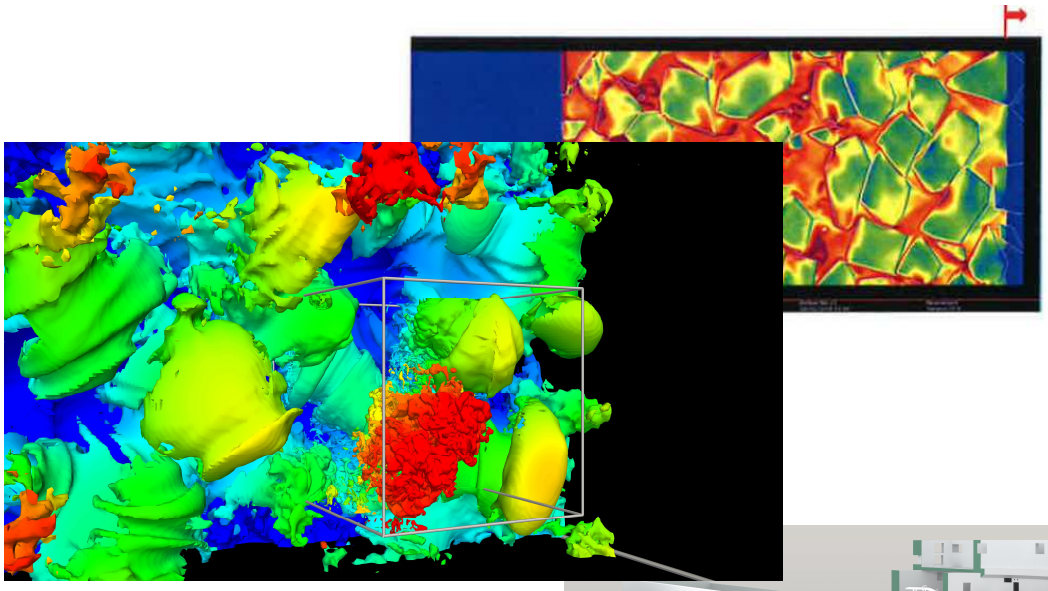
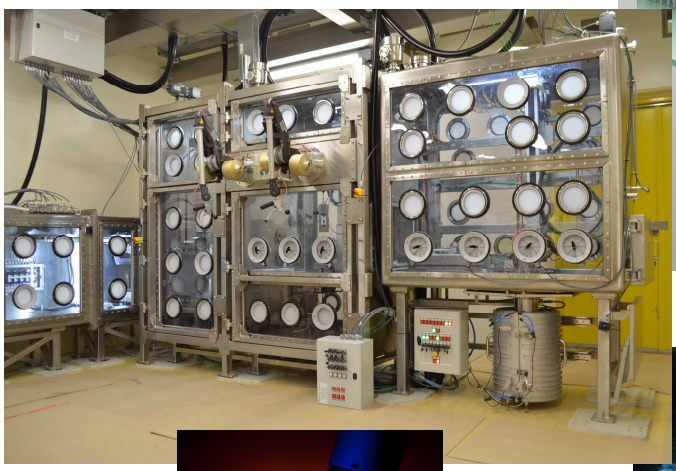
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

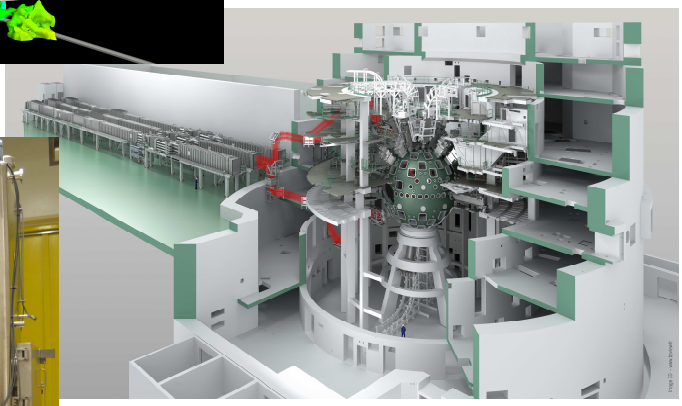
cea dam

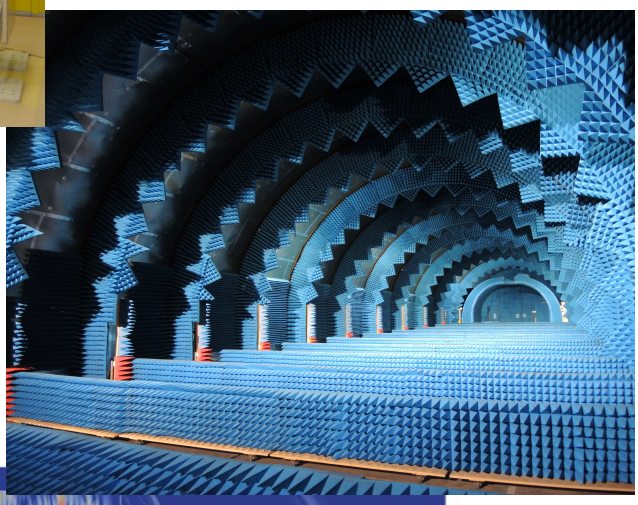
Direction des Applications Militaires

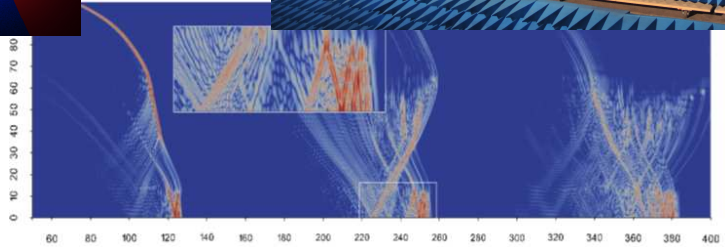
Thèses proposées au CEA/DAM pour l'année 2020





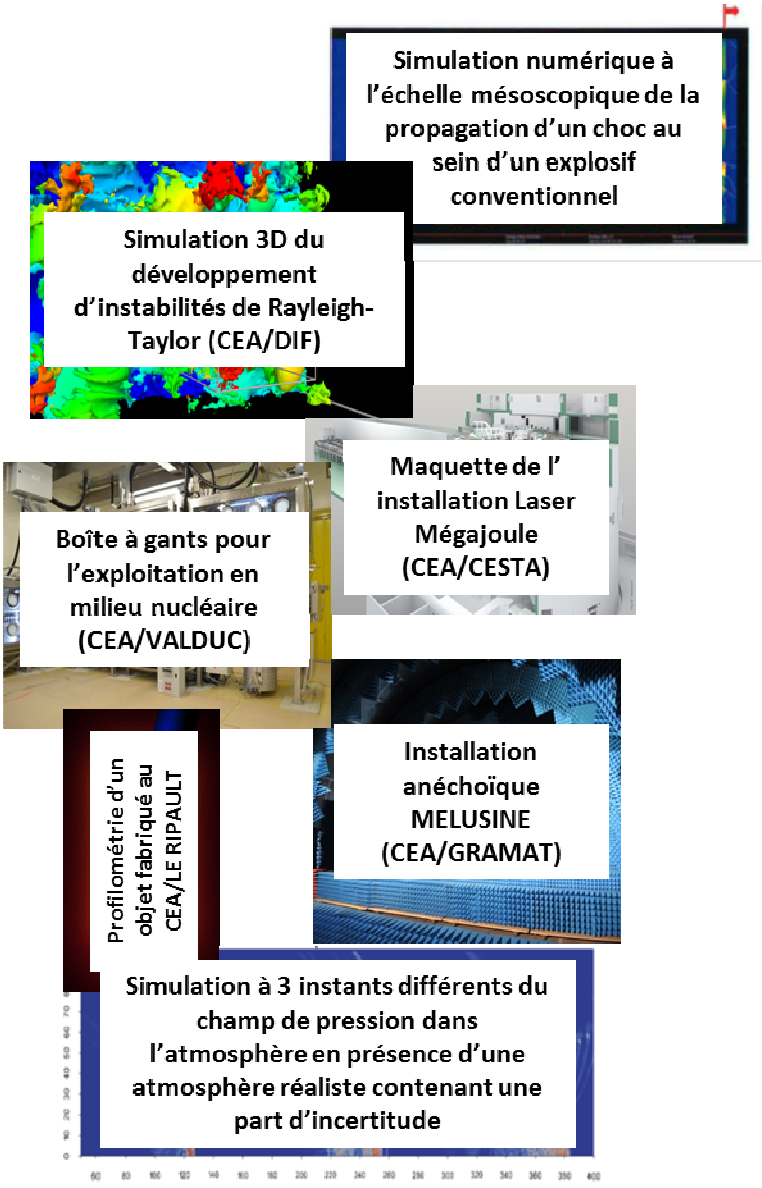






ENGAGEMENT – INTEGRITE – AMBITION – ESPRIT D'EQUIPE – ACCOMPLISSEMENT INDIVIDUEL

Illustration couverture



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A très bientôt au CEA/DAM !

Laurence BONNET

Directrice scientifique du CEA/DAM

Les centres CEA / DAM

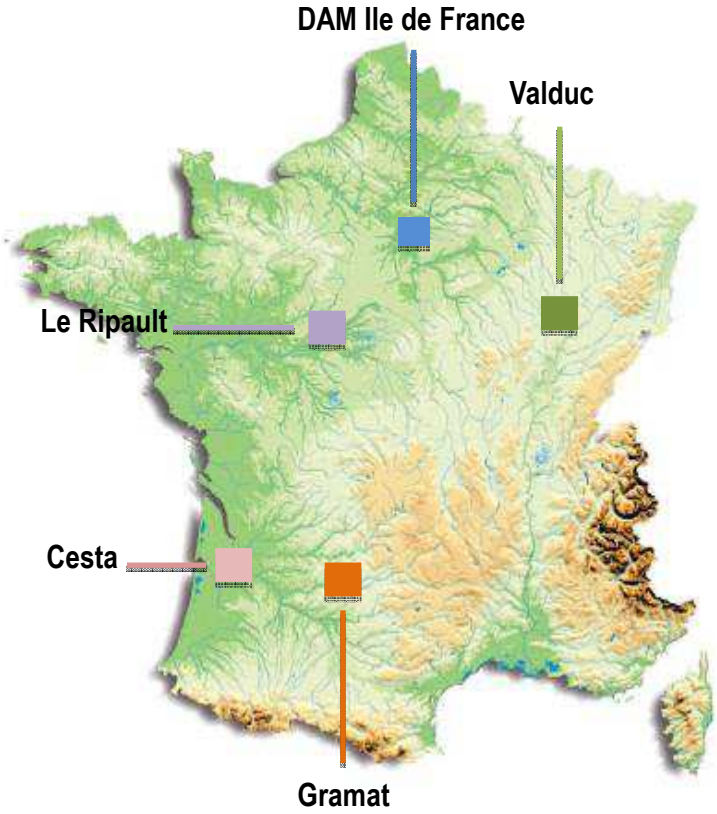
CEA/Cesta **05 57 04 40 00**
B.P. 2
33114 Le Barp
http://www-dam.cea.fr/cesta

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

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

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

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



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

Le centre CEA/Cesta

Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine

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

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

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

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

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

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

Site Web : http://www-dam.cea.fr/damidf

Le centre CEA DAM-Île de France est un des cinq centres de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA. Ses 1600 ingénieurs, chercheurs et techniciens sont mobilisés à la fois sur différents programmes de recherche et développement et sur des missions opérationnelles d'alerte aux autorités.

Conception et garantie des armes nucléaires, grâce au programme Simulation

© P. Stroppa/CEA

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

Lutte contre la prolifération et le terrorisme

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

© C. Dupont/CEA

Alerte auprès des autorités

© C. Dupont/CEA

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

- en cas d'essai nucléaire, de séisme sur le territoire national ou à l'étranger,
- en cas de tsunami intervenant dans la zone euro-méditerranéenne (CENALT).

Il fournit aux autorités toutes les analyses et synthèses techniques associées.

