesta>

Le CESTA, un des 5 centres de la Direction des applications militaires du CEA, rassemble 1000 salariés dans un centre de 700 hectares au cœur de la Nouvelle Aquitaine, au sud de la Gironde **entre Bordeaux et Arcachon**.

Le CESTA conduit la conception d'ensemble des têtes nucléaires de la force de dissuasion française avec des **méthodes d'ingénierie collaborative intégrée**. Le CESTA assure également la démonstration de la fiabilité, de la sûreté et des performances (tenue aux environnements, furtivité électromagnétique, rentrée atmosphérique...) dans une démarche de simulation basée sur le triptyque « modélisation/calculs/essais » mettant en œuvre de la **modélisation physique de haut niveau**, des **calculateurs parmi les plus puissants au monde** et un **parc exceptionnel de moyens d'essais**.

Le CESTA héberge **la plus grande installation laser d'Europe, LMJ/PETAL** (Laser MégaJoule/PETawatt Aquitaine Laser), instrument de recherche exceptionnel qui permet de chauffer et d'étudier la matière aux conditions extrêmes que l'on retrouve lors du fonctionnement des armes ou au cœur des étoiles. Pour cela, le CESTA accueille une **expertise reconnue mondialement, en conception laser, en technologie des composants optiques, en informatique industrielle...**

Les travaux du CESTA offrent en outre l'opportunité de collaboration avec les industriels et les laboratoires de recherche, en Nouvelle-Aquitaine et au-delà, en France et à l'international.



Le Centre CEA/DAM Île-de-France (CEA/DIF)

Site Web : <http://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 1600 ingénieurs, chercheurs et techniciens sont mobilisés à la fois sur différents programmes de recherche et développement et sur des missions opérationnelles d'alerte aux autorités.

Conception et garantie des armes nucléaires, grâce au programme Simulation



© P. Stroppa/CEA

L'enjeu consiste à reproduire par le calcul les différentes phases du fonctionnement d'une arme nucléaire. Les phénomènes physiques sont modélisés, traduits en équations, simulés numériquement sur d'importants moyens de calcul. Les logiciels ainsi développés sont validés par comparaison à des résultats expérimentaux, obtenus essentiellement grâce à la machine radiographique Epure (CEA/Valduc), et aux lasers de puissance (CEA/CESTA).

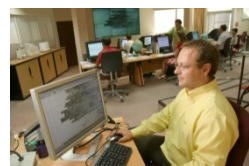
Lutte contre la prolifération et le terrorisme

Le centre contribue au respect du Traité de non-prolifération (TNP), notamment avec des laboratoires d'analyses accrédités, des moyens de mesures mobiles et des experts internationaux. Il assure l'expertise technique française pour la mise en œuvre du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (TICE).



©C. Dupont/CEA

Alerte auprès des autorités



© C. Dupont/CEA

24h sur 24 et 365 jours par an, le CEA/DIF assure une mission d'alerte auprès des autorités :

- en cas d'essai nucléaire, de séisme sur le territoire national ou à l'étranger,
 - en cas de tsunami intervenant dans la zone euro-méditerranéenne (CENALT).
- Il fournit aux autorités toutes les analyses et synthèses techniques associées.

Expertise scientifique et technique

- dans l'ingénierie de grands ouvrages (construction et démantèlement),
- dans les sciences de la Terre (géophysique, sismologie, géochimie, physico-chimie, modélisation...),
- en physique de la matière condensée, des plasmas, physique nucléaire,
- en électronique (électronique résistante aux agressions).

Pour remplir ces missions, le CEA/DIF est équipé de grands calculateurs de la classe pétaflopique tel que TERA1000 pour les applications de la DAM. Situé à proximité immédiate du centre le TGCC (Très Grand Centre de Calcul) abrite le centre de calcul utilisé par les différentes directions opérationnelles du CEA et ouvert à des partenaires extérieurs, le CCRT (Centre de Calcul Recherche et Technologie). Le TGCC est une infrastructure réalisée pour accueillir des supercalculateurs de classe mondiale dont la machine européenne Joliot-Curie d'une puissance de 10 Pflops acquise par GENCI (Grand Equipement National de Calcul Intensif) et ouverte au chercheurs Européens dans le cadre de l'initiative européenne Prace. Avec le TGCC et le campus Teratec qui héberge des entreprises et laboratoires du domaine du Calcul Haute performance, le CEA/DIF est au cœur du plus grand complexe européen de calcul intensif. Il prépare les nouvelles générations de calculateurs (classe Exaflops) dont l'exploitation dans la prochaine décennie ouvrira la voie à de belles avancées dans de nombreux domaines scientifiques, que ce soit à la DAM, ou dans les mondes académique et industriel.

Situé non loin du complexe scientifique du plateau de Saclay, le CEA/DIF est en interaction directe avec la nouvelle Université Paris Saclay et l'Institut Polytechnique de Paris. Le CEA/DIF propose des thèses 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 et de la géophysique.

Le Centre CEA/Le Ripault

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

Un pôle de compétences unique pour l'étude et la conception de nouveaux matériaux.

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 :

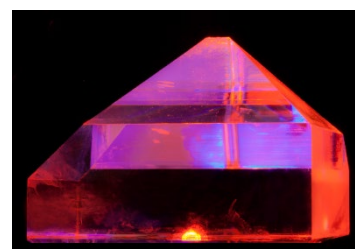
RÉPONDRE AUX ENJEUX DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

- 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 thèses et des post-doctorats 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.



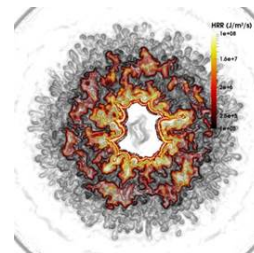
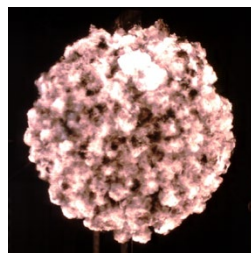
Le CEA/Gramat

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

Situé dans la région Occitanie - Pyrénées Méditerranée, près de Brive et à 1h30 de Toulouse, le site de Gramat compte environ 250 salariés et s'étend sur plus de 300 hectares.

Ses activités sont organisées autour de trois domaines d'applications : (i) Dissuasion (ii) Défense conventionnelle et (iii) 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 ; à ce titre, il étudie notamment la vulnérabilité et la protection des installations vitales civiles et militaires de la nation. Par ailleurs, il est également chargé de l'évaluation de l'efficacité de nos systèmes d'armes conventionnels (du champ de bataille).

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

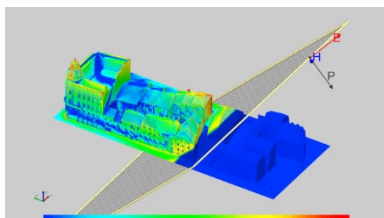


Vue expérimentale et simulation numérique d'une boule de feu (explosif en détonation)

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,....

Afin de développer son niveau scientifique, le Centre s'appuie sur de nombreuses universités françaises (Limoges, Toulouse, Rennes, etc...) et sur de grandes écoles d'ingénieurs (Ecole Polytechnique, Ecole des Mines, etc...). 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 sur des thématiques identifiées.

Ces collaborations se concrétisent par une récurrence d'une quinzaine de doctorants et d'une vingtaine de stagiaires présents sur le site.



Modélisation électromagnétique d'un quartier de ville



Antenne large bande pour tests électromagnétiques

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.

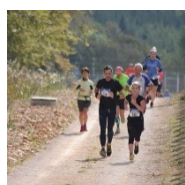
Le Centre CEA/Valduc

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



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.** 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.

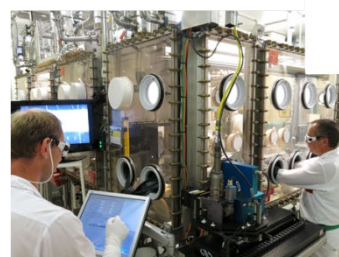
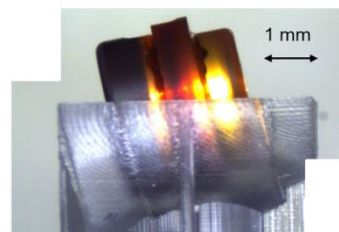
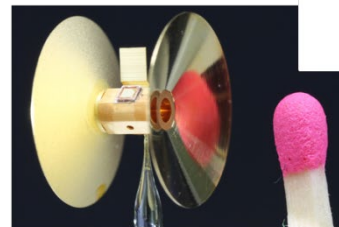
Ses compétences sont principalement centrées sur la **métallurgie de pointe, la chimie séparative et l'exploitation de grandes installations nucléaires.**



Le centre accueille également la nouvelle installation radiographique franco-britannique Epure, dans laquelle sont expérimentées des maquettes inertes d'armes nucléaires.

L'esprit d'équipe en action ...

Le sport est très pratiqué à Valduc, au quotidien et dans des occasions festives comme lors du tour annuel du centre.



A LA POINTE DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE

dans des domaines variés : métallurgie, chimie de la purification, physico-chimie des surfaces. Par exemple, les technologies classiques d'usinage et d'assemblage sont poussées aux limites pour réaliser des produits exceptionnels, comme ces cibles destinées aux expériences sur laser, dont la taille n'est que de quelques millimètres, bien qu'elles soient constituées d'une centaine de pièces élémentaires, chacune étant réalisée avec une précision du micron.



DE GRANDES INSTALLATIONS

NUCLÉAIRES conçues pour apporter un service très complet aux procédés de recherche et de fabrication qu'elles hébergent (ventilation, filtrage des atmosphères, fluides, réseaux, surveillance de la radioactivité, ...), garantissant un fonctionnement fiable et sûr. Leur fonctionnement très intégré et automatisé s'appuie sur une supervision 24h/24h.



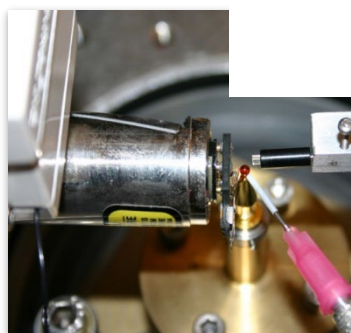
DES ÉQUIPEMENTS TRÈS ÉLABORÉS

permettant de travailler en toute sécurité sur des matières sensibles, des procédés de fabrication high tech, des contrôles en ligne et une supervision des procédés... l'usine du futur est déjà une réalité à Valduc !



LA PRÉPARATION DE L'AVENIR

Au-delà des moyens classiques de robotisation, Valduc mène de nombreux développements pour intégrer les dernières évolutions de la robotique (robots autonomes & intelligence artificielle), domaine dans lequel les jeunes ingénieurs et techniciens peuvent exprimer tout leur talent.



Valduc propose des thèses dans le domaine de la métallurgie, du cycle des matières nucléaires, des cibles pour les expériences laser, de la simulation des procédés de mise en forme.

Le Centre collabore étroitement avec de nombreux laboratoires (Université de Bourgogne Franche-Comté) et des écoles d'ingénieurs (ENSAM Cluny, ENS2M, ESIREM...)



SOMMAIRE

CHIMIE	10
COMPOSANTS & EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES	14
ELECTROMAGNETISME, GENIE ELECTRIQUE.....	17
INSTRUMENTATION, METROLOGIE & CONTROLE	20
MATERIAUX, PHYSIQUE DU SOLIDE	23
MATHEMATIQUES, INFORMATION SCIENTIFIQUE, LOGICIEL	32
MECANIQUE & THERMIQUE.....	35
OPTIQUE & OPTRONIQUE.....	40
PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSE, CHIMIE & NANOSCIENCES	43
PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME, MOLECULE	46
PHYSIQUE THEORIQUE	52
SCIENCE DE LA TERRE & DE L'ENVIRONNEMENT	55
SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT.....	59
TECHNOLOGIES MICRO & NANO	62

Contexte :

La thèse proposée se déroulera pour partie sur le Centre CEA du Ripault (Indre-et-Loire) et pour partie à l'Institut Saint-Louis (ISL - Haut-Rhin), organisme de recherche franco-allemand, dans le cadre d'une collaboration entre ces deux organismes dans le domaine de la modélisation moléculaire des matériaux énergétiques. Elle s'inscrit à la suite d'une thèse en cours portant sur la modélisation de la réponse de ces matériaux à diverses agressions thermiques, mécaniques ou électromagnétiques. L'originalité de ce travail réside dans le fait d'établir les modèles en appliquant les outils de la physique statistique aux données microscopiques obtenues par des calculs de chimie quantique. Il se distingue en cela des modèles antérieurs reposant principalement sur des corrélations purement empiriques dont le domaine d'application est impossible à établir précisément.

Objectif de la thèse :

Les objectifs sont de fournir des procédures prédictives pour évaluer, à partir de la seule connaissance de la composition chimique des matériaux, des propriétés d'intérêt pratique pour la sécurité : sensibilités à la friction et à l'étincelle, température de décomposition. Ces outils sont nécessaires pour la recherche de nouveaux composés énergétiques, à la fois performants et peu sensibles aux agressions.

Déroulement de la thèse :

Les grandes étapes de la thèse seront les suivantes :

1. Calculs des données d'entrée des modèles issus des travaux de la première thèse CEA-ISL, à l'aide d'outils de chimie informatique et de chimie quantique, pour une base de données disponible au CEA ;
2. Application des modèles ;
3. Recherche de relations entre les grandeurs théoriques issues des modèles et les propriétés recherchées ;
4. Interprétation des résultats ;
5. Le cas échéant, révision des modèles.

DIRECTEUR DE THESE

Didier MATHIEU
didier.mathieu@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 552
EMSTU: Energie, Matériaux,
Sciences de la Terre et de
l'Univers
Direction Recherche Partenariat
Ecole Doctorale EMSTU
Château de la Source
45067 Orléans Cedex 2

ENCADRANT

Chrystel AMBARD
chrystel.ambard@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Un procédé de traitement de produits recyclables a été développé au CEA Valduc. Ce procédé est actuellement exploité dans une installation pilote et requiert d'améliorer les connaissances des étapes élémentaires. Une des étapes clé de ce procédé consiste à réaliser l'oxydation des actinides présents par l'ajout de carbonates dans le solvant, un sel de chlorures fondus, liquide à haute température (700-900°C). A titre d'exemple, l'oxydation d'un chlorure d'actinide est décrite par : $2\text{AnCl}_3 + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 = 2\text{AnO}_2(\text{s}) + 6\text{NaCl} + \text{CO}(\text{g}) + 2\text{CO}_2(\text{g})$. La stabilité du réactif ajouté (ici Na_2CO_3) pour réaliser cette étape d'oxydation dépend de la nature du solvant et de la température de travail. Il peut dans certaines conditions se dissocier et former des gaz carboniques ($\text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{g})$).

Afin d'appréhender le comportement de cette famille de réactifs en fonction de ces deux paramètres, les données thermochimiques de base sont manquantes. Leur détermination permettrait d'approfondir nos connaissances sur les diagrammes de phase des mélanges mis en œuvre, de la solvation des carbonates, des cinétiques de réactions (...) pour au final optimiser les conditions opératoires du procédé.

