

OFFRES DE THÈSES

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

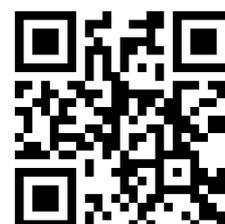
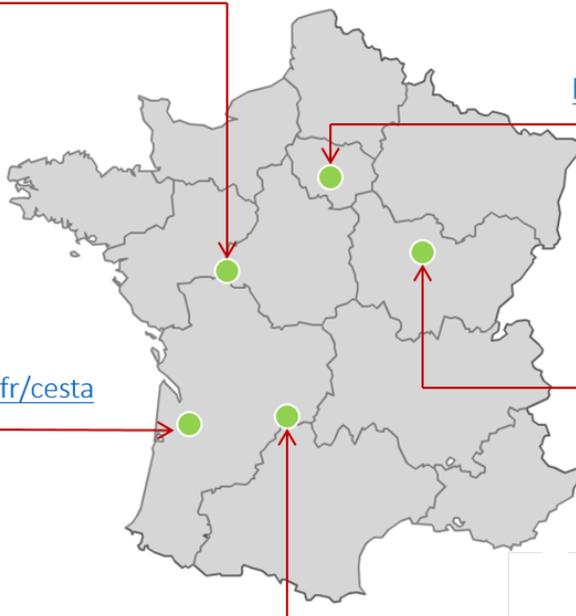
21120 Is-sur-Tille
03.80.23.40.00

<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 **ordinateurs 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



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 :

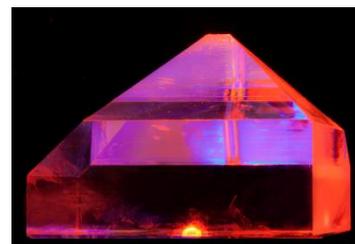
RÉPONDRE AUX ENJEUX DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

- 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.



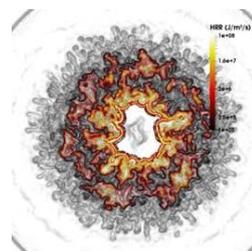
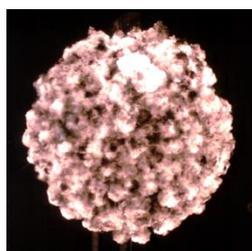
Le CEA/Gramat

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.

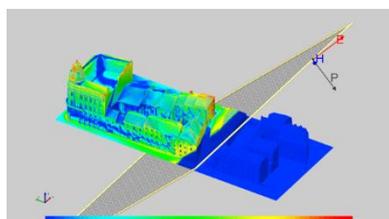


Vue expérimentale et simulation numérique d'une boule de feu (explosif en détonation)

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 Conventonnés (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.

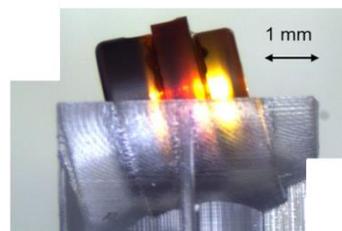
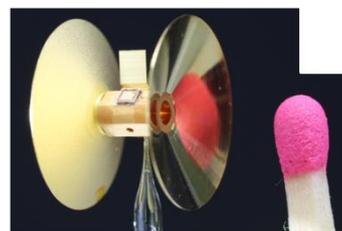
Ses compétences sont principalement centrées sur la **métallurgie de pointe, la chimie séparative et l'exploitation de grandes installations nucléaires.**



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.



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 !



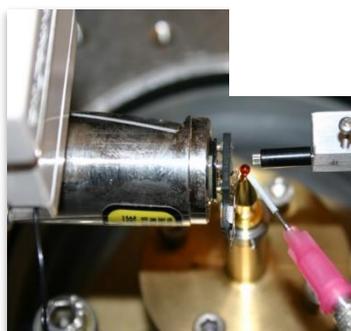
DE GRANDES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES

conçues pour apporter un service très complet aux procédés de recherche et de fabrication qu'ils 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 une supervision 24h/24h.



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...)



Table des matières

AÉRODYNAMIQUE	12
Étude d'une méthode numérique multi-régime pour la dynamique des gaz	13
AUTOMATIQUE, ROBOTIQUE	14
Pièces complexes en fabrication additive cold spray par fabrication assistée par ordinateur.....	15
CHIMIE	16
Chimie générale	17
Condensation d'éléments lors du refroidissement de systèmes silicatés sous pression	17
Stabilité des ions carbonate en sel de chlorures fondus.....	18
Chimie physique.....	19
Approche multiéchelle de propriétés cinétiques : réactivité et transition de phase	19
Étude de composés de type MOF (Metal Organic Frameworks) pour la séparation isotopique H/D/T.....	20
ÉLECTROMAGNÉTISME	21
Étude d'un moyen de génération d'ondes électromagnétiques à base de NLTL.....	22
Étude et réalisation d'une source microonde de forte puissance compact fonctionnant en bande Ka	23
Propagation des incertitudes pour la mesure d'impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire.....	24
Résolutions de problèmes inverses par deep learning appliqués à l'interférométrie	25
ÉLECTRONIQUE : COMPOSANTS ET ÉQUIPEMENT	26
Modélisation de composants et fonctions électroniques en environnement radiatif	27
Architecture d'un convertisseur analogique-numérique à hautes fréquences	28
Simulation des effets des rayonnements ionisants dans les composants électroniques commerciaux.....	29
Évaluation probabiliste des contraintes sur un réseau électrique vis-à-vis d'une agression conduite	30
Prédiction de l'impact des IEM sur les systèmes électroniques par méthode fréquentielle	31
Modélisation par fonctions des alimentations soumises à des impulsions électriques forts niveaux.....	32
ENVIRONNEMENT	33
Stabilité des complexes Pu(V)-Ca,Mg-Carbonate dans les océans : approche thermodynamique.....	34
Caractérisation de l'activité électrique des orages et de leur impact vis à vis de l'aéronautique	35
Reconstruction de surface à partir d'images multi-angles, multi-dates et multi-capteurs	36
Étude du gradient spatial du mouvement du sol pour la détection et caractérisation sismique	37
Application de la fibre optique aux mesures géophysiques	38
INSTRUMENTATION	39
Compréhension des limitations et amélioration des performances des tubes à balayage de fente.....	40
INTÉRACTION RAYONNEMENT MATIÈRE	41
Spectroscopie X à réseaux structurés appliquée à la physique des plasmas	42
Transport dans les milieux hétérogènes aléatoires	43
Études numériques de l'interaction laser plasma en champ intermédiaire sur le Laser Mégajoule.....	44

MATÉRIAUX	45
Étude de matrices oxynitrides pour composites à matrice céramique.....	46
Revêtements réfractaires par projection plasma à propriétés mécaniques sous sollicitation dynamique.....	47
MATHÉMATIQUES ANALYSE NUMÉRIQUE	48
Modélisation et simulation numérique du comportement de l'atoll de Mururoa	49
MÉCANIQUE	50
Modélisation inertielle régularisée de l'écaillage sous choc.....	51
Conception et instrumentation d'essais sur composites CMC, détermination lois de comportement	52
Mécanique des fluides.....	53
Analyse et modélisation des phénomènes de percement en Fusion par Confinement Inertiel.....	53
Étude expérimentale de la combustion de particules d'aluminium	54
Modélisation de la postcombustion d'explosifs contenant un additif métallique.....	55
MODÉLISATION MULTI-ÉCHELLES	56
Prise en compte de l'anisotropie induite dans la modélisation du comportement d'un matériau	57
OPTIQUE	58
Caractérisation expérimentale et simulation de l'impact de particules hyper-véloces sur une paroi	59
PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME, MOLÉCULE	60
Physique nucléaire.....	61
Modèles de réaction microscopiques pour la diffusion de nucléons sur des noyaux légers	61
Physique atomique et moléculaire	62
La physique des intérieurs de super-Terres	62
Physique des accélérateurs.....	63
Dimensionnement de points de fonctionnement pour la production de sources X intenses et brefs	63
Modélisation de la dynamique des faisceaux d'électrons dans les accélérateurs linéaires à induction.....	64
Physique des plasmas.....	65
Étude des termes sources produits par le laser PETAL	65
Diffraction X de matériaux modèles multiphasiques dans le domaine de la matière dense et tiède.....	66
Étude expérimentale et théorique des plasmas denses et tièdes générés par décharge pulsée	67
Modélisation numérique et optimisation de l'effet limiteur d'une antenne plasma.....	68
Physique du solide	69
Calcul de spectres Raman de systèmes complexes	69

AÉRODYNAMIQUE

Contexte : Lors de sa rentrée dans l'atmosphère, un véhicule spatial est confronté à des contraintes mécaniques et des flux de chaleurs très importants. La conception d'un tel engin nécessite des simulations numériques précises de l'écoulement d'air qui se crée autour du véhicule tout au long de sa trajectoire. Les régimes d'écoulements rencontrés sont appelés (des plus hautes aux plus basses altitudes) : moléculaire libre, raréfié, transitionnel, continu. Ces différents régimes peuvent être modélisés par l'équation de Boltzmann de la théorie cinétique des gaz, pour les régimes moléculaire libre, raréfié et transitionnel, et par les équations de Navier-Stokes de la mécanique des fluides pour le régime continu. D'un point de vue numérique, à chaque régime correspond une méthode numérique adaptée à la modélisation. De plus, autour de l'objet de vol, le régime d'écoulement peut dépendre de la forme du véhicule et des zones d'intérêt.

Objectif de la thèse : De nombreuses recherches visent à étudier une méthode unifiée pour résoudre l'ensemble de ces régimes. Le but de cette thèse est d'étudier les travaux de K. Xu, de l'université de Hong-Kong qui, depuis 2010, propose avec ses collaborateurs une nouvelle approche appelée "Unified Gas Kinetic Scheme" (UGKS) et ses dérivées, UGKWP, SUWP, DR et de les mettre en œuvre dans les codes du CEA/Cesta simulant les écoulements hypersoniques dans ces différents régimes. Cette méthode a été validée et améliorée à de nombreuses reprises ces dernières années, mais est encore peu étudiée par d'autres équipes.

Déroulement de la thèse : Dans un premier temps, le(la) doctorant(e) devra tout d'abord se familiariser avec la théorie cinétique des gaz et avec la mécanique des fluides pour les écoulements continus. Un état de l'art sur la méthode UGKS et ses nombreuses variantes sera effectué. En parallèle, le(la) doctorant(e) commencera à se familiariser avec la modélisation utilisée dans les codes du CEA/Cesta, puis il(elle) devra prendre en main le code de simulation résolvant l'équation de Boltzmann-BGK (régime raréfié et transition), ainsi que le code résolvant les équations de Navier-Stokes (régime continu). Ces codes sont massivement parallèles et utilisés sur le supercalculateur du CEA/DAM. L'étape suivante consistera à adapter la méthode UGKS au modèle ES-BGK dédié à la simulation des écoulements de gaz polyatomiques avec prise en compte des transferts d'énergie des molécules par rotations et vibrations. Les fondements mathématiques de la méthode numérique feront l'objet d'une attention particulière. La problématique de l'implication en temps de la méthode devra aussi être étudiée pour permettre le calcul efficace d'écoulements stationnaires. Enfin, la méthode UGKWP sera étudiée : il s'agira d'implémenter une version particulière de la méthode UGKS dans le code cinétique puis enfin de basculer cette méthode dans le code Navier-Stokes et de l'adapter aux écoulements portés à hautes températures.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
Luc Mieussens luc.mieussens@univ-bordeaux.fr	MI (Mathématiques et Informatique) ED 39 Université de Bordeaux	Baranger Céline celine.baranger@cea.fr	Cesta BP 2 – 33114 Le Barp 05-57-04-40-00

AUTOMATIQUE, ROBOTIQUE

Pièces complexes en fabrication additive cold spray par fabrication assistée par ordinateur



Automatique, Robotique

Contexte : Les technologies de fabrication additive changent les façons de concevoir et fabriquer les objets. L'intérêt du procédé cold spray, par rapport aux autres types de procédés de fabrication additive métallique, réside dans la possibilité de mettre en forme le matériau sans passer par une phase liquide. Le champ applicatif est vaste avec par exemple la réalisation de renforcements de structure, la réalisation de pièces complexes pour le secteur aérospace. Ce procédé, associé à la robotique, permet de traiter des pièces de grandes dimensions, incluant des formes complexes. La thèse portera sur la définition et l'optimisation de trajectoires robotiques pour la réalisation de pièces par le biais de la fabrication assistée par ordinateur.

Objectif de la thèse : L'objectif sera, à partir de logiciels de fabrication assistée par ordinateur, de définir et d'optimiser des trajectoires robotiques permettant par cold spray de réaliser par ordre croissant de difficulté : i) des revêtements localisés sur des géométries complexes, ii) des ajouts de matière (ex : renforcement de structure, réparation), iii) la réalisation de pièces complexes 3D sous la forme (ex : ailette de turbine). Les travaux de thèse s'efforceront d'intégrer les contraintes du procédé pour obtenir la microstructure et les propriétés souhaitées. La simulation des contraintes en cours de construction pourra être également intégrée à la stratégie de construction retenue. Les matériaux projetés seront le cuivre, le tantale et un alliage de titane.