Expertise scientifique et technique

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

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

Situé non loin du complexe scientifique du plateau de Saclay, le CEA/DIF est en interaction directe avec la nouvelle Université Paris Saclay et l'Institut Polytechnique de Paris. Le CEA/DIF propose des thèses dans le domaine de l'informatique, des mathématiques, de la physique des plasmas, de la physique de la matière condensée, de la chimie, de l'électronique, de l'environnement et de la géophysique.

Le Centre CEA/Le Ripault

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

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

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

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

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

RÉPONDRE AUX ENJEUX DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

• Armes nucléaires

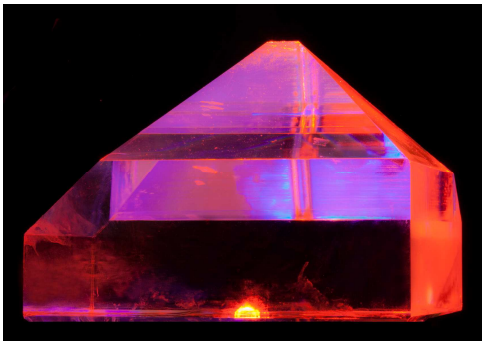
• Lutte contre la prolifération nucléaire

• Réacteurs nucléaires de propulsion navale

SURVEILLER, ANALYSER ET INTERVENIR POUR LA SÉCURITÉ

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

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



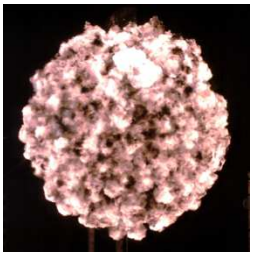
Le CEA/Gramat

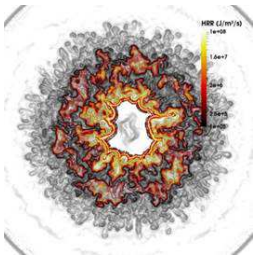
Site Web : http://www-dam.cea.fr/gramat

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

Ses activités sont organisées autour de trois domaines d'applications : (i) Dissuasion (ii) Défense conventionnelle et (iii) Sécurité civile. Dans ces trois domaines, le CEA Gramat a la charge des études de vulnérabilité et de durcissement (capacité à résister à une agression) des systèmes d'armes face à des agressions nucléaires ou conventionnelles ; à ce titre, il étudie notamment la vulnérabilité et la protection des installations vitales civiles et militaires de la nation. Par ailleurs, il est également chargé de l'évaluation de l'efficacité de nos systèmes d'armes conventionnels (du champ de bataille).

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



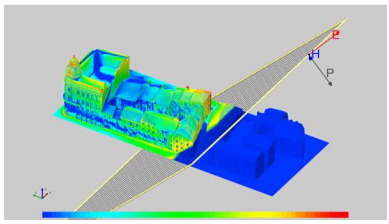


Vue expérimentale et simulation numérique d'une boule de feu (explosif en détonation)

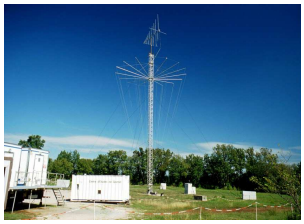
Les domaines scientifiques étudiés sont très vastes et se rapportent à de nombreuses branches de la physique théorique ou expérimentale : mécanique des fluides et des structures, comportement dynamique des matériaux, détonique (science des explosifs), thermique, électromagnétisme, électronique, interactions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

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

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



Modélisation électromagnétique d'un quartier de ville

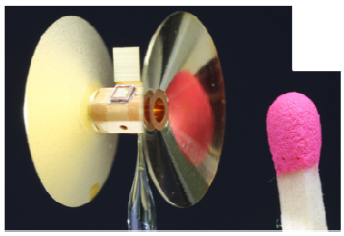


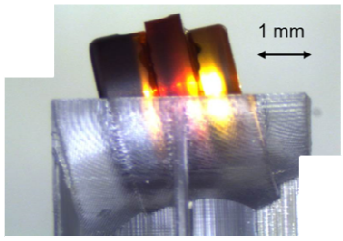
Antenne large bande pour tests électromagnétiques

Les thèses proposées au CEA/Gramat concernent les domaines de l'électromagnétisme, de l'électronique, de la détonique (science des explosifs), de la dynamique des structures, de l'expérimentation et de la simulation numérique.

Le Centre CEA/Valduc

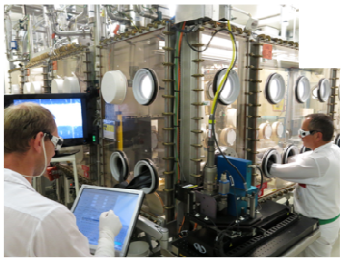
Site Web : http://www-dam.cea.fr/valduc





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

Ses compétences sont principalement centrées sur la **métallurgie de pointe, la chimie séparative et l'exploitation de grandes installations nucléaires**. Le centre accueille également la nouvelle installation radiographique franco-britannique Epure, dans laquelle sont expérimentées des maquettes inertes d'armes nucléaires.



L'esprit d'équipe en action …

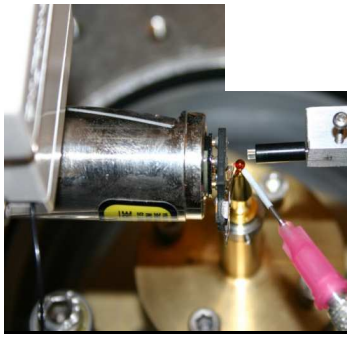
Le sport est très pratiqué à Valduc, au quotidien et dans des occasions festives comme lors du tour annuel du centre.

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

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.



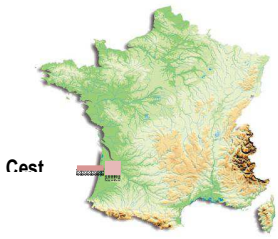
Valduc propose des thèses dans le domaine de la métallurgie, du cycle des matières nucléaires, des cibles pour les expériences laser, de la simulation des procédés de mise en forme.

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

CESTA

B.P. 2
33114 Le Barp

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

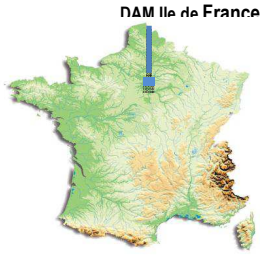


ELECTROMAGNETISME	
Développement d'un outil d'évaluation de SER à l'aide du formalisme « Système Hamiltonien à Ports »	27
Etude numérique et expérimentale d'un nouveau type d'accélérateur de protons par voie laser	28
MATERIAUX & APPLICATIONS	
Contribution à l'étude de l'endommagement dynamique de céramiques : simulation discrète du choc laser	49
MATHEMATIQUES – ANALYSE NUMERIQUE - SIMULATION	
Simulation numérique de l'ablation liquide	55
Méthodes numériques innovantes pour l'aérodynamique supersonique 3D sur des maillages hybrides	56
Développement d'un solveur creux multi-niveau pour des problèmes d'électromagnétisme	57
OPTIQUE – OPTIQUE LASER – OPTIQUE APPLIQUEE	
Développement d'amplificateurs lasers de nouvelle génération pour les pilotes de lasers de puissance	64
Modélisation et caractérisation d'un amplificateur laser fonctionnant en régime de saturation	67
PHYSIQUE DES ACCELERATEURS	
Focalisation d'un faisceau intense d'électrons relativistes pour la radiographie éclair	69

DAM - Ile de France

Bruyères le Châtel
91297 Arpajon

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



ASTROPHYSIQUE	
Astrophysique de laboratoire en régime relativiste	20
ENVIRONNEMENT & POLLUTION	
Approche mécanistique des processus d'accumulation de radionucléides dans les mollusques bivalves	39
Utilisation du bruit ambiant infrason pour caractériser les effets de propagation dans la moyenne atmosphère	40
INFORMATIQUE & LOGICIELS	
Génération efficace de noyaux de calcul sur accélérateurs pour les applications de dynamique moléculaire	42
Partitionnement de maillages pour l'équilibrage de charge de simulations multi-physiques	43
Ordonnanceur spécialisé pour la gestion conjointe de threads et de tâches en espace utilisateur	44

INSTRUMENTATION	
Développement d'un étalon de type réfractomètre laser compact, pour la métrologie absolue de la pression dynamique dans la bande de fréquence 0,001 Hz – 0,1 Hz associé au banc d'étalonnage des capteurs de pression dynamique infrason du CEA	46
Développement d'une méthode de restitution de la température absolue à partir d'une mesure de pyrométrie optique dans des plasmas créés par laser	47
MATHEMATIQUES – ANALYSE NUMERIQUE SIMULATION	
Traitement statistique du signal pour la séparation de sources multiple sur des antennes	58
Schémas volumes finis d'ordre élevé positifs pour la diffusion sur maillage quelconque	59
Génération et adaptation de maillages mixtes à l'aide de métriques orientées	60
Support outillé pour le débogage de modèles métiers	61
Mesure et analyse du gradient spatial du champ d'ondes sismiques pour la caractérisation de sources sismiques à distance régionale en milieu complexe	62
OPTIQUE – OPTIQUE LASER – OPTIQUE APPLIQUEE	
Etude d'un nuage de particules micrométriques issu de la face arrière d'une plaque métallique soumise à un choc	65
Dimensionnement de sources térahertz produites par des plasmas d'air	66
PHYSIQUE DU SOLIDE – SURFACES & INTERFACES	
Etude expérimentale des microstructures et transitions de phase en conditions extrêmes	71
Calcul quantique des transitions de phases du fer : influence du magnétisme et des corrélations électroniques	72
Influence des transitions de phase de l'étain sur l'éjection de matière	73
PHYSIQUE MESOSCOPIQUE	
Plasticité sous choc : couplage entre dynamique moléculaire et dynamique des dislocations	75
Elaboration d'une loi de comportement élasto-plastique en grandes transformations : prise en compte de l'anisotropie induite dans la modélisation du comportement d'un matériau métallique polycristallin	76
Introduction d'effets de gradient dans un modèle de plasticité cristalline et modélisation du comportement aux joints de grains	77
PHYSIQUE NUCLEAIRE	
Rôle de la force tenseur dans les approches effectives - Application aux noyaux impairs-impairs N=Z	79
Etude de la désexcitation radiative des fragments de fission dans la fission spontanée du 252Cf	80
PHYSIQUE DES PLASMAS & INTERACTIONS LASER-MATIERE	
Etude expérimentale de l'interaction laser-plasma en configuration multifaisceaux dans le contexte de la fusion thermonucléaire contrôlée par confinement inertiel laser	82
Propagation d'un faisceau laser intense dans un plasma magnétisé	83

GRAMAT

B.P. 80 200
46500 Gramat

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

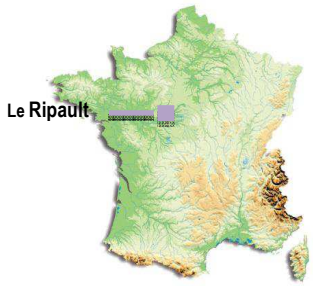
Gramat

ELECTROMAGNETISME	
Etude de nouvelles technologies à vocation « non polluante » pour des générateurs de classe méga-volts	29
Etude expérimentale et numérique de nouvelles diodes pour la radiographie éclair	30
Contribution à l'étude de sources micro-ondes de forte puissance à efficacité optimisée et à fréquence variable	31
Etude de la vulnérabilité des systèmes électroniques de type objet connecté contre les agressions électromagnétiques induites	32
ENERGIE, THERMIQUE, COMBUSTION, ECOULEMENTS	
Etude par simulations mésoscopiques de la transition vers la détonation d'un matériau énergétique sous choc	35
Modélisation de la combustion de particules d'aluminium en milieu gazeux sous pression	36
Etude expérimentale des mécanismes de combustion de particules d'aluminium en milieu gazeux sous pression	37
MATERIAUX & APPLICATIONS	
Etude théorique et simulation du comportement sous choc de céramiques micro-fissurées	50