Objectif de la thèse :

La thèse proposée a pour but d'étudier la stabilité des espèces carbonates en sels de chlorures fondus. Les travaux à réaliser sont :

- Etablir les diagrammes de phase, notamment $\text{NaCl-KCl-Na}_2\text{CO}_3$ et $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-CaCO}_3$, à l'aide de mesures expérimentales associées à une modélisation thermodynamique (FactSage).
- Etudier la dissociation des carbonates dans plusieurs sels de chlorures fondus à différentes températures. Il s'agira ici de combiner des méthodes comme l'analyse thermogravimétrique et la spectroscopie infra-rouge (ATG-IR), ou encore l'électrochimie analytique et la spectroscopie IR, en abordant les aspects thermodynamiques et cinétiques.
- Suivre la vitesse d'oxydation de « simulants » d'actinides dissous dans chaque mélange d'intérêt en fonction de plusieurs paramètres : température, concentration (en simulant et en carbonate), espèces à oxyder (chlorure, oxychlorure, métal).
- Proposer et vérifier les conditions optimales pour une oxydation rapide et l'élimination des carbonates en excès dans le procédé mis en œuvre.

Déroulement de la thèse :

La thèse se déroulera dans un premier temps sur le site de l'Université Paul Sabatier de Toulouse puis sur le centre du CEA/Valduc près de Dijon.

DIRECTEUR DE THESE

Pierre CHAMELOT
et/ou Mathieu Gibilaro
chamelot@chimie.ups-tlse.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 468
MEGEP
118 route de Narbonne Cedex 9
31062 Toulouse Cedex

ENCADRANT

Olivier LEMOINE
olivier.lemoine@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Le présent s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre le groupe « Adsorption sur Solides Poreux (ASP) de l'ICB et le centre CEA DAM de Valduc sur la problématique de la séparation des isotopes de l'hydrogène par adsorption sélective sur des matériaux nanoporeux de type zéolithique à température cryogénique ($T < 77$ K). La mise en œuvre des isotopes sous forme gazeuse (hydrogène, deutérium, tritium) au CEA Valduc implique l'exploitation de divers procédés dont certains sont à l'origine de la production d'effluents tritiés. Le développement d'un procédé de décontamination poussée doit permettre de rendre possible le traitement et le rejet de ces effluents dans le respect des autorisations réglementaires. Une séparation sélective peut être obtenue dans un procédé de type chromatographie par physisorption préférentielle des isotopologues lourds sur des matériaux adsorbants nanoporeux de type zéolithe.

Objectif de la thèse :

Dans le cadre d'une précédente thèse, des études sur les zéolithes cationiques ont mis en évidence le rôle prépondérant des cations présents dans la structure zéolithique. À faible remplissage, la sélectivité des adsorbants est gouvernée par la force d'interaction entre les cations et les molécules adsorbées. Des études plus récentes sur des chabasite ont montré qu'à fort remplissage des effets de confinement de la phase adsorbée influencent la sélectivité. Ainsi nous avons démontré que dans la structure chabasite, un réarrangement moléculaire de la phase adsorbée a lieu, augmentant la sélectivité D₂/H₂. La combinaison des deux mécanismes de séparation pourrait être une voie très prometteuse pour augmenter la sélectivité. L'objectif est d'une part de caractériser le processus de séparation au sein de chabasites de composition cationique différente et d'autre part de tirer profit de ces propriétés singulières de séparation pour le développement de procédés de séparation à l'échelle industrielle.

Déroulement de la thèse :

La détermination des données thermodynamiques et cinétiques pour les adsorbants synthétisés sera réalisée par mesures d'isothermes d'adsorption. La prise en considération des limitations cinétiques et diffusionnelles liées à la mise en œuvre des chabasites devra particulièrement guider la recherche et la conception de schémas de procédés innovants et originaux.

- Synthèse de zéolithes type chabasite avec différents cations et caractérisations (DRX, FTIR, MEB, MET...). Détermination des conditions de mise en forme à l'échelle de laboratoire pour obtenir des matériaux utilisables en colonne pour les mesures des courbes de perçage.
- Détermination des isothermes d'adsorption de corps purs à différentes températures (40 K – 77 K). Mesures de sélectivité D₂/H₂ par co-adsorption.
- Réalisation et mise en œuvre d'un montage permettant les mesures des courbes de perçage, destinées à étudier les phénomènes dynamiques mis en œuvre dans un procédé en colonne.
- Caractérisation des matériaux les plus performants sur les unités pilotes du CEA Valduc.

DIRECTEUR DE THESE

Igor BEZVERKHYY
igor.bezverkhyy@u-bourgogne.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 553
Carnot - Pasteur
9 rue A. Savary
BP 47870
21078 DIJON

ENCADRANT

Clément CABAUD
clement.cabaud@cea.fr

CENTRE

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



COMPOSANTS & EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES

Contexte :

Le CEA/Gramat est le centre de référence en vulnérabilité des systèmes de Défense et en efficacité des armements. Il analyse notamment la vulnérabilité des électroniques aux effets induits par les rayonnements ionisants sévères. Les électroniques sont essentiellement issus de filières commerciales, évolutives, pour lesquelles peu de connaissances technologiques sont disponibles. Etablir des modèles numériques aisément paramétrables, par exemple par famille de composants, en s'appuyant sur leur structure et les phénomènes physiques régissant le transport des charges dans les semi-conducteurs, est ainsi nécessaire au développement de simulations du fonctionnement des électroniques en environnement radiatif sévère.

Objectif de la thèse :

L'objectif est de construire et mettre en œuvre des modèles de perturbations de composants électroniques soumis à différents environnements ionisants. Devront être conduites des caractérisations expérimentales ainsi que des analyses et simulations technologiques, afin de construire une modélisation analytique du comportement électrique observé expérimentalement. Les paramètres physiques critiques en fonction du terme source radiatif, de la technologie de fabrication du composant, du packaging ou encore des conditions d'emploi, devront être identifiés en s'appuyant sur des outils de simulations existants et sur des développements spécifiques. Une démarche devra être proposée afin de modéliser et de simuler la réponse radiative de différentes familles de composants électroniques élémentaires, pour les intégrer au niveau d'un circuit.

Déroulement de la thèse :

Pour mener à bien cette étude, le/la candidat(e) devra :

1. Réaliser une étude bibliographique des méthodes de modélisation et de simulation des effets des radiations dans les composants électroniques.
2. Identifier des « familles » cohérentes de composants, en conduire l'analyse technologique, et en proposer une modélisation.
3. Concevoir et réaliser les bancs de tests nécessaires à la caractérisation statique et dynamique des composants électroniques en environnement radiatif.
4. Construire une démarche avec des outils numériques (Monte-Carlo, éléments finis...) afin de simuler le transfert de charges dans le composant, la physique du transport des charges générées en excès...
5. Confronter les résultats des simulations expérimentales et intégrer les modèles de fonctionnement des composants dans des schémas de fonctions électroniques de référence afin d'en estimer la sensibilité.

DIRECTEUR DE THESE

Marc GAILLARDIN
(Par dérogation)
marc.gaillardin@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 323
GEETS Génie Electrique
Electronique et Santé
7 avenue di Colonel Roche
31077 Toulouse Cedex 4

ENCADRANT

Marc GAILLARDIN
marc.gaillardin@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Le CEA DRT LETI (Laboratoire des Technologies de l'information) à Grenoble analyse l'impact des cybers attaques sur les systèmes électroniques. Le CEA DAM centre de Gramat analyse l'impact des agressions électromagnétiques intentionnelles sur les systèmes électroniques, et les protections permettant d'y faire face. Ces deux laboratoires mettent en commun leurs compétences pour définir et réaliser une chaîne de caractérisation électromagnétique spécifique à l'analyse de la vulnérabilité électromagnétique des objets connectés modernes.

Objectif de la thèse :

Les objectifs principaux de la thèse sont tout d'abord de définir un objet connecté suffisamment générique, les moyens de caractérisation fonctionnelle et de diagnostic de défauts associés, ainsi que la méthode et les moyens de mesure des tensions et/ou courants induits sur les cartes électroniques constituant l'objet. L'objectif est ensuite de concevoir et réaliser un moyen de caractérisation de la vulnérabilité électromagnétique hyperfréquence, de puissance élevée, permettant d'illuminer globalement et/ou localement cet objet. Enfin, il s'agira de mettre en œuvre cette chaîne de caractérisation sur l'objet générique pour mettre en évidence les risques de dysfonctionnements induits sur ce système sous agressions.

Déroulement de la thèse :

La première partie se déroulera à Grenoble sur 9 à 12 mois. Il s'agira de réaliser une analyse bibliographique, puis de rechercher une architecture électronique du système connecté de référence présentant des caractéristiques adaptées à l'étude (partie hyperfréquence en bande L ou S, faisabilité des mesures de courant-tension, logiciel de diagnostic, ...). Ensuite, le dispositif de rayonnement devra être conçu, incluant la réalisation d'antennes actives à gain variable (focalisation à distance fixe) et d'antennes actives à gain fixe permettant une illumination, non intrusive au plan fonctionnel pour l'objet, en champ lointain et/ou en champ proche, ainsi que la partie génération de puissance.

La seconde partie, se déroulera à Gramat pour la réalisation d'un prototype de la chaîne de caractérisation définie dans la première partie, en plusieurs étapes :

- 1 - Développement et caractérisation du dispositif de rayonnement par association de modules développés spécifiquement ou achetés sur étagère.
- 2 - Développement et caractérisation d'une version compacte du dispositif en relation avec le LAPCI (Laboratoire Antennes, Propagation et Couplage Inductif);.
- 3 - Vérification expérimentale de la chaîne de caractérisation sur l'objet connecté défini dans la première partie.
- 4 - Rédaction du manuscrit de thèse.

DIRECTEUR DE THESE

Alain REINEX
alain.reinex@xlim.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 610
SISMI
Limoges

ENCADRANT

Patrick HOFFMANN
patrick.hoffmann@cea.fr

CENTRE

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



ELECTROMAGNETISME, GENIE ELECTRIQUE

Contexte :

Le CEA/Gramat est le centre expert des effets des armes à la Direction des applications militaires, notamment pour les armes à émettre dirigée électromagnétique. Il réalise à ce titre des études de vulnérabilité et de susceptibilité de systèmes soumis à des agressions électromagnétiques de tous les types. L'intégration de l'électronique et des capacités de calcul a permis de faire émerger des systèmes de défense de plus en plus compacts et/ou complexes. L'analyse de leurs vulnérabilités potentielles à des agressions électromagnétiques est ainsi de plus en plus ardue. La mise en œuvre de nouveaux bancs de test et d'une nouvelle méthodologie d'analyse de susceptibilité devient nécessaire pour compléter les capacités d'expertise du comportement sous agressions de ces systèmes de plus en plus complexes.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est de développer une méthodologie d'analyse de susceptibilité électromagnétique de systèmes électroniques. Ces travaux portent sur la mise en œuvre d'une nouvelle méthode de caractérisation champ proche, dans le domaine des hyperfréquences supérieures au GHz. Dans un premier temps, il est envisagé d'étudier et de comprendre les effets relatifs au couplage champ proche. Une fois cette étape maîtrisée, il sera alors possible d'envisager une étude sur des circuits plus complexes tant au niveau de la fonction réalisée que de la complexité de réalisation du circuit imprimé. Une comparaison des analyses de susceptibilité électromagnétique entre une illumination rayonnée champ proche et une injection conduite sur les cartes de test permettra de valider la méthodologie. Une analyse des antennes ou sondes dédiées aux études champ proche devra être menée, et pourrait conduire au développement de moyens d'illumination propres.

Déroulement de la thèse :

La première partie de la thèse sera consacrée à une revue bibliographique et une réflexion théorique sur les sujets suivants : compréhension de la théorie du couplage champ proche sur pistes, des antennes utilisées et des interactions possibles entre le dispositif sous test et l'antenne - Compréhension de la fonction de transfert entre injection conduite et rayonnée champ proche - Conception du dispositif de rayonnement, incluant la réalisation d'antennes, permettant une illumination quasi non-intrusive au plan fonctionnel pour l'objet étudié - Conception de circuits test pour la validation de la théorie. La seconde partie consistera à réaliser des essais de susceptibilité en réalisant des études en injection conduite et en rayonné champ proche sur les circuits de test. La troisième partie sera consacrée à la mise en œuvre d'une méthodologie générale pour la compréhension des mécanismes de vulnérabilité des systèmes électroniques, permettant d'associer les moyens d'essais déjà disponibles et l'analyse champ proche. La thèse se déroulera entre le laboratoire universitaire LAAS-CNRS à Toulouse et le CEA/Gramat.

DIRECTEUR DE THESE

Alexandre BOYER
alexandre.boyer@insa-toulouse.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 323
GEET Génie Electrique,
Electronique et
Télécommunications
7 Avenue du colonel Roche
BP 54200
31031 Toulouse cedex4

ENCADRANT

ESCODIE Fabien
fabien.escudie@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Les systèmes électroniques embarqués peuvent être soumis à des menaces électromagnétiques sévères qui peuvent détériorer leur fiabilité et compromettre leur mission. Des systèmes ont ainsi des spécifications de tenue à des menaces, telle que les impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire haute altitude (IEMN-HA), ou de potentielles agressions électromagnétiques non nucléaires mais intentionnellement malveillantes. L'évaluation de leur vulnérabilité, et des performances des mesures de protection destinées à y pallier impose de connaître les niveaux de susceptibilité intrinsèque des composants électroniques sensibles. L'évaluation prédictive du comportement des systèmes face à ce type d'agressions est un enjeu majeur tant vis-à-vis de leur sécurité que pour la compréhension des phénomènes de défaillance.

Objectif de la thèse :

La thèse a pour objet la mise en œuvre complète d'une méthode permettant de caractériser et modéliser dans le domaine fréquentiel des systèmes fortement non-linéaires soumis à des IEM. En effet, les méthodes conventionnelles ne peuvent généralement s'appliquer qu'en risquant de détruire les composants. Une méthode d'injection impulsionnelle (plusieurs kilovolts) associée à de la réflectométrie temporelle (TDR) est donc proposée. Cette thèse vise à développer des modèles fréquentiels permettant de prédire les dégradations occasionnées par les IEM en modélisant les multiples effets non-linéaires des composants, en déterminant la réponse stochastique des composants perturbés, en prenant en compte l'influence de l'environnement électrique des composants.

Déroulement de la thèse :

Une méthode expérimentale permettant d'extraire les paramètres des modèles devra être entièrement élaborée. La validation se fera sur l'analyse de cartes d'application spécifiquement conçues, en comparant la méthodologie d'évaluation avec la mesure. Il sera nécessaire de développer des méthodes d'injection de contraintes et de mesure adaptées aux moyens expérimentaux du CEA pour accéder à la compréhension des phénomènes mis en jeu. Les méthodes de caractérisation à développer sont : réflectométrie temporelle (TDR) forte tension (kilovolts), comparaison avec des mesures « petits signaux » (analyseur de réseau vectoriel), analyse champ proche dans le domaine temporel et algorithme de reconstruction du courant comme outil de validation des modèles, développement de sondes, et si besoin de générateurs, spécifiquement adaptés (niveau et bande passante, ...). Enfin, il s'agit de faire la démonstration que les modèles fréquentiels des composants développés permettent la prévision correcte des défaillances occasionnées par des IEM au niveau d'une carte électronique.

DIRECTEUR DE THESE

Fabrice CAIGNET
& Alexandre BOYER
fcaignet@laas.fr
aboyer@laas.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 323
Ecole doctorale Génie Electrique
Electronique,
Télécommunications et Santé :
du système au nanosystème
LAAS/CNRS
7 avenue du Colonel Roche
BP 54200
31031 TOULOUSE CEDEX 4

ENCADRANT

Guillaume MEJECAZE
guillaume.mejecaze@cea.fr

CENTRE

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

The logo of the Commissariat à l'énergie atomique (CEA) is displayed, consisting of the lowercase letters 'cea' in a white, stylized font on a red rectangular background.