Déroulement de la thèse : Le(la) doctorant(e) sera basé(e) sur le site du CEA Le Ripault, avec une interaction forte avec les ingénieurs et techniciens du laboratoire, les membres d'autres laboratoires du CEA, ainsi que les membres de l'université partenaire. Des déplacements sont à prévoir dans l'université de rattachement

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
	SIMME (Sciences et ingénierie des matériaux, mécanique, énergétique) ED 609 ENSMA - Université de Poitiers	BERNARD Benjamin benjamin.bernard@cea.fr	Le Ripault BP 16 – 37260 Monts 02-47-34-40-00

CHIMIE

Contexte : Le CEA est chargé, pour la France, de la détection des essais nucléaires ; il est aussi en charge de l'évaluation de l'impact environnemental des essais qu'il a effectués par le passé. Les explosions nucléaires souterraines volatilisent la roche environnante et créent une cavité où condensent progressivement un gaz et un liquide silicaté dont la composition évolue. Les radionucléides créés par l'explosion constituent un grand nombre d'éléments chimiques. Selon l'évolution des différentes phases et la réactivité chimique de ces éléments, les radionucléides vont se distribuer de manière non uniforme dans le magma formé. Cette hétérogénéité conduit à des fractionnements qui affectent aussi bien les radionucléides attendus dans les gaz éventuellement émis à l'atmosphère (détection) que ceux piégés dans la cavité (impact environnemental des essais). Alors que la condensation est étudiée à basse pression en cosmochimie, aucun modèle n'existe pour les systèmes silicatés sous pression.

Objectif de la thèse : L'objectif est d'élaborer un modèle de condensation des éléments dans les systèmes silicatés sous pression par une approche expérimentale couplée à la modélisation thermodynamique et cinétique. On mettra à profit un logiciel de calcul thermodynamique ainsi qu'une nouvelle génération de spectrométrie de masse à multi-collection couplée à une cellule de Knudsen (KEMS) récemment mise en service à l'Ecole normale supérieure de Lyon.

Déroulement de la thèse : La première année de thèse sera consacrée à l'obtention des données expérimentales. Des échantillons de roches seront fondus et dopés en éléments chimiques d'intérêt. Ces éléments possèdent un ou plusieurs isotopes stables, ce qui permet de ne pas manipuler de radioactivité. Ces échantillons de synthèse seront introduits dans la cellule de Knudsen et les quantités évaporées ainsi que la cinétique seront suivies par KEMS, l'évaporation étant le phénomène inverse de la condensation. En deuxième année, les mesures d'évaporation seront utilisées pour calibrer le modèle thermodynamique propre à chaque élément et à chaque roche. Le cas des actinides, qui ne possède pas d'isotopes stables, sera traité uniquement par la modélisation à l'aide de paramétrisations issues de la littérature. On couplera le modèle thermodynamique de condensation, assorti des coefficients cinétiques, aux lois de filiation et décroissance radioactive ainsi qu'à une loi de refroidissement des cavités, afin de produire un modèle dynamique de la condensation des radionucléides en fonction du temps. En troisième année, ce modèle sera utilisé pour comprendre la distribution des radionucléides en fonction des différentes composantes d'une cavité nucléaire (types de lave, éboulis, parois, fractures...) et de leur apparition au cours du temps. Les résultats seront confrontés à des données issues de la littérature. Chacune de ces étapes fera l'objet d'une publication.

DIRECTEUR DE THESE

BOURDON Bourdon
bernard.bourdon@ens-lyon.fr

ECOLE DOCTORALE

Physique et Astrophysique (PHAST)
ED 52
Ecole Normale Supérieure de Lyon

ENCADRANT

PILI Eric
eric.pili@cea.fr

CENTRE

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

Contexte : Un procédé de traitement de produits recyclables a été développé au CEA Valduc. Il est exploité dans une installation pilote et requiert d'améliorer les connaissances des étapes élémentaires. Une des étapes clé 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 : $2AnCl_3 + 3Na_2CO_3 = 2AnO_2(s) + 6NaCl + CO(g) + 2CO_2(g)$. La stabilité du réactif ajouté (Na_2CO_3) dépend de la nature du solvant et de la température de travail. Il peut dans certaines conditions se dissocier et former des gaz carboniques.

Afin d'appréhender le comportement de cette famille de réactif en fonction de ces paramètres, les données thermochimiques de base sont à déterminer. Cela permettrait d'approfondir nos connaissances sur les diagrammes de phase des mélanges, de la solvatation des carbonates, des cinétiques de réactions (...)

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 :

- établir les diagrammes de phase, notamment $NaCl-KCl-Na_2CO_3$ et $NaCl-CaCl_2-CaCO_3$, à l'aide de mesures expérimentales associées à une modélisation thermodynamique (FactSage) ;
- étudier 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 « simulant » 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	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
CHAMELOT Pierre et/ou GIBILARO Mathieu chamelot@chimie.ups-tlse.fr	MEGEP (Mécanique, Energétique, Génie civil, Procédés) ED 468 Université Paul Sabatier de Toulouse III	LEMOINE Olivier olivier.lemoine@cea.fr	Valduc 21120 Is sur Tille 03-80-23-40-00

Approche multiéchelle de propriétés cinétiques : réactivité et transition de phase



Chimie physique

Contexte : Ce sujet de thèse concerne le développement de méthodes de simulation augmentées par les outils d'apprentissage automatique dans le but de caractériser et de modéliser les propriétés cinétiques des transitions de phase.

Les transitions de phase dans les matériaux correspondent, à l'échelle microscopique, à des modifications dans l'agencement des atomes. Il existe une multitude de méthodes d'échantillonnage à l'échelle atomique permettant d'explorer ces chemins de transition : méthodes traditionnelles (Dynamique Moléculaire, Monte-Carlo, ...) ou génératives mettant en oeuvre des réseaux de neurones inversibles (INN). Il en est de même concernant la réactivité chimique des matériaux énergétiques ou explosifs, qui peut être vue comme une transition de phase. L'évolution chimique d'un système peut être décrite par des méthodes atomistiques comme la dynamique moléculaire associée aux potentiels réactifs.

Objectif de la thèse : Le premier objectif de la thèse est d'échantillonner ces chemins de transition par des méthodes traditionnelles (par exemple la métadynamique pour une transition de phase et des simulations de Dynamique Moléculaire réactives pour l'évolution chimique). Des méthodes d'apprentissage automatique génératives (INN par exemple) seront mises en oeuvre et les résultats seront comparés à ceux obtenus précédemment, tant du point de vue de l'échantillonnage que du chemin de transition. Le second objectif de la thèse concerne la réduction de dimensionnalité du problème à l'aide des outils de l'apprentissage automatique afin d'aboutir à une modélisation à une échelle supérieure.

Déroulement de la thèse : La première année sera consacrée à la mise en oeuvre des méthodes traditionnelles appliquées à une transition de phase solide-solide (la transition alpha-epsilon dans le fer par exemple) et à la réactivité chimique du TATB (simulations réactives de décomposition chimique).

En deuxième année, les méthodes d'apprentissage automatique seront développées et étudiées sur les mêmes cas (complexité croissante) pour vérifier si les méthodes génératives permettent de dépasser les limites des méthodes traditionnelles.

Enfin, au cours de la troisième année, des méthodes de réduction de dimensionnalité seront appliquées afin de proposer une modélisation des cinétiques de transition à une échelle supérieure.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
MARINICA Mihai-Cosmin mihai-cosmin.marinica@cea.fr	Physique en Île-de-France (PIF) ED 564 Université Paris-Saclay	MAILLET Jean-Bernard jean-bernard.mailet@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Contexte : La manipulation du tritium, isotope radioactif de l'hydrogène, génère des effluents constitués principalement d'hydrogène et de deutérium avec une faible quantité de tritium. Sans exutoire, ces effluents sont actuellement entreposés. Les recherches menées visent donc à séparer le tritium des autres isotopes de façon à pouvoir rejeter ces derniers sans impact sur l'environnement. Pour mettre au point un procédé de traitement performant, il faut d'abord identifier un matériau présentant un facteur de séparation très élevé. La littérature récente sur la séparation isotopique indique que certains composés de type MOF possèdent les facteurs de séparation parmi les plus élevés. Ce sont donc des matériaux très intéressants a priori pour l'application visée, mais la radioactivité du tritium pourrait provoquer des dégâts sur les chaînes organiques (phénomènes de radiolyse) reliant les centres métalliques et provoquer ainsi une perte des propriétés du matériau (phénomènes de vieillissement).

Objectif de la thèse : Dans ce contexte, l'objectif de la thèse sera d'identifier des matériaux de type MOF susceptibles de présenter à la fois de bonnes propriétés de séparation isotopique et une bonne résistance au rayonnement du tritium, de les caractériser et de les tester en environnement représentatif. La faible quantité de tritium présente dans les gaz à traiter et les temps de traitement courts recherchés (efficacité du procédé) font que les doses reçues par les matériaux devraient rester relativement faibles. Dans ces conditions, l'objectif semble donc atteignable.

Déroulement de la thèse : Le déroulement envisagé pour les travaux est le suivant.
1) Recherche bibliographique afin d'identifier les matériaux candidats pour l'étude (séparation isotopique et résistance aux rayonnements). La compréhension des mécanismes de radiolyse déjà observés sera un plus pour identifier les caractéristiques des matériaux les moins sensibles aux radiations.
2) Caractérisations de ces matériaux d'un point de vue structural (DRX...) et mesures de leurs capacités d'adsorption et de leurs facteurs de séparation isotopique à différentes températures.
3) Irradiations de ces matériaux avec une source externe. Cette méthode présente 2 avantages : les durées d'irradiation sont courtes comparées à des expositions aux gaz représentatifs, pour une dose équivalente, et les échantillons ne sont généralement pas radioactifs après irradiations, ce qui permet des manipulations plus aisées.
4) Caractérisation des matériaux post-irradiation et comparaison aux résultats initiaux. Analyse des résultats en terme de radiolyse et vis-à-vis de l'objectif. Idéalement, ces essais seront complétés par des expositions des matériaux les plus prometteurs au tritium, via des mises en vieillissement sous un gaz représentatif. Classiquement, l'étude se terminera par la rédaction du manuscrit et la préparation de la soutenance. La participation à des congrès et la rédaction d'au moins un article scientifique sont également indispensables.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
		Thiebaut Stéphanie stephanie.thiebaut@cea.fr	Valduc 21120 Is sur Tille 03-80-23-40-00

ÉLECTROMAGNÉTISME

Étude d'un moyen de génération d'ondes électromagnétiques à base de NLTL



Contexte : Afin d'être en mesure d'apporter une expertise sur les technologies des sources électromagnétiques de forte puissance, une connaissance approfondie des technologies permettant de réaliser ces systèmes d'arme est indispensable. Le CEA se doit donc de suivre et de participer au développement des différentes briques technologiques constituant les sources. Les générateurs réalisés à partir de composants état solide permettent de réduire les servitudes (gaz, vide...) et offrent souvent plus de souplesse d'utilisation (synchronisation, fréquence de répétition plus élevée, meilleur accordabilité en fréquence...).

Parmi les technologies émergentes ces dernières années, les NLTL (Non Linear Transmission Line) apparaissent comme une solution de source hyperfréquence compacte, accordable électriquement, puissante (plusieurs dizaines de MW possibles) et synchronisable.

Objectif de la thèse : L'objectif sera de réaliser un petit démonstrateur fonctionnant à base de lignes NLTL. Il sera constitué de 2 ou 3 lignes synchronisées entre elles. Chaque ligne devra pouvoir générer au moins 10 MW (20 MW espéré). L'oscillation sera produite autour de 1 GHz. Elles devront pouvoir être accordables en fréquence électriquement (500 MHz de bande minimum). Une fréquence de répétition de 100 Hz devra être utilisée. Ces lignes devront pouvoir alimenter des antennes sous 50 Ohms. Un générateur compact permettant d'alimenter l'ensemble sera également développé.

Déroulement de la thèse : Le travail débutera par une étude bibliographique permettant de statuer sur les différentes filières technologiques permettant de réaliser des lignes NLTL. Une fois la filière sélectionnée, le développement d'une ligne NLTL et son optimisation seront effectués. Des travaux seront à conduire sur les choix des matériaux, des composants, des géométries de lignes. Ceux-ci passeront par la simulation (CST, Spice, analytique...) et par la réalisation de petits prototypes. En parallèle, un générateur compact (plutôt état solide) sera étudié et réalisé pour pouvoir alimenter ces lignes. Une fois les briques optimisées, un assemblage de deux ou trois lignes NLTL sera réalisé. Une caractérisation expérimentale sera conduite pour évaluer les performances de la source. Des charges et diagnostics spécifiques devront également être conçus dans ce cadre.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
	SEA (Sciences exactes et leurs applications) ED 211 Université de Pau et des Pays de l'Adour	CHAULOUX Antoine antoine.chauloux@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

Étude et réalisation d'une source microonde de forte puissance compact fonctionnant en bande Ka.