LE RIPAULT

B.P. 16
37260 Monts

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

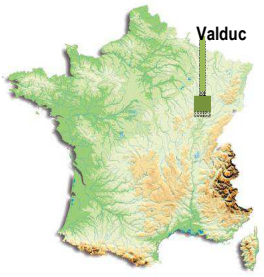


CHIMIE	
Méthodes de synthèse d'hétérocycles azotés fonctionnalisés et application aux molécules énergétiques	22
Synthèse, caractérisation et mise en œuvre de résines précurseurs de carbure de silicium	23
ELECTROMAGNETISME	
Modélisation et développement d'un moyen de mesures en permittivité sur matériaux diélectriques jusqu'à 1500°C	33
MATERIAUX & APPLICATIONS	
Evaluation des performances de nouveaux matériaux énergétiques par modélisation moléculaire	51
Conception et élaboration par Fabrication Additive de matériaux à porosité contrôlée à base de composites	52
Etude multiphysique de joints élastomères compressibles et modélisation de leur comportement thermomécanique en environnement sévère	53

VALDUC

21120 Is-sur-Tille

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



CHIMIE	
Etude de matériaux d'anode inerte : application à la conversion d'oxyde métallique en métal par électrolyse en milieu chlorures fondus	24
Stabilité des ions carbonates en sels de chlorures fondus	25

Les thématiques

- Astrophysique
- Chimie
- Electromagnétisme
- Energie, thermique, combustion, écoulements
- Environnement et pollution
- Informatique et logiciels
- Instrumentation
- Matériaux et applications
- Mathématiques – Analyse numérique - Simulation
- Optique – Optique laser – Optique appliquée
- Physique des accélérateurs
- Physique du solide, surfaces et interfaces
- Physique mésoscopique
- Physique nucléaire
- Physique des plasmas et interactions laser-matière

TABLE DES MATIERES

ASTROPHYSIQUE 19

Astrophysique de laboratoire en régime relativiste 20

CHIMIE 21

Méthodes de synthèse d'hétérocycles azotés fonctionnalisés et application aux molécules énergétiques 22

Synthèse, caractérisation et mise en œuvre de résines précurseurs de carbure de silicium 23

Etude de matériaux d'anode inerte : application à la conversion d'oxyde métallique en métal par électrolyse en milieu chlorures fondus 24

Stabilité des ions carbonates en sels de chlorures fondus 25

ELECTROMAGNETISME 26

Développement d'un outil d'évaluation de SER à l'aide du formalisme « Système Hamiltonien à Ports » 27

Etude numérique et expérimentale d'un nouveau type d'accélérateur de protons par voie laser 28

Etude de nouvelles technologies à vocation « non polluante » pour des générateurs de classe méga-volts 29

Etude expérimentale et numérique de nouvelles diodes pour la radiographie éclair 30

Contribution à l'étude de sources micro-ondes de forte puissance à efficacité optimisée et à fréquence variable. 31

Etude de la vulnérabilité des systèmes électroniques de type objet connecté contre les agressions électromagnétiques induites 32

Modélisation et développement d'un moyen de mesures en permittivité sur matériaux diélectriques jusqu'à 1500°C 33

ENERGIE, THERMIQUE, COMBUSTION, ECOULEMENTS 34

Etude par simulations mésoscopiques de la transition vers la détonation d'un matériau énergétique sous choc 35

Modélisation de la combustion de particules d'aluminium en milieu gazeux sous pression 36

Etude expérimentale des mécanismes de combustion de particules d'aluminium en milieu gazeux sous pression 37

ENVIRONNEMENT & POLLUTION 38

Approche mécanistique des processus d'accumulation de radionucléides dans les mollusques bivalves 39

Utilisation du bruit ambiant infrason pour caractériser les effets de propagation dans la moyenne atmosphère 40

INFORMATIQUE & LOGICIELS 41

Génération efficace de noyaux de calcul sur accélérateurs pour les applications de dynamique moléculaire 42

Partitionnement de maillages pour l'équilibrage de charge de simulations multi-physiques 43

Ordonnanceur spécialisé pour la gestion conjointe de threads et de tâches en espace utilisateur 44

INSTRUMENTATION 45

Développement d'un étalon de type réfractomètre laser compact, pour la métrologie absolue de la pression dynamique dans la bande de fréquence 0,001 Hz – 0,1 Hz associé au banc d'étalonnage des capteurs de pression dynamique infrason du CEA 46

Développement d'une méthode de restitution de la température absolue à partir d'une mesure de pyrométrie optique dans des plasmas créés par laser 47

MATERIAUX & APPLICATIONS 48

Contribution à l'étude de l'endommagement dynamique de céramiques : simulation discrète du choc laser 49

Etude théorique et simulation du comportement sous choc de céramiques micro-fissurées 50

Evaluation des performances de nouveaux matériaux énergétiques par modélisation moléculaire 51

Conception et élaboration par Fabrication Additive de matériaux à porosité contrôlée à base de composites 52

Etude multiphysique de joints élastomères compressibles et modélisation de leur comportement thermomécanique en environnement sévère 53

MATHEMATIQUES - ANALYSE NUMERIQUE - SIMULATION 54

Simulation numérique de l'ablation liquide 55

Méthodes numériques innovantes pour l'aérodynamique supersonique 3D sur des maillages hybrides 56

Développement d'un solveur creux multi-niveau pour des problèmes d'électromagnétisme 57

Traitement statistique du signal pour la séparation de sources multiple sur des antennes 58

Schémas volumes finis d'ordre élevé positifs pour la diffusion sur maillage quelconque 59

Génération et adaptation de maillages mixtes à l'aide de métriques orientées 60

Support outillé pour le débogage de modèles métiers 61

Mesure et analyse du gradient spatial du champ d'ondes sismiques pour la caractérisation de sources sismiques à distance régionale en milieu complexe 62

OPTIQUE - OPTIQUE LASER - OPTIQUE APPLIQUEE 63

Développement d'amplificateurs lasers de nouvelle génération pour les pilotes de lasers de puissance 64

Etude d'un nuage de particules micrométriques issu de la face arrière d'une plaque métallique soumise à un choc 65

Dimensionnement de sources térahertz produites par des plasmas d'air 66

Modélisation et caractérisation d'un amplificateur laser fonctionnant en régime de saturation 67

PHYSIQUE DES ACCELERATEURS 68

Focalisation d'un faisceau intense d'électrons relativistes pour la radiographie éclair 69

PHYSIQUE DU SOLIDE, SURFACES & INTERFACES **70**

Etude expérimentale des microstructures et transitions de phase en conditions extrêmes **71**

Calcul quantique des transitions de phases du fer : influence du magnétisme et des corrélations électroniques **72**

Influence des transitions de phase de l'étain sur l'éjection de matière **73**

PHYSIQUE MESOSCOPIQUE **74**

Plasticité sous choc : couplage entre dynamique moléculaire et dynamique des dislocations **75**

Elaboration d'une loi de comportement élasto-plastique en grandes transformations : prise en compte de l'anisotropie induite dans la modélisation du comportement d'un matériau métallique polycristallin **76**

Introduction d'effets de gradient dans un modèle de plasticité cristalline et modélisation du comportement aux joints de grains **77**

PHYSIQUE NUCLEAIRE **78**

Rôle de la force tenseur dans les approches effectives - Application aux noyaux impairs-impairs N=Z **79**

Etude de la désexcitation radiative des fragments de fission dans la fission spontanée du 252Cf **80**

PHYSIQUE DES PLASMAS & INTERACTIONS LASER-MATIERE **81**

Etude expérimentale de l'interaction laser-plasma en configuration multifaisceaux dans le contexte de la fusion thermonucléaire contrôlée par confinement inertiel laser **82**

Propagation d'un faisceau laser intense dans un plasma magnétisé **83**

ASTROPHYSIQUE

Sujet :

Astrophysique de laboratoire en régime relativiste

Contexte :

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

Objectif de la thèse :

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

Déroulement de la thèse :

Deux types de scénarios seront principalement explorés. Le(la) doctorant(e) s'intéressera d'abord à l'interpénétration à grande vitesse de jets de plasma électron-ion ou électron-positron, en présence ou non d'un champ magnétique externe. Les instabilités excitées et leurs effets sur la dynamique du plasma seront analysés en détail, notamment afin de déterminer les conditions conduisant à la formation de chocs « sans collisions ».
Seront ensuite considérés des systèmes, également électron-ion ou électron-positron, comprenant des nappes de courant propices à des processus de reconnexion magnétique. La configuration de référence mettra en jeu l'interaction entre des bulles de plasma créées par des impulsions laser focalisées côte à côte.
Pour chaque étude, les simulations seront réalisées à la fois dans les conditions expérimentales et astrophysiques afin de révéler les processus communs mais aussi ceux spécifiques à l'interaction laser-plasma. Le doctorant pourra être amené à réaliser des développements au sein de CALDER, visant à en améliorer l'efficacité ou à introduire de nouveaux effets physiques.
Le travail de thèse sera effectué au CEA/DIF avec des visites fréquentes à l'IAP. Le(la) candidat(e) devra avoir suivi une formation en physique ainsi qu'en programmation et calcul scientifique. Les simulations numériques seront réalisées sur les supercalculateurs du TGCC/CCRT.

Directeur de thèse et école doctorale :
M. LEMOINE (IAP)
École Doctorale « Astronomie Astrophysique d'Île-de-France » (ED 127)

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

CHIMIE

Sujet :

Méthodes de synthèse d'hétérocycles azotés fonctionnalisés et application aux molécules énergétiques

Contexte :

Situé à 15 km de Tours, le centre du CEA Le Ripault concentre tous les métiers et compétences scientifiques et techniques pour la mise au point de nouveaux matériaux, depuis leur développement (conception, synthèse, sécurité et fiabilité d'emploi) jusqu'à leur industrialisation (procédés de mise en œuvre et intégration système). Dans ce cadre, il développe une expertise dans les domaines de la modélisation, la synthèse et la caractérisation de molécules énergétiques au service de la Défense.
La thèse proposée s'inscrit dans la perspective de développement de nouvelles molécules énergétiques, présentant en particulier de fortes densité et enthalpie de formation. De ces propriétés découlent de bonnes performances explosives. En mettant l'accent sur des structures aromatiques fortement azotées, on peut de plus espérer une faible sensibilité, ce qui générerait de bons candidats pour un développement ultérieur. Les travaux issus des 5 thèses précédentes sur ce sujet ont permis de valider un certain nombre de jalons dans cette démarche, que nous nous proposons de poursuivre dans le cadre d'une nouvelle thèse.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est de mettre au point des méthodologies de synthèse donnant accès à de nouvelles molécules énergétiques. Pour cela, il conviendra de proposer de nouvelles méthodes de fonctionnalisation ou de mettre au point la construction de nouvelles familles de dérivés.

Les avancées obtenues pourront être appliquées à la synthèse d'explosifs insensibles, le but ultime étant de dépasser les performances de molécules classiques comme le trinitrotoluène (TNT) ou le triaminotrinitrobenzène (TATB).

Déroulement de la thèse :

La première partie de la thèse consistera à mettre au point de nouvelles méthodologies d'accès à de nouveaux systèmes hétérocycliques fonctionnalisés.

Ce travail méthodologique aura pour but d'étudier, sur des structures relativement simples :

- De nouvelles méthodes de construction de systèmes hétérocycliques azotés. Le retour d'expérience et la valorisation de travaux effectués lors de thèses précédentes seront mis à profit.
- De nouvelles méthodes de fonctionnalisation par des groupements explosophores.

Dans un second temps, les méthodes développées seront appliquées à la synthèse de molécules énergétiques
On s'intéressera ainsi aux familles très fortement azotées qui présentent un intérêt particulier.

Directeur de thèse et école doctorale :
PASQUINET Eric & SUZENET Franck
Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers (EMSTU)
Université François Rabelais -Tours

Contacts :
PASQUINET Eric
CEA/Le Ripault - BP16 - 37260 Monts
Tél. : 02 47 34 40 00 – eric.pasquinet@cea.fr

Sujet :

Synthèse, caractérisation et mise en œuvre de résines précurseurs de carbure de silicium

Contexte :

Les composites à matrice céramique (CMC) sont des matériaux alliant d'excellentes propriétés mécaniques à une très bonne résistance à l'oxydation, même à haute température. Parmi les CMC, les composites C/SiC (renfort en fibre de carbone et matrice en carbure de silicium) sont particulièrement étudiés dans le domaine de l'aéronautique comme composants thermostructuraux pour des applications nécessitant une température d'utilisation supérieure à 1000 °C.