INSTRUMENTATION, METROLOGIE & CONTROLE

Contexte :

Le Laser MégaJoule (LMJ) est une installation expérimentale exceptionnelle, construite sur le CESTA, centre CEA de Bordeaux, permettant de réaliser des expériences de fusion par confinement inertiel à l'aide de faisceaux laser focalisés sur une cible millimétrique disposée au centre d'une vaste chambre d'expérience. L'objectif est d'acquérir des données expérimentales permettant la validation de modèles numériques. Un ensemble de systèmes de mesure ou Diagnostics permet de réaliser des images spécifiques de l'implosion dans le domaine des rayonnements X ou visible-proche UV grâce à une caméra ultra-rapide dont le cœur est un tube électronique dit tube à balayage de fente. Le fonctionnement de ce tube repose sur une conversion des photons incidents (X ou visibles) en électrons par une photocathode. Ces électrons sont accélérés et focalisés vers un écran luminophore dont l'image est enregistrée par une caméra CCD.

Les performances requises pour les nouveaux diagnostics nécessitent de concevoir une nouvelle génération de tubes avec des résolutions et une dynamique très améliorées

Objectif de la thèse :

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

Déroulement de la thèse :

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

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

Dans un premier temps, le(a) doctorant(e) devra mettre en place une expérience de base visant à mettre en évidence ces effets de charge d'espace et la simuler.

Par la suite, il serait judicieux d'étudier les effets de cette charge d'espace sur des systèmes plus simples, de type diode à focalisation de proximité. A l'issue de ces expériences et de ces simulations, le(a) doctorant(e) aura apporté une contribution majeure à la compréhension des phénomènes physiques à l'origine des limitations induites par la charge d'espace et sera de ce fait en capacité de proposer et de réaliser une évolution vers une deuxième génération de structures de tube à balayage de fente avec une meilleure dynamique.

DIRECTEUR DE THESE

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

ECOLE DOCTORALE

ED 209
Sciences Physiques et de
l'Ingénieur
351 cours de la libération
CS 10004
33405 Talence Cedex

ENCADRANT

Stéphanie CHAMPEAUX
stephanie.Champeaux@cea.fr

CENTRE

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

The CEA logo consists of the letters 'cea' in a white, lowercase, sans-serif font, positioned on a red rectangular background. A thin horizontal line is located directly beneath the letters.

Réalisation d'un banc de mesure de réflectivité dans l'infrarouge pour des pièces en forme

Contexte :

Le CEA/Le Ripault travaille sur des matériaux qui sont utilisés dans tout le domaine spectral, de l'UV à l'IR. Ces matériaux doivent répondre à des caractéristiques optiques qui sont souvent mesurées sur des petits échantillons plans. Le Département possède des compétences reconnues dans la caractérisation optique des matériaux. Pour des applications industrielles liées au laser LMJ, il a déjà développé un réflectomètre dans le domaine du visible et proche infrarouge donnant d'excellentes précisions même sur des pièces non planes. Nous souhaitons disposer d'un système équivalent mais fonctionnant dans le domaine de l'infrarouge moyen et lointain avec des dimensions de pièces de quelques dizaines de centimètres.

Objectif de la thèse :

L'objectif de cette thèse est la réalisation d'un banc de mesure de la réflectivité infrarouge permettant d'obtenir les caractéristiques optiques sur des pièces réelles (formes non obligatoirement planes) pour valider, sur des pièces de quelques dizaines de centimètres, la démarche de mesure mise en œuvre sur petits échantillons. Ce banc de mesure devra être portable, pour pouvoir être utilisé dans un atelier de production en s'inspirant des idées qui ont été déployées pour la mise au point du réflectomètre visible. La limitation du domaine spectral, des déplacements, des précisions et du temps de mesures seront ainsi les données d'entrées initiales.

Déroulement de la thèse :

Selon les données initiales, il faudra choisir et qualifier les bonnes sources, les bons détecteurs permettant de couvrir le domaine spectral et définir la nécessité ou non de séparer le domaine spectral qui nécessiterait l'introduction de composants supplémentaires.

L'utilisation d'un spectromètre à transformée de Fourier sera initialement privilégiée en tant qu'appareil flexible (spectralement) et disposant de voies d'acquisition extérieures. Cet appareil sera étudié dans la configuration voie extérieure pour évaluer les précisions selon le domaine spectral et avec les différents détecteurs donc un bolomètre pour l'infrarouge lointain.

L'utilisation d'une fibre infrarouge qui faciliterait la portabilité du système sera étudiée pour l'utilisation future dans un atelier. Le système devant mesurer des caractéristiques infrarouges aura une tête d'acquisition optique sous vide pour éviter les perturbations liées à l'absorption spectrale fluctuante de l'air en fonction du temps extérieure.

Outre le soutien des équipes du CEA engagés dans ces actions, la thèse s'appuiera également sur des laboratoires spécialisés dans la métrologie infrarouge comme le laboratoire national d'Essais.

Une étude initiale de la bibliographie fixera le choix des sources infrarouges, des détecteurs, des fibres et des configurations potentielles d'un spectromètre. Le(a) doctorant(e) se familiarisera à l'utilisation des spectromètres FTIR et des détecteurs refroidis (MCT, Bolomètre,...) en évaluant les précisions de mesure en lien avec le LNE. Il(elle) établira des contacts pour l'utilisation de fibre infrarouge et évaluera leur atténuation pour vérifier la compatibilité avec l'application. Il(elle) élaborera une solution de tête optique permettant une mesure sur des pièces planes d'abord à l'ambiante, puis regardera les résultats sur des pièces dont la courbure est de plus en plus prononcée en évaluant la perte de précision du système.

Ensuite, le(a) doctorant(e) mettra sous vide la tête de mesure et étudiera l'influence de cette mise sous vide de l'application.

Enfin, il(elle) munira la tête de mesure d'un système de déplacement 3D et testera ses performances sur des objets d'abord à géométrie plane puis à géométrie sphérique pour finir sur une géométrie quelconque. Il(elle) évaluera les écarts de précision avec les précisions préalablement déterminées afin de valider les performances du banc ainsi développé.

Instrumentation, métrologie et contrôle

DIRECTEUR DE THESE

Hervé PIOMBINI
herve.piombini@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 575
Electrical, Optical, Bio-Physics
and Engineering
C2N 10 Bvd Thomas Gobert
91120 Palaiseau

ENCADRANT

Corinne MARCEL
corinne.marcel@cea.fr

CENTRE

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



MATERIAUX, PHYSIQUE DU SOLIDE.

Contexte :

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

Objectif de la thèse :

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

Déroulement de la thèse :

Le(a) doctorant(e) commencera par analyser la première expérience de diffraction X afin de se familiariser avec :

- 1- les méthodes expérimentales utilisées pour étudier la matière dense et tiède à l'aide d'un laser de puissance,
- 2- les outils de dépouillement qu'il(elle) se devra de compléter,
- 3- les simulations hydrodynamiques.

Cette première phase de travail permettra de préparer, de réaliser et d'analyser les différentes campagnes expérimentales citées ci-avant. Pendant toute la durée du doctorat, l'étudiant(e) bénéficiera d'un co-encadrement multidisciplinaire CEA/LULI composé d'expérimentateurs laser et synchrotron, de théoriciens et de géophysiciens, ce qui l'amènera à participer également à des expériences sur des installations synchrotron (ESRF, Grenoble) et XFEL (Hambourg).

DIRECTEUR DE THESE

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

ECOLE DOCTORALE

ED 626
Ecole Doctorale de l'Institut
Polytechnique de Paris
Ecole Polytechnique
Route de Saclay
91120 Palaiseau

ENCADRANT

Adrien DENOEUD
adrien.denoed2@cea.fr

CENTRE

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

Contexte :

Dans des environnements radiatifs, tels que l'espace ou les grands instruments de physique, les composants microélectroniques présents peuvent être soumis à des flux importants de particules énergétiques. Ces particules vont transmettre leur énergie cinétique à la matière constituant les composants microélectroniques, notamment via un processus dit nucléaire, dans lequel elles vont percuter des atomes de la matière qui, mis en mouvement, vont percuter à leur tour d'autres atomes de la matière et les déloger de leur position d'équilibre. Ce phénomène de collisions successives est appelé une cascade de collisions et peut engendrer des déplacements atomiques responsables de la génération de défauts et d'amas de défauts. Ces défauts peuvent introduire des niveaux d'énergie dans la bande interdite des matériaux semiconducteurs présents dans les composants et par conséquent dégrader leurs propriétés électriques, voire dans certains cas les faire claquer.

Objectif de la thèse :

Une compréhension fine des phénomènes physiques en jeu lors d'une cascade de collisions et des causes de la dégradation des composants reste encore à acquérir et la simulation multi-échelle depuis l'échelle atomique peut apporter des éléments de réponse. Une méthodologie de simulation multi-échelles a été mise en place depuis quelques années dans le laboratoire dans lequel s'effectuera le doctorat. Tout d'abord, les produits de l'interaction particule matière et leurs propriétés sont déterminés grâce à un code Monte Carlo. Ces propriétés sont ensuite réinjectées dans un code de dynamique moléculaire afin d'étudier la dynamique de la cascade de déplacements et de mesurer, entre autres, le rayon d'influence de l'ion incident. Puis, l'utilisation de méthodes de type Monte Carlo hors réseau permet de simuler la réorganisation des amas de défauts générés par la cascade sur des temps longs. Enfin, les méthodes de type *ab initio* donnent accès aux changements induits par ces défauts dans la structure électronique des matériaux. Durant sa thèse, le(a) doctorant(e) sera donc amené(e) à utiliser et à améliorer la méthodologie décrite ci-dessus et les différents codes qui la constituent. Pour cela, un master 2 portant sur la simulation des matériaux, la chimie théorique ou la simulation numérique est requis.

Déroulement de la thèse :

En plus de l'application de la méthodologie décrite ci-dessus à différents semiconducteurs présents dans les technologies microélectroniques les plus avancées (Si, Ge, GaAs, GaN,...), le(a) doctorant(e) devra aussi gérer les nombreux résultats issus de ces simulations en les organisant sous forme de bases de données, qui seront ensuite utilisées pour entraîner des algorithmes basés sur les réseaux de neurones. Tout au long de sa thèse, il(elle) échangera très régulièrement avec les ingénieurs-chercheurs travaillant sur les effets des radiations dans les composants afin que les résultats obtenus pendant la thèse les aident à améliorer les modèles utilisées dans les codes simulant les technologies microélectroniques.

DIRECTEUR DE THESE

Anne HEMERYCK
anne.hemeryck@laas.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 323
Genie Electrique Electronique
Télécommunications (GEET)
7, avenue du colonel Roche
31400 Toulouse

ENCADRANT

Nicolas RICHARD
nicolas.richard@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Établir les propriétés d'un matériau, et cela quelles que soient les températures et pressions, est un des plus grands enjeux de la physique moderne. Lorsque ces données thermodynamiques (expérimentales et/ou théoriques) sont disponibles, il est alors possible de construire une « équation d'état » (EoS). Dans ce cadre, les calculs dits ab initio jouent un rôle important car ils permettent de construire cette EoS, même lorsqu'aucune expérience n'est réalisable dans les conditions thermodynamiques explorées. L'une des briques de base de ces EoS est le spectre de phonons (vibrations du réseau). Celui-ci permet d'obtenir de nombreuses grandeurs thermodynamiques (entropie, chaleur spécifique, énergie libre...) nécessaires à la construction de l'EoS. Cependant, le spectre de phonons, comme les autres grandeurs, peut être fortement affecté par la température, autrement dit par des effets dits anharmoniques.

Objectif de la thèse :

La dépendance explicite du spectre de phonons vis-à-vis de la température peut aujourd'hui être obtenue au moyen de dynamiques moléculaires ab initio. Ces études, bien que coûteuses en ressources de calcul, sont aujourd'hui réalisables, à la fois en raison des avancées théoriques mais aussi grâce aux efforts de développement des outils numériques. En particulier, nous disposons aujourd'hui d'un code de calcul de structure électronique ABINIT capable d'exploiter efficacement les capacités des supercalculateurs (Joliot-Curie et TERA-1000) disponibles sur notre centre de recherche. L'objectif de la thèse sera d'obtenir, par calcul ab initio, différentes grandeurs thermodynamiques en température d'un matériau d'intérêt (Fe, Ti, U...) puis de construire son EoS.

Déroulement de la thèse :

La thèse débutera par un travail théorique d'appropriation des différentes techniques employées : simulations ab initio, dynamique moléculaire, calculs de spectres de phonons, construction d'une EoS... Elle se poursuivra par la réalisation des différentes étapes de calculs permettant d'aboutir à la construction d'une EoS d'un matériau (Fe, Ti, U...) présentant de nombreuses phases en pression et température. Selon le profil de l'étudiant(e), ce travail peut s'accompagner d'un développement théorique et d'implémentation afin d'obtenir d'autres grandeurs dérivées nécessaires à la construction d'une EoS.

DIRECTEUR DE THESE

Gregory GENESTE
gregory.geneste@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 571
2MIB - Molécules Matériaux,
Instrumentation et Biosystèmes
3 Rue Joliot Curie
Bâtiment Breguet
91190 Gif sur Yvette

ENCADRANT

Francois BOTTIN
francois.bottin@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Grâce aux nouvelles architectures des supercalculateurs, les simulations de dynamique moléculaire classique (DM) entreront bientôt dans le domaine du millier de milliard d'atomes, jamais atteint jusque là, devenant ainsi capables de représenter la plasticité des métaux à l'échelle du micron. Pour autant, de telles simulations génèrent une quantité considérable de données et la difficulté réside désormais dans leur exploitation, afin d'en extraire les ingrédients statistiques pertinents pour l'échelle de la plasticité « mésoscopique » (échelle des modèles continus). L'extraction de ces données peut se faire par des techniques d'analyse spécifique basées sur la caractérisation de l'environnement local, a posteriori ou in situ au cours de la simulation. Enfin, les outils du machine learning peuvent intervenir afin d'analyser la statistique obtenue et d'en extraire et synthétiser une description minimale de la plasticité pour les modèles aux échelles supérieures.

Objectif de la thèse :

Le premier objectif est de mettre en place un classifieur de défauts élémentaires à l'échelle atomique, dont l'encodage se fera en utilisant des descripteurs bien choisis, signant l'existence de la ligne de dislocation. La difficulté réside dans la détection de faibles déviations par rapport à un comportement moyen (outlier detection). En étendant cette définition aux anomalies de vitesses des atomes, nous pouvons également extraire la vitesse moyenne de cette ligne.

Le deuxième objectif concerne l'application des outils précédemment développés à des systèmes de grande taille. Les données devront être analysées afin d'extraire les dislocations à l'échelle du micron. La nature des connexions entre dislocations (jonction) sera particulièrement étudiée ainsi que les corrélations de positions entre groupes de dislocations dues aux champs à longue portée rayonnés par ces défauts.

Les informations obtenues serviront à alimenter un modèle phénoménologique de plasticité aux échelles supérieures. Cette modélisation pourra être comparée à une approche purement numérique basée sur des techniques d'apprentissage automatique. L'objectif final est de faire le lien entre une description atomistique de la plasticité obtenue grâce aux outils de machine learning / big data et une description plus mésoscopique reliée aux approches continues. Ce lien est le dernier chaînon manquant pour une description cohérente de la plasticité des métaux à toutes les échelles.

Déroulement de la thèse :

L'étudiant(e) effectuera dans un premier temps une revue bibliographique, puis prendra en main le code de DM développé au CEA. Il(elle) abordera ensuite la mise en place d'un classifieur de structures cristallines/défauts à l'aide du machine learning avant de l'intégrer dans le code afin d'effectuer ces analyses à la volée. Une réflexion sera ensuite engagée sur la suite de la chaîne de calcul, afin d'être en mesure d'obtenir une statistique directe de la plasticité à l'échelle microscopique, qui puisse être exploitée aux échelles supérieures.