Contexte : Afin d'être en mesure d'apporter une expertise sur les technologies des sources électromagnétiques de forte puissance, une connaissance approfondie des technologies permettant de réaliser ces systèmes d'arme est indispensable. Le CEA se doit donc de suivre et de participer au développement des différentes briques technologiques constituant les sources. Pour réaliser une source microonde de forte puissance, la brique clé est le tube relativiste hyperfréquence permettant de convertir l'énergie électrique en signal électromagnétique. Un des axes de recherche actuel du domaine est l'étude d'une solution de tube fonctionnant à des fréquences élevées notamment dans la bande Ka. La maturité de ces technologies reste encore faible malgré quelques publications (qui n'ont pas été explorées en Europe) et il existe peu de solutions offrant des fortes puissances dans ce domaine de fréquence. Des efforts de recherche restent donc nécessaires.

Objectif de la thèse : L'objectif est d'étudier une solution de tube hyperfréquence relativiste fonctionnant en bande Ka autour de 30 GHz. Ce tube devra pouvoir générer a minima une puissance de 200 MW. Des impulsions de durée supérieure à 20 ns seront recherchées. La source devra pouvoir fonctionner en répétitif (50 Hz au minimum). Il faudra également que ce tube soit compatible avec un générateur de MARX du CEA fournissant une tension de 380 kV et dont l'impédance se situe autour de 100 Ohms. Le rendement du tube devra être supérieur à 20 % (40 % espéré). Si possible, on évaluera les possibilités de réaliser un système accordable en fréquence. Enfin, la thèse s'intéressera au développement d'une antenne compacte permettant de rayonner la puissance électromagnétique produite dans une direction privilégiée.

Déroulement de la thèse : Le travail débutera par une étude bibliographique permettant de définir les solutions technologiques de tubes qui pourraient être employées pour répondre à la problématique. Des simulations numériques réalisées à l'aide d'un code PIC (Particles In Cells) et de codes électromagnétiques (RF et/ou statiques, exemple CST) seront ensuite réalisées pour évaluer la ou les solutions sélectionnées et de choisir le tube relativiste répondant le mieux au cahier des charges. Une optimisation des performances sera conduite avant de définir, en lien avec le bureau d'étude du CEA, une CAO et une réalisation mécanique. En parallèle une antenne compatible avec le tube défini, sera étudiée. Elle permettra de rayonner l'onde électromagnétique produite. Elle devra être compacte, directive et supporter la puissance générée. Une réalisation sera effectuée. Enfin, la dernière partie sera la validation expérimentale du système sur les moyens expérimentaux du CEA Gramat et l'évaluation des capacités obtenues. Le développement et la mise en place de capteurs fonctionnant en bande Ka seront nécessaires.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
LEVEQUE Philippe philippe.leveque@xlim.fr	SISMI (Science et ingénierie des systèmes, mathématiques, informatique) ED 610 Université de Limoges	DIOT Jean-Christophe jean-christophe.diot@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

Contexte : Le CEA Gramat réalise des études dans le domaine de la vulnérabilité et du durcissement des équipements et systèmes militaires vis-à-vis des agressions EM (électromagnétique). A ce titre, de nombreuses expérimentations sont menées notamment en ce qui concerne l'IEMN HA (Impulsion Electromagnétique d'origine Nucléaire Haute Altitude).

Les systèmes de mesure liés à cette activité, tels que les capteurs et les chaînes de mesures de champ EM, sont généralement déployés dans des environnements sévères où les conditions de mise en œuvre sont complexes. Ces contraintes imposent de prendre des marges de sécurité importantes quant aux résultats expérimentaux obtenus car les sources d'incertitudes ne sont pas toutes connues et/ou sont difficiles à maîtriser.

Objectif de la thèse : La thèse a pour objectif de mettre au point une méthode fiable de propagation des incertitudes dans le domaine impulsionnel IEMN HA. Actuellement, il semblerait qu'aucune approche ne traite les incertitudes dans ce domaine.

Le développement de cette méthode ou algorithme pourra s'effectuer en s'appuyant sur des travaux liés aux problématiques de propagation des incertitudes (équations différentielles multi-variables, méthode de Monte-Carlo, matrice de covariance). Cet algorithme sera ensuite utilisé et validé au CEA Gramat en utilisant les moyens disponibles en interne.

Déroulement de la thèse : Le travail débutera par la prise en main des différents moyens métrologiques pour les mesures d'impulsions IEMN HA (capteurs, chaînes de mesures, oscilloscopes, analyseurs de réseau...) ainsi que par une étude bibliographique sur les techniques de propagation des incertitudes dans les domaines temps et fréquence. Une première partie du travail se déroulera au laboratoire de l'Institut Pascal qui apportera son expertise théorique, numérique et expérimentale sur la propagation des incertitudes de mesure en électromagnétisme. Dans un second temps, les sources d'incertitudes environnementales et métrologiques devront être déterminées soit directement dans le domaine temporel ou bien dans le domaine fréquentiel puis ramenées dans le temps.

Pour estimer l'incertitude de mesure, il faudra notamment tenir compte des erreurs liées aux désadaptations d'impédance, à l'étalonnage des instruments, aux imperfections dues à l'échantillonnage électro-optique des chaînes de mesure etc. La seconde partie du travail de thèse consistera à partir des sources d'incertitudes à développer un algorithme de calcul pour remonter à la mesure temporelle d'une impulsion IEMN HA avec les dispersions associées.

Enfin, cet algorithme devra être appliqué sur un grand simulateur expérimental du CEA Gramat en utilisant les moyens métrologiques du centre.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
BONNET Pierre pierre.bonnet@uca.fr	SPI (Sciences pour l'ingénieur) ED 70 Université Clermont Auvergne	Gapillout Damien damien.gapillout@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

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

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

Objectif de la thèse : Plus particulièrement, l'objectif de la thèse consistera à approfondir la compréhension et la modélisation des phénomènes de transmission et de réflexion d'une onde électromagnétique se propageant dans un matériau soumis à un choc, à améliorer le travail d'inversion du modèle de propagation à partir de réseaux de neurones afin de pouvoir extraire de manière plus précise la vitesse de choc, la vitesse matérielle et l'indice de réfraction choqué du signal rétrodiffusé dans le matériau et enfin de concevoir des campagnes expérimentales afin d'acquérir des données nous permettant de valider les différents modèles développés

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

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
AUBERT Hervé aubert@laas.fr herve.aubert@toulouse-inp.fr	GEETS (Génie Electrique, Electronique, Télécommunications et Santé du système au nanosystème) ED 323 INP Toulouse, Université Toulouse III	Lefrancois Alexandre alexandre.lefrancois@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

ÉLECTRONIQUE : COMPOSANTS ET ÉQUIPEMENT

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

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

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

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

sDIRECTEUR DE THESE

LAPUYADE Hervé
herve.lapuyade@ims-bordeaux.fr

ÉCOLE DOCTORALE

SPI (Sciences Physiques et de
l'Ingénieur)
ED 209
Université de Bordeaux

ENCADRANT

BRISSET Christophe
christophe.brisset@cea.fr

CENTRE

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

Architecture d'un convertisseur analogique-numérique à hautes fréquences



Contexte : Le CEA conçoit et développe des sous-ensembles électroniques dits durcis, c'est-à-dire résistants vis-à-vis d'environnements de fonctionnement spécifiés (thermique, mécanique, radiatif, électromagnétique). A ce titre, il conduit des activités de recherche et de conception de circuits intégrés afin d'obtenir des composants durcis aux niveaux radiatifs requis pour les besoins de la DAM.

Objectif de la thèse : Dans ce contexte, l'objet de la thèse est de concevoir un convertisseur analogique-numérique (CAN) à fréquence d'échantillonnage très rapide à une résolution qui est à l'état de l'art actuel. Pour augmenter la vitesse d'échantillonnage, une technique très courante est d'entrelacer de manière temporelle plusieurs convertisseurs. Les différences d'appariement entre les convertisseurs et le déphasage des commandes d'horloge induisent des raies fréquentielles parasites. C'est pourquoi, afin de garantir une résolution la plus grande possible, il est nécessaire de calibrer plusieurs paramètres du convertisseur. En plus d'une fréquence d'échantillonnage rapide, une contrainte forte est d'avoir une latence de conversion la plus petite possible. Le circuit doit de plus être résistant aux agressions radiatives telle que la dose ionisante (TID) ou aux perturbations des particules isolées (SEE) qui sont présentes dans l'environnement spatial ou terrestre.

Déroulement de la thèse : Le(a) doctorant(e) devra choisir l'architecture optimale du convertisseur analogique-numérique afin de répondre au mieux à ces spécifications, l'architecture comprenant à la fois la partie analogique et la partie numérique du CAN. Elle inclut notamment les nombreux paramètres de calibration en spécifiant la manière de les gérer. Une simulation de haut niveau sera d'abord proposée. Ensuite une implémentation physique sur circuit intégré et sa caractérisation en laboratoire seront faites. Le développement de ce circuit intégré sera réalisé sur un nœud technologique avancé. Il(elle) s'appuiera sur les compétences d'une équipe de conception de circuits intégrés dédiée au durcissement radiatif et sera en lien étroit avec un groupe de recherche spécialisé sur les interactions rayonnement-matière.

Electronique : composants et équipement

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
BENABES Philippe philippe.benabes@centralesupelec.fr	EOBE (Electrical, optical, bio-physics and engineering) ED 575 Université Paris-Saclay	CHARBONNIER Gerald gerald.charbonnier@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Contexte : Le CEA Gramat est le centre de référence de la Défense en vulnérabilité des systèmes et des infrastructures et efficacité des armements. Il étudie la vulnérabilité de composants électroniques aux effets induits par des particules de haute énergie. Ces études ont pour objectif d'estimer le degré de susceptibilité de ces systèmes en environnement radiatif et de déterminer les marges de fonctionnement dans les équipements. Les composants concernés sont essentiellement issus de filières commerciales pour lesquelles peu de connaissances technologiques sont disponibles. Dans ce contexte, établir des modèles numériques aisément paramétrables, par exemple par famille de composant, en s'appuyant sur leur structure et les phénomènes physiques régissant le transport des charges dans les semi-conducteurs permettrait de construire le socle de simulations du fonctionnement de circuits ou de fonctions électroniques en environnement radiatif.

Objectif de la thèse : L'objectif réside dans la construction et la mise en œuvre de modèles de perturbations de composants électroniques dans différents environnements impliquant des rayonnements ionisants. Pour cela, le/la candidat(e) devra conduire des caractérisations expérimentales, des analyses et simulations technologiques afin de construire une modélisation analytique du comportement électrique observé expérimentalement. Pour cela, il/elle devra identifier 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 en s'appuyant aussi bien des outils de simulation existants que sur des développements spécifiques. Il devra ensuite proposer une démarche afin de modéliser et de simuler la réponse radiative de différentes familles de composants électroniques élémentaires afin de les intégrer dans des simulations menées au niveau d'un circuit élémentaire ou d'une fonction pour en estimer la sensibilité.

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 » de composants regroupant diverses références, en conduire l'analyse technologique afin d'en proposer un modèle numérique.
3. Concevoir, développer et réaliser les bancs de tests nécessaires à la caractérisation statique et dynamique des composants électroniques en environnement radiatif.
4. Construire une démarche utilisant divers outils numériques (Monte-Carlo, éléments finis...) pour simuler le transfert de charges dans le composant, la physique du transport des charges générées en excès...
5. Confronter les résultats des simulations aux expérimentations et intégrer les modèles de fonctionnement des composants dans plusieurs schémas de fonctions électroniques de référence afin d'en estimer la sensibilité radiative.

DIRECTEUR DE THESE

HUBERT Guillaume
guillaume.hubert@onera.fr

ECOLE DOCTORALE

GEETS (Génie Electrique, Electronique,
Télécommunications et Santé : du système au
nanosystème)
ED 323
Université de Toulouse III - Paul Sabatier

ENCADRANT

GAILLARDIN Marc
marc.gaillardin@cea.fr

CENTRE

Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
05-65-10-54-32

Évaluation probabiliste des contraintes sur un réseau électrique vis-à-vis d'une agression conduite



Contexte : Le couplage d'une agression EM intentionnelle avec des lignes électriques externes peut créer des contraintes importantes à l'entrée d'une installation. Ces contraintes peuvent se propager à travers le circuit de distribution électrique de l'installation jusqu'à atteindre les équipements terminaux. Au regard des évolutions technologiques et du déploiement croissant de l'électronique dans les équipements, l'évaluation de la vulnérabilité d'une infrastructure civile vis-à-vis de ces menaces est un sujet actuel d'intérêt. La détermination des niveaux de contrainte à l'entrée des équipements est une donnée fondamentale pour l'analyse des effets. Elle est fonction de plusieurs paramètres (position et nombre de câbles d'alimentation, impédances de charge terminales, etc.), peu précisément connus et très variables d'une installation à l'autre. Une approche stochastique est donc proposée pour estimer les incertitudes et leurs propagations dans un modèle de réseau électrique.

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse est de quantifier les incertitudes sur les contraintes conduites internes d'une installation civile à partir des contraintes conduites sur les lignes électriques externes, et ainsi évaluer la vulnérabilité de l'installation. Pour faire cela, il sera nécessaire d'étudier les performances de méthodes d'apprentissage de grande dimension et de modéliser le réseau électrique d'une installation. La complexité du réseau électrique sera évolutive, pour qu'au final le réseau soit représentatif d'un cas réel. La modélisation de certaines parties du réseau électrique sera obtenue à partir d'études expérimentales menées au CEA Gramat en parallèle de cette thèse. Une maquette réaliste d'un réseau sera réalisée, les contraintes sur équipements et les effets obtenus expérimentalement seront comparés à ceux obtenus par l'approche probabiliste/numérique développée pendant la thèse.