Parmi les méthodes utilisées pour la fabrication de composites C/SiC, on peut citer l'infiltration en phase vapeur (CVI), l'infiltration réactive de silicium liquide (LSI) ou encore l'infiltration d'une résine précurseur suivie d'une pyrolyse (PIP).

Bien que les deux premières méthodes soient les plus couramment utilisées, elles nécessitent des moyens de mise en œuvre complexes et coûteux pour des pièces de grandes tailles (fours d'infiltration). La méthode PIP offre quant à elle une alternative intéressante en termes de simplicité et de robustesse du procédé. Cependant, les résines précurseurs de SiC actuelles présentent certains verrous (faible disponibilité, coût, performances des composites générés).

Objectif de la thèse :

Le sujet de thèse portera sur la synthèse et la caractérisation de nouvelles résines précurseurs de SiC utilisables pour la réalisation de composites selon un procédé PIP.

Le premier objectif sera de développer par synthèse chimique un/des composés précurseurs de SiC. Ces composés seront mis en œuvre afin d'établir des liens entre la structure de la résine, les conditions de pyrolyse et la qualité du SiC obtenu (impuretés, inclusions, cristallinité,…).

Le second objectif portera sur l'élaboration de composites (par infiltration de résine dans un tissu de carbone, puis pyrolyse) et de leur évaluation afin d'établir un lien entre la nature de la résine et les performances thermiques et mécaniques du matériau final.

Déroulement de la thèse :

Après une étude bibliographique sur le sujet et la caractérisation des résines disponibles commercialement, le(a) doctorant(e) devra réaliser des synthèses de résines précurseurs de SiC. Les résines obtenues seront caractérisées à l'état résine liquide, à l'état polymère réticulé et, après pyrolyse, à l'état SiC.

Le(a) doctorant(e) sera en deuxième phase amené(e) à réaliser des composites C/résine précurseur et à les caractériser à l'état vierge et pyrolysé afin d'établir un lien entre la nature de la résine et les propriétés des composites obtenus.

La thèse se déroulera sur le site du CEA Le Ripault.

Directeur de thèse et école doctorale :
Pr GERARD Jean-François
INSA - Lyon

Contacts :
BRANDT Damien
CEA/Le Ripault - BP16 - 37260 Monts
Tél. : 02.47.34.40.00 – damien.brandt@cea.fr

Sujet :

Etude de matériaux d'anode inerte : application à la conversion d'oxyde métallique en métal par électrolyse en milieu chlorures fondus

Contexte :

Le Centre de Valduc est le pôle de compétence pour les matériaux nucléaires de la Direction des Applications Militaires du CEA. Ses principales missions sont :

- les recherches en amont et développement technologique sur les matériaux nucléaires,
- la réalisation et le maintien en conditions opérationnelles des composants nucléaires des armes de la force de dissuasion,
- la gestion des matières nucléaires (MN) liées à ces activités.

De ce fait, certains sous-produits sont entreposés en attente du développement de procédés permettant de recycler ou de stabiliser la MN. Le sujet proposé s'intéresse particulièrement au traitement de sous-produits générés par un procédé de réduction d'oxydes d'actinides en métal.

Objectif de la thèse :

La thèse proposée a pour but d'étudier et de comparer différents matériaux d'anode pouvant être employés pour réaliser un dégagement d'oxygène lors d'électrolyses dans un milieu $CaCl_2$-CaO fondus (θ : 850°C).

Depuis le début des années 2000, de nouveaux procédés ont été proposés par Fray (FFC process) et Ono et Suzuki (OS process), afin de réduire l'oxyde de titane en titane métal par électrolyse en milieu $CaCl_2$ fondu. Ce type de procédé est également évalué en vue de remplacer plusieurs procédés historiques de production de différents métaux réfractaires.

Une des problématiques de cette méthode concerne la gestion de la réaction anodique, la plupart des matériaux « standards » étant consommés ou fortement dégradés durant l'opération. La thèse doit conduire à la détermination d'un nouveau matériau d'anode inerte, de son design, et de le tester lors d'électrolyses à échelle laboratoire puis semi-industrielle. Elle couvre des études scientifiques de base et des études technologiques nécessaires au développement du procédé. Le candidat recherché possédera des connaissances en chimie, thermodynamique, électrochimie et matériau. Il devra également avoir un goût prononcé pour l'expérimentation.

Déroulement de la thèse :

Dans un premier temps, il s'agira de définir les matériaux d'anode susceptibles de répondre aux besoins en s'appuyant sur les ressources bibliographiques et les propriétés thermodynamiques disponibles.

Dans un second temps, des données expérimentales, obtenues par exemple par électrochimie analytique, permettront d'étudier le(s) mécanisme(s) de réaction(s) d'oxydation se déroulant à l'anode lors d'une électrolyse dans $CaCl_2$-CaO, dans une gamme de pourcentage massique de CaO variant de 1 à 3 %. Une étude de la microstructure de ces matériaux permettra de consolider la compréhension du mécanisme et de valider les réactions.

Enfin, après avoir affiné les conditions opératoires (densité de courant applicable, géométrie de l'anode, etc.…), les matériaux d'anode inerte retenus seront évalués lors de tests sur le procédé pilote. Une attention particulière sera portée à la pollution dans le métal formé induite par l'anode testée.

La thèse se déroulera sur le site de l'Université Paul Sabatier de Toulouse et sur le centre du CEA/Valduc.

Directeur de thèse et école doctorale :
Pierre CHAMELOT
Laboratoire de Génie Chimique – Université Paul Sabatier -Toulouse III

Contacts :
Olivier LEMOINE & Benoît CLAUX
CEA/Valduc - 21120 Is-sur-Tille
Tél. : 03 80 23 40 00
benoit.claux@cea.fr & Olivier.Lemoine2@cea.fr

Sujet :

Stabilité des ions carbonates en sels de chlorures fondus

Contexte :

Un procédé de traitement des produits recyclables a été mis au point au CEA Valduc afin de diminuer l'inventaire des sous-produits générés par les procédés pyrométallurgiques. Ce procédé est actuellement exploité dans une installation pilote au CEA Valduc et requiert d'améliorer les connaissances des étapes élémentaires.

Une des étapes clé de ce procédé consiste à réaliser l'oxydation des actinides présents par l'ajout de carbonates dans le solvant, un sel de chlorures fondus, liquide à haute température (700-900°C). Notamment, la stabilité des espèces ajoutées pour réaliser l'oxydation dépend du type de solvant et de la température. Les données thermochimiques doivent être déterminées : diagramme de phase, solvatation des carbonates, cinétiques de réactions. Ces informations doivent être connues précisément afin d'améliorer la conduite du procédé.

Objectif de la thèse :

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

- tracer les diagrammes de phase NaCl-KCl-Na_2CO_3 et NaCl-$CaCl_2$-$CaCO_3$ à l'aide mesures expérimentales associées à une étude thermodynamique (utilisation du logiciel FactSage),
- étudier la dissociation des carbonates dans différents sels de chlorures fondus, à différentes températures, par la caractérisation des gaz évacués par ATG-IR puis spectroscopie IR combinée à l'électrochimie analytique, en abordant les aspects thermodynamiques et cinétiques,
- suivre la vitesse d'oxydation de métaux dissous dans chaque mélange d'intérêt par électrochimie analytique combinée à la spectroscopie IR en fonction des conditions : température, concentration (en métal et en carbonates), nature des espèces de métal (chlorure, oxychlorure, métal non dissous),
- 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 principalement sur le centre du CEA/Valduc. Des travaux sur le site de l'Université Paul Sabatier de Toulouse sont également à prévoir, en particulier pour la prise en main et l'utilisation du logiciel de modélisation thermodynamique.

Directeur de thèse et école doctorale :
Pierre CHAMELOT et/ou Mathieu GIBILARO
Laboratoire de Génie Chimique
Université Paul Sabatier -Toulouse III

Contacts :
Benoît CLAUX
CEA/Valduc - 21120 Is-sur-Tille
Tél. : 03 80 23 40 00 – benoit.claux@cea.fr

ELECTROMAGNETISME

Sujet :

Développement d'un outil d'évaluation de SER à l'aide du formalisme « Système Hamiltonien à Ports »

Contexte :

Ce sujet de thèse s'inscrit dans le cadre d'évaluation d'observables, c'est-à-dire de quantités mesurables, définies dans la théorie des interactions électromagnétiques (EM) macroscopiques. Ces observables sont, par exemple, la Surface Equivalente Radar (SER) d'un système complexe soumis à un champ incident. Lors de la conception radioélectrique d'un système, les observables d'intérêt sont généralement évaluées à l'aide d'outils de simulation reposant sur une discrétisation fine de la géométrie de l'objet, générant ainsi des problèmes de plusieurs millions de degrés de liberté. Or ces observables ne sont souvent sensibles qu'à quelques paramètres qu'il est difficile d'identifier a posteriori. Il paraît alors plus judicieux de travailler sur des modèles dédiés, intégrant une connaissance a priori des phénomènes physiques mis en jeu et exploitant les propriétés topologiques des équations de Maxwell.

Objectif de la thèse :

Dans ce contexte, il existe un formalisme mathématique, le port-based modelling, qui permet de représenter l'architecture d'un système physique complexe par un graphe reliant des composants « Hamiltoniens à ports », c'est-à-dire des sous-systèmes dynamiques ouverts passifs, structurés en parties conservatives, dissipatives et externes via des ports d'interaction. Les variables associées à ces ports quantifient le flux d'énergie (f) et l'effort (e), l'un étant une entrée contrôlable et l'autre une observable. Depuis les premiers travaux, l'approche hamiltonienne à ports a connu un grand essor et est utilisée dans des domaines allant de l'électronique, la mécanique au génie des procédés. Elle offre de nombreux avantages : une interprétation physique des phénomènes plus directe, une modélisation complètement modulaire, des schémas d'intégration associés conservant les invariants physiques, etc. Pour une adaptation de ce formalisme aux équations de Maxwell, il semble pertinent de les appréhender sous leur forme différentielle. L'objectif poursuivi par la thèse proposée est de se doter d'un formalisme de type « Hamiltonien à Ports » adapté à la problématique « Evaluation de la SER d'un objet » et d'en dégager des outils de conception.

Déroulement de la thèse :

Dans un premier temps, le(a) candidat(e) exploitera la nature géométrique des formes différentielles au profit de l'évaluation de la SER. Ensuite, il sera question de faire de la réduction de modèle tout en préservant la structure Hamiltonienne du système. A ce titre, le/la candidat(e) s'intéressera aux propriétés de l'opérateur de « Scattering » pour des objets avec et sans pertes et aux métriques adaptées. Dans un dernier temps, il/elle proposera une modélisation stochastique des systèmes Hamiltoniens. Ce formalisme sera validé par l'évaluation d'un objet conçu par le(a) candidat(e). Cet objet sera caractérisé selon un protocole à définir.