DIRECTEUR DE THESE

Mihai-Cosmin MARINICA
cosmin.marinica@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 564
EDPIF - Physique en Ile de
France
LPS Orsay bâtiment 510
Bureau 145
510 rue André Riviere
91400 Orsay

ENCADRANT

Paul LAFOURCADE
paul.lafourcade@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Les ferrites sont des matériaux magnétiques indispensables dans le domaine des dispositifs de télécommunications, d'électronique haute fréquence, d'électronique de puissance pour des applications variées : inductances, transformateurs, circulateurs, conversion et amplification d'énergie. Dans toutes ces applications, il est essentiel de maîtriser l'effet des contraintes mécaniques sur les propriétés magnétiques afin d'améliorer les performances des dispositifs et de réaliser des gains d'énergie. En effet, les effets de couplages magnéto-élastiques (ou magnétostriction), qui interviennent au second ordre par rapport à l'ensemble des propriétés magnétiques, peuvent contribuer à des pertes intrinsèques qu'il est difficile de réduire sans perturber l'optimum établi. Une solution originale a cependant été identifiée dans la littérature par GF Dionne et RG West («Magnetic and dielectric properties of the spinel ferrite system $\text{Ni}_{0.65}\text{Zn}_{0.35}\text{Fe}_2\text{-xMn}_x\text{O}_4$ », Journal of Applied Physics 61, 3868, 1987). Cette voie basée sur l'effet Jahn Teller est encore peu étudiée et mal comprise dans la littérature, notamment parce que cet effet se met en place à partir d'une concentration-seuil et non de manière linéaire.

Objectif de la thèse :

L'objectif de cette thèse est d'améliorer les performances des matériaux à base de ferrites en diminuant leur sensibilité aux contraintes mécaniques en réalisant des dopages pour induire un effet Jahn-Teller. La mise en évidence de cet effet, et la compréhension plus fine du rôle de la composition sur les propriétés magnétiques sont également un objectif. Les travaux seront valorisés par des publications et des participations à des congrès internationaux. Les compositions les plus performantes pourraient être utilisées pour des applications industrielles.

Déroulement de la thèse :

Les travaux se dérouleront dans les locaux de Thalès Research and Technology (TRT) à Orsay (91) qui dispose de moyens d'élaboration, de caractérisations chimiques et microstructurales et de caractérisations magnétiques. Le(a) doctorant(e) sera encadré(e) par Richard Lebourgeois, expert en développement de matériaux magnétiques pour des applications dans le domaine de l'électronique de puissance ou les télécommunications. Des compositions exploitant l'effet Jahn-Teller pour compenser la magnétostriction y seront élaborées et caractérisées. La sensibilité aux contraintes des propriétés magnétiques, notamment de leur sensibilité aux contraintes, nécessitent des moyens spécifiques présents au CEA le Ripault. Des caractérisations microstructurales poussées avec l'appui des grands instruments (ESRF,...) permettront de déterminer la composition chimique locale afin de comprendre par des modèles simples le rôle de chaque espèce ionique sur les propriétés magnétiques des compositions.

DIRECTEUR DE THESE

Olivier ISNARD
Olivier.Isnard@neel.cnrs.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 47
Ecole Doctorale de Physique
EDPHYS
Domaine Universitaire
Maison du doctorat Jean
Kuntzmann
110 rue de la Chimie
38402 Saint-Martin d'Hères

ENCADRANT

Anne-Lise ADENOT-ENGELVIN
anne-lise.adenot-engelvin@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Les matériaux composites à matrice céramiques (CMC) sont employés pour leur haute résistance mécanique en température (1000°C et plus). Quelle que soit la famille de CMC (oxyde/oxyde, renfort carbone, renfort SiC), ces matériaux fonctionnent par le biais d'un endommagement qui survient dès les premières sollicitations. Pour un grand nombre d'entre eux, le domaine élastique est quasiment inexistant. La détermination de la loi de comportement thermomécanique nécessite l'établissement d'un modèle capable de reproduire ce comportement. La détermination des paramètres de ce modèle demande la mesure la plus complète possible en température du couple contrainte/déformation pour des géométries d'intérêt pour le modèle. Cette mesure est délicate à haute température et pose problème aux techniques usuelles (jauges de déformation, mesure par corrélation optique surfacique). Une solution est d'utiliser la tomographie X qui donne en théorie accès à l'intégralité du champ de déplacement si tant est qu'il soit mesurable, ce point dépendant des contrastes de densité au sein du matériau ainsi que l'amplitude du déplacement.

Objectif de la thèse :

Dans le cadre des travaux de thèse proposés, le(a) doctorant(e) aura à mettre au point les mesures de contraintes/déformations sur éprouvettes CMC notamment à l'aide d'une machine d'essais mécaniques implantée sur un tomographe X. Il validera également les mesures de champ de déformation par corrélation d'images volumiques. Les essais, une fois validés à température ambiante, pourront également s'effectuer en température jusqu'à 1000°C. Il s'agira alors de construire les lois de comportement des matériaux étudiés. Celles-ci seront basées sur le modèle dit « ODM » (ONERA Damage Model).

Déroulement de la thèse :

La première partie de la thèse consistera à mettre en place un dispositif d'essais mécaniques sous tomographie X en température. Il s'agira de valider la mesure de déplacements par corrélation d'image volumique en la comparant avec d'autres techniques (jauges de déformation, corrélation d'image surfaciques, ...). Dans un second temps l'exploitation des données acquises devra permettre de proposer des lois de comportement en température sur les matériaux CMC étudiés.

DIRECTEUR DE THESE

Frédéric LAURIN
frederic.laurin@onera.fr

ECOLE DOCTORALE

Université Paris-Saclay

ENCADRANT

François GUILLET
francois.guillet@cea.fr

CENTRE

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

Contexte :

Les composites fibreux à matrice céramique (CMC) sont une classe de matériaux qui combinent de bonnes propriétés mécaniques spécifiques (propriétés rapportées à leur densité) à une tenue à haute température (> 1000 °C) même sous atmosphère oxydante. Ils sont généralement constitués d'un renfort fibreux carbone ou céramique et d'une matrice céramique (carbure ou oxyde). Des limites importantes pour le développement de ce type de matériaux existent. Ce sont par exemple le coût important des procédés mis en oeuvre (utilisation de systèmes spécifiques : fours hautes température et/ou basse pression, ...) ainsi que le coût et la disponibilité des matières de base, les renforts fibreux en particulier. Les matériaux composites combinant un renfort de fibres courtes et une matrice céramique sont une classe de matériaux innovants qui présentent a priori de nombreux avantages :

- La réduction des coûts de fabrication, en particulier par rapport au CMC à renfort constitué de fibres longues.
- L'accessibilité à des formes géométriques variées en utilisant des techniques de moulage traditionnelles par rapport aux limitations induites par les procédés de tissage.
- La mise en oeuvre simplifiée par rapport à une imprégnation homogène d'un renfort à fibres longues qui s'avère difficile à maîtriser.

Ainsi, la voie des fibres courte mérite d'être évaluée sur son potentiel à répondre à des sollicitations thermomécaniques et thermiques extrêmes (allant jusqu'à l'ablation).

Objectif de la thèse :

L'objectif du sujet est de mettre au point un procédé d'élaboration de matériaux composites à matrice céramique (CMC) à renfort de fibres courtes mixant les procédés de plasturgie et de traitements thermiques de céramisation / frittage. Il s'agira de formuler des polymères chargés avec des fibres courtes et d'étudier les procédés de mise en forme puis de transformation thermique permettant l'obtention d'un CMC.

Deux voies sont envisageables et seront étudiées successivement : l'utilisation d'une résine fugitive (disparaissant à la pyrolyse) avec des charges qui seront frittées lors du traitement thermique ou l'utilisation de résines précurseurs de céramiques avec ou sans charges supplémentaires (procédé PIP).

Déroulement de la thèse :

Le(a) doctorant(e) s'intéressera à la formulation des résines chargées en fibres courtes et éventuellement en charges aptes au frittage, à leur mise en oeuvre par extrusion ou injection par exemple (avec l'appui d'études rhéologiques en lien avec la formulation) et à leur pyrolyse /céramisation. L'objectif sera d'élaborer différentes natures de CMC et d'établir des liens élaboration / microstructure / comportement pour ces matériaux relativement aux paramètres suivants :

- Microstructure des matériaux obtenus (orientation aléatoire des fibres et maîtrise de la porosité en particulier)
- Propriétés mécaniques à température ambiante et si possible en température : flexion, essai de choc thermique
- - Propriétés thermiques et ablatives (essai sous torche plasma de quelques matériaux d'intérêt)

DIRECTEUR DE THESE

Jean François GERARD
jean-françois.gerard@insa-lyon.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 34 Matériaux
École Centrale de Lyon
Bât. F7
36 avenue Guy de Collongue
F-69134 ECULLY Cedex

ENCADRANT

Patrick HOURQUEBIE
patrick.hourquebie@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Le palladium peut être utilisé pour stocker les isotopes de l'hydrogène, sous forme d'hydruure métallique. Cette solution présente l'avantage d'être compacte et sûre, point particulièrement intéressant pour le stockage du tritium, l'isotope radioactif de l'hydrogène. Cependant, la décroissance radioactive du tritium (période de 12,32 ans) s'accompagne de l'apparition d'hélium-3 dans le solide, très peu soluble, et qui se réorganise rapidement sous forme d'amas puis de bulles piégées dans la matrice métallique. Cette accumulation d'hélium provoque un vieillissement du matériau caractérisé par l'évolution de ses propriétés thermodynamiques, structurales et mécaniques. Ainsi, lorsque la concentration en hélium dans le matériau atteint une valeur critique, la rétention en phase solide n'est plus assurée : l'hélium est desorbé massivement en phase gazeuse. Durant cette dernière phase, la pression d'hélium dans le conteneur du tritium peut augmenter rapidement, conduisant à un risque de rupture de celui-ci.

Il est donc fondamental de comprendre et de prédire le comportement de l'hélium-3 au cours du temps dans le matériau afin de prévenir une montée en pression trop importante dans le conteneur et de déterminer un critère permettant de sélectionner un matériau pour sa capacité de rétention de l'hélium sur de grandes périodes.

Objectif de la thèse :

- L'obtention de nouvelles grandeurs caractéristiques du tritium de palladium à différents stades de vieillissement, données nécessaires en entrée des modèles et à leur recalage (densité de bulles, pression dans les bulles...).
- L'amélioration des différents modèles développés pour simuler les étapes successives du vieillissement du tritium de palladium et plus particulièrement l'aboutissement de celui qui décrit la troisième phase du vieillissement : le relâchement massif d'hélium-3.

Déroulement de la thèse :

Travaillant au sein de l'Equipe de Chimie et de Métallurgie des Terres Rares du CNRS de Thiais (ICMPE), le(a) doctorant(e) sera amené à faire des déplacements sur les sites du CEA/Valduc et du CEA/Saclay pour réaliser diverses caractérisations.

Le programme d'études comportera donc une partie de caractérisation expérimentale d'échantillons de Pd à différents stades de vieillissement et une partie théorique, décomposée comme suit :

1. Caractérisation microscopique du vieillissement du tritium de Pd (ICMPE et CEA Saclay) par MET, RMN, EELS, tomographie électronique et éventuellement par sonde atomique (faisabilité à démontrer) dans l'optique d'acquérir des informations sur la taille des bulles, leur distribution, leur pression interne.
2. Caractérisation macroscopique du vieillissement du tritium de Pd (CEA Valduc) : essais de traction sur tritium de Pd à différents stades de vieillissement pour en déduire une loi de comportement mécanique de ce matériau.
3. Modélisation (ICMPE) : Amélioration des modèles existants et aboutissement du développement de la modélisation de la dernière phase du vieillissement conduisant au relâchement massif d'hélium 3.

DIRECTEUR DE THESE

Valérie PAUL-BONCOUR
paulbon@icmpe.cnrs.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 531
Sciences, Ingénierie,
Environnement
Université Paris-EST
6-8 Av. Blaise-Pascal
Cité Descartes
Champs-sur-Marne
77455 Marne-La-Vallée

ENCADRANT

Mathieu SEGARD
mathieu.segard@cea.fr

CENTRE

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



**MATHEMATIQUES,
INFORMATION SCIENTIFIQUE,
LOGICIEL.**

Contexte :

Les modèles 3D de dispersion atmosphérique sont une voie d'amélioration des études de surveillance de l'environnement des sites du CEA/DAM. En effet, ils permettent d'appréhender avec réalisme la répartition des rejets dans l'air et peuvent aider à la prise de décisions. Toutefois, des incertitudes sont associées aux modèles en tant que tels et à leurs données d'entrée (météorologie, terme source...). La propagation directe des incertitudes fait appel à un échantillon de simulations de taille limitée en raison des temps de calcul, ce qui entache l'estimation des quantiles élevés. Pour contourner cette difficulté, on approche le modèle physique par une fonction mathématique, dite « émulateur ». Dans le cas d'un modèle 3D de dispersion, il faut d'abord réduire la dimension de la sortie du modèle car celle-ci est spatialisée sous la forme d'une carte de répartition des rejets ou de leur impact sanitaire. De plus, les travaux réalisés par le CEA montrent que les méthodes classiques de régression ne sont adaptées qu'à des configurations simples et s'appliquent peu à des environnements réels en présence de reliefs ou de bâtiments. Ainsi, l'état de l'art ne permet pas d'atteindre le niveau de complexité des applications du CEA/DAM.

Objectif de la thèse :

Dans le cadre de la thèse, nous proposons d'étudier si certains réseaux de neurones, comme les auto-encodeurs, sont à même de surpasser les méthodes actuelles de prise en compte des incertitudes en dispersion atmosphérique. Deux directions de recherches seront explorées :

- La réduction de dimension des sorties (cartes de concentrations) par un réseau de neurones de la famille des auto-encodeurs en vue de l'application d'une méthode d'émulation,
- L'échantillonnage d'une densité de probabilité de concentrations, sans émulation cette fois, par un réseau auto-encodeur variationnel ou par une paire de réseaux de neurones antagonistes génératifs GAN (qui n'ont jamais été utilisés dans le contexte de la dispersion atmosphérique).

L'apport des réseaux de neurones par rapport aux méthodes disponibles actuellement sera évalué selon des critères de robustesse, de budget de calcul et de facilité d'apprentissage automatique.

Déroulement de la thèse :

T0 (démarrage) à T0 + 6 mois – Bibliographie sur les modèles de dispersion et les réseaux de neurones.

T0 + 6 mois à T0 + 12 mois – Réalisation d'expériences jumelles de dispersion dans des milieux complexes.

T0 + 12 mois à T0 + 24 mois – Programmation de réseaux de neurones en tant que méta-modèles.

T0 + 24 mois à T0 + 30 mois – Evaluation des réseaux de neurones et conclusions sur leurs apports.

T0 + 30 mois à T0 + 36 mois – Rédaction du mémoire de thèse.

Les résultats obtenus seront valorisés dans des publications (avec un objectif d'une par année) et dans des présentations en congrès.