Déroulement de la thèse : La thèse se décomposera en plusieurs étapes :

- État de l'art sur les méthodes probabilistes d'apprentissage.
- État de l'art sur la composition d'un réseau électrique classique d'une infrastructure.
- Détermination des méthodes statistiques adaptées au problème et à sa dimension (nombre de variables d'entrée).
- Estimation des distributions probabilistes des variables d'entrée.
- Etude itérative avec une complexité croissante vis-à-vis de la modélisation numérique d'un réseau électrique. Le but est d'évaluer les paramètres les plus influents et de quantifier l'incertitude sur les contraintes à partir de la distribution des variables d'entrée. Evaluation des effets sur des équipements à partir de l'étude précédente.
- Réalisation d'une maquette réaliste d'un réseau électrique avec essais expérimentaux et confrontation avec une approche probabiliste/numérique pour l'évaluation des effets sur les équipements.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
BESNIER Philippe philippe.besnier@insa-rennes.fr	MATHSTIC (Mathématiques, sciences et technologies de l'information) ED 601 Université de Rennes	LE TOUZ Nicolas nicolas.letouz@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

Contexte : Les systèmes électroniques embarqués peuvent être soumis à des menaces électromagnétiques sévères (naturelles comme la foudre, artificielles comme l'exposition à des champs radio radar, ou agressives d'origine militaire ou malveillantes) qui peuvent détériorer leur fiabilité et compromettre leur mission. Des systèmes électroniques ont ainsi des spécifications de tenue à des menaces, telles que les impulsions électromagnétiques (IEM) 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 objectif 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 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 qui affectent la réponse transitoire des composants, en déterminant la réponse stochastique des composants perturbés, et 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 basera sur l'analyse de cartes d'alimentations à découpage spécifiquement conçues, en comparant la simulation exploitant les modèles avec la mesure. Il sera nécessaire de développer des méthodes d'injection de contraintes et de mesures pour accéder à la compréhension des phénomènes mis en jeu.

Les méthodes de caractérisation à développer sont :

- réflectométrie temporelle (TDR) forte tension (plusieurs kilovolts) et large bande (quelques kHz à quelques dizaines de MHz),
- comparaison avec des mesures « petits signaux » (analyseur de réseau vectoriel),
- développement de générateurs impulsionnels de forte puissance spécifiquement adaptés (niveau de plusieurs kilovolts et bande passante de quelques kHz à quelques dizaines de MHz) et si besoin de sondes de mesures.

Enfin, il s'agit de faire la démonstration que les modèles fréquentiels développés permettent la prévision correcte des défaillances occasionnées par des IEM au niveau d'une carte électronique telle qu'une alimentation à découpage.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
CAIGNET Fabrice et BOYER Alexandre fcaignet@laas.fr et aboyer@laas.fr	GEETS (Génie Electrique Electronique, Télécommunications et Santé : du système au nanosystème) ED 323 Université de Toulouse	MEJECAZE Guillaume guillaume.mejecaze@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

Modélisation par fonctions des alimentations soumises à des impulsions électriques forts niveaux



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

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

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

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

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

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

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

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

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

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
VINASSA Jean-Michel et DUBOIS Tristan jean-michel.vinassa@ims.fr et tristan.dubois@u-bordeaux.fr	SPI (Sciences Physiques et de l'Ingénieur) ED 209 Université de Bordeaux	PUYBARET Frédéric frederic.puybaret@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

ENVIRONNEMENT

Stabilité des complexes Pu(V)-Ca,Mg-Carbonate dans les océans : approche thermodynamique



Contexte : La chimie du plutonium au degré d'oxydation +V est très mal connue en raison de son instabilité. Toutefois, aux concentrations extrêmement basses, cette instabilité est stoppée et explique pourquoi 75% du plutonium dissous dans les océans est au degré +V. Il en résulte une méconnaissance des interactions entre Pu +V et les ligands inorganiques présents dans les océans. Récemment (2020), nous avons déterminé les constantes de complexation entre Pu +V et l'anion carbonate par couplage entre une électrophorèse capillaire et un spectromètre de masse à plasma induit par couplage. Ces complexes sont chargés négativement et pourraient donc réagir avec des cations présents dans l'eau de mer comme le calcium, à l'instar de l'uranium VI pour laquelle l'espèce stable dans l'eau de mer est $\text{Ca}_2\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3$. Il s'agit donc de déterminer si Pu +V peut être stabilisé par le calcium et le carbonate dans les océans et donc impacter sa migration.

Objectif de la thèse : Le seul moyen analytique pour étudier les espèces Pu +V- CO_3 -Ca est le couplage électrophorèse capillaire - ICPMS car Pu +V n'est stable qu'à des concentrations inférieures à 10^{-7} M. Il s'agira d'étudier par cette technique la variation des temps de migration des espèces en fonction de la concentration en ligands (carbonate, Ca), à différentes forces ioniques et à différentes températures afin d'extraire les données thermodynamiques (enthalpie, entropie) nécessaires à la modélisation de sa spéciation pour différentes conditions de pH et de température rencontrées dans les océans. Ces mesures expérimentales seront complétées par des calculs théoriques de dynamique moléculaire quantique pour déterminer la structure de ces complexes et éventuellement des mesures par spectroscopie d'absorption X (EXAFS) au synchrotron Soleil.

Déroulement de la thèse : Les différentes étapes de la thèse se déclinent comme suit :

-T0 à T0+3 mois : bibliographie,

-T0+3 mois à T0+30 mois :

a) détermination des constantes pour les complexes $n = 1, 2$ de $\text{Ca}(n)\text{PuO}_2(\text{CO}_3)_3$ à 25 °C à une force ionique de 0,5 M (équivalent océan), comparaison avec la simulation théorique et rédaction de la première publication

b) détermination des constantes à 3 autres forces ioniques dans le domaine de validité de la théorie SIT ($I < 3,5$ M) pour extraire les coefficients d'interactions spécifiques essentiels pour des modélisations à différentes salinités, proposition d'expériences sur synchrotron Soleil et rédaction d'une deuxième publication

c) détermination des constantes à $I = 0,6$ M et plusieurs températures ($0 < T < 50$ °C) pour extraire les paramètres thermodynamiques (enthalpie et entropie)

-T0+30 mois à T0+36 mois : rédaction de la thèse et de la troisième publication.

DIRECTEUR DE THESE

Le NAOUR Claire
claire.le-
naour@ijclab.in2p3.fr

ECOLE DOCTORALE

PHENICS (Particules, Hadrons, Energie,
Noyau, Instrumentation, Imagerie, Cosmos
et Simulation)
ED 576
Université Paris-Saclay

ENCADRANT

AUPIAIS JEAN
jean.aupiais@cea.fr

CENTRE

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

Caractérisation de l'activité électrique des orages et de leur impact vis-à-vis de l'aéronautique



Environnement

Contexte : Deux mille orages ont lieu en permanence dans le monde produisant 50 éclairs par seconde qui émettent des ondes électromagnétiques et acoustiques ainsi que des gaz à effet de serre comme les oxydes d'azote (NOx). Le but de cette thèse est d'améliorer la connaissance des éclairs pour apporter des éléments de réponse à des problématiques actuelles du secteur aéronautique, en pleine évolution, comme un meilleur dimensionnement des contraintes des avions liées à la foudre, et une meilleure estimation de la production de NOx par les éclairs en regard de celle des avions.

Les travaux sur les liens entre NOx et éclairs ne tiennent pas encore compte de la géométrie 3D des éclairs. La connaissance de la répartition de ces émissions à l'altitude de vol des avions est essentielle pour bien estimer l'impact des émissions aéronautiques sur le climat. Enfin, connaître les courants des éclairs intranuage permettra de mieux dimensionner la protection des aéronefs.

Objectif de la thèse : Pour progresser sur ces questions, il est nécessaire de mieux évaluer la production de NOx par les éclairs intranuage (IC), qui sont les plus nombreux, afin de mieux extrapoler leur impact au niveau global. Il est nécessaire aussi de mieux caractériser les éclairs, c'est-à-dire connaître leur géométrie à trois dimensions et le niveau de courant produit par les décharges intranuages. Le(la) doctorant(e) aura pour objectifs de répondre à ces questions. Il(elle) participera à des mesures en laboratoire à l'ONERA (banc GRIFON), et à une campagne de mesures de caractérisation d'éclairs en région parisienne qui sera menée avec l'interféromètre BILL de l'ONERA et un réseau de microphones du CEA. Il(elle) mènera l'analyse des mesures. Le(la) doctorant(e) sera employé(e) par l'ONERA.

Déroulement de la thèse : Le travail sera réalisé dans les deux organismes avec le planning prévisionnel suivant :

- Année 1 : Bibliographie, estimation des NOx produits par l'éclair via les mesures sur le banc GRIFON, prise en main et amélioration des algorithmes de post-traitement des mesures de l'instrument BILL, prise en main des outils de traitement des mesures acoustiques, mise en place et participation à la campagne de mesure commune à l'été 2024.
- Année 2 : Exploitation des mesures sol et reconstruction 3D des décharges, estimation de la production de NOx en altitude par les IC, et développement d'un modèle d'estimation de niveau de courant des IC,
- Année 3 : Estimation des courants des IC mesurés pendant la campagne et comparaison avec l'énergie acoustique, comparaison des mesures de la campagne avec des données satellitaires pour préparer la généralisation de l'impact des NOx au niveau global, et rédaction de la thèse.

En résumé, les résultats espérés sont :

- Reconstitution 3D des éclairs à partir de BILL et du réseau de microphones,
- Meilleure connaissance des contraintes foudre pour le milieu aéronautique,
- Meilleure estimation des NOx produits par les éclairs.

Ils feront l'objet de plusieurs articles.

DIRECTEUR DE THESE

ECOLE DOCTORALE

ENCADRANT

CENTRE

FARGES Thomas
thomas.farges@cea.fr

SMAER (Sciences mécaniques,
acoustique, électronique et robotique de
Paris)
ED 391
Sorbonne Université

FARGES Thomas
thomas.farges@cea.fr

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

Reconstruction de surface à partir d'images multi-angles, multi-dates et multi-capteurs



Contexte : L'analyse d'une scène en 3D permet 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). 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 (très haute résolution) 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-datées, multi-angles et multi-capteurs sera développée.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
VALLET Bruno bruno.vallet@ign.fr	MSTIC (Mathématique et Sciences et technologies de l'information et de la Communication) ED 532 Université Paris Est	GUERIN Cyrielle cyrielle.guerin@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Étude du gradient spatial du mouvement du sol pour la détection et caractérisation sismique



Contexte : Dans le cadre de ses missions de surveillance et d'analyse de l'environnement, le CEA DAM 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'onde sismique.

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 DAM de détection des événements sismiques et de caractérisation de leur mécanisme à la source.

Déroulement de la thèse : Dans un premier temps, le(la) doctorant(e) participera à l'élaboration, à partir des enregistrements sur les différentes antennes sismiques déployées sur le site du LSBB, d'une base de signaux de gradient du mouvement du sol. Les performances des différentes antennes à fournir une mesure du champ de rotation et de déformation de qualité seront évaluées sur le bruit de fond et des enregistrements 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 de leur 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 (Hadziioannou 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 d'identification des différentes composantes du signal sismique. Le(a) doctorant(e) comparera ses résultats avec ceux de méthodes plus classiques de traitement d'antenne.

D'autre part, l'utilisation combinée de mesure du mouvement de sol et de son gradient montre un gain de résolution (S. Donner et al. 2017) sur l'estimation de la profondeur et du tenseur des moments de la source sismiques. En s'appuyant sur ces développements théoriques, l'objectif sera d'appliquer aux données réelles acquises sur le site du LSBB, ces méthodes d'estimation du mécanisme au foyer, d'adapter et d'améliorer les algorithmes d'inversion associés, puis d'évaluer l'apport en termes de résolution des paramètres de source sur des données réelles.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
GAFFET Stéphane stephane.gaffet@lsbb.eu	Sciences Fondamentales et Appliquées – (SFA) ED 364 Université Côte d'Azur	SEBE Olivier olivier.sebe@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Contexte : La fibre optique, en géophysique ou sismologie, permet d'accéder à de nouvelles études. L'interférométrie laser permet de mesurer la déformation axiale de la fibre, qui agit comme un capteur continu de déformation de longueur pouvant être plurikilométrique. Ces capteurs ont montré leur capacité à enregistrer de fort télé-séismes (Williams, 2019) ou des micro-séismes régionaux (séisme de magnitude Mw 1.9 dans le SE de la France (Sladen, 2019). L'avantage est d'enregistrer la déformation du sol en continu tout le long du tracé de la fibre, réduisant le nombre d'instruments à déployer. La fibre optique est également utilisable en prospection, comme pour les mesures passives de bruit ambiant (type AVA) : inversion des courbes de dispersion en termes de vitesse des ondes. Plusieurs applications ont déjà permis la caractérisation du sous-sol proche d'une ligne de train en Californie (Ajo-Franklin, 2019), ou sous le campus de Stanford en utilisant le bruit citadin (Spica, 2020).

Objectif de la thèse : L'objectif de cette thèse est d'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 élastique associé.