Directeur de thèse et école doctorale :
HELIER Marc
Co-Directrice : Muriel Darces (Université Pierre et Marie Curie)
Ecole Doctorale : SMAER
(Sciences, Mécanique, Acoustique, Electronique et Robotique)
Campus Jussieu – BC 270 – Tour 45-46
4 Place Jussieu
75252 PARIS cedex 05

Contact :
MORVAN Sylvain & AGUILERA Paula
CEA/CESTA -- CS 60001 - 33116 Le Barp Cedex
Tél. : 05.57.04.40.00
sylvain.morvan@cea.fr & paula.aguilera@cea.fr

Sujet :

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

Contexte :

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

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

Objectif de la thèse :

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

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

Déroulement de la thèse :

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

Directeur de thèse et école doctorale :
D'HUMIERES Emmanuel
Celia-Université de Bordeaux
33405 Talence

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

Sujet :

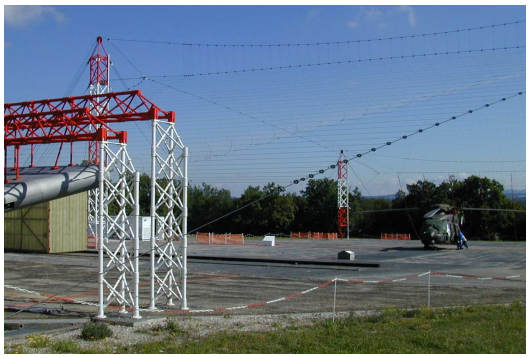
Etude de nouvelles technologies à vocation « non polluante » pour des générateurs de classe méga-volts

Contexte :

Afin d'étudier l'interaction des ondes électromagnétiques avec les systèmes (militaires ou civils), le CEA Gramat met en œuvre des simulateurs expérimentaux tels que DPH (Dipôle à Polarisation Horizontale) et SSR (Simulateur Semi-Rhombique).

Les sources associées à ces moyens ont été développées dans les années 80 et 90. Elles se composent d'un générateur de Marx de classe 2 méga volts (MV) et d'un étage de mise en forme, avant d'être connectées à leurs antennes respectives. Une réflexion sur de nouvelles architectures et la mise en œuvre de nouvelles technologies doivent être menées dans le cadre de cette thèse.

La conception des générateurs actuels s'est faite majoritairement autour d'un gaz isolant tel que le SF6 (hexafluorure de soufre), qui est très performant sur le plan diélectrique, mais qui présente l'inconvénient d'être très mauvais sur le plan des émissions de gaz à effets de serre. L'évolution de la règlementation internationale sur l'utilisation de tels gaz impose de mener une réflexion de faisabilité pour le développement de nouveaux générateurs excluant l'utilisation de ce type de composant polluant pour l'environnement.



Simulateur SSR

Simulateur DPH

Objectif de la thèse :

Rechercher et définir de nouvelles architectures ou rechercher et mettre en œuvre de nouvelles technologies afin de limiter l'utilisation de composants polluants ou de maîtriser parfaitement leur emploi.

Déroulement de la thèse :

La première partie de la thèse sera consacrée à une revue bibliographique des architectures des générateurs. La seconde partie, d'une durée approximative d'un an, sera axée sur la définition des solutions qui peuvent être envisagées.

Une troisième partie consistera à réaliser les expérimentations de validation des concepts proposés avec idéalement la réalisation d'un démonstrateur.

La dernière partie sera dévolue à la rédaction du manuscrit de thèse.

Le(a) doctorant(e) sera basé(e) à Pau avec des missions sur Gramat lors des phases d'expérimentations.

Directeur de thèse et école doctorale :
PECASTAING Laurent – SIAME / UPPA Héliopau
2, av. Angot – 64000 Pau
Tél. : 05 59 40 74 65 – laurent.pecastaing@univ-pau.fr

Contact :
LOPEZ Jean-Marc
CEA/GRAMAT – BP 80200 - 46500 Gramat
Tél. : 05 65 10 54 32 – jean-marc.lopez@cea.fr

Sujet :

Etude expérimentale et numérique de nouvelles diodes pour la radiographie éclair

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. Le succès des expérimentations nécessite des sources X impulsionnelles fiables ayant des propriétés très spécifiques : de faibles dimensions (quelques mm), intenses (plusieurs rads à 1m dans l'air) et pénétrantes (quelques MeV). De telles sources sont produites à partir du rayonnement de freinage créé par une impulsion d'électrons de haute énergie dans un matériau cible. Deux filières technologiques se distinguent pour produire le rayonnement X adéquat pour les applications de radiographie éclair : la filière accélérateur à induction pour les énergies supérieures à 10 MeV et la filière « générateur + diode » pour les énergies en dessous de 10 MeV.
Dans la filière "générateur+diode", la diode est l'élément principal conditionnant les propriétés de la source en convertissant l'impulsion électrique de haute puissance pulsée en une impulsion de rayonnement X. Pour cela, un faisceau d'électrons de plusieurs kA est produit par un écoulement de charges, généré par l'impulsion électrique, entre la cathode et l'anode. Le principe consiste à focaliser le faisceau d'électrons sur la zone la plus réduite possible tout en maintenant une tension d'accélération élevée pendant la durée de l'impulsion. Les énergies et les intensités des faisceaux d'électrons sont telles que les forces auto-induites (force de charge d'espace et force magnétique focalisante) jouent un rôle important sur la dynamique des faisceaux rendant l'utilisation de la simulation numérique indispensable pour une compréhension fine des phénomènes.

Objectif de la thèse :

Ce sujet de thèse consiste à étudier et à concevoir par simulation numérique de nouvelles sources X de radiographie éclair afin d'améliorer les performances actuelles. Le premier objectif vise une diminution d'un facteur deux de la dimension spatiale de la source X permettant une amélioration significative de la résolution de la chaîne radiographique. De plus, une augmentation de la dose dans le but de réduire les incertitudes de la mesure radiographique représente le second objectif de ce travail de thèse. Enfin, la validation des outils numériques développés sera faite par la caractérisation expérimentale des performances des diodes conçues lors de la thèse auprès des générateurs de haute puissance pulsée dont dispose le CEA Gramat.

Déroulement de la thèse :

Dans un premier temps, le(a) doctorant(e) se familiarisera avec la physique des faisceaux intenses d'électrons, leur interaction avec la matière ainsi qu'à la physique des hautes puissances pulsées. Ensuite, le(a) doctorant(e) mettra à profit notre outil de simulation numérique de dynamique de faisceau (code Particle-In-Cell Large Scale Plasma 3D) pour concevoir de nouvelles diodes de radiographie éclair. Le travail demandé consistera à dimensionner et à améliorer la chaîne de simulation des machines de radiographie en prenant en compte les effets de détente des plasmas au sein de la diode. L'étudiant devra s'approprier théoriquement les modèles plasma et les implémenter dans les simulations. La prise en compte de ce phénomène permettra de prédire avec une meilleure précision les caractéristiques des nouvelles sources X en utilisant un code de type Monte Carlo. Afin d'atteindre les performances fixées, les candidates idéales seraient les diodes à électrons de type Rod Pinch, permettant une réduction importante de la tache focale, et de type « Bz ». Dans cette dernière, un champ magnétique pulsé de plusieurs Tesla participe au confinement du faisceau d'électrons durant son transport entre la cathode et l'anode. De plus, les dimensions de la diode « Bz » réduisent l'impact de la détente plasma sur le fonctionnement de la diode et constitue une alternative intéressante. Sur la base de ce travail de simulation, les performances des diodes (dose, tache focale, spectre photonique) seront ensuite évaluées expérimentalement auprès des moyens de radiographie éclair du CEA puis confrontées aux résultats issus de la chaîne de simulation.
Le(a) doctorant(e) sera basé(e) à Gramat.

Directeur de thèse et école doctorale :
ROUSSEAU Patrick
ED 591 PSIME – Normandie Université

Contacts :
DELAUNAY Rudy
CEA/GRAMAT - BP 80200 - 46500 GRAMAT
Tél. : 05.65.10.54.32 – rudy.delaunay@cea.fr

Sujet :

Contribution à l'étude de sources micro-ondes de forte puissance à efficacité optimisée et à fréquence variable

Contexte :

Dans le domaine de la génération de signaux micro-onde de forte puissance (MFP) la source qui permet la conversion d'une tension en signal électromagnétique est un élément déterminant sur les performances de la chaîne d'émission complète. Ces organes sont caractérisés par un grand nombre de paramètres tels que l'efficacité (rendement en puissance), la fréquence du signal micro-onde, le gain (dans le cas d'amplificateurs), l'occupation spectrale, etc. La conception de ces éléments qui combinent physique des particules (déplacement d'un faisceau d'électrons dans un milieu sous vide d'air) et génération de champ électromagnétique est souvent gouvernée par l'atteinte d'un ou plusieurs de ces critères de performance, qui sont déterminant dans l'impact d'une onde électromagnétique de forte intensité sur un circuit électronique cible. Le développement d'une source accordable en fréquence, offrant une efficacité énergétique élevée, se positionne comme un challenge technologique et repousserait les limites actuelles des systèmes micro-onde de forte puissance.

Objectif de la thèse :

L'objectif de cette thèse est d'associer deux capacités souvent orthogonales à savoir : une efficacité maximisée et un signal électromagnétique à fréquence variable.
La génération d'un signal micro-onde repose sur la transmission de l'énergie d'un faisceau électronique à un champ électromagnétique. Dans une source électromagnétique sous vide d'air, ce faisceau d'électrons est modulé dans l'espace et le temps sous forme d'une « mise en paquet » qui crée un phénomène d'oscillations.
Le premier objectif est donc d'agencer la source afin que ces oscillations soient partiellement synchronisées avec un champ électromagnétique pour favoriser la transmission de l'énergie des électrons vers le signal micro-onde avec un maximum d'efficacité.
Le second objectif est de combiner cette efficacité à une capacité de balayage en fréquence du signal micro-onde. Compte tenu des facteurs de qualité élevés de ce type de dispositifs (facteur Q) un comportement bande large est par définition difficile, mais des solutions ont déjà été expérimentées au CEA-Gramat.

Déroulement de la thèse :

La thèse se déroulera en trois étapes :
Etude des données de la littérature à ce sujet : le(a) doctorant(e) mènera un recensement exhaustif des solutions technologiques pouvant répondre aux défis formulés par ce sujet de thèse. Cette étude bibliographique portera à la fois sur les sources efficaces et accordables en fréquence. Une analyse des différentes données compilées permettra de définir les conceptions à privilégier et à identifier les solutions pour associer les deux fonctionnalités.
Travaux de simulation de type « Particle In Cell » avec l'outil CST Microwave Studio: le second temps sera consacré à la modélisation et à la simulation des comportements des différentes solutions identifiées.
A partir de ces résultats numériques, le(a) doctorant(e) cherchera ensuite à développer le nouveau type de source qui permettra de répondre aux besoins formulés. La conception achevée, celle-ci pourra être éventuellement réalisée afin d'évaluer son comportement expérimental, et pour vérifier la bonne adéquation avec les performances estimées en simulation.

Le(a) candidat(e) sera basé(e) à Gramat et amené(e) à rédiger des publication(s) et/ou communications auprès de la communauté scientifique ou participer à la rédaction de brevet(s).

Directeur de thèse et école doctorale :

Directeur de thèse à identifier
Ecole :

- MATISSE
  ou
- Sciences et Ingénierie pour l'Information, Mathématiques

Contact :

CHAULOUX Antoine ou DIOT Jean Christophe
CEA/GRAMAT - BP 80200 - 46500 GRAMAT
Tél. : 05.65.10.54.32 – antoine.chauloux@cea.fr
Tél. : 05.65.10.54.32 – jean-christophe.diot @cea.fr

Sujet :

Etude de la vulnérabilité des systèmes électroniques de type objet connecté contre les agressions électromagnétiques induites

Contexte :

Les prévisions de marché ayant trait aux systèmes électroniques de type objet connecté montrent que leur nombre va s'accroître considérablement dans la décennie qui vient. Ces systèmes, bas coût, n'intègrent actuellement que très rarement des protections électroniques ou informatiques contre des agressions électromagnétiques intentionnelles (AGREMI), ce qui représente une faille potentielle de sécurité importante. Le Centre d'Evaluation de la Sécurité des Technologies de l'Information (CESTI) du Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Information (LETI) évalue de tels risques en utilisant des techniques d'injection spécifique, mais qui nécessitent un accès privilégié au système. Pour sa part, le CEA Gramat étudie, depuis de nombreuses années, la susceptibilité (les conditions d'activation de la vulnérabilité) des systèmes électroniques vis-à-vis d'interférences électromagnétiques de type AED EM (Armes à Energie Dirigée ElectroMagnétiques). La susceptibilité électromagnétique des systèmes électroniques de type objet-connecté constitue alors un enjeu de recherche majeur pour les deux entités mais aussi pour les acteurs étatiques en charge de la sécurité des systèmes du futur.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est l'étude de méthodes de mise en évidence de la susceptibilité électromagnétique des objets connectés. Cet objectif peut se décomposer en plusieurs étapes :

- Définition d'un objet connecté de référence, objet générique ou représentatif d'un grand nombre de systèmes présents sur le marché.
- Etude et conception d'un dispositif de rayonnement électromagnétique permettant à la fois une illumination globale du système défini précédemment et une illumination localisée sur une partie, un composant, voire une broche de celui-ci.
- Etude de la relation unissant la susceptibilité globale et les susceptibilités locales en s'appuyant sur les travaux déjà réalisés par deux entités du CEA.