DIRECTEUR DE THESE

Olga MULA
mula@ceremade.dauphine.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 543
Sciences de la Décision, des
Organisations, de la Société et de
l'Echange (SDOSE)
Université Paris Dauphine
Place du Maréchal de Lattre de
Tassigny
75775 Paris CEDEX 16

ENCADRANT

Patrick ARMAND
patrick.armand@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

L'imagerie satellitaire Radar à Synthèse d'Ouverture (ou SAR : Synthetic Aperture Radar) est une technique d'imagerie où une antenne à bord d'un satellite émet une onde radar qui se propage jusqu'au sol, puis mesure l'onde rétrodiffusée. Ce type d'imagerie trouve de nombreuses applications, par exemple en géophysique où elle permet de mesurer des déformations millimétriques de la surface terrestre ou également en reconstruction 3D.

Différentes techniques exploitent le traitement du spectre d'une image radar dans le domaine de Fourier. Ce spectre a la propriété particulière de contenir des informations très différentes selon la direction du traitement fréquentiel. Ainsi, le traitement du spectre selon la direction dite du « range » permet d'identifier des points dont la phase a un comportement stable à travers les différentes fréquences émises par une antenne radar autour de sa fréquence principale. Sur de tels points, il est possible d'effectuer de l'interférométrie dite « multi-chromatique » permettant de restituer leur hauteur. Elle permet notamment de reconstruire des objets métalliques complexes tels que des pylônes ou ouvrages d'art métalliques. Dans la seconde direction, appelée « azimut », le traitement fréquentiel permet de reconstituer d'éventuels déplacements du réflecteur au cours de l'acquisition de l'image, qui dure quelques secondes. Il est alors possible d'accéder à des informations sur des vibrations du réflecteur, mettant en évidence d'éventuelles zones de fragilité sur des ouvrages d'art.

Objectif de la thèse :

L'objectif est de produire des nuages de points 3D sur des objets à géométrie complexe sur lesquels les techniques classiques de reconstruction 3D par imagerie radar ou optique ne sont pas applicables, afin de faciliter l'interprétation des images.

Déroulement de la thèse :

La première partie de la thèse consistera en une étude bibliographique des différentes techniques de traitement en azimut et en range du spectre d'images radar, appliquées à la reconstruction 3D et à l'étude des vibrations. Lors de la deuxième partie de la thèse, le(a) doctorant(e) mettra en œuvre ces méthodes sur des données très résolues acquises en bande X par les satellites Cosmo-SkyMed et TerraSAR-X/TanDEM-X. Il(elle) testera également l'intérêt des techniques de débruitage sur ces méthodes. La communauté ne dispose pas pour l'instant de validation des mesures issues de ces techniques comparées à des Vérités Terrain, ni de mesure de précision en fonction des différents paramètres associés. Lors de la troisième partie de la thèse, le(a) doctorant(e) devra concevoir une série d'expérimentations afin d'estimer la précision à la fois des mesures de reconstruction 3D et des paramètres estimés des vibrations (fréquence, amplitude). Le dépouillement des expérimentations devra permettre de comparer les performances liées aux capteurs et aux algorithmes afin de proposer des méthodes optimales.

DIRECTEUR DE THESE

Florence TUPIN
florence.tupin@telecom-paris.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 626
Institut Polytechnique de Paris
Ecole Polytechnique
Route de Saclay
91120 Palaiseau

ENCADRANT

Béatrice PINEL-PUYSSEGUR
beatrice.puysegur@cea.fr

CENTRE

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



MECANIQUE & THERMIQUE

Contexte :

La sensibilité au choc des matériaux énergétiques (explosifs) est une propriété cruciale conditionnant leur sûreté. Les endommagements potentiels pendant leur cycle de vie influencent cette sensibilité. Il est donc primordial de comprendre les mécanismes responsables de la sensibilisation, notamment le rôle de la microstructure. Une première thèse, alliant expérimentations et simulations, a été réalisée en collaboration avec l'Institut de recherches de Saint-Louis (ISL) et le Centre de Morphologie Mathématique (CMM) de MINES ParisTech. Elle a permis de développer et valider des outils d'étude de la corrélation microstructure/sensibilité. Des échantillons d'explosifs, vierges ou endommagés par choc, ont été imagés par microtomographie à rayons X. L'analyse segmentée des images a révélé des évolutions notables de la microstructure. Les simulations numériques des champs de pression et de température montrent que des interactions mécaniques complexes ont lieu entre les grains et confirment que le comportement macroscopique du matériau est influencé par sa structure à l'échelle microscopique.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est d'approfondir le lien entre la microstructure du matériau après endommagement et les mécanismes influençant la sensibilité.

Déroulement de la thèse :

Plusieurs explosifs seront soumis à des impacts. Un protocole précis sera élaboré pour contrôler les diverses phases de traitement des échantillons (fabrication, transport, analyse, etc.) Chaque échantillon sera imagé avant et après endommagement par microtomographie X. Des simulations numériques à l'échelle mésoscopique d'impacts équivalents permettront d'établir les champs de température et de pression au sein de la microstructure. Le choc de l'impact engendrant un déplacement important de la matière, le lien entre la microstructure initiale et l'état thermodynamique final du matériau n'est pas trivial. Des outils seront développés dans le but de :

- 1 - Faire correspondre la microstructure saine et endommagée d'un même échantillon (appariement des grains).
- 2 - Caractériser l'endommagement créé, 3) mesurer l'évolution des champs thermodynamiques obtenus par simulation en fonction de la microstructure.

On utilisera des méthodes issues de la morphologie mathématique pour explorer les relations entre microstructure, réponse sous choc et endommagement. Des outils d'apprentissage statistique seront utilisés pour établir des corrélations entre morphologie et sensibilité au choc. Prévoir environ 1,5 an au CMM et 1,5 an au CEA Gramat (et des participations éventuelles à des expérimentations à l'ISL).

DIRECTEUR DE THESE

Petr DOKLADAL
petr.dokladal@mines-paristech.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 621
ISMME
60 boulevard Saint-Michel
75006 PARIS

ENCADRANT

Steve BELON
steve.belon@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Le développement des instabilités plastiques est l'origine essentielle de l'initiation de la fragmentation dynamique, sujet d'importance pour des applications tant "de Défense" que "Civiles", en lien avec la sécurité de stockages potentiellement explosibles. Deux thèses précédemment menées au CEA de Gramat ont abouti, d'une part, à une modélisation analytique 2D monomodale complète (analyse linéaire de stabilité étendue XLSA) du développement des instabilités de striction dans un cylindre mince en expansion dynamique, d'autre part, à une description multimodale du développement des instabilités dans un barreau en traction dynamique.

Objectif de la thèse :

La thèse proposée a alors pour objectif d'élaborer une méthodologie innovante pour la compréhension du phénomène de développement des instabilités. En premier lieu, il s'agira d'établir une première description 2D axisymétrique complète des instabilités se développant dans un barreau cylindrique en traction dynamique, en s'inspirant des développements XLSA. Afin d'optimiser au mieux les temps de calcul, une approche 1D complémentaire et novatrice devra être proposée via une analyse numérique détaillée des approximations faites actuellement sur les approches 1D classiques, ainsi qu'en exploitant les premiers travaux acquis. Enfin, une description statistique des instabilités dans un tube en expansion sera proposée en s'inspirant des travaux déjà réalisés spécifiques au cas du barreau. Ces derniers étaient basés sur des distributions 1D. L'objectif sera alors de proposer une extension 2D de la description statistique des distributions de perturbation; description jamais proposée dans la littérature.

Déroulement de la thèse :

Le travail de thèse sera encadré de manière tripartite entre le centre CEA/DAM Gramat (lieu de déroulement principal de la thèse), le centre CEA/DAM Ile de France et l'Université de Lorraine (au LEM3 à Metz). Il se composera en différentes étapes de développement et d'évaluation :

- Développement du modèle complet adapté au barreau en traction et évaluation par comparaisons analytiques / numériques.
- Développement d'une approche 1D et confrontations analytiques / numériques.
- Intégration de ces développements dans une approche statistique multimodale et comparaisons analytiques / numériques voire expérimentales en configuration barreau et cylindre.

DIRECTEUR DE THESE

Sébastien MERCIER

ECOLE DOCTORALE

ED 409
EMMA - Energie Mécanique
Matériaux

ENCADRANT

Skander EL MAI
skander.elmai@cea.fr

CENTRE

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 nouvelle technique originale pour simuler les effets d'une explosion de forte énergie. L'injection d'un courant impulsionnel intense dans un fil fin provoque son explosion et génère une onde de souffle sphérique qui se propage dans l'air ambiant, puis vient interagir avec une maquette sous test. La faisabilité de cette technique a été démontrée en 2021 au CEA/Gramat en développant un générateur compact de courant impulsionnel intense (400 kA – 400 ns) ainsi qu'une configuration de fil explosé permettant de générer une explosion sphérique d'énergie 5 kJ environ.

Objectif de la thèse :

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

Déroulement de la thèse :

Les premiers résultats ont démontré une injection efficace de l'énergie, une bonne homogénéité ainsi qu'une sphéricité du front d'onde de choc. Des optimisations seront à mener afin d'intégrer les maquettes de tests. De nombreux moyens de diagnostics devront être implantés ou améliorés pour permettre ces optimisations : capteurs de courant et de tension, imagerie rapide de l'explosion initiale du fil, capteurs de pression miniaturisés, cinématographie rapide par ombroscopie laser 3D de la propagation du front d'onde de choc et de son interaction avec les maquettes. Des analyses, des modélisations et des simulations numériques devront également être menées pour orienter et optimiser les configurations expérimentales ainsi que pour étudier leurs possibilités de réglages et pour évaluer les incertitudes des grandeurs caractéristiques. Ces études concerneront notamment la modélisation du dépôt d'énergie dans le fil prenant en compte le couplage avec le générateur, ainsi que la vérification des corrélations entre les principales grandeurs caractéristiques telles que : l'énergie déposée et la puissance de l'explosion, la vitesse de propagation du front d'onde de choc sphérique, les fronts de montée, de décroissance et les niveaux de pression de ce front d'onde.

DIRECTEUR DE THESE

Thibault DE RESSEGUIER
resseguier@ensma.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 609
SIMME : Sciences et Ingénierie
des Matériaux, Mécanique,
Energétique

ENCADRANT

Frédéric ZUCCHINI
frederic.zucchini@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

L'amorçage par laser de matériaux énergétiques est une alternative intéressante à l'amorçage électrique habituellement utilisé. D'un point de vue de la sécurité, cela permet de s'affranchir des risques liés aux décharges électriques et électrostatiques puisqu'aucun conducteur n'est au contact du détonateur. Cela permet également d'éloigner la source d'énergie initiatrice à plusieurs dizaines de mètres du détonateur contre quelques mètres pour l'amorçage électrique.

Un détonateur optique est en cours de développement au laboratoire. Son principe de fonctionnement repose sur l'utilisation d'un laser impulsionnel nanoseconde qui, focalisé sur un dépôt multicouche déposé sur une fenêtre de verre, permet de générer un projectile d'aluminium dont l'impact va faire détoner un chargement d'explosif pulvérulent. Un prototype de détonateur est opérationnel mais les différents éléments doivent être optimisés et les phénomènes physiques maîtrisés pour être en mesure de concevoir un système polyvalent avec une très bonne fiabilité.

Objectif de la thèse :

L'objectif principal de la thèse sera d'optimiser les différents paramètres régissant le fonctionnement d'un détonateur optique en associant expériences et simulations et ceci pour différents explosifs, utilisés actuellement (pentrite, HMX) ou en cours de développement.

Pour initier la détonation soutenue d'un explosif solide hétérogène à l'aide d'un projectile mince propulsé par laser, il faut dépasser une certaine énergie critique d'amorçage qui dépend des propriétés intrinsèques de l'explosif (densité, granulométrie, diamètre critique) et de celles du projectile (vitesse, épaisseur, diamètre). Pour chacun des explosifs envisagés, il s'agira de déterminer cette énergie critique d'amorçage puis de définir la géométrie des projectiles permettant de dépasser ce seuil. Ce travail s'appuiera principalement sur l'utilisation de moyens expérimentaux disponibles au laboratoire ainsi que sur des simulations à l'aide d'un code de calcul 1D d'interaction laser-matière développé au CEA. Des simulations hydrodynamiques pourront également être effectuées afin d'étudier des effets 2D tels que l'influence du diamètre du projectile.

Déroulement de la thèse :

Le début de la thèse sera consacré à l'optimisation du détonateur actuel avec comme explosif de chargement, la pentrite. Des expériences effectuées avec un générateur de chocs développé au laboratoire ainsi que des simulations permettront de déterminer les conditions critiques d'amorçage de l'explosif. Les résultats obtenus seront comparés avec les données disponibles dans la littérature afin de valider la démarche. Par la suite, les travaux seront étendus à deux autres explosifs, le HMX d'une part, plus difficile à amorcer mais qui offre des performances détoniques supérieures et un explosif en cours de développement ayant des paramètres de sûreté de meilleur niveau.

DIRECTEUR DE THESE

Michel ARRIGONI
michel.arrigoni@ensta-
bretagne.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 602
SPI - Sciences pour l'Ingénieur
Ecole centrale de Nantes
1 rue de la Noë
44321 Nantes cedex 3

ENCADRANT

Philippe HEBERT
philippe.hebert@cea.fr

CENTRE

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



OPTIQUE & OPTRONIQUE

Contexte :

Au cours de l'exploitation du Laser Mégajoule et de Petal, des variations de performances laser (diminution de transmission et perte d'homogénéité) ont été constatées dues à l'évolution des composants optiques multicouches : miroirs et polariseurs. Pour assurer le maintien de ces systèmes lasers, tout en limitant le nombre de composants à remplacer, il est primordial d'améliorer la compréhension des phénomènes à l'origine de l'évolution de ces composants. Ces miroirs et polariseurs sont optimisés pour atteindre des spécifications sévères qui conditionnent le choix de la technique de dépôts. Ils sont déposés par évaporation, technique qui induit une porosité. Cette porosité les rend alors sensibles à leur environnement. En effet, l'eau contenue dans l'air ou toute autre pollution peut s'y condenser ou s'en évaporer, changeant ainsi les indices de réfraction effectifs et/ou les propriétés physiques des couches.

Objectif de la thèse :

L'objectif de cette thèse est de caractériser cette porosité et étudier l'impact de sa composition sur les performances optiques des multicouches utilisés sur les lasers de puissance. Il s'agit d'améliorer la compréhension des phénomènes pour anticiper le comportement des composants au cours du temps et suivant l'environnement d'utilisation. Des voies de vieillissement accéléré, voire même de recyclage, seront également étudiées afin de maîtriser et minimiser les coûts d'exploitation.

Déroulement de la thèse :

Ce sujet comprend 3 volets d'études :

1. Etude et caractérisation de la porosité : L'objectif est de déterminer les meilleures méthodes pour caractériser la porosité et en évaluer le contenu. Pour cela, l'étudiant(e) pourra s'appuyer sur l'expertise du laboratoire et de nos partenaires, utiliser divers moyens de caractérisation disponibles en interne et chez nos partenaires et compléter ces caractérisations par des simulations. Une fois ces méthodes définies, le/la doctorant(e) qualifiera la pollution moléculaire sur divers lasers de puissance (LMJ, PETAL, OMEGA EP) à l'aide d'échantillons témoins ou de composants en retour d'installation.
2. Etude de l'évolution des performances optiques des multicouches : Il s'agit d'étudier l'effet du nettoyage, de cycles thermiques dans des environnements particuliers sur les performances optiques des miroirs et polariseurs dans le but de réaliser des essais de vieillissement accéléré. Pour cela le/la doctorant(e) caractérisera les évolutions des couches minces de ces composants au cours des différents tests via plusieurs moyens de métrologie.
3. Modéliser et prédire les comportements de nos composants : Grâce à la méthode développée dans l'étape 1 et les connaissances de l'évolution des composants de l'étape 2, l'étudiant(e) pourra modéliser les phénomènes en jeu. L'objectif de cette dernière étape est de pouvoir prédire les comportements de nos composants sur les lasers et ainsi proposer des solutions aux différents phénomènes actuellement constatés sur nos installations.