Déroulement de la thèse : Dans un premier temps, le(a) doctorant(e) se formera au traitement des données issues de la fibre optique, auprès de son directeur de thèse à Géoazur à Nice, et à l'analyse de formes d'ondes issues de sismomètres classiques, au CEA en région parisienne. Le(a) doctorant(e) développera ensuite les outils de traitement des données nécessaires pour les deux types d'applications envisagées et comparera les résultats à ceux enregistrés sur d'autres capteurs le cas échéant.

La première configuration 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.

La seconde configuration vise à caractériser le sous-sol au niveau du réseau de failles des Cévennes, responsable du séisme du Teil du 11 novembre 2019, ainsi que sur centre CEA, afin d'imager la géométrie des couches et failles présentes puis inverser les profils de vitesses des ondes proches de la surface.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
DE BARROS Louis debarros@geoazur.unice.fr	Sciences Fondamentales et Appliquées (SFA) ED 364 Université Côte d'Azur	VALLAGE Amaury amaury.vallage@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

INSTRUMENTATION

Compréhension des limitations et amélioration des performances des tubes à balayage de fente



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

Objectif de la thèse : Le principal but de la thèse sera d'augmenter la dynamique de mesure des tubes à balayage de fente, en améliorant la compréhension de l'impact de chaque étage du tube sur la défocalisation électronique par effet de charge d'espace. Le candidat 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 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 impulsions, 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) candidat(e) devra mettre en place une expérience de base visant à mettre en évidence ces effets de charge d'espace et la simuler. Ensuite, il serait judicieux d'étudier les effets de cette charge d'espace sur des systèmes plus simples, de type diode à focalisation de proximité.

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

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
SANTOS João Jorge joao.santos@u-bordeaux.fr	SPI (Sciences Physiques et de l'Ingénieur) ED 209 Université de Bordeaux	CHAMPEAUX Stéphanie stephanie.champeaux@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

INTERACTION RAYONNEMENT MATIÈRE

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

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

Déroulement de la thèse : Les différentes étapes de la thèse sont les suivantes :

- 1 : Etude bibliographique et synthèse :
 - Sur les différents systèmes d'imagerie X existants dans la communauté des installations de fusion (en particulier l'état de l'art sur les spectro-imageurs et les détecteurs utilisés). Analyse des besoins des diagnostics d'imagerie plasma et identification des spectro-imageurs susceptibles de bénéficier de réseaux supprimeur d'ordre.
 - Sur les dernières avancées en matière d'usinage micrométrique et submicrométrique pour les fabrications d'optiques X interférentielles
- 2 : A partir du prototype de test existant, étude du potentiel et des limites des réseaux supprimeur d'ordre appliqués dans le domaine des rayons X sur un diagnostic au moyen par exemple d'une chaîne de simulations. Etudes de la vulnérabilité aux débris et au flux de photons. Enfin, identification des compromis à réaliser pour l'utilisation dans le cadre d'un diagnostic LMJ.
- 3 : Mise en évidence des ruptures technologiques et des améliorations apportées par réseaux supprimeur d'ordre aux diagnostics. Etablissement de lien avec le tissu industriel de la gravure et certains laboratoires institutionnels afin d'identifier les développements à grande échelle de tels réseaux.
- 4 : Dimensionnement, réalisation et qualification d'un réseau dans le domaine X et intégration dans un prototype de diagnostic pour une installation de FCI (LULI ou OMEGA de l'université de Rochester par exemple) pour démontrer l'intérêt des choix de concept retenus sur une expérience de spectroscopie d'absorption.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
LE PAPE Sébastien sebastien.lepape@polytechnique.fr	IP PARIS (Ecole Doctorale de l'Institut Polytechnique de Paris) ED 626 Institut Polytechnique de Paris	ROUSSEAU Adrien adrien.rousseau@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Contexte : Décrire le transport de particules dans des milieux hétérogènes aléatoires est crucial pour comprendre des phénomènes physiques aussi variés que la production d'énergie nucléaire dans les réacteurs PBR ou l'évolution de nuages moléculaires conduisant à la formation d'étoiles. Dans cette optique, des modèles de transport ont été proposés dès les années 90. Leur principe consiste à moyenniser les équations de transport sur une géométrie aléatoire idéalisée, permettant ainsi de réduire la complexité du problème et de formuler des équations simplifiées accessibles à la résolution numérique. Cette simplification a néanmoins un coût en terme de représentativité physique. En particulier, une partie de l'histoire des particules se trouve effacée. Récemment, de nouveaux modèles à effets mémoires ont été proposés pour pallier ce défaut. Ces modèles, plus complexes, n'ont cependant pas été validés lorsque les différents matériaux constitutifs du milieu aléatoire possèdent un albédo propre.

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse est d'étudier comment la physique des modèles à effets mémoires ainsi que les effets d'albédo peuvent être inclus dans les modèles originaux d'une complexité moindre. L'idée est de déterminer comment les paramètres des modèles originaux doivent être modifiés afin d'intégrer la physique plus riche des modèles à effets mémoires.

Déroulement de la thèse : 1) Après une étude bibliographique, nous proposons d'exploiter des méthodes de machine learning, telle que Sindy, pour évaluer ces modifications à partir de simulations de géométries aléatoires simplifiées. Ces simulations seront réalisées avec des codes d'étude dédiés et analysées en exploitant la bibliothèques PySindy.

2) Pour comprendre les résultats obtenus, nous proposons ensuite d'aborder la problématique du transport dans les géométries aléatoires sous l'angle du transport dans les systèmes désordonnés. Cette partie théorique consistera à décrire le transport dans les géométries aléatoires en termes de fluctuations d'opacité afin d'obtenir des modèles analytiques confrontables aux résultats issus de la méthode de machine learning. Ces modèles seront validés à l'aide de simulations réalisées avec le code d'hydrodynamique radiative FCI2 développé au CEA

3) Enfin, les résultats obtenus seront appliqués sur des simulations FCI2 visant à interpréter une expérience laser effectuée en 2007.

[1] : Rosen et al. *Astrophys Space Sci* (2007) 307 :213-217.

[2] : Levermore et al. *Journal of mathematical physics* 27.10 (1986): 2526-2536.

[3] : Larmier. HAL tel-01912811 (2018).

[4] : Brunton et al. *Proceedings of the national academy of sciences* 113.15 (2016): 3932-3937.

[5] : Akkermans et al. *EDP sciences*, 2012.

[6] : Sentis et al. *European Journal of Mechanics-B/Fluids* 30.2 (2011): 252-258.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
SOULARD Olivier olivier.soulard@cea.fr	SMEMAG (Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences) ED 579 Université Paris-Saclay	CHARPENTIER Nicolas nicolas.charpentier@cea .fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 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, 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. Cela crée une multitude de grains de lumière appelés points chauds. La connaissance des caractéristiques des points chauds (largeur, longueur, contraste, temps de cohérence, vitesses ...) est importante pour prédire le niveau des différentes instabilités.

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 s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre plusieurs unités du CEA.

La première étape de la thèse comportera une recherche bibliographique sur la FCI. Les codes ont été utilisés depuis plusieurs années et ont donné lieu à de nombreuses publications. Ils pourront cependant être modifiés ou améliorés en fonction des besoins pour les études réalisées.

Une seconde étape portera sur ce travail numérique.

L'objectif principal du travail de thèse consistera ensuite à 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	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
PENNINCKX Denis denis.penninckx@cea.fr	EDOM (Ondes et Matière) ED 572 Université Paris-Saclay	RIAZUELO Gilles gilles.riazuelo@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

MATÉRIAUX

Contexte : Le CEA mène depuis plusieurs années, avec des partenaires industriels et académiques, des études sur les matériaux Composites à Matrice Céramique (CMC) qui allient légèreté, tenue thermomécanique et tolérance à l'endommagement. Ces matériaux sont composés d'un renfort fibreux carbone ou céramique et d'une matrice céramique (carbure ou oxyde). Aujourd'hui, un des défis du CEA est de fabriquer des CMC de nouvelle génération à matrice oxyde ou (oxy)nitrure, stables à haute température et multifonctionnels. Une limite importante pour le développement de ces CMC concerne la dégradation des fibres céramiques lors du frittage de la matrice. Une solution envisagée est de réduire la température de frittage de cette matrice en utilisant des ajouts de frittage et/ou des procédés de frittage rapides tels que le SPS (Spark Plasma Sintering) ou le frittage micro-onde. Cette étude se fera en collaboration avec plusieurs laboratoires du CEA Le Ripault et avec le laboratoire CRISMAT à Caen.

Objectif de la thèse : L'étude proposée porte sur la mise au point d'un CMC présentant une température de fusion supérieure à 1700 °C et des propriétés diélectriques, thermiques et mécaniques adaptées. Les travaux se focaliseront sur l'étude de la matrice du futur CMC, choisie dans la famille des oxynitrures Si₂N₂O ou SiAlON, avec comme objectif la réduction de sa température de frittage. Ce projet doit permettre de valider l'utilisation de ces matrices pour l'élaboration de CMC de nouvelle génération et lever les différents verrous scientifiques et technologiques à fort enjeu pour l'exploitation future de ceux-ci, à l'échelle industrielle notamment.

Déroulement de la thèse : Le(a) doctorante(e) s'intéressera à la préparation de mélanges de poudres homogènes de différentes compositions, incluant des ajouts de frittage tels que les terres-rares, l'alumine, l'oxyde d'yttrium ..., à leur mise en forme par pressage et à la réalisation des traitements thermiques de frittage. Deux procédés de frittage seront mis en œuvre : le SPS (Spark Plasma Sintering) et le frittage micro-onde.

L'objectif sera d'élaborer différentes compositions de céramiques oxynitrures et d'établir les liens élaboration / microstructure / comportement relativement aux paramètres suivants : 1) microstructure et composition des matériaux obtenus caractérisées finement par microscopie électronique à balayage et/ou transmission et par diffraction des rayons X, 2) propriétés thermiques en température (conductivité, dilatation), 3) propriétés mécaniques (flexion, ténacité), 4) propriétés diélectriques. On se focalisera sur la réduction de la température de frittage des phases recherchées en adaptant la nature et la proportion des ajouts de frittage et les paramètres de frittage, tout en conservant des propriétés finales satisfaisantes.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
	PSIME (Physique, sciences de l'ingénieur, matériaux, énergie) ED 531 Université de Caen	BEAUDET SAVIGNAT SOPHIE sophie.beaudet-savignat@cea.fr	Le Ripault BP 16 – 37260 Monts 02-47-34-40-00

Contexte : Cette thèse se place dans le cadre l'étude du comportement de matériaux réfractaires mis en forme par projection plasma et possédant de bonnes propriétés mécaniques sous sollicitations dynamiques. Elle s'inscrit dans le contexte des revêtements céramiques à haute performance pour des applications telles que la protection de composants placés dans la chambre d'expériences du laser Mégajoule (LMJ), les revêtements barrières thermiques pour des applications en turbines terrestre ou aéronautique. La projection plasma est un procédé de traitement de surface industriel, permettant notamment la réalisation de revêtements de matériaux réfractaires. Le procédé permet, en outre, d'obtenir des microstructures singulières (porosités, micro-fissures résiduelles), des dépôts architecturés (multi-couches/gradient).

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse sera dans un premier temps d'identifier des matériaux réfractaires alternatifs à un matériau de référence (la zircone yttrée) présentant notamment : un point de fusion élevé, des propriétés mécaniques intrinsèques importantes et compatibles d'une mise en forme par projection plasma. Il s'agira ensuite de générer différentes microstructures, voire des architectures (multicouches avec des microstructures et/ou des natures de matériaux différentes) afin d'en caractériser les propriétés thermiques (diffusivité thermique) et mécaniques (module d'Young, compression confinée, etc...).

Il conviendra d'étudier le lien qui existe entre la microstructure des revêtements et leur résistance mécanique afin d'optimiser leur réponse à des sollicitations dynamiques.

Les caractérisations mécaniques en régime dynamique seront évaluées par des essais d'érosion par le biais des procédé cold spray et/ou HVOF qu'il faudra développer dans le cadre de la thèse, puis par choc laser. Les matériaux après tests feront l'objet d'une expertise pour comprendre les modes d'endommagement et identifier les pistes d'amélioration.

Déroulement de la thèse : Le(la) doctorant(e) sera basé(e) sur le site du CEA Le Ripault, avec une interaction forte avec les ingénieurs et techniciens du laboratoire, le personnel d'un laboratoire de caractérisation du CEA Le Ripault et le personnel de l'université partenaire. Des déplacements et essais sont à prévoir sur le site de l'université partenaire avec les tests laser.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
		QUET Aurélie aurélie.quet@cea.fr	Le Ripault BP 16 – 37260 Monts 02-47-34-40-00

MATHÉMATIQUES
ANALYSE
NUMÉRIQUE

Contexte : Tout au long de l'exploitation du Centre d'Expérimentation du Pacifique français, la stabilité des pentes océaniques de l'atoll de Mururoa a fait l'objet d'un suivi géo-mécanique (Survat, puis Telsite). La zone Nord de l'atoll de Mururoa présente une instabilité gravitaire bien documentée. Son évolution géomécanique est télésurveillée en continu : suivi des déplacements de surface et des mouvements en profondeur (GPS, câbles en forage, inclinomètres) et monitoring de la sismicité sont disponibles. Dans cette zone, les observations montrent une évolution du récif corallien, une déformation continue des flans est constatée. Depuis la fin des expérimentations nucléaires, le mouvement reste mesurable mais présente un ralentissement.