Déroulement de la thèse :

La première partie de la thèse sera consacrée à une revue bibliographique des architectures électroniques des systèmes connectés en vue de définir l'objet-connecté de référence, mais aussi des dispositifs de rayonnement permettant d'engendrer des puissances électromagnétiques nécessaires à l'excitation des susceptibilités, tout en permettant une focalisation variable de ce rayonnement.
La deuxième partie, d'une durée approximative d'un an, sera axée sur la réalisation du dispositif de rayonnement.
Une troisième partie permettra la caractérisation électromagnétique du dispositif et son application sur l'objet connecté de référence, principalement en illumination globale.
La quatrième partie consistera à appliquer le dispositif sur l'objet de référence, principalement en illumination locale.
Une étude sera menée sur la relation unissant les dysfonctionnements occasionnés par les deux types d'illumination.
La dernière partie sera dévolue à la rédaction du manuscrit de thèse.
Le(a) doctorant(e) sera basé(e) à Grenoble mais aura de nombreuses missions sur Gramat pour les parties 1 et 3.

Directeur de thèse et école doctorale :
CLEDIERE Jessy
École doctorale Electronique, Electrotechnique, Automatique, Traitement du Signal (EEATS)
701 rue de la piscine - BP 81
38402 SAINT MARTIN D'HERES Cedex

Contact :
HOFFMANN Patrick
CEA/GRAMAT - BP 80200 - 46500 GRAMAT
Tél. : 05.65.10.54.32 – patrick.hoffmann@cea.fr

Sujet :

Modélisation et développement d'un moyen de mesures en permittivité sur matériaux diélectriques jusqu'à 1500°C

Contexte :

Les contraintes environnementales (température, mécanique,…) influent sur les propriétés électromagnétiques des matériaux diélectriques et/ou magnétiques. Ainsi, au-delà d'une température de transition, les matériaux non métalliques convergent vers un comportement métallique. Dans le cadre du dimensionnement de nos systèmes, il est indispensable de connaître ces températures de transition afin de définir le matériau qui répondra aux besoins spécifiés. Ces températures sont généralement situées au-delà de 1000°C et les moyens de mesures actuellement utilisés au laboratoire permettent uniquement des caractérisations de propriétés électromagnétiques jusqu'à 350°C.

En l'état, les contraintes de conduction thermique impose une approche de la mesure électromagnétique en espace libre. La réflexion devra être menée en considérant un ensemble de paramètres liés aux contraintes de mise en œuvre :

- Le choix du système de chauffage afin de garantir une isotropie thermique du matériau à caractériser.
- Le dimensionnement d'un four dont les parois diélectriques seront suffisamment éloignées pour minimiser l'incidence thermique et dont les propriétés électromagnétiques connues permettront de remonter à la permittivité diélectrique de l'échantillon mesuré.
- La définition et le choix des matériaux permettant une étanchéité thermique du four.
- La prise en compte des rayonnements thermiques dans la détermination de la permittivité diélectrique de l'échantillon mesuré.
- La mise en sécurité du moyen de mesure aux risques pour les personnes.

Objectif de la thèse :

L'objectif de cette thèse se décline en deux parties principales :

- Modéliser, développer et assembler le moyen de mesure en permittivité matériaux jusqu'à au moins 1500°C.
- Valider sur le plan métrologique les mesures obtenues, par intercomparaison avec des moyens existants jusqu'à leur température seuil et en effectuant la propagation des incertitudes des principaux contributeurs au résultat.

Déroulement de la thèse :

Durant la thèse, le(a) doctorant(e) travaillera sur une étude multi-physique en interaction avec les experts du CEA et de son école doctorale. Dans un premier temps, le candidat devra s'approprier l'état de l'art existant sur la thématique afin de valider la méthode en espace libre ou proposer une alternative plus efficiente. Dans un second temps, le(a) doctorant(e) devra effectuer l'analyse multi-physique du moyen et mettre en œuvre les analyses, les simulations, les expérimentations, … permettant le dimensionnement d'un moyen prenant en compte l'ensemble des contraintes tout en fournissant la mesure en permittivité souhaitée avec les meilleures incertitudes possibles. Pour finir, le(a) doctorant(e) aura à sa charge l'assemblage du moyen, la mise en sécurité de ce dernier et la réalisation des premières mesures par intercomparaison avec d'autres moyens existants.

Directeur de thèse et école doctorale :
TANTOT Olivier
ED SIMME
Xlim – 87000 Limoges

Contacts :
CHARLES Michaël
CEA Le Ripault - BP16 - -37260 MONTS
Tél. : 02 47 34 40 00– michael.charles@cea.fr

ENERGIE, THERMIQUE, COMBUSTION, ECOULEMENTS

Sujet :

Etude par simulations mésoscopiques de la transition vers la détonation d'un matériau énergétique sous choc

Contexte :

Les explosifs sont utilisés aussi bien dans le domaine militaire que civil. Ils sont amorcés au moyen d'ondes de choc générées par un système pyrotechnique. La modélisation des explosifs soumis à une onde de choc reste un sujet très étudié pour élaborer les modèles macroscopiques de transition choc – détonation nécessaires à la simulation numérique des chargements explosifs. Sous choc, la germination, la nucléation et la croissance des fronts de déflagration locaux sont aujourd'hui modélisés selon des hypothèses établies a priori à partir de l'observation de la microstructure du matériau énergétique. La recherche de modèles à haut niveau de confiance incite à réaliser des simulations numériques à l'échelle mésoscopique.

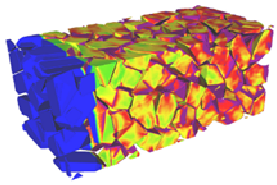
Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est de concevoir et de développer des modélisations mésoscopiques innovantes de matériaux énergétiques, permettant in fine d'optimiser les modèles de simulation macroscopiques.

Déroulement de la thèse :

Les travaux de thèse consistent à réaliser des simulations mésoscopiques bidimensionnelles et tridimensionnelles de compositions énergétiques de type liant/nitramine et liant/nitramine/aluminium dans l'objectif d'établir leurs modèles macroscopiques. La première partie du travail consistera à mettre en place les outils de génération de microstructures représentatives des matériaux réels. La seconde partie consistera à réaliser les simulations mésoscopiques avec un code de dynamique rapide du CEA DAM. Des outils de post traitements seront également à développer afin d'extraire les informations physiques nécessaires à une modélisation macroscopique.

L'influence des paramètres de formulation des matériaux (granulométrie, taux de chargement) devra être étudiée.



Microstructure sous choc (crédit CEA)

Le(a) doctorant(e) sera basé(e) à Gramat.

Directeur de thèse et école doctorale :
CHINNAYYA Ashwin
ENSMA - Sciences et Ingénierie en Matériaux, Mécanique, Energétique et Aéronautique
86000 POITIERS

Contacts :
GENETIER Marc
CEA/ Gramat - BP80200 - 46500 GRAMAT
Tél. : 05.65.10.54.32 – marc.genetier@cea.fr

Sujet :

Modélisation de la combustion de particules d'aluminium en milieu gazeux sous pression

Contexte :

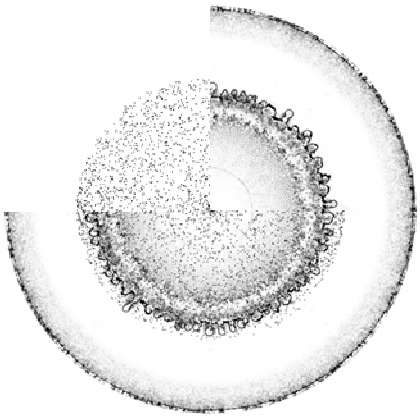
La modélisation macroscopique des effets de souffle des explosifs aluminisés est actuellement traitée avec un modèle de libération d'énergie empirique. Ce modèle aboutit à des résultats perfectibles. L'augmentation de son périmètre d'utilisation nécessite d'introduire de la physique identifiée à l'échelle mésoscopique. De premiers travaux, réalisés dans le cadre d'une thèse, sont en cours dans ce domaine à partir de simulations LES (Large Eddy Simulation ; simulation de de structures de turbulence aux grandes échelles) d'écoulements représentatifs de celui généré par la détonation d'un explosif. Les résultats obtenus aujourd'hui montrent un besoin de progresser dans la modélisation de la combustion de l'aluminium dans des conditions les plus proches possibles de celles rencontrées après la détonation d'un explosif solide. Le sujet proposé dans cette thèse s'inscrit dans cette démarche. Ce sujet porte sur l'aspect modélisation et simulation numérique. Un sujet, proposé en parallèle, porte sur la conception et la réalisation d'expérimentations élémentaires qu'il s'agira de simuler.

Objectif de la thèse :

L'objectif est d'alimenter 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 de thèse 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. La première partie des travaux est de faire un point bibliographique et de prendre en main les outils numériques (code AVBP du CERFACS). Dans une deuxième partie, il s'agira d'identifier les points manquants des modèles actuels dans l'objectif d'orienter les travaux expérimentaux qui seront réalisés dans une thèse menée en parallèle avec le laboratoire ICARE. Enfin, le travail consistera à implémenter les éléments physiques dans les modèles actuels et de simuler les expériences réalisées dans le but de valider l'ensemble des travaux.



Exemple de simulation LES faite avec AVBP et contenant des particules d'aluminium (crédit CEA : thèse de Jimmy Suarez)

Ce travail nécessite des compétences en simulation numérique, en mécanique des fluides et des notions sur les milieux réactifs.

Directeur de thèse et école doctorale :
SELLE Laurent
Université de Toulouse ; Mécanique Energétique Génie civil et Procédés
(MEGEP), Toulouse, 31062.

Contacts :
COURTIAUD Sébastien
CEA/ Gramat - BP80200 - 46500 GRAMAT
Tél. : 05.65.10.54.32– sebastien.courtiaud@cea.fr

Sujet :

Etude expérimentale des mécanismes de combustion de particules d'aluminium en milieu gazeux sous pression

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. De premiers travaux, réalisés dans le cadre d'une thèse, sont en cours dans ce domaine à partir de simulations LES (Large Eddy Simulation ; simulation de de structures de turbulence aux grandes échelles) d'écoulements représentatifs de celui généré par la détonation d'un explosif. Les résultats obtenus aujourd'hui montrent un besoin de progresser dans la modélisation de la combustion de l'aluminium dans des conditions les plus proches possibles de celles rencontrées après la détonation d'un explosif solide.

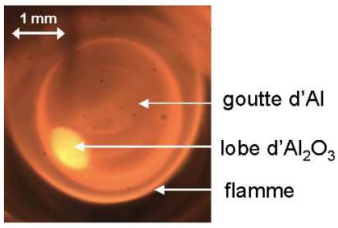
Objectif de la thèse :

Le sujet proposé dans cette thèse s'inscrit dans cette démarche de progrès dans la modélisation de la combustion de l'aluminium. Il porte plus précisément sur la conception et la réalisation d'expérimentations élémentaires. Un autre sujet, proposé en parallèle, porte sur l'aspect modélisation et simulation numérique des expérimentations.

L'objectif *in fine* est d'alimenter 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 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. Au cours de la première année, le(a) doctorant(e) 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 doctorant exploitera les résultats obtenus. Il(elle) pourra bénéficier des résultats numériques obtenus dans la thèse menée en parallèle.