DIRECTEUR DE THESE

Christelle DUBLANCHÉ-TIXIER
Cédric DUCROS
cedric.ducros@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 609
Science et Ingénierie des
Matériaux, Mécanique,
Énergétique (SIMME)
ENSMA
Téléport 2
1 avenue Clément Ader
BP40109
86961 Futuroscope Chasseneuil
Cedex

ENCADRANT

Marine CHOREL
marine.chorel@cea.fr

CENTRE

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



Oscillateur Mamyshev pour des impulsions ultra-courtes énergétiques à haut taux de répétition

Contexte :

Actuellement, de nombreuses applications industrielles, médicales et scientifiques sont basées sur l'utilisation d'impulsions laser ultra-courtes. Depuis quelques années, les oscillateurs à blocage de modes à état solide permettant de délivrer de telles impulsions ultra-courtes, longtemps prédominants, sont remplacés par des lasers à fibres optiques alliant robustesse, bas coût et faisceaux de grande qualité.

Néanmoins, encore récemment, l'énergie par impulsion disponible en sortie de ces lasers fibrés restait bien inférieure à celle obtenue avec les oscillateurs à état solide. Aujourd'hui, ce problème semble en voie d'être totalement résolu grâce à l'utilisation d'un nouveau type d'architecture laser appelé oscillateur Mamyshev.

Objectif de la thèse :

Dans le cadre d'une collaboration existante entre la société Amplitude (Pessac), leader mondial des lasers à fibres ultra-courts, le CEA CESTA et le laboratoire PhLAM (université Lille), nous recherchons un(e) doctorant(e) CIFRE dont l'objectif sera de développer un oscillateur Mamyshev à haut taux de répétition pour des applications industrielles.

Déroulement de la thèse :

Après une étape de prise en main des outils numériques déjà développés et d'un prototype d'oscillateur Mamyshev existant déjà au CEA Cesta, il s'agira dans un premier temps de tester et valider une nouvelle stratégie de démarrage de cet oscillateur. Toujours sur l'oscillateur existant, il s'agira également de finaliser des études expérimentales et numériques sur l'impact de certains paramètres de la cavité sur le régime de fonctionnement et les performances de l'oscillateur.

Dans un second temps, après une étape de dimensionnement (modélisation numérique), le ou la doctorant(e) aura pour objectif de développer et d'optimiser un nouvel oscillateur Mamyshev entièrement fibré capable de délivrer des impulsions énergétiques (gamme nanojoule) à haute cadence ($>50\text{MHz}$).

L'étudiant(e) aura également pour objectif de démontrer la capacité à comprimer ces impulsions en dessous de 50fs. Enfin, en fonction des résultats, la réalisation d'un prototype industriel pourra être envisagée.

Le(la) doctorant(e) sera embauché(e) par la société Amplitude (PESSAC) dans le cadre du dispositif CIFRE.

Son temps de travail sera réparti entre le CEA CESTA et la société Amplitude. Un suivi régulier sera effectué par le laboratoire PhLAM (université Lille).

Optique et optronique

DIRECTEUR DE THESE

Olivier VANVINCQ
olivier.vanvincq@univ-lille.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 104
Sciences de la matière, du
Rayonnement et de
l'environnement (SMRE)
Université des Sciences et
Technologies de Lille
59655 Villeneuve d'Ascq cedex

ENCADRANT

Florent SCOL
florent.scol@cea.fr

CENTRE

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



PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSE, CHIMIE & NANOSCIENCES

PhD project on photonastic phenomena using computational chemistry

Physique de l'état condensé, chimie et nanosciences

Contexte :

Photonastic materials convert light energy into mechanical energy and are the subject of pre-determined and repeatable deformations in response to light stimuli. This phenomenon is usually associated with plants and flowers whose petals open in the daylight and close in the evening in response to a light stimulus. In this PhD project, we are interested in bio-inspired polymeric photoactuator devices which can have applications in microfluidics, biomedics, soft robotics and motors. The keystone of these systems is the insertion of photoactive molecules, such as photochromes, within polymer films. They can undergo reversible photochemical reactions between two isomers that present different physico-chemical properties and, most often, significant structural modifications that can stimulate a large macroscopic shape-change in disordered or amorphous materials. While the number of experimental studies dedicated to photonastic materials, and more specifically to light-responsive polymers, is exploding, only few theoretical studies are dedicated to their investigation. Yet, their macroscopic behavior is likely dictated by atomistic/molecular scale processes, making computational chemistry the appropriate tool for understanding the unequivocal correspondence between the state of the photochrome and the shape of the film.

Objectif de la thèse :

In this PhD project, the aim is to identify, with the help of computational chemistry, the key parameters at the molecular and supramolecular scales involved in the mechanical response of a photoresponsive polymeric thin film. The challenge is to rationalize the multiscale mechanisms underlying these phenomena, namely the ultrafast photochromic reactions at the molecular level, the momentum transfer to the surrounding matrix, and after a cascade of processes, the long-term polymer relaxation which yields the macroscopic experimental deformation. The coupling between the photochromic reaction and the consequent behavior of the polymer matrix up to ~ 10 ps will be handled by a postdoctoral fellow prior to the beginning of the PhD project, using quantum chemistry and classical molecular dynamics. The objectives of the PhD project thus include the use of the previously proposed methodology to study the influence on the photonastic phenomenon of the strength of the photochrom/polymer interaction, the photochrome/polymer ratio and the time delay between two neighboring photochemical reactions. A final objective of the PhD project is to model the mechanical response of the polymer matrix on a longer time scale, up to 1 μ s, using coarse-grained methods.

Déroulement de la thèse :

This PhD project will be supervised jointly by Aurélie Perrier at ENSCP and Claire Lemarchand at CEA. The work of the PhD student will be done at ENSCP with weekly meetings with both supervisors.

DIRECTEUR DE THESE

Aurélie PERRIER
aurelie.perrier-pineau@univ-paris-diderot.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 388
Chimie Physique et Chimie Analytique de Paris Centre
4 place Jussieu
Campus Pierre et Marie Curie
Case courrier 63
Sorbonne Université
75005 Paris

ENCADRANT

Claire LEMARCHAND
claire.lemarchand@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Dans de nombreuses applications (moteurs électriques, stockage des données, détection, antennes, ...), les propriétés magnétiques des matériaux s'obtiennent par un équilibre subtil entre différentes interactions, un fait qui rend le design de nouveaux dispositifs complexes. En spintronique moderne, la manipulation des édifices magnétiques topologiques par lesquels transite l'information et par d'autres stimuli que l'induction magnétique, ouvre la voie à de nouveaux dispositifs fonctionnels plus économes en énergie.

Objectif de la thèse :

Le travail de thèse sera de disposer de nouveaux potentiels interatomiques pour la dynamique moléculaire et la dynamique de spin couplées de très haute qualité. En particulier ce travail portera sur l'application des méthodes d'apprentissage automatique conjointement aux théories de la fonctionnelle de la densité électronique et de la dynamique de spin pour traiter l'interaction élasto-magnétique des oxydes fortement corrélés à l'aide de codes numériques haute performance développés au CEA.

Déroulement de la thèse :

Le premier objectif sera de déterminer ab initio l'intensité de l'interaction élastique, magnétique et du couplage pour une collection d'oxydes magnétiques prototypiques et fortement corrélés, capable de reproduire les propriétés remarquables de ces composés. Afin de créer cette base de donnée dans un espace de configuration vaste, le(a) doctorant(e) s'appuiera sur les codes de structure électronique à haut rendement pour déterminer l'énergétique associée aux configurations magnétiques et structurales.

Le second objectif sera de développer un outil d'apprentissage automatique à partir de la base de données simulée, par des descripteurs pertinents préservant les symétries des configurations. Cette stratégie sera comparée aux approches proposées dans la littérature en vérifiant que l'outil développé préserve les performances des dynamiques moléculaires et de spin couplées.

De plus, l'outil sera testé sur un sous-ensemble restreint de propriétés ab initio pour en déterminer la qualité. Enfin, l'outil sera continuellement enrichi en accumulant de nouvelles données par procédure d'intégration et de développement continu.

DIRECTEUR DE THESE

Pascal THIBAudeau
Pascal.thibaudeau@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 389
P2MC - La Physique de la
Particule à la Matière Condensée
UPMC
4 place Jussieu
75005 Paris

ENCADRANT

Bertrand BERTUSSI
bertrand.bertussi@cea.fr
CENTRE

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

PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME, MOLECULE.

Contexte :

Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans le cadre des études préparatoires à l'atteinte de l'ignition sur le laser Mégajoule (LMJ). La thèse portera plus particulièrement sur la thématique de l'interaction laser-plasma. En vue de réaliser la fusion thermonucléaire inertielle par laser (FCI) en laboratoire, l'interaction laser-plasma est l'un des premiers phénomènes à maîtriser puisqu'elle vise à optimiser l'efficacité et la qualité du dépôt de l'énergie laser. Sur le LMJ, la capsule de combustible deutérium-tritium est placée au centre d'une cavité en or de dimensions millimétriques : l'énergie laser est d'abord convertie en rayonnement X sur les parois internes de la cavité avant d'irradier la capsule. Les faisceaux laser sont distribués en cônes et superposés à l'entrée de la cavité pour irradier les parois de façon relativement homogène. L'éclairement laser résultant et la répartition régulière favorisent les couplages résonants instables entre les modes propres du plasma et les faisceaux laser au travers d'instabilités dites collectives où l'une des ondes est stimulée par plusieurs faisceaux répartis sur un cône [C. Neuville et al., Phys. Rev. Lett. 116, 235002 (2016); S. Depierreux et al., Phys. Rev. Lett. 117, 235002 (2016)].

Objectif de la thèse :

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

Déroulement de la thèse :

Le travail expérimental s'appuiera sur des installations laser complémentaires disponibles en France (à l'Ecole Polytechnique et au CEA/CESTA) et aux Etats-Unis (Université de Rochester). Les principaux diagnostics sont optiques dans les domaines visible, UV et X. Les expériences associées fourniront des résultats dans des conditions de plus en plus représentatives de la FCI permettant de tester les modèles qui auront été développés au travers des expériences élémentaires. L'interprétation des observations expérimentales correspondantes s'appuiera sur les codes PIC (Particle in Cell) et de couplage d'ondes existants et en cours de développement.

A l'issue de la thèse, l'étudiant(e) sera formé(e) à la conception d'une expérience sur une installation laser de puissance et plus généralement à la conduite d'un grand projet scientifique. Il(elle) devrait avoir acquis d'excellentes connaissances dans les domaines de la physique des plasmas, de l'interaction laser-plasma, une vision d'ensemble sur toutes les problématiques liées à l'atteinte de l'ignition par laser ainsi que de solides compétences expérimentales en optique dans les domaines visible, UV et X et en analyse de données.

DIRECTEUR DE THESE

Luc BERGE
luc.berge@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 572
Ecole Doctorale Ondes et Matière
EDOM
Université Paris-Saclay
Rue André Rivière Bâtiment 520
(ISMO)
91405 ORSAY

ENCADRANT

Sylvie DEPIERREUX
sylvie.depierreux@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

L'accélération faisceau-plasma est l'une des techniques envisagées pour générer des faisceaux de particules très énergétiques et venir concurrencer à long terme les grands accélérateurs conventionnels. Son principal avantage repose sur les grands champs accélérateurs qu'elle permet de générer – de typiquement 2 ordres de grandeur supérieurs aux accélérateurs conventionnels – ce qui permet de réduire d'autant la taille des accélérateurs. L'accélération faisceau-plasma se produit lorsqu'un premier faisceau de particules déjà accéléré est focalisé et se propage dans un plasma peu dense issu d'un gaz ionisé. Les champs propres de ce faisceau mettent en mouvement les électrons du plasma, ce qui génère une onde plasma dans le sillage du faisceau, cette onde de sillage étant caractérisée par des champs électriques accélérateurs de très grandes amplitudes. L'injection d'un second faisceau d'électrons ou de positrons dans cette onde de sillage permet d'accélérer très fortement ce dernier. De nombreuses interrogations théoriques et expérimentales nous imposent de recourir à des simulations pour mieux comprendre et optimiser ces accélérateurs. La dynamique des deux faisceaux et du plasma ne peut être simulé qu'à l'aide d'un code « Particle-In-Cell » (PIC), qui modélise le couplage entre les champs électromagnétiques et les particules chargées qui sont décrites de manière cinétique.

Objectif de la thèse :

Bien que le code PIC CALDER soit efficacement parallélisé et tourne sur plusieurs milliers de cœurs de manière routinière, les simulations PIC d'accélération faisceau-plasma, surtout lorsqu'elles sont 3D, nécessitent toujours des calculs très longs. Afin d'accélérer considérablement le calcul, l'objet de la thèse sera de développer et d'implémenter un modèle quasi-statique dans le code PIC CALDER. L'hypothèse quasi-statique repose sur la capacité à découpler les évolutions rapides de l'onde plasma, et lentes des faisceaux de particules relativistes. Après la compréhension des implications et limitations physiques et mathématiques de cette hypothèse, le(a) doctorant(e) devra implémenter le modèle quasi-statique dans la version 2D de CALDER, puis le valider et tester les limites de ce modèle. Ce travail sera étendu à la géométrie 3D et il(elle) pourra travailler sur l'optimisation du parallélisme du code lorsque le modèle quasi-statique est utilisé.

Déroulement de la thèse :

Cette thèse se déroulera en deux temps. D'abord l'étudiant(e) devra implémenter le modèle quasi-statique et tester ses limites. Ensuite, il(elle) pourra l'utiliser pour étudier des cas physiques.

DIRECTEUR DE THESE

Luc BERGE
luc.berge@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 572
Ondes et Matière - EDOM
Rue André Rivière
Bâtiment 520
ISMO
91405 Orsay

ENCADRANT

Xavier DAVOINE
xavier.davoine@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

De nombreuses expériences ayant pour objectif de mieux comprendre le comportement de la matière dans des régimes extrêmes et sur des échelles de temps très courtes (en physique des plasmas, physique du solide, physique atomique, etc.) nécessitent de recourir à des sources de rayonnement X pour radiographier l'objet étudié, ou réaliser une spectroscopie dans le domaine X. L'obtention d'une source X ponctuelle (avec une taille proche de 10 microns de diamètre) une durée très courte (proche de la picoseconde) est nécessaire pour les applications nécessitant une très bonne résolution temporelle et spatiale. L'interaction d'un laser d'ultra haute intensité (UHI) avec une cible de petite taille permet de générer de telles sources : le laser ionise la cible grâce à ses forts champs qui accélèrent ensuite les électrons ionisés dans la cible. Ceux-ci émettent alors du rayonnement X via différent processus : collisionnel (Bremsstrahlung) ou atomiques (e.g. émission de raie $K\alpha$). La courte durée des lasers UHI assure d'obtenir une courte durée d'émission. La forme et la taille de la cible permettent de limiter l'extension de la zone émissive. Si le principe de base de ces sources est compris, il est à ce jour difficile d'estimer avec précision les propriétés ou le rendement qu'on peut attendre de ces sources sur de nouvelles installations lasers.