Une modélisation géo-mécanique du glissement des couches de calcaires et du fluage des calcaires crayeux permettrait d'estimer l'évolution attendue pour les différentes zones instables et ainsi de mieux évaluer les niveaux de risques.

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse est de développer des modèles physiques, permettant de modéliser le comportement mécanique de l'atoll en dynamique, et de les utiliser dans un code éléments finis compatible avec les moyens de calculs actuels. Ces développements devront permettre à terme d'effectuer des simulations numériques 3D en dynamique de la zone Nord de l'atoll et de reproduire les observables à la fois sur des temps longs (déformation de l'atoll sous sollicitation gravitaire) et des temps très courts (propagation d'ondes de choc).

Déroulement de la thèse : Pour commencer, une étude bibliographique des modèles physiques, existants aussi bien dans la littérature qu'en interne, ainsi qu'une prise en main du code éléments finis seront réalisées.

Les modèles choisis seront intégrés dans un code de calcul éléments finis. Des simulations 2D seront effectuées afin de vérifier la cohérence des modèles avec les observables.

Les performances du code devront être améliorées afin de pouvoir passer à une simulation 3D complète de la zone Nord de l'atoll. L'utilisation de méthodes de raffinement de maillage adaptatif et la mise en place d'une formulation ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian) sont des pistes envisagées.

Enfin, l'identification des paramètres du modèle sera réalisée à partir de résultats issus d'essais expérimentaux. Les prédictions du modèle, obtenues à l'aide de simulations numériques HPC 3D, devront être confrontées aux données provenant des différents capteurs présents sur le site.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
	SMEMAG (Sciences Mécaniques et Energétiques, Matériaux et Géosciences) ED 579 Paris Saclay	VALLADE Alexis alexis.vallade@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

MÉCANIQUE

Contexte : L'endommagement d'un matériau ductile, traversé par une onde de choc, demeure une problématique d'intérêt majeur encore largement inexplorée. Ce phénomène se produit lorsque deux ondes de détente se croisent, provoquant localement une mise en traction importante. Cette tension peut alors en retour induire la germination de pores microscopiques qui, après une phase de croissance, coalescent et fracturent l'échantillon. Cette rupture dynamique s'accompagne de l'éjection d'un fragment, appelé écaille, lequel peut endommager ou polluer l'environnement extérieur. L'écaillage des matériaux ductiles se produit à des taux de déformation très élevés rendant caduque la plupart des modèles d'endommagement et de plasticité fréquemment rencontrés dans la littérature. La construction d'un modèle macroscopique homogénéisé, rendant compte de chacune des phases, de la nucléation jusqu'à la coalescence, et valable sous fort gradient de chargement, présente un intérêt certain pour le CEA-DAM.

Objectif de la thèse : L'objectif de cette thèse est de développer un modèle inertiel à gradient de chargement (équivalent à un milieu continu généralisé) dont le domaine d'application étendu supporte les chargements fortement variables spatialement et temporellement, caractéristiques des ondes de choc.

Déroulement de la thèse : Les principales étapes sont les suivantes :

- Dans un premier temps, des modèles existants de la littérature seront implémentés : un modèle à gradient de chargement ainsi qu'un modèle d'endommagement inertiel. Le développement du champ d'endommagement sous chargement modèle sera étudié en particulier sa localisation spatiale pour comprendre l'influence de chacune des régularisations, respectivement à gradient et inertielle, sur le champ d'endommagement.
- Dans un second temps, un modèle couplant les deux approches sus-mentionnées (c'est-à-dire incluant dépendance à un gradient et aux termes inertiels) sera étudié. L'homogénéisation n'ayant jusqu'alors jamais été envisagée dans cette configuration, des questions se poseront sur une prise en compte indirecte des interactions entre pores, d'une distribution des tailles de pores par maille et de la modélisation de la coalescence.
- Enfin l'implémentation numérique de ce modèle sera réalisée et testée sur différents cas tests, ce qui permettra de caractériser les nouveaux régimes de localisation de l'endommagement et une comparaison à des données expérimentales, soit macroscopiques, soit de distributions de tailles de pores.

DIRECTEUR DE THESE

BLEYER Jeremy
jeremy.bleyer@enpc.fr

ECOLE DOCTORALE

SIE (Sciences, Ingénierie et
Environnement)
ED 531
Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

ENCADRANT

BOUTEILLER Paul
paul.bouteiller@cea.fr

CENTRE

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

Contexte : Les matériaux composites à matrice céramiques (CMC) sont employés pour leur haute résistance mécanique en température (1000°C et plus). Ces matériaux fonctionnent par le biais d'un endommagement qui survient dès les premières sollicitations. Pour un grand nombre d'entre eux, le domaine élastique est quasiment inexistant. Nous proposons dans le cadre de cette thèse de développer des formalismes permettant de prendre en compte des phénomènes jusque-là traités de manière phénoménologique :

-Le frottement provoqué lors de la fermeture des fissures, responsable de l'hystérésis constatée lors des cycles de charge/décharge et également responsable de la restauration des modules élastiques en compression ;

-Le caractère tensoriel de l'endommagement dans certaines familles de CMC, qui est actuellement modélisé par un modèle dit pseudo-tensoriel sans que toutefois le formalisme tensoriel exact n'ait été suffisamment développé pour au moins constituer un point de comparaison.

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse est de développer des formalismes de physique du solide pouvant mener à des lois de comportement à même d'être utilisées dans des codes éléments finis si elles sont compatibles des moyens de calcul actuels. L'évaluation des formalismes développés se fera sur la base de données expérimentales acquises soit par une collaboration externe, soit par les travaux menés pendant la thèse.

Déroulement de la thèse : Le(la) doctorant(e) aura à développer les différents modèles de lois de comportement et à les confronter en considérant dans un premier temps des données expérimentales à température ambiante et en température obtenues par le biais d'une collaboration avec un laboratoire universitaire. Dans un second temps, il(elle) aura à mener des essais in situ par tomographie X permettant d'enrichir les données disponibles, notamment en ce qui concerne la mesure de déformation volumique. Enfin, les développements des modèles de loi de comportement se feront en collaboration avec l'ONERA au sein duquel plusieurs semaines de travail sont prévues

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
LAURIN Frédéric frederic.laurin@onera.fr	SMEMAG (Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences) ED 579 Université Paris-Saclay	GUILLET François francois.guillet@cea.fr	Le Ripault BP 16 – 37260 Monts 02-47-34-40-00

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

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

Si de nombreuses études expérimentales ont été dédiées à ce sujet, la mise en évidence et la caractérisation des effets de percement restent toujours difficiles et peu explorées.

Objectif de la thèse : Le projet proposé a pour objectif de développer des critères de percement à partir de quantités mesurables expérimentalement. La croissance de différents types de défauts de surface sera étudiée ainsi que leurs signatures expérimentales, radiographiques en particulier. On utilisera pour cela des simulations numériques et des algorithmes de Machine Learning pour permettre d'inférer des phénomènes de percement à partir de radiographieS.

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

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

- Etude bibliographique
- Sur la base de résultats de simulations numériques 2D, utiliser des algorithmes de machine learning pour relier des quantités intégrées (radiographies synthétiques) à des phénomènes de percement.
- Applications de ces résultats à des résultats expérimentaux déjà obtenus sur NIF dans le cadre d'une collaboration internationale [Martinez et al., PRL, 115, (2015)].
- Extensions des résultats précédents aux simulations et expériences en 3D plan (expériences NIF)
- Simulations (2D) et modélisation de la croissance de défauts localisés. On s'efforcera dans cette partie d'évaluer les masses d'ablateur injectées par le percement.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
CASNER Alexis alexis.casner@cea.fr	SPI (Sciences Physiques et de l'Ingénieur) ED 209 Université de Bordeaux	MASSE Laurent laurent.masse@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Étude expérimentale de la combustion de particules d'aluminium



Contexte : La modélisation macroscopique des effets de souffle des explosifs aluminisés est actuellement traitée avec un modèle de libération d'énergie empirique. Ce modèle aboutit à des résultats perfectibles et l'augmentation de son périmètre d'utilisation nécessite d'introduire de la physique identifiée à l'échelle mésoscopique. Lors d'une précédente thèse sur le sujet, des expériences réalisées à l'aide d'un lévitateur électromagnétique ont permis d'acquérir des données permettant de caractériser la combustion d'une particule d'aluminium dans une variété d'ambiances représentatives des produits de détonation. Certains paramètres restent cependant encore mal compris. Le(la) doctorant(e) réalisera donc de nouvelles expériences afin de s'intéresser plus spécifiquement à l'influence du rayonnement des particules et aux effets de groupes entre particules. Cette thèse sera réalisée en parallèle d'une autre thèse, entièrement numérique, dédiée à la simulation du phénomène de postcombustion.

Objectif de la thèse : L'objectif est d'améliorer les modèles macroscopiques d'effets de souffle d'explosifs aluminisés à partir de résultats issus de simulations détaillées en LES (Large Eddy Simulation) validées sur des expériences élémentaires.

Déroulement de la thèse : Les travaux de thèse consistent à concevoir et réaliser des expériences élémentaires de combustion de particules d'aluminium dans des milieux gazeux en présence, ou non, de chocs. L'objectif de ces expériences est d'accéder aux mécanismes élémentaires de combustion des particules dans l'objectif de les introduire dans un modèle. Ces travaux bénéficieront de travaux numériques menés dans une thèse parallèle et une forte interaction entre les deux thèses est prévue. Au cours de la première année, le(la) doctorant(e) réalisera une étude bibliographique bibliographique et identifiera les moyens expérimentaux et métrologiques appropriés existants dans le laboratoire d'accueil ou à acquérir. La seconde année consistera à mettre en place les expérimentations et à les réaliser. En dernière année, le(la) doctorant(e) exploitera les résultats obtenus. Il(elle) pourra profiter des résultats numériques obtenus dans la thèse menée en parallèle.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
HALTER Fabien fabien.halter@cnsr-orleans.fr	EMSTU (Énergie, Matériaux, Science de la Terre et de l'Univers) ED 552 Université d'Orléans	COURTIAUD Sébastien sebastien.courtiaud@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

Modélisation de la postcombustion d'explosifs contenant un additif métallique



Contexte : La modélisation macroscopique des effets de souffle des explosifs aluminisés est actuellement traitée avec un modèle de libération d'énergie empirique. Ce modèle aboutit à des résultats perfectibles. L'augmentation de son périmètre d'utilisation nécessite d'introduire de la physique identifiée à l'échelle mésoscopique. Une série de thèses a été réalisée dans ce domaine en s'appuyant sur des simulations LES (Large Eddy Simulation) d'écoulements représentatifs de celui généré par la détonation d'un explosif et sur des expériences élémentaires de combustion de particules. Ces travaux ont notamment abouti à un modèle empirique adapté aux explosifs ne contenant pas d'additifs métalliques et à plusieurs modèles de combustion des particules d'aluminium. Le sujet proposé prend la suite directe des thèses précédentes. Il s'agira, maintenant que toutes les briques élémentaires de simulation sont validées, de s'aider de simulations LES pour proposer un nouveau modèle macroscopique.

Objectif de la thèse : L'objectif est d'améliorer les modèles macroscopiques d'effets de souffle d'explosifs aluminisés à partir de résultats issus de simulations détaillées en LES validées sur des expériences élémentaires.

Déroulement de la thèse : Les travaux consistent à réaliser des simulations mésoscopiques bidimensionnelles et tridimensionnelles d'écoulements de produits de détonation chargés de particules d'aluminium. Ces particules réagissent à la fois avec les produits de détonation et avec l'oxygène de l'air. Le(la) doctorant(e) commencera par faire un point bibliographique et par prendre en main les outils numériques (code AVBP du CERFACS). Il(elle) s'aidera ensuite de simulations numériques LES pour améliorer la compréhension physique des phénomènes et en proposer une nouvelle modélisation macroscopique. Enfin, il(elle) implémentera ce nouveau modèle dans les outils de production actuels. Selon les besoins, le(la) doctorant(e) pourra être amené(e) à conduire des expériences de validation de son modèle. Le déroulement de la thèse sera partagé entre l'IMFT (Institut de mécanique des fluides de Toulouse) et le CEA Gramat.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
SELLE Laurent laurent.selle@imft.fr	MEGEP (Mécanique, Energétique, Génie civil, Procédés) ED 468 Toulouse INP	COURTIAUD Sébastien sebastien.courtiaud@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

MODÉLISATION MULTI-ÉCHELLES

Contexte : Le comportement élasto-plastique d'un matériau métallique polycristallin ayant subi de grandes déformations présente un caractère anisotrope même lorsque le matériau est initialement isotrope. D'une part, la rotation des grains (monocristaux) avec la déformation tend à concentrer les orientations cristallines dans des directions privilégiées (on dit que le matériau devient texturé). D'autre part, pour une orientation cristalline donnée, l'activation de certains systèmes de glissement favorablement orientés par rapport aux directions du chargement conduit à un écrouissage fortement orienté. Une description précise du comportement macroscopique de tels matériaux implique d'intégrer dans la loi de comportement une modélisation de cette anisotropie et de son évolution au cours du chargement.