Goutte d'aluminium en combustion dans 100% H_20

(crédit : thèse Univ. Orléans, V. Sarou-Kanian, 2003)

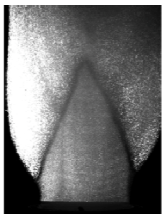


Image de tomographie par plan laser d'une flamme aluminium-air (crédit : CNRS-ICARE-Orléans)

Ce projet de recherche nécessite des compétences en mécanique des fluides et des notions sur les milieux réactifs.

Le(a) doctorant(e) sera basé(e) à l'Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement (ICARE) à Orléans, avec des missions ponctuelles à Gramat.

Directeur de thèse et école doctorale :
HALTER Fabien
Université d'Orléans ; Energie – Matériaux – Sciences de la Terre et de l'Univers (EMSTU)
45067 ORLEANS

Contact :
COURTIAUD Sébastien
CEA/ Gramat - BP80200 - 46500 GRAMAT
Tél. : 05.65.10.54.32 – sebastien.courtiaud@cea.fr

ENVIRONNEMENT & POLLUTION

Sujet :

Approche mécanistique des processus d'accumulation de radionucléides dans les mollusques bivalves

Contexte :

Le milieu marin, qui couvre 71% de la surface terrestre, est bien souvent le compartiment final des polluants anthropiques. Parmi ces polluants, les métaux (lourds) ont la particularité de n'être jamais détruits ; ils sont transportés, stockés, métabolisés, recyclés. Depuis le début des travaux menés dans le cadre du programme ESPERAME (Etude de la SPEpéciation des RAdionucléides dans la MEr), nous avons acquis des connaissances sur le milieu marin, connaissances nous permettant de connaître avec précision la forme chimique de certains radionucléides d'intérêt (U, Np, Pu, Co, Eu/Am) dans l'eau de mer. Nous avons également précisé, sur un organisme filtreur (l'éponge Aplysina cavernicola) puis sur un organisme brouteur (l'oursin Paracentrotus lividus) quels pouvaient être les mécanismes d'accumulation de ces métaux (U, Eu, Co) avec notamment l'identification d'une protéine modifiant la spéciation de l'uranium. En s'intéressant au mollusque bivalve lamellibranche, la description des mécanismes d'accumulation est d'une part plus complexe (donc plus représentative) ; d'autre part l'implication d'une contamination sur la chaîne trophique prend une dimension écologique puisque les mollusques entrent dans la chaîne alimentaire humaine. Enfin les mollusques bivalves sont des organismes filtreurs également connus pour leur faculté de dépollution et qui sont présents près de nombreux ports maritimes. Dans ce cadre, nous avons sélectionné la moule Mytilus galloprovincialis, espèce la plus répandue en France et en Méditerranée. C'est un animal sédentaire, donc fortement représentatif de l'environnement dans lequel elle vit. On peut ainsi la considérer comme un marqueur. De plus, c'est un organisme relativement robuste, capable de survivre en conditions de pollution modérées. Toutes ces caractéristiques font de la moule un marqueur particulièrement étudié de la contamination des métaux lourds y compris des radionucléides.

Objectif de la thèse :

Il est donc nécessaire de comprendre les mécanismes d'accumulation dans un organisme marqueur tel que la moule et d'inclure les paramètres descriptifs de ces mécanismes dans les modèles prédictifs d'impact radiologique sur la population. Dans ce contexte, nous proposons un projet de recherche dont les objectifs sont les suivants :
1) Établir les facteurs d'accumulation globaux et partiels (par organe) en situation d'équilibre d'accumulation et de rejet par l'organisme. Comparer avec les valeurs du milieu naturel. On pourra en particulier s'intéresser au milieu particulier de la rade de Toulon (une collaboration avec le Laboratoire d'Analyse, de Surveillance et d'Expertise de la Marine (LASEM) permettra une approche de terrain en échantillonnant des moules dans ce secteur).
2) Localiser les zones d'accumulation aux échelles supra et subcellulaires dans les différents organes. Préciser la spéciation dans les zones identifiées.
3) Établir les mécanismes de bioaccumulation dans les organes cibles. Le byssus est par exemple décrit comme particulièrement accumulateur du fer (un cation dur comme les actinides), ensuite le manteau. Les protéines mises en jeu pourront être explicitées afin d'élaborer un modèle cohérent d'accumulation et de rejet.
4) Affiner les modèles de calcul et d'impact radiologique à partir des schémas de mécanismes chimiques d'accumulation. Il s'agira par exemple d'estimer la dose perçue en cas d'ingestion directe par l'homme.

Déroulement de la thèse :

- Recherche bibliographique : 2 mois
- Mise en place du dispositif et méthodologie pour accumulation toxique RN par les moules : 6 mois
- Etudes de spéciation à l'échelle cellulaire par techniques spectroscopiques et affinement des modèles de bioaccumulation (SAX, EXAFS, etc.) : 22 mois
- Rédaction manuscrit et publications : 6 mois

Directeur de thèse et école doctorale :
DEN AUWER Christophe
Ecole doctorale Sciences Fondamentales et Appliquées (SFA) – ED 364 / Université Côte d'Azur

Contacts :
MONFORT Marguerite & AUPIAIS Jean
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00
marguerite.monfort@cea.fr et & jean.aupiais@cea.fr

Sujet :

Utilisation du bruit ambiant infrason pour caractériser les effets de propagation dans la moyenne atmosphère

Contexte :

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

Objectif de la thèse :

Les ondes infrasonores se propagent dans ces couches élevées de l'atmosphère pour se réfracter ensuite vers le sol après avoir été affectées par les vents dans les zones traversées. Ainsi la connaissance simultanée d'une source d'infrasons et de signaux détectés par des stations au sol permet de caractériser l'atmosphère traversée. L'objectif de la thèse est d'exploiter le bruit de fond ambiant infrason enregistré par le réseau du SSI pour caractériser les effets de propagation intégrés le long des chemins de propagation. Ces dernières années, la mise au point de méthodes variationnelles multi-dimensionnelles a permis d'étendre la diversité et le nombre d'observations assimilables. Le modèle global de prévision numérique ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) dans ses versions ensemblistes sera utilisé pour la mise en œuvre de techniques d'inversion bayésienne. Pour le CEA/DAM, les retombées attendues concernent l'amélioration des outils opérationnels de traitement et d'analyse grâce à une meilleure connaissance de la moyenne atmosphère et de ses incertitudes dans une région où la propagation des infrasons est sensible à l'état de l'atmosphère.

Déroulement de la thèse :

Le(la) doctorant(e) effectuera d'abord une recherche bibliographique approfondie sur l'assimilation de nouvelles données dans la stratosphère. Un premier objectif est de développer un opérateur d'observation décrivant la propagation des signaux. Une méthodologie pour assimiler ces données disponibles et à une échelle globale sera proposée. Les premiers tests d'assimilation seront effectués dans un contexte idéalisé (solution connue). L'encadrement de la thèse mobilise l'expertise du LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales) pour la description et la modélisation des processus physiques de la dynamique de la moyenne atmosphère. Le co-encadrement par l'Université de Reading, qui héberge le centre ECMWF, permettra des interactions avec le groupe DARC (Data Assimilation Research Group, University of Reading).

Directeur de thèse et école doctorale :
HAUCHECORNE Alain
Ecole doctorale Sciences de l'Environnement d'Ile-de-France (SEIF) – ED 129 / Sorbonne Université (UPMC)
Co-direction : CHARLTON-PEREZ Andrew
Université de Reading, Département Météorologie, UK

Contacts :
LE PICHON Alexis
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – alexis.le-pichon@cea.fr

INFORMATIQUE & LOGICIELS

Sujet :

Génération efficace de noyaux de calcul sur accélérateurs pour les applications de dynamique moléculaire

Contexte :

L'évolution matérielle, envisagée dans le cadre du renouvellement futur des grands centres de calcul mondiaux, va vers un parallélisme massif possédant des caractéristiques techniques bien différentes de celles des supercalculateurs parallèles actuellement utilisés au CEA/DAM ou au TGCC. Ces futures machines de puissance dites « exaflopiques » auront un nombre de cœurs de calcul beaucoup plus important au sein d'un même processeur souvent associés à des accélérateurs de type GPU ou Xeon Phi. Conséquence de ces évolutions, la programmation homogène « à plat », qui consiste à n'avoir qu'un niveau de parallélisme, touche à sa fin. Il faut donc se préparer à vivre dans un monde dit « hybride », où il est impératif d'extraire tout le parallélisme possible d'un code de calcul (allant de la vectorisation au parallélisme distribué en passant par le massivement multithreads).
Dans le contexte de la dynamique moléculaire (DM) appliqué à la physique de la matière condensée, les études du comportement des matériaux dans des conditions extrêmes requièrent la simulation de systèmes toujours plus grands avec une physique de plus en plus complexe. L'adaptation des codes de DM aux architectures exaflopiques est donc un enjeu très important.
Au sein du CEA/DIF de Bruyères-le-Châtel, nous avons débuté le développement d'un nouveau code de dynamique moléculaire classique : ExaStamp. Ce code est destiné à réaliser des simulations à très grande échelle sur les futures machines Exaflopiques. Aujourd'hui, Exastamp est capable de s'exécuter sur plusieurs milliers de machines hybrides associant CPU multi-cœurs et accélérateurs de type GPU ou Xeon Phi. L'architecture code d'ExaStamp s'organise autour de trois niveaux de parallélisme : décomposition de domaine avec MPI, du multithreading massif sur chaque domaine et un système de vectorisation explicite. La version actuelle ExaStamp permet la réalisation de premières simulations à plusieurs milliards d'atomes.
Il reste néanmoins un travail important à réaliser afin de mettre à disposition des physiciens développeurs un système plus performant leur permettant de développer et d'implémenter de nouvelles méthodes numériques tout en conservant un niveau élevé de performances. Pour cela, une piste serait de proposer un DSL/ ou une version allégée d'un langage spécialisé tel qu'OpenCL permettant d'écrire des noyaux « génériques » spécialisés avec des directives pour être ensuite traité par « préprocesseur » spécifique. Le code généré, en fonction du matériel ciblé (avec des règles d'optimisation), sera alors optimisé et adapté à l'architecture ExaStamp (structures de données, fonctions spécialisées, …). Par exemple, la complexité de mise en œuvre de mémoire NUMA ou d'unités vectorielles sera complétement masquée. En fait, grâce à un tel système, la programmation dans ExaStamp par des non spécialistes du domaine HPS doit être grandement facilitée ainsi que sa capacité d'adaptation aux futures générations de machines de puissance.

Objectif de la thèse :

L'objectif est donc, à partir d'une analyse des noyaux de calculs existants dans l'application ExaStamp, de proposer une façon générique d'écrire les noyaux de calcul (sans aucune optimisation dans un premier temps) qui puisse aboutir à une génération de code pour n'importe quelle cible (CPU ordinaire, accélérateur GPU, Xeon Phi). Il s'agira ensuite de comprendre comment introduire des optimisations dans ces noyaux qui dépendent de l'architecture cible, soit en spécifiant des règles d'optimisation dans une base annexe, soit en enrichissant le langage avec des directives d'optimisation optionnelles.

Déroulement de la thèse :

Après une étude de l'état de l'art et une prise en main des outils et machines disponibles, le(a) doctorant(e) étudiera, proposera et développera des solutions innovantes qu'il sera amené à publier dans les meilleures revues et conférences du domaine. Le(a) doctorant(e) intégrera un environnement pluridisciplinaire (informatique et physique), en ayant un accès privilégié pour ses expérimentations à des très grands calculateurs. La thèse se déroulera sur le site du CEA/DIF de Bruyères-le-Châtel, en lien étroit avec les équipes de spécialistes en calcul haute performance de l'INRIA Bordeaux (visites régulières).

Directeur de thèse et école doctorale :
NAMYST Raymond
Ecole Doctorale Mathématiques et Informatique (MI) – ED 039 - Université de Bordeaux

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

Sujet :

Partitionnement de maillages pour l'équilibrage de charge de simulations multi-physiques

Contexte :

Les logiciels de simulation numérique sont le plus souvent exécutés sur des machines parallèles. Une répartition équilibrée des calculs est alors primordiale. Pour ce faire, on utilise généralement une approche statique qui consiste à prédécouper le support de calcul. Dans notre cas, il s'agit de calculer un partitionnement de maillages, un maillage étant une décomposition géométrique du support de calcul en éléments simples, les mailles. En dimension 3, les mailles sont le plus souvent des tétraèdres et des hexaèdres et le maillage en comportera plusieurs dizaines ou centaines de millions.