Objectif de la thèse :

Le but du travail demandé sera de simuler ces sources avec le code CALDER, qui est un code de type Particle-In-Cell (PIC) et d'en améliorer leur compréhension. Ce code permet de simuler l'interaction d'un laser UHI avec un plasma. Il est développé en post-laboratoire et il est utilisé sur les supercalculateurs du CEA. Le candidat aura pour but de modéliser des expériences récentes ou prochaines servant à développer ces sources X. CALDER sera aussi interfacé avec un code de type Monte Carlo comme GEANT4 afin de mieux calculer le rayonnement $K\alpha$ émis. A partir de ces simulations, le(a) doctorant(e) cherchera à comprendre les effets physiques prépondérants qui entrent en jeu dans ces sources et à proposer des modèles physiques simplifiés pour les décrire. La compréhension nouvelle de ces sources permettra de proposer des améliorations au design des cibles.

Déroulement de la thèse :

Il(elle) débutera sa thèse en se formant à la physique de l'interaction laser-plasma à haute intensité, à l'émission de rayonnement X dans ces régimes, et à l'utilisation de CALDER voire de GEANT4 pour simuler ces sources. Ensuite, il devra chercher à reproduire des résultats expérimentaux récents. Un travail de compréhension des processus physiques impliqués sera demandé. Des propositions pour améliorer ces sources pourront alors être formulées, et testées grâce à la simulation.

DIRECTEUR DE THESE

Christophe BLANCARD
christophe.blancard@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 572
Ondes et Matière - EDOM
Rue André Rivière
Bâtiment 520
ISMO
91405 Orsay

ENCADRANT

Xavier DAVOINE
xavier.davoine@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Dans les expériences de Fusion par Confinement Inertiel (FCI) réalisées sur le Laser Mégajoule (LMJ) au CEA, des faisceaux lasers intenses traversent une cavité remplie de gaz. Aux niveaux d'éclairement considérés ($>10^{15}$ W/cm²), ce gaz est rapidement ionisé. Les faisceaux se propagent ainsi dans le plasma formé et sont soumis à différentes instabilités néfastes pour réaliser la fusion. Des techniques dites de lissage optique ont ainsi été proposées pour tenter de supprimer ou réduire ces instabilités. Elles consistent à briser les cohérences spatiales et temporelles des impulsions lasers afin que les longueurs et temps caractéristiques du faisceau laser soient plus petits que ceux requis pour le développement des instabilités. La brisure de la cohérence spatiale est réalisée par une lame de phase qui va répartir l'énergie laser en une multitude de grains de lumière appelés points chauds. La brisure de cohérence temporelle s'effectue en élargissant le spectre et en dispersant chacune des fréquences grâce à un réseau. La connaissance des caractéristiques des points chauds (largeur, longueur, contraste, temps de cohérence, vitesses ...) est importante pour prédire le niveau des différentes instabilités et celles-ci peuvent évoluer en fonction du temps et au cours de la propagation des faisceaux.

Objectif de la thèse :

Par souci de simplicité, les instabilités se développant lors de l'interaction laser-plasma sont le plus souvent étudiées dans des cas idéaux (plasma homogène) et autour du point de focalisation des faisceaux lasers. Or dans les expériences de FCI réalisées sur le LMJ, les faisceaux sont focalisés près du trou d'entrée laser de la cavité qui a une longueur d'environ 1 cm. Des instabilités peuvent donc se produire à la fois en amont du meilleur foyer (dans le plasma créé par l'explosion de la fenêtre) et aussi et surtout en aval de celui-ci (assez loin à l'intérieur de la cavité). Le but de la thèse est d'étudier comment le développement de certaines instabilités peut varier lorsqu'il se produit loin du meilleur foyer du faisceau laser. Nous nous concentrerons en particulier sur les instabilités de propagation (autofocalisation, diffusion Brillouin vers l'avant) et sur la rétrodiffusion Brillouin. Le travail sera réalisé grâce à de nombreux outils de diagnostics et à des codes numériques existants.

Déroulement de la thèse :

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre plusieurs unités du CEA. La première étape consistera en une recherche bibliographique sur la FCI.

Les codes utilisés par notre laboratoire depuis plusieurs années ont donné lieu à de nombreuses publications. Ils pourront cependant être modifiés ou améliorés en fonction des besoins pour les études réalisées. Une deuxième étape portera sur ce travail numérique.

L'objectif principal du travail de thèse sera ensuite d'évaluer les différentes options envisageables du lissage sur le LMJ lorsque les instabilités se développent en champ intermédiaire, c'est-à-dire loin du meilleur foyer laser.

DIRECTEUR DE THESE

Denis PENNINCKX
Denis.Penninckx@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 572
Ondes et Matière
Université Paris-Saclay
Rue André Rivière
Bâtiment 520
ISMO
91405 Orsay

ENCADRANT

Gilles RIAZUELO
Gilles.Riazuelo@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Depuis de nombreuses années, l'interaction laser-matière est utilisée pour étudier la matière dans des conditions extrêmes de pression et de température. En focalisant un faisceau laser intense de courte durée temporelle, il est ainsi possible de générer des pressions d'ablation allant du GPa au TPa avec des vitesses de sollicitation très élevées qui sont directement reliées aux durées d'impulsions mises en jeu. Il est ainsi possible d'étudier directement le comportement de divers matériaux (métaux, composites, verres, etc.) dans des régimes dynamiques qui sont éloignés du comportement étudié classiquement en régime quasi-statique.

Objectif de la thèse :

L'objectif principal de la thèse sera d'étudier l'interaction laser-matière dans des nouveaux régimes, que ce soit dans le domaine temporel (utilisation de formes temporelles quelconques et/ou de durées longues jusqu'à 100 ns) ou dans le domaine spatial (focalisation du laser sur des petites taches focales submillimétriques). Il faudra non seulement caractériser de manière précise le niveau et la forme de la pression induite dans toutes ces configurations, mais aussi connaître le plasma qui est créé à la surface de l'échantillon en termes de température et de densité. L'étude se fera à la fois dans un régime d'interaction laser directe et dans un régime d'interaction confinée.

Le second objectif de la thèse sera de définir des nouvelles configurations expérimentales optimisées pour l'étude des matériaux en s'appuyant sur la maîtrise de la pression d'ablation induite. Ces nouvelles configurations pourront être basées sur l'utilisation de multiples impulsions, la création d'envols de plaques utilisées ensuite comme impacteur ou encore l'utilisation de chocs laser symétriques.

Déroulement de la thèse :

L'étudiant(e) devra concevoir, réaliser et exploiter les expériences laser menées dans le cadre de la thèse. Il(elle) utilisera pour cela des diagnostics déjà existants comme la vélocimétrie laser Doppler en face arrière ou l'imagerie transverse résolue en temps. Il(elle) devra également mettre en oeuvre de nouveaux diagnostics spécifiques à l'interaction laser-matière en face avant, comme une mesure de température par spectroscopie ou pyrométrie ou une mesure de densité électronique via l'utilisation d'un interféromètre optique. Des mesures de pression résolues en espace et en temps devront aussi être mises en place afin d'obtenir une caractérisation spatio-temporelle de l'interaction laser-matière.

En parallèle, l'étudiant(e) devra aborder la modélisation des phénomènes physiques mis en jeu comme l'absorption laser, la propagation de choc, les changements de phase, etc. Il(elle) utilisera pour cela des codes hydrodynamiques développés au sein du CEA/DAM comme le code 1D Esther qui est utilisé par de nombreux experts de la communauté académique en France.

DIRECTEUR DE THESE

Laurent VIDEAU
laurent.videau@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 564
EDPIF - Physique en Ile de France - LPS Orsay
Bâtiment 510
Bureau 145
510 rue André Riviere
91400 Orsay

ENCADRANT

Arnaud SOLLIER
arnaud.sollier@cea.fr

CENTRE

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



PHYSIQUE THEORIQUE

Contexte :

Les réactions nucléaires sont un maillon essentiel pour la compréhension du monde qui nous entoure. Leur diversité et leur complexité reflètent les différents aspects dynamiques du problème à A-corps. La modélisation des mécanismes sous-jacents qui régissent ces processus physiques est un défi actuel de tout premier plan, à la fois pour la compréhension de la formation de l'univers et les applications. Par exemple, les réactions de diffusion de nucléons sur les noyaux légers tels que le Li, Be et B, présentent un intérêt en astrophysique : une meilleure connaissance de la section efficace de la réaction ${}^7\text{Be}(n,p){}^7\text{Li}$, qui est responsable de la disparition d'une grande partie du ${}^7\text{Be}$, pourrait aider à élucider le problème rencontré dans les modèles cosmologiques sur l'abondance du Li. Les noyaux légers sont des systèmes intéressants et très particuliers. Ils sont le siège de corrélations complexes qui donnent lieu à des structures très inhabituelles, telles les halos à un ou plusieurs nucléons et les agrégats. L'existence de ces sous-structures joue un rôle important lors de l'interaction entre le projectile et la cible et doit avoir un impact sur les sections efficaces.

Objectif de la thèse :

La résolution d'un problème de diffusion à (A+1)-corps, où A est la masse du noyau cible, reste trop complexe pour pouvoir être traité exactement. Les modèles de réaction considèrent souvent que ce problème peut être simplifié en un problème à deux corps dans lequel le nucléon incident interagit avec les A-nucléons de la cible via un potentiel complexe. Ces modèles sont connus sous le nom de modèle optique. Les sections efficaces sont alors calculées en résolvant une équation radiale qui est déduite de l'équation de Schrödinger.

Quelques extensions de ce modèle optique, notamment l'approche Continuum Discretized Coupled Channels (CDCC) utilisée dans cette thèse, permettent de tenir compte de la structure interne de la cible mais cette structure est introduite phénoménologiquement en supposant, par exemple, une structure en deux agrégats.

L'objectif de cette thèse est d'étendre le modèle CDCC en y introduisant des ingrédients issus d'une description microscopique de la cible et du potentiel d'interaction cible-projectile. Pour cela, nous utiliserons une méthode à A-corps développée dans le laboratoire, la méthode de mélange de configurations multiparticules-multitrous (MPMH), permettant de résoudre de façon exacte ou quasi-exacte la structure de la cible, des agrégats et de construire les potentiels optiques et de transitions microscopiques.

Déroulement de la thèse :

Lors de la thèse, l'étudiant(e) devra donc :

1. Calculer les fonctions d'onde MPMH des états à basse énergie de noyaux légers et celles des agrégats pouvant les constituer.
2. Calculer les recouvrements entre ces différentes fonctions d'onde.
3. Extraire les potentiels optiques et de transition nucléon-agrégat.
4. Intégrer ces recouvrements et ces potentiels dans l'approche CDCC.
5. Calculer les sections efficaces.

DIRECTEUR DE THESE

Nathalie PILLET
nathalie.pillet@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 576
PHENICS - Particules, Hadrons,
Energie, Noyau, Instrumentation,
Imagerie, Cosmos et Simulation
Université Paris-Sud
91405 ORSAY CEDEX

ENCADRANT

Huu-Tai CHAU
huu-tai.chau@cea.fr

CENTRE

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



Description microscopique multidimensionnelle de la dynamique du processus de fission nucléaire

Physique théorique

Contexte :

Pour simuler la fission nucléaire de basse énergie de façon microscopique, nous utilisons une méthode en deux étapes :

Étape 1 - Une surface d'énergie potentielle (SEP) est produite (utilisant un solveur Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB)).

Étape 2 - Une propagation dynamique utilisant cette SEP est calculée (utilisant la Méthode de la Coordonnée Génératrice Dépendant du Temps (TDGCM)).

Nous avons récemment appliqué cette méthode dans des études tentant de reproduire certaines observables expérimentales associées à la fission de certains systèmes nucléaires, en utilisant un espace de déformation 2D (de dimension 2). Bien que l'accord entre nos prédictions et les données expérimentales soit plutôt satisfaisant, une des conclusions de ces études est le fait que l'utilisation d'un espace de déformation plus "grand" semble être nécessaire pour limiter l'impact de certains problèmes liés à la topologie des SEP produites. L'extension de la méthode à des espaces 3D est l'objectif principal de cette thèse.

Objectif de la thèse :

Les deux objectifs principaux sont :

1. Développement d'une méthode de production de SEP 3D.
2. Développement d'un solveur TDGCM 3D.

Déroulement de la thèse :

Les grandes étapes prévues sur 3 ans sont :

1. Acquérir une expertise concernant nos précédents travaux et les formalismes et solveurs HFB et TDGCM.
2. Développer une méthode de production de SEP 3D (travail déjà en cours).
3. Développer un solveur TDGCM 3D (extension ou ré-écriture du solveur 2D existant).
4. Utiliser cette nouvelle méthode 3D pour tenter de reproduire certains résultats expérimentaux (fragmentations exotiques, transitions isotopiques, etc...).
5. Publier (journaux scientifiques) et présenter (conférences scientifiques) ces résultats.

DIRECTEUR DE THESE

Nathalie PILLET
nathalie.pillet@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 576
PHENICS - Particules, Hadrons,
Energie, Noyau, Instrumentation,
Imagerie, Cosmos et Simulation
Université Paris-Sud
91405 ORSAY CEDEX

ENCADRANT

Noël DUBRAY
noel.dubray@cea.fr

CENTRE

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



SCIENCES DE LA TERRE & DE L'ENVIRONNEMENT

Contexte :

Dans le cadre du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (TICE), les réseaux de faibles ouvertures (antennes) ont une importance primordiale grâce à leur haut niveau de détection. Depuis de nombreuses années le CEA DAM poursuit des travaux de recherche sur le développement de traitement d'antenne pour caractériser au mieux le signal sismique. Ce sujet se place dans la continuité de ces travaux effectués en collaboration avec le LSBB (Laboratoire Souterrain Bas Bruit) et l'IPGP (Institut Physique du Globe de Paris), portant sur l'aspect multi-sources (Schissel 2002) ou multi-composantes (Labonne 2017, Metaxian et al 2019) du traitement d'antenne. L'IPGP bénéficie d'une expertise sur l'aspect tridimensionnel par le biais des travaux de thèse d'Aldolfo Inza (2013) tandis que le LSBB offre un jeu de données unique par le biais de son antenne sismique large-bande multi-composantes (3C), multidimensionnelle (3D).

Objectif de la thèse :

Cette thèse a pour but de développer des outils d'analyse permettant l'exploitation multi-composantes et tridimensionnelle d'une antenne sismique. Récemment, plusieurs études ont étendu les méthodes de traitement d'antenne classique à l'utilisation des composantes horizontales (Gibbons et al 2011, Gal et al 2016, Labonne et al 2020). Cependant, ces méthodes bidimensionnelles composées de stations situées dans un même plan ne permettent d'accéder qu'aux paramètres de propagation apparents des ondes. Ainsi, à défaut d'estimation locale de la vitesse de l'onde observée, il n'est pas possible de déterminer son angle d'incidence, information importante pour identifier l'origine et la nature de l'onde. L'enjeu de la thèse sera de développer une nouvelle approche tridimensionnelle en utilisant l'information de polarisation. Les perspectives de ce travail de recherche sont multiples allant de la caractérisation de la source à la propagation des ondes en passant par des études d'anisotropie. Il permettra par ailleurs une comparaison des systèmes d'enregistrement en antenne avec des mesures locales 6 composantes (3 directions de translations et 3 axes de rotations). Cette thèse permettra aux différents partenaires du projet de se positionner sur les nouvelles orientations de l'instrumentation en sismologie notamment le déploiement d'antennes 3C-3D que ce soit pour l'étude de la source sismique et sa discrimination, qu'elle soit d'origine tectonique, anthropique ou même volcanique, mais aussi pour l'analyse de la houle océanique ou de glaciers.

Déroulement de la thèse :

En parallèle d'une étude bibliographique, l'étudiant(e) reprendra l'ensemble des programmes disponibles au sein du CEA (PMCC, analyse de polarisation) et de l'IPGP (3C-MUSIC). Ce travail constituera une base permettant par la suite le développement de nouveaux outils d'identification et de détection des événements sismiques. Le travail de thèse s'appuiera sur des données synthétiques et sur les données réelles provenant de l'antenne du LSBB. L'étudiant(e) partagera son temps entre l'IPGP et le CEA.