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse est l'identification de la réponse macroscopique tridimensionnelle de polycristaux pré-déformés et l'élaboration d'une loi de comportement élasto-plastique qui décrit l'évolution de l'anisotropie induite au moyen de variables internes bien choisies et en nombre réduit. On cherchera notamment à mettre en évidence, pour des chargements proportionnels, des comportements « asymptotiques » liés à l'existence de textures limites stables et à la saturation de l'écrouissage. Ce travail sera réalisé en utilisant des résultats de simulations d'agrégats polycristallins menées avec le code de plasticité cristalline développé au CEA/DAM (Coddex). On s'intéressera à différentes structures cristallines en commençant par les structures cubiques (CFC et CC) qui sont bien maîtrisées. La structure hexagonale compacte (HCP), pour laquelle l'anisotropie du comportement des monocristaux est très marquée, sera également étudiée.

Déroulement de la thèse : Dans une première étape du travail, on propose de s'intéresser à l'évolution du comportement sous l'effet d'un chargement proportionnel :

- Analyse de l'évolution des orientations cristallines et de l'écrouissage dans un agrégat au cours de différents chargements monotones (proportionnels) ;
- Identification des surfaces de charges associées.

On abordera dans un second temps la question de la modélisation du comportement du matériau prenant en compte l'anisotropie et l'écrouissage induit par une pré-déformation:

- Formulation d'une loi de comportement anisotrope pour les états limites ;
- Modélisation du comportement des états obtenus après une pré-déformation quelconque à partir de celui des états limites.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
DEQUIEDT Jean-Lin jean-lin.dequiedt@cea.fr	SMEMAG (Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences) ED 579 Université Paris-Saclay	DEQUIEDT Jean-Lin jean-lin.dequiedt@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

OPTIQUE

Caractérisation expérimentale et simulation de l'impact de particules hyper-véloces sur une paroi



Optique

Contexte : L'impact d'une particule sur une paroi plane solide ou liquide et la fragmentation éventuelle qui en résulte (splashing) est un sujet d'étude classique en mécanique des fluides car ce phénomène est présent dans la nature et dans de nombreuses applications industrielles. Dans le cas d'une goutte liquide, le splashing peut être responsable de l'érosion des sols ou du piégeage de gaz et de polluants avec la pluie, ou source de gaspillage dans des applications comme le revêtement par spray ou la fabrication additive avec des particules métalliques. Si, dans la grande majorité des cas, les vitesses d'impact des particules sont faibles (quelques m/s, les gouttes étant accélérées par gravité), d'autres applications, notamment celles du CEA-DAM, font intervenir des vitesses plus élevées (plusieurs centaines voire milliers de m/s). Quelle que soit la vitesse d'impact, les mécanismes à l'origine de la fragmentation de la particule restent encore mal compris. Cela provient, d'une part, des difficultés d'observation et de caractérisation expérimentale d'un phénomène qui se produit à des échelles temporelles sub-microsecondes et spatiales sub-micrométriques et, d'autre part, des difficultés à simuler un processus à partir de codes utilisant les équations de l'hydrodynamique et ne disposant pas de modèle de fragmentation.

Objectif de la thèse : L'objectif de cette thèse est de caractériser expérimentalement et de simuler l'impact de particules hyper-véloces sur surfaces solides et liquides. On s'attachera en particulier à comprendre les mécanismes de fragmentation des gouttes par le biais de mesures de distributions de tailles et de vitesses de particules juste après l'impact. Les particules seront principalement métalliques et pourront être à l'état solide ou liquide.

Déroulement de la thèse : La première partie de cette thèse consistera à mettre en œuvre un banc permettant d'observer le splashing par imagerie laser ultra-rapide (picoseconde) et de mesurer les distributions en tailles et en vitesses des particules par vélocimétrie hétérodyne. Ces techniques de pointe sont très bien maîtrisées par le laboratoire qui est en grande partie à l'origine de leur développement. Le banc pourra être testé lors de campagnes de mesures qui seront réalisées au moyen de systèmes de projection situés au CEA Le Ripault (torcha à plasma, Cold-Spray), et qui permettent de projeter des particules métalliques solides ou liquides à plusieurs centaines de m/s.

La seconde partie consistera à simuler le splashing par une approche originale basée sur la dynamique moléculaire. Cette approche atomistique est en effet à la bonne échelle pour appréhender les mécanismes de fragmentation. Elle a déjà été testée au CEA-DAM dans le cas de la fragmentation de nappes de métal liquide induite par choc et a permis de constater qu'il existe des analogies avec les expériences malgré les différences d'échelles en temps et en espace.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
	PSIME (Physique, sciences de l'ingénieur, matériaux, énergie) ED 591 Université ou INSA Rouen Normandie	DURAND Olivier olivier.durand@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME, MOLÉCULE

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 de ces processus est un défi de tout premier plan, à la fois pour la compréhension de la formation de l'univers et les applications. Par exemple, une meilleure connaissance de la section efficace de la réaction ${}^7\text{Be}(n,p){}^7\text{Li}$, pourrait aider à élucider le problème de 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 inhabituelles (les halos à un ou plusieurs nucléons et les agrégats de type particule alpha). L'existence de ces sous-structures joue un rôle important lors de l'interaction entre le projectile et la cible et a un impact sur les mécanismes de réaction et les sections efficaces.

La résolution d'un problème de diffusion à (A+1)-corps, où A est la masse du noyau cible, est trop complexe pour pouvoir être traitée exactement. Les modèles de réaction le simplifient en un problème à 2 corps dans lequel le nucléon incident interagit avec les A-nucléons de la cible via un potentiel qui est complexe, la partie imaginaire permettant de traiter l'absorption. Les sections efficaces sont alors calculées en résolvant une équation radiale déduite de l'équation de Schrödinger, faisant intervenir ce potentiel complexe. 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 : la cible est décrite à l'aide d'une fonction d'onde relative entre les agrégats la composant qui est obtenue en utilisant un potentiel ajusté pour obtenir la bonne énergie de liaison et le bon rayon-carré moyen.

Objectif de la thèse : 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 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, le(la) doctorant(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. obtenir les sections efficaces.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
PILLET Nathalie nathalie.pillet@cea.fr	PHENICS (Particules, Hadrons, Energie, Noyau, Instrumentation, Imagerie, Cosmos et Simulation) ED 576 Université Paris-Saclay	CHAU Huu-Tai huu-tai.chau@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Contexte : Avec le développement de missions telles que TESS ou bientôt PLATO, ainsi que le lancement de JWST, de nombreuses exoplanètes vont être découvertes et étudiées. Parmi elles, les super-Terres, ces planètes rocheuses de 1 à 2 fois la taille de la Terre, sont particulièrement intéressantes, notamment car elles pourraient être habitables. L'habitabilité d'une planète est intimement liée aux processus géologiques internes et à sa formation. Les intérieurs de super-Terres restent toutefois très mal caractérisés et il est nécessaire de mieux comprendre le comportement des matériaux constitutifs dans les conditions thermodynamiques propres aux super-Terres.

Dans ce domaine, les simulations numériques ab initio et les expériences de chocs laser se sont révélées être des outils de choix pour déterminer des équations d'état, des diagrammes de phase ainsi que des propriétés de transport, y compris pour des matériaux complexes. Ces données sont essentielles pour la compréhension des super-Terres.

Objectif de la thèse : Le projet a pour objectif de caractériser les mélanges fer-silicates à haute pression en utilisant les simulations ab initio et les expériences de chocs laser. Les propriétés de miscibilités fer-silicates seront explorées ainsi que le diagramme de cristallisation du mélange. En outre, une étude des propriétés de transport sera menée pour déterminer le lien entre la structure microscopique du liquide et les propriétés électroniques. Ces propriétés permettront de déterminer si un cœur de fer peut se former au sein d'une super-Terre et s'il peut générer un champ magnétique. À partir des propriétés de transport il sera également possible de faire un bilan thermique des super-Terres et d'en comprendre leur évolution.

Déroulement de la thèse : La thèse s'exercera en codirection entre le CEA DAM et le LULI (Ecole Polytechnique). Une présence à 50 % dans chacune des institutions est anticipée. Le(la) doctorant(e) effectuera des simulations numériques avancées à l'aide de super-ordinateurs. Il(elle) participera également à la conception, réalisation et analyse d'expériences de chocs laser pour valider les calculs numériques. Pour ces expériences, le(la) doctorant(e) sera amené(e) à se déplacer en France, en Europe voire aux États-Unis. Une bonne maîtrise de l'anglais est donc nécessaire. Une bonne maîtrise de langages de programmation tels que Fortran, C, Python est nécessaire, de même qu'une bonne connaissance de la thermodynamique des équilibres de phase et de la physique statistique.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
RAVASIO Alessandra alessandra.ravasio@polytechnique.edu	IP PARIS (Ecole doctorale de l'Institut Polytechnique de Paris) ED 626 Institut Polytechnique de Paris	SOUBIRAN François francois.soubiran@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Contexte : L'installation expérimentale de radiographie éclair EPURE de Valduc met en œuvre des sources X de technologies différentes dont les performances sont uniques. Elles permettent de délivrer, en quelques dizaines de nanosecondes, un flash de rayonnement X de dose élevée et énergétique ($>MeV$), dans le but de radiographier des objets en mouvement très rapide ($>km/s$) et atteignant des densités élevées. Les points de fonctionnement de ces machines sont établis pour offrir les meilleures performances possibles en fonction du besoin exprimé par les physiciens. Au cours de cette thèse, de nouveaux points de fonctionnement seront explorés pour les machines radiographiques utilisant le principe d'accélération linéaire d'électrons. Pour ce faire, il est nécessaire de modéliser et simuler l'ensemble des étapes mises en œuvre : de la production des électrons initiaux, leur transport, jusqu'à leur conversion sur une cible métallique.

Objectif de la thèse : L'objectif à terme est de pouvoir contrôler, suivant le besoin, une caractéristique particulière de la source de rayonnement X à EPURE (durée de l'impulsion, tache focale, dose délivrée) et d'évaluer l'impact de ces choix sur les autres caractéristiques.

Le travail de dimensionnement s'appuiera sur l'utilisation de codes de simulation, développés au CEA, basés sur des approches continue (équations de l'électromagnétisme) et particulière (méthode de type Monte-Carlo). Le travail de dimensionnement portera aussi sur la cible de conversion et la corrélation entre les taches focales électronique et photonique. Les solutions de cibles les plus prometteuses seront soumises au processus de fabrication puis à une validation expérimentale. Celle-ci consistera à mettre en œuvre les cibles sur l'installation ELSA du CEA-DAM DIF, qui offre des caractéristiques proches des machines de l'installation EPURE, hormis la dose, puis de les confronter aux machines X de EPURE, l'objectif étant de caractériser plusieurs points de fonctionnement accessibles à ces machines. Le(la) doctorant(e) bénéficiera de l'expertise des équipes opérationnelles des installations ELSA et EPURE afin de mettre en œuvre expérimentalement les dimensionnements obtenus par simulation.

Déroulement de la thèse : Le(a) doctorant(e) s'appropriera le fonctionnement des machines et les modèles physiques associés. Une première étude consistera à approfondir la compréhension de la conversion du faisceau électronique en photons X, et déterminer la corrélation associée. Des expériences sur ELSA permettront de caractériser au mieux cette conversion. Le dimensionnement de nouvelles cibles (forme et matériaux) et du transport associé sera ensuite réalisé en tenant compte des caractéristiques des machines et des contraintes de fabrication des cibles. Un programme expérimental sera établi pour tester sur ELSA les solutions les plus prometteuses. Puis une caractérisation sera envisagée à EPURE pour la validation finale.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
		BRANDON Vincent vincent.brandon@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

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



Contexte : La Direction des applications militaires du CEA utilise la radiographie éclair pour « caractériser l'état de la matière soumise à des chocs forts ou à une densification importante sous l'effet d'explosifs ». Dans de telles conditions extrêmes, le succès des expériences de radiographie éclair nécessite des sources de rayonnement X impulsives de faibles dimensions spatiales (quelques mm), brèves (environ 60 ns), fortement pénétrantes (quelques MeV) et intenses (plusieurs rads). De telles sources sont produites à partir du rayonnement de freinage créé par une impulsion brève et intense d'électrons (plusieurs kA) de haute énergie dans un matériau cible. L'installation radiographique EPURE du CEA permet la production de ces faisceaux d'électrons. Cette installation comprend d'ores et déjà une machine de radiographie de type accélérateur linéaire à induction ou LIA et un second LIA est actuellement mis en service pour la fin d'année 2022.

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

Une précédente thèse a permis de développer une première version du code de transport EVOLI qui intègre les phénomènes principaux (Beam Break-Up et Corkscrew) perturbant le fonctionnement des LIA mono-pulse.

Objectif de la thèse : Cette thèse propose de compléter et de poursuivre l'étude expérimentale et numérique des instabilités faisceau. D'autres instabilités (ion hose, Wall Instability ...) seront intégrées et étudiées afin de disposer d'un outil permettant d'améliorer la modélisation des LIA mono-pulse et de dimensionner de futurs accélérateurs multi-impulsions.

Déroulement de la thèse :

Dans un premier temps, le(la) doctorant(e) se familiarisera aux codes de simulation PIC et enveloppe utilisés au CEA/Gramat décrivant la dynamique des faisceaux dans les LIA en vue de les améliorer. Dans un second temps, une confrontation sera effectuée avec les résultats expérimentaux obtenus sur les LIA afin d'établir les domaines de validité des modèles développés. Le(la) doctorant(e) aura également pour objectif d'évaluer l'apport des algorithmes d'intelligence artificielle pour optimiser les stratégies de transport.

[1] J.M. Plewa et al., Phys. Rev. Accel. Beams, 21, 070401. [2] R. Delaunay et al., Phys. Rev. Accel. Beams, 25, 060401.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
ROUSSEAU Patrick rousseau@ganil.fr	PSIME (Physique, sciences de l'ingénieur, matériaux, énergie) ED 591 Normandie Université	Delaunay Rudy rudy.delaunay@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

Contexte : Le LMJ (laser Mégajoule) est un SIENID (Site d'Expérimentations Nucléaires Intéressant la Défense) dédié à l'étude de la physique des plasmas générés par des lasers de puissance. A ce titre, le(a) candidat(e) évoluera dans une installation de recherche de pointe. Parmi les expériences menées, le laser PETAL qui fonctionne à très haute intensité ($> 10^{18} \text{ W.cm}^{-2}$) permet de générer des particules de haute énergie. A ce titre, les mécanismes de production et accélération de ces particules sont un sujet d'étude, afin d'en tirer profit comme outil de radiographie protonique ou X durs picoseconde de phénomènes produits avec le laser Mégajoule. En intégrant une équipe expérimentale, le(a) candidat(e) consolidera ses compétences en instrumentation optique et nucléaire. Il(elle) développera de solides connaissances en analyse de données et en simulations numériques (Particle-In-Cell, Monte-Carlo) via des codes en langages python ou C++.

Objectif de la thèse : L'objectif de la thèse est de faire la synthèse des termes source « ions-electrons-X-neutrons-débris » de PETAL à partir des données existantes (une quarantaine de tirs réalisés sur la période 2017-2023 – à ce jour seules les spectres ioniques sont publiés par D. Raffestin et al. dans la revue Matter & Radiations at Extremes en 2021) et d'expériences futures avec PETAL sur des thèmes variés (i.e. production de neutrons, utilisation de cibles "jet de gaz", montée en puissance). Ce travail serait à la fois expérimental (mis en oeuvre des diagnostics et analyse de données) et théorique (simulations PIC et Monte-Carlo au CELIA et/ou auprès d'une unité du CEA DAM Île de France). Ce sujet est à connecter avec le projet PETAL-UPGRADE (collaboration Région Aquitaine et CEA CESTA).

Déroulement de la thèse : Le suivi quotidien et le lieu de travail seront au CEA CESTA (Le Barp). Des missions ponctuelles au CELIA (Talence) et au CEA DAM Île-de-France (Arpajon) sont envisageables, notamment pour permettre la bonne collaboration sur les aspects théorie et simulations. Points trimestriels avec les parties prenantes (théorie, simulation, expérience, analyse de données).

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
D'HUMIERES Emmanuel (théorie)/BATANI Dimitri (exp) emmanuel.dhumieres@u-bordeaux.fr / dimitri.batani@u-bordeaux.fr	SPI (Sciences Physiques et de l'Ingénieur) ED 209 Université de Bordeaux	BOUTOUX Guillaume guillaume.boutoux@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Diffraction X de matériaux modèles multiphasiques dans le domaine de la matière dense et tiède



Contexte : Un diagnostic de diffraction X a été mis au point sur l'installation LULI2000 à l'Ecole polytechnique à Palaiseau (91), et sera adapté prochainement sur le Laser Mégajoule au CEA/CESTA situé au Barp (33). 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 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 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 permettant d'évaluer les conditions extrêmes de pression et de température sondées. Il (elle) participera en cela à l'amélioration et à la validation des modèles d'interaction laser-matière et des modèles hydrodynamiques (équations d'état multi-phases, conductivité thermique, cinétique des changements de phase) utilisés dans ces calculs.

Déroulement de la thèse : Il sera tout d'abord demandé au(à la) doctorant(e) d'analyser les premières expériences de diffraction X afin de se familiariser à la fois avec les méthodes expérimentales utilisées pour étudier la matière dense et tiède à l'aide d'un laser de puissance, avec les outils de dépouillement qu'il(elle) se devra de compléter, ainsi qu'avec les simulations hydrodynamiques. Ceci lui permettra ensuite de préparer, de réaliser et d'analyser les différentes campagnes expérimentales citées ci-avant. Pendant toute la durée du doctorat, le(la) doctorant(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	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
BENUZZI-MOUNAIX Alessandra alessandra.benuzzi- mounaix@polytechnique.edu	IP PARIS (Ecole Doctorale de l'Institut Polytechnique de Paris) ED 626 l'institut polytechnique de Paris	DENOEUD Adrien adrien.denoed2@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Contexte : La matière dense, tiède et partiellement ionisée est présente dans de nombreux objets astrophysiques tels que l'intérieur des planètes géantes et des naines blanches ou dans les plasmas de poussières. Elle est produite, en laboratoire, lors de l'interaction d'un faisceau de photons ou de particules chargées d'intensité modérée avec une cible solide ou lors d'expériences de décharges électriques de haute puissance. La maîtrise des propriétés de la matière dense et tiède revêt une très grande importance pour les études relatives à la fusion par confinement inertiel.

La matière dense et tiède se caractérise par de fortes densités d'énergie où l'état des milieux générés se situe entre l'état solide et l'état de plasma cinétique. Elle se caractérise également par d'importants effets à N-corps puisque les atomes ionisés sont modérément couplés et les électrons libres partiellement dégénérés. L'étude de ces systèmes complexes constitue un réel défi sur les plans expérimental et théorique.

Objectif de la thèse : Pour répondre à ce défi, le CEA DAM Île-de-France s'est doté d'outils numériques et expérimentaux permettant de modéliser, produire et diagnostiquer ces états de la matière si particuliers. Il dispose notamment d'une installation de haute puissance pulsée à même d'induire et de sonder des changements d'états thermodynamiques allant du solide au plasma. Ce nouveau moyen expérimental est aujourd'hui opérationnel et va permettre d'atteindre un régime thermodynamique jusqu'alors inexploré. Les données que cette installation permettra de recueillir, seront utilisées pour tester différents modèles développés au CEA DAM Île-de-France ; des plus simples basés sur la notion d'atome moyen, aux plus sophistiqués ayant recours à des simulations de dynamique moléculaire quantique.

Déroulement de la thèse : Afin de progresser dans l'étude des propriétés de la matière dense et tiède, le CEA DAM Île-de-France propose un sujet de thèse pour une durée de 3 ans. Il s'agira d'acquérir des données d'équation d'état de différents matériaux métalliques partiellement détendus, portés à des pressions de quelques Gbars et des températures de quelques dizaines de milliers de Kelvins. Plus particulièrement, il s'agira de mettre en œuvre des mesures conjointes de l'évolution temporelle de 3 grandeurs thermodynamiques : l'énergie interne, la pression et la masse volumique. Le(a) candidat(e) sera également amené(e) à comparer ces données expérimentales à des résultats de calculs qu'il(elle) aura effectués à l'aide de différents codes numériques développés au CEA DAM Île-de-France.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
BLANCARD Christophe christophe.blancard@cea.fr	EDOM (Ondes et Matière) ED 572 Université Paris-Saclay	JODAR Benjamin benjamin.jodar@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00

Modélisation numérique et optimisation de l'effet limiteur d'une antenne plasma.



Contexte : Une antenne est une passerelle entre une onde électromagnétique et un circuit électronique dans un système de communication ou de détection. Il s'agit donc d'une voie d'entrée privilégiée pour une agression électromagnétique. Pour protéger le circuit connecté à l'antenne, il est nécessaire d'insérer un étage supplémentaire, mais ce dernier peut dégrader les performances de l'ensemble. Une antenne capable de fonctionner à faible niveau et en même temps capable de ne plus fonctionner à fort niveau permettrait de s'affranchir de cette protection supplémentaire. Des travaux récents ont montré qu'une antenne utilisant un résonateur à base de plasma serait capable de remplir ces deux fonctions.

Objectif de la thèse : L'objectif de cette thèse sera de comprendre le phénomène responsable de la saturation de la contrainte collectée en sortie d'antenne lorsque le champ incident devient intense. Une simulation à l'aide d'un logiciel PIC (Particle In Cell) s'avère être un outil prometteur pour cette première étape de modélisation. Une telle simulation donne directement accès à l'interaction entre les particules chargées du plasma et le champ électromagnétique incident. Les logiciels et la puissance de calcul apportés par le CEA/Gramat seront combinés à la maîtrise du laboratoire LAPLACE du type de plasmas mis en oeuvre dans l'antenne considérée. Les conclusions tirées de cette modélisation seront confirmées expérimentalement par la caractérisation électromagnétique et spectroscopique du plasma de l'antenne lorsque celle-ci est soumise à un champ de fort niveau. Le CEA/Gramat apportera l'expertise dans ces 3 domaines : métrologie électromagnétique, spectroscopie, champs électromagnétiques intenses. Enfin, lorsque qu'un modèle validé sera obtenu, il s'agira d'en déduire des pistes pour améliorer les performances de l'antenne en vue d'applications opérationnelles.

Déroulement de la thèse : Les principales étapes sont les suivantes :
Première année : Simulation numérique permettant de représenter la résonance de l'antenne (comportement linéaire, faible niveau), puis de modéliser la saturation de la contrainte collectée (comportement non-linéaire). Le but de cette étape est d'interpréter les mesures obtenues au cours de la thèse précédente.
Deuxième année : Mise au point et réalisation des mesures permettant de confirmer le modèle obtenu au cours de la première année.
Troisième année : En utilisant ce modèle, optimiser le comportement non linéaire de l'antenne afin de réduire encore d'avantage le niveau de la contrainte collectée.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
PASCAL Olivier olivier.pascal@laplace.univ-tlse.fr	GEETS (Génie Électrique, Électronique, Télécommunications et Santé du système au nanosystème) ED 323 Université de Toulouse III - Paul Sabatier	MAISONNY Rémi remi.maisonny@cea.fr	Gramat BP 80200 – 46500 Gramat 05-65-10-54-32

Contexte : La spectroscopie Raman est une méthode expérimentale basée sur l'interaction d'un laser avec les modes de vibration d'un solide afin d'obtenir des informations sur sa structure cristalline ou sa composition chimique.

L'interprétation des spectres expérimentaux est parfois difficile et la confrontation à des calculs théoriques s'avère alors indispensable. Cela se produit notamment dans le cas de systèmes complexes, tels que des solides partiellement cristallisés, des solides en couches, des matériaux à mélange de phases, ...

Pour obtenir des spectres Raman d'une grande variété de matériaux, l'utilisation de la Théorie de Perturbation de la Fonctionnelle de la Densité (DFPT) s'avère être une méthode de choix, et notamment dans l'approche "Projector Augmented-Wave" (PAW) qui allie efficacité et précision. Dans cette approche, le calcul des intensités Raman a été mis en oeuvre dans notre laboratoire. Il reste à développer le formalisme pour le calcul de la largeur des pics.

Objectif de la thèse : Dans ce projet, nous proposons d'utiliser le logiciel ABINIT (www.abinit.org), un projet collaboratif international, pour lequel notre groupe est l'un des principaux développeurs. Le(a) candidat(e) devra mettre en oeuvre la chaîne de calcul menant aux calculs de spectres Raman, dans l'approche PAW, et en incluant le calcul de la largeur des pics. Dans la seconde partie du travail de thèse, des calculs seront réalisés sur les systèmes complexes cités ci-dessus, en lien avec une équipe expérimentale qui pourra fournir des spectres expérimentaux.

Les objectifs de la thèse seront les suivants :

- Mettre en oeuvre une méthodologie complète d'obtention de spectres Raman dans le cadre de la DFPT.
- Améliorer les performances du code de calcul pour rendre accessible des systèmes de grande taille, donnant ainsi accès à des mélanges de phases ou des matériaux multicouches.
- Développer le formalisme théorique menant au calcul de la largeur des pics Raman dans l'approche PAW. Pour cela, il est nécessaire d'évaluer les "temps de vie de phonons" qui s'obtiennent à partir des dérivées d'ordre 3 de l'énergie du système.
- Mettre en oeuvre le formalisme développé dans le code ABINIT.
- Effectuer des calculs sur des systèmes étendus pour interpréter des expériences réalisées dans notre groupe ou par des groupes partenaires.

Déroulement de la thèse : Les différentes étapes de la thèse seront les suivantes :

Première année :

- Travail bibliographique.
- Prise en main de l'approche DFPT et de la méthode PAW.
- Ecriture du formalisme pour le calcul des largeurs de pic Raman dans l'approche PAW.

Deuxième année :

- Implémentation des équations dans le code ABINIT.
- Test et validation de l'implémentation. Publication scientifique associée.

Troisième année :

- Calcul de spectres sur des systèmes complexes.
- Collaboration avec des expérimentateurs. Publication scientifique associée.
- Rédaction du manuscrit de thèse.

DIRECTEUR DE THESE	ECOLE DOCTORALE	ENCADRANT	CENTRE
TORRENT Marc marc.torrent@cea.fr	PIF (Physique en Île-de-France) ED 564 Université Paris-Saclay	BAGUET Lucas lucas.baguet@cea.fr	DAM Île-de-France Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon 01-69-26-40-00