DIRECTEUR DE THESE

Jean-Philippe METAXIAN
metaxian@ipgp.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 560
Science de la Terre et de
l'Environnement et Physique de
l'Univers Paris (STEPUP)
IPGP - Bureau P31
1 rue Jussieu
75228 paris Cedex 05

ENCADRANT

Claire LABONNE
claire.labonne@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

Dans le cadre de ses missions le CEA/DAM Ile de France poursuit depuis de nombreuses années des travaux de recherche sur le développement de méthodes de caractérisation du signal sismique permettant notamment d'en extraire une description de la source la plus fine possible. En collaboration avec le Laboratoire Souterrain Bas Bruit (LSBB), une antenne sismique large bande tridimensionnelle a été déployée en surface et aussi à l'intérieur des 3 km de galerie du site de Rustrel. Des études récentes (Sèbe et al 2017, R. Rusch 2020) ont montré que cette antenne sismique permet d'accéder à une mesure indirecte du gradient du champ d'ondes sismiques.

Objectif de la thèse :

L'objet de ce travail de thèse sera d'étudier l'apport de ce nouveau type de mesures simultanées du déplacement du sol et de son champ de gradient pour les missions du CEA/DIF de détection des événements sismiques et de caractérisation de leur mécanisme à la source.

Déroulement de la thèse :

Dans un premier temps, le(a) doctorant(e) participera à l'élaboration, à partir des enregistrements sur les différentes antennes déployées sur le site du LSBB, d'une base de signaux de gradient du mouvement du sol, incluant notamment les champs de rotation et de déformation du sol. Les capacités des différentes antennes à fournir une mesure des champs de rotation et de déformation de qualité, ainsi que la précision des signaux obtenus, seront évaluées que ce soit sur le bruit de fond ou sur le signal d'événements d'intérêt. Cette base sera ensuite analysée afin d'examiner l'apport de ce type de mesure pour la détection d'événements sismiques et la caractérisation du mécanisme à la source. En effet, en permettant d'accéder simultanément au champ de déplacement et à son gradient spatial, ce nouveau type de mesure sismique a montré sa capacité à fournir une information suffisante pour identifier la vitesse et la direction de propagation des ondes (Hadzioannou et al. 2012, Wasserman et al. 2016). L'objectif sera donc d'évaluer puis d'améliorer ces approches quant à leur pouvoir de détection et de localisation de source mais aussi d'identification des différentes composantes du signal sismique. Le(a) doctorant(e) comparera ses résultats avec ceux de méthodes plus classiques de formation de voies par traitement d'antenne du mouvement du sol.

Du point de vue de la source sismique, même si les travaux théoriques de S. Donner et al. 2017 semblent indiquer un gain de résolution important sur la profondeur et les composantes du tenseur des moments, à ce jour aucune application à des données réelles n'a permis de valider ces résultats. En s'appuyant sur ces développements théoriques, l'objectif sera d'intégrer ce nouveau type de données aux méthodes actuelles d'estimation du mécanisme au foyer, d'adapter et d'améliorer les algorithmes d'inversion associés, puis d'en évaluer l'apport en termes de résolution des paramètres de source sur des données réelles.

DIRECTEUR DE THESE

Stéphane GAFFET
stephane.gaffet@lsbb.eu

ECOLE DOCTORALE

ED 364
Ecole doctorale Sciences
Fondamentales et Appliquées
(SFA)
Faculté des Sciences
Parc Valrose
06103 NICE Cedex 2

ENCADRANT

Olivier SEBE
olivier.sebe@cea.fr

CENTRE

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



Contexte :

La fibre optique, utilisée à des fins géophysiques ou de détection d'événements sismiques, permet d'accéder à de nouvelles zones d'études. L'interférométrie laser permet de mesurer la déformation axiale de la fibre et d'obtenir ainsi un capteur continu de déformation de grande longueur. Cette technologie a déjà montré sa capacité à enregistrer de forts télé-séismes, mais aussi des micro-séismes régionaux (magnitude Mw 1.9 dans le sud-est de la France). La fibre optique est également utilisable en prospection géophysique, de manière comparable aux mesures passives de bruit ambiant (de type AVA) : mesure des courbes de dispersion en fonction de la fréquence inversées en profils de vitesse des ondes. Plusieurs applications concrètes ont déjà vu le jour, avec notamment la caractérisation du sous-sol proche d'une ligne de train en Californie, la source du bruit étant le passage répété des trains, ou encore sur le campus de Stanford en utilisant le bruit citadin.

Objectif de la thèse :

Cette thèse vise à explorer les capacités d'un capteur encore non exploité par le CEA.

Il s'agira d'évaluer la capacité de la fibre optique à fournir des mesures géophysiques de qualité dans le sous-sol, jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 100 m. L'objectif est d'obtenir une imagerie des couches ainsi que des paramètres associés, dont la vitesse des ondes S, avec la meilleure résolution possible. Ces données sont primordiales pour l'évaluation des effets de site locaux et leur implémentation dans les calculs d'aléa sismique, ou encore pour la recherche de cavités.

Il s'agira également d'estimer la capacité de la fibre optique à caractériser une source sismique et le champ d'ondes élastiques associé.

Déroulement de la thèse :

Cette thèse se déroulera principalement sur le site du CEA avec des missions régulières (deux par an) auprès du directeur de thèse universitaire. La fréquence et la durée seront adaptées en fonction des besoins du projet.

En première année, le(a) doctorant(e) se formera au traitement des données fibre optique auprès du directeur de thèse à Nice (un mois) et à l'analyse de formes d'ondes issues de sismomètres classiques, au CEA. Le(a) doctorant(e) développera ensuite les outils de traitement nécessaires aux deux types d'applications envisagées :

- Le premier cas vise à caractériser le sous-sol, au niveau du réseau de failles des Cévennes responsable du séisme du Teil en 2019, ainsi que sur centre CEA, afin d'imager la géométrie des couches et failles présentes, puis inverser les profils de vitesse des ondes proches de la surface.

- Le second cas est en lien avec une expérience de sismologie active ayant eu lieu au LSBB (Laboratoire Souterrain Bas Bruit) en 2020 où une fibre optique et des capteurs sismiques classiques ont été colocalisés.

En deuxième année, le(a) doctorant(e) finalisera ses développements et études comparatives.

En troisième année, le(a) doctorant(e) valorisera ses résultats au travers de publications et de la rédaction du mémoire de thèse.

DIRECTEUR DE THESE

louis DE BARROS
debarros@geoazur.unice.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 364
Sciences Fondamentales et
Appliquées (SFA)
Faculté des Sciences
Parc valrose
06103 NICE Cedex 2

ENCADRANT

Amaury VALLAGE
amaury.vallage@cea.fr

CENTRE

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



SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

Contexte :

Depuis quelques années, le développement de méthodes permettant la reconstruction 3D de scènes à partir d'imagerie satellitaire stéréoscopique très haute résolution (THR) rencontre un fort intérêt au sein de la communauté scientifique. L'analyse d'une scène en 3D permet en effet, non seulement une observation plus précise des composants d'une scène à une date déterminée (volume, hauteur), mais aussi l'étude des variations volumétriques de la scène dans le temps : évolution des infrastructures (construction ou destruction de bâtiments) ou dans le relief (glissement de terrain, variations glacières), dans un contexte de détection automatique de changements. Cependant, la plupart des méthodes développées pour la reconstruction 3D satellitaire sont basées sur l'exploitation d'images nativement stéréoscopiques (i.e. acquises quasi simultanément).

Ainsi, que ce soit pour la reconstruction 3D à partir d'images d'archives dans un but d'analyse de l'évolution temporelle d'une scène, ou bien pour la reconstruction 3D de scènes à partir de nombreuses images issues de capteurs variés, la reconstruction 3D à partir d'images THR multi-dates et multi-capteurs reste un réel besoin opérationnel et nécessite le développement de stratégies adaptées.

Objectif de la thèse :

L'objectif de cette thèse est d'analyser et de comparer différentes méthodes de mise en correspondance et de reconstruction de surface afin de développer, au sein d'une chaîne de traitements automatique ou semi-automatique, la méthode la plus adaptée pour la génération de modèles 3D à partir d'images multi-dates, multi-angles et multi-capteurs.

Déroulement de la thèse :

En premier lieu, le(a) doctorant(e) devra étudier les méthodes de reconstruction 3D existantes : stratégies de mises en correspondances, critères de similarités, etc.

Puis, plusieurs axes de recherche pourront être éprouvés afin de répondre aux contraintes du problème posé :

- Analyse des nappes de corrélation pour la mise en évidence des changements.
- Sélection d'une image maître et choix des couples d'images par pixel en fonction de la similarité des images.
- Reconstruction d'une surface en 2.5D ou 3D à partir des nappes de corrélation.

Enfin le(a) doctorant(e) devra définir des critères d'évaluation afin de comparer les performances des méthodes les plus adaptées au problème posé.

Les critères d'évaluation ainsi mis en place permettront notamment d'associer une mesure d'incertitude aux produits obtenus. En s'appuyant sur cette étude, une stratégie appropriée à la mise en correspondance d'images multi-dates, multi-angles et multi-capteurs sera développée.

DIRECTEUR DE THESE

Bruno VALLET
bruno.vallet@ign.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 532
Ecole doctorale Mathématique et
Sciences et technologies de
l'information
6-8 avenue Blaise Pasca
77455 Marne la Vallée Cedex 2

ENCADRANT

Cyrielle GUERIN
cyrielle.guerin@cea.fr

CENTRE

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



Evaluer et améliorer les modèles de prévision numérique du temps à l'aide du bruit ambiant atmosphérique d'origine océanique

Sciences du climat et de l'environnement

Contexte :

En raison de l'interaction entre la stratosphère et la troposphère, la dynamique de la moyenne atmosphère (MA, ~10-100 km) est devenue un axe de recherche majeur pour la communauté scientifique. Les états initiaux des modèles de prévision numérique du temps présentent de grandes incertitudes au-delà de 30 km à cause du manque de mesures. L'extension de ces modèles à la MA rend nécessaire une description fine des perturbations atmosphériques et la recherche de nouvelles techniques de sondages. Cette thèse s'inscrit dans la continuité du projet européen ARISE2 (<http://arise-project.eu/>) dont l'infrastructure intègre le réseau global de stations infrason du SSI (Système de Surveillance International) déployé pour la vérification du TICE (Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires). Exploité dans un mode de fonctionnement continu, le réseau du SSI constitue un système extrêmement novateur pour la mesure de la dynamique de la MA sur des échelles de temps comprises entre quelques minutes et plusieurs années.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est d'exploiter le bruit de fond ambiant infrason engendré par la houle océanique et enregistré par le réseau du SSI pour caractériser les effets de propagation intégrés le long de la trajectoire des ondes dans l'atmosphère. Un nouveau modèle de source développé au CEA sera utilisé à cet effet. Ces dernières années, la mise au point de méthodes variationnelles multi-dimensionnelles a permis d'étendre la diversité et le nombre d'observations assimilables. Dans la lignée d'études récentes, des outils de type filtre de Kalman et/ou des méthodes ensemblistes avec inversions bayésiennes pourront être envisagés, utilisant par exemple le modèle global de prévision numérique du temps du centre ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Pour le CEA, les retombées attendues concernent l'amélioration des outils opérationnels de traitement et d'analyse grâce à une meilleure connaissance de la MA.

Déroulement de la thèse :

Le(a) doctorant(e) effectuera d'abord une recherche bibliographique approfondie sur l'assimilation de nouvelles données dans la MA. Les premiers objectifs seront de mettre en œuvre une quantification des biais de modèles dans la MA à l'aide du bruit ambiant, et de développer un opérateur d'observation décrivant la propagation des signaux. Une méthodologie pour assimiler ces données infrason disponibles à une échelle globale sera ensuite proposée. Les premiers tests d'assimilation seront effectués dans un contexte idéalisé (solution connue) à des échelles régionales. L'encadrement de la thèse mobilise l'expertise du CERE (Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique) pour la mise en œuvre de méthodes d'assimilation. Les collaborations établies dans le cadre du projet ARISE, et les contacts du directeur de thèse permettront également des interactions avec le groupe DARC (Data Assimilation Research Centre) en particulier à l'Université de Reading.

DIRECTEUR DE THESE

Marc BOCQUET
marc.bocquet@enpc.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 531
Université Paris-Est Sciences,
Ingénierie et Environnement
(SIE)
6-8 avenue Blaise Pascal
Cité Descartes
Champs-sur-Marne
77454 Marne-la-Vallée Cedex 2

ENCADRANT

Constantino LISTOWSKI
constantino.listowski@cea.fr

CENTRE

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



TECHNOLOGIES MICRO & NANO

Contexte :

L'évolution et l'intégration des composants électroniques reposent depuis longtemps sur la miniaturisation des dimensions des transistors. Leur taille atteint désormais des dimensions telles que les épaisseurs de couches minces ne contiennent plus que quelques couches atomiques. Pour poursuivre l'intégration des composants, une des voies les plus prometteuses consiste à explorer les empilements en 3D de composants. Cette démarche initiée au CEA LETI depuis plusieurs années a permis l'apparition de composants tels que les FinFETs), les nano-fils de silicium et plus récemment les nano-sheets.

Les premières études radiatives du CEA DIF montrent que les premières générations de ces technologies sont prometteuses, et identifiées comme solution possible pour l'électronique du futur. Ces études radiatives nécessitent d'être poursuivies sur les dernières générations technologiques actuellement développées au LETI.

Objectif de la thèse :

Les objectifs seront :

- De comprendre le fonctionnement des composants avancés du CEA LETI et des effets prédominants des radiations dans l'électronique.
- D'identifier, de modéliser et de simuler numériquement les environnements radiatifs d'intérêt et leur interaction avec les zones sensibles des dispositifs.
- De définir et réaliser les tests radiatifs pertinents par rapport aux environnements définis.
- D'évaluer les règles de conception pour optimiser les futurs composants électroniques afin de les rendre plus résistants aux effets des radiations.

Déroulement de la thèse :

Le travail de thèse de déroulera selon les étapes suivantes :

- Etude bibliographique : fonctionnement des composants LETI et environnements radiatifs d'intérêt.
- Modélisation du comportement électrique des composants étudiés.
- Réalisation de campagnes d'expérimentation radiative sur ces composants (sur site ou à l'étranger).
- Identification/analyse et modélisation des mécanismes originaux de dégradation et modélisation.
- Identification des stratégies possibles de durcissement.

Les travaux de thèse seront réalisés en interface avec plusieurs équipes des laboratoires impliqués (CEA DIF et CEA LETI) et des collaborations externes pour les expériences réalisées. Les travaux de thèse se dérouleront principalement au CEA DIF (Arpajon) avec de nombreux échanges au CEA LETI (Grenoble). Des collaborations nationales ou internationales seront mises à profit aussi bien pour les expérimentations réalisées sous faisceaux de particules que pour la modélisation et la simulation numérique des environnements radiatifs et de leurs effets sur l'électronique.

DIRECTEUR DE THESE

Sylvain BARRAUD
sylvain.barraud@cea.fr

ECOLE DOCTORALE

ED 220
Electronique, Electrotechnique,
Automatique, Traitement du
Signal (EEATS)
Grenoble INP
46 avenue Félix Viallet
38031 Grenoble Cedex 1

ENCADRANT

Damien LAMBERT
damien.lambert@cea.fr

CENTRE

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