Objectif de la thèse :

Ce problème de partitionnement de maillages peut être traité par différentes méthodes, qu'elles soient topologiques (partitionnement de graphes) ou géométriques. La plupart des outils de partitionnement se focalisent sur le partitionnement de graphes [*Metis, Scotch, Zoltan*], oubliant certaines caractéristiques de notre problème :

- Le coût des mailles fantômes n'est pas pris en compte. En effet, lorsqu'on distribue le maillage sur différents processeurs, au bord de chaque domaine des mailles virtuelles, représentant les mailles des processeurs distants, sont créées. Ne pas les prendre en compte peut s'avérer problématique, particulièrement en 3D.
- Ces outils se focalisent sur la minimisation d'une quantité appelée « coupe ». Cette quantité représente les communications induites par la partition des mailles, mais ce modèle est hélas incorrect.
- Dans nombre de nos simulations, la difficulté du problème de partitionnement vient d'abord de la distribution des coûts de calculs. De plus, ces coûts sont souvent pluriels car correspondant à plusieurs phases de calcul différentes.

Deux thèses récentes au CEA/DAM ont permis des avancées significatives sur ces trois points. La première propose une solution pour les deux premiers points, en utilisant un modèle de graphe biparti. La seconde apporte des réponses au partitionnement de graphes multicritères.
L'objectif de cette thèse est d'une part de proposer une réponse concrète au problème d'équilibrage de charges pour des instances pratiques de simulation multi-physiques (sur des maillages de dizaines ou centaines de millions de mailles). Pour cela, les techniques utilisées dans les thèses précédentes devront être étendues et adaptées. D'autre part, l'implantation pratique des algorithmes sera effectuée dans le cadre du projet COUPE (COncUrrent PartitionEr), écrit en Rust dans un contexte multi-threads. De bonnes connaissances en théorie des graphes mais aussi en techniques d'optimisation discrète seront nécessaires pour mener à bien cette thèse.

Déroulement de la thèse :

Première année : Elle commencera par une familiarisation avec le problème et une étude bibliographique approfondie sur les thèses précédemment citées. Suivront des propositions d'aménagement du schéma multi-niveaux.

Deuxième année : L'algorithme multi-niveaux proposé sera étudié à l'aide de notions comme les « fitness landscape ». Cette étude sera une contribution scientifique à part entière qui s'appuiera sur une première implantation dans le projet COUPE.

Troisième année : Elle sera consacrée à la réalisation expérimentale et à la validation pratique des algorithmes ; et, évidemment, à la rédaction du manuscrit final de la thèse.

Directeur de thèse et école doctorale :
LEDOUX Franck
Ecole doctorale Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) – ED 580 - Université Paris-Saclay

Contacts :
CHEVALIER Cédric & LEDOUX Franck
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél : 01 69 26 40 00
cedric.chevalier@cea.fr & franck.ledoux@cea.fr

Sujet :

Ordonnanceur spécialisé pour la gestion conjointe de threads et de tâches en espace utilisateur

Contexte :

La course au petaflop et à l'exaflop a vu l'avènement des processeurs multi- et many-cœurs dans les supercalculateurs. Pour programmer efficacement ces supercalculateurs et tirer parti de toutes ces ressources de calcul, il est devenu courant d'utiliser plusieurs langages de programmation. Aujourd'hui, MPI reste le modèle de programmation privilégié pour les échanges en mémoire distribuée, entre les différents nœuds d'un supercalculateur. Cependant pour l'intra-nœud, en mémoire partagée, il est courant d'utiliser d'autres modèles de programmation plus adaptés. Il est alors possible d'utiliser des modèles à base de threads (pthread, OpenMP, …) ou de tâches (StarPU, Parsec, HPX, …) en conjonction avec MPI.
Tous ces modèles de programmation créent leurs propres unités de traitements (processus, thread ou tâche). Ces unités de traitement doivent cohabiter sur les mêmes ressources de calcul. Pour une exécution optimale, il est donc nécessaire d'arbitrer ce partage de ressources en fonction des besoins de chaque unité de traitement.

Le support exécutif MPC (Multi-Processor Computing) a pour but de permettre une exécution efficace des programmes utilisant plusieurs modèles de programmation. Cependant, les modèles de programmation à base de tâches ne sont pas encore supportés par MPC. Ces modèles représentent le programme sous forme d'unités de traitements simplifiées et indépendantes, et permettent de représenter le parallélisme et l'asynchronisme inhérents aux algorithmes du programme représenté.

Objectif de la thèse :

L'objectif de cette thèse de créer un ordonnanceur pouvant gérer efficacement des threads et des tâches. Le(a) doctorant(e) se basera sur l'expertise obtenu dans l'équipe encadrante sur l'ordonnanceur de threads utilisateurs déjà présent dans MPC, et des précédents développements et études réalisés dans le cadre de l'intégration des tâches OpenMP dans MPC. L'ordonnanceur développé devra permettre de gérer les threads utilisateurs seuls, les tâches seules, et une interaction entre les threads utilisateurs et les tâches. Une étude incrémentale sera réalisée pour permettre un support de tâches de différentes natures : tâches insécables, et tâches pouvant être interrompues et redémarrées. Avec ce nouvel ordonnanceur, il devra être possible de : suspendre et redémarrer l'ordonnancement des tâches, détecter les phases d'attente des threads pour les exploiter en ordonnançant des tâches pendant ces temps d'attente, détecter les phases d'attente des tâches pour pouvoir les mettre en pause et ordonnancer d'autres tâches.

Déroulement de la thèse :

- Mise en place de l'ordonnancement des tâches et des threads dans un ordonnanceur unifié (12 mois)
- Détection des blocages/temps d'attente des threads/tâches et interruptions à la volée (9 mois) :
- Mises en place de différents politiques d'ordonnancement et de placement en fonction des modèles de programmation utilisée (9 mois)
- Rédaction (6 mois)

Directeur de thèse et école doctorale :
Pas encore définis à ce jour

Contact :
JAEGER Julien
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – julien.jaeger@cea.fr

INSTRUMENTATION

Sujet :

Développement d'un étalon de type réfractomètre laser compact, pour la métrologie absolue de la pression dynamique dans la bande de fréquence 0,001 Hz – 0,1 Hz associé au banc d'étalonnage des capteurs de pression dynamique infrason du CEA

Contexte :

Le réseau de surveillance du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires utilise principalement pour sa composante de détection aérienne des capteurs infrasonores développés par le CEA. Ceux-ci sont reconnus par la communauté internationale comme une instrumentation de référence pour la mesure acoustique infrasonore.
Les moyens de mesure mis en œuvre quotidiennement au sein du laboratoire de métrologie infrason du CEA dans le processus métrologique d'étalonnage et de vérification de ces capteurs ont été développés à partir de 2003, pour répondre aux exigences métrologiques définies à cette époque. L'amélioration attendue dans la maitrise des mesures infrasonores liée à l'amélioration des techniques de traitement des signaux par les analystes se traduit par des exigences métrologiques plus sévères sur les capteurs, qui in fine impliquent des performances accrues des instruments de métrologie et des méthodes mises en œuvre pour l'étalonnage de ces capteurs. D'une part, les tolérances vont diminuer, et par voie de conséquence l'exigence qui porte sur les incertitudes de mesure en général et sur les incertitudes d'étalonnage de nos étalons en particulier, vont devoir également diminuer. D'autre part la traçabilité des mesures, et l'utilisation d'étalons parfaitement adaptés au besoin sont attendues.
Fin 2018, nous avons acquis la maîtrise de la métrologie absolue de la pression dynamique en deçà de 20 Hz, jusqu'à 0,1 Hz en termes de génération de signal et d'étalon de mesure traçable au système international d'unité. Néanmoins toute la bande fréquence d'intérêt en deçà de cette fréquence ne sera pas couverte en termes de traçabilité au SI. Par ailleurs, les résultats actuels montrent que la transition adiabatique-isotherme dans la cavité du nouveau générateur de pression dynamique infrason joue un rôle majeur et aura un impact important sur l'étalonnage des capteurs dans la bande [0,001 Hz – 0,1 Hz] si la mesure de la pression dans cette bande de fréquence n'est pas totalement maîtrisée.

Objectif de la thèse :

La thèse a pour objectif de nous permettre d'améliorer le processus d'étalonnage de nos capteurs infrasonores actuels et futurs afin de garder notre avance et notre expertise dans le domaine de la métrologie infrasonore.
Pour cela, il est indispensable de disposer d'un nouvel étalon traçable au Système International d'Unités, qui complètera nos moyens de métrologie sur la bande de fréquence [0,001 Hz – 0,1 Hz].
La variation de l'indice de réfraction de l'air et sa mesure par méthode optique est une voie prometteuse pour mesurer la pression de faible amplitude dans la cavité de notre nouveau générateur de pression. Néanmoins elle n'a jamais été mise en œuvre pour des mesures dynamiques et une instrumentation adaptée à nos équipements de métrologie n'existe pas.
Dans le cadre de la collaboration entamée avec le Laboratoire National de métrologie et d'Essais en charge au niveau national de la mise en œuvre des étalons nationaux et des moyens d'étalonnage associés, il s'agit de développer un étalon du type réfractomètre laser compact, et de procéder à sa qualification pour la mesure de la pression dynamique basse fréquence.

Déroulement de la thèse :

1. Etude de la mesure de la variation de l'indice de l'air appliquée à la métrologie de la pression statique et dynamique basse fréquence (livrable T0 + M6).
2. Conception et réalisation du refractomètre laser compact (livrable T0 + M14)
3. Caractérisation du réfractomètre laser compact en modes statique et dynamique (livrable T0 + M20).
4. Mise en œuvre du réfractomètre sur le banc de métrologie de pression dynamique de référence du CEA (livrable T0 + M26).
5. Ecriture de la thèse et publication dans une revue internationale à comité de lecture (livrable T0 + M36).

Directeur de thèse et école doctorale :
GUIANVARC'H Cécile
Ecole doctorale Sciences des Métiers de l'Ingénieur (SMI) – ED 432 / ENSAM ParisTech

Contact :
LARSONNIER Franck
CEA/DIF - Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01.69.26.40.00 – franck.larsonnier@cea.fr

Sujet :

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

Contexte :

Le Laser MégaJoule (LMJ) est une installation laser de puissance située sur le centre CEA/CESTA. Par le nombre et la puissance de ses faisceaux, le LMJ permet d'étudier l'interaction rayonnement-matière dans une grande variété d'expériences. Les expériences dites « d'équation d'état » consistent à faire converger les faisceaux laser sur une cible afin d'y générer un choc permettant d'atteindre des conditions de température (10^4 à 10^6 K) et de pression (Mbar au Gbar) impossibles à obtenir par des moyens plus classiques (presse hydraulique, canon à gaz,…). Ces conditions sont, par exemple, proches de celles rencontrées dans le cœur des planètes géantes ou les intérieurs stellaires.
Un ensemble de systèmes de mesure (appelés diagnostics et développés sur le centre CEA/DIF) est installé autour de la chambre d'expérimentation du LMJ afin de mesurer divers paramètres physiques de la cible pendant la durée de l'expérience, typiquement quelques ns à quelques dizaines de ns. Un diagnostic en particulier est capable de mesurer des vitesses (par chronométrie optique et/ou interférométrie Doppler laser) et des températures, par pyrométrie optique, utilisant le rayonnement de corps noir émis par la cible lorsqu'elle est comprimée et chauffée par les faisceaux laser. Après analyse, les résultats expérimentaux sont transposés dans un diagramme de phase et comparés à des résultats de simulation pour contraindre les modèles physiques utilisés dans les codes de calculs.
La pyrométrie optique nécessite un étalonnage en photométrie absolue et une mesure de la réflectivité du matériau constitutif de la cible pour en déduire son émissivité, paramètre fondamental de l'émission de corps noir et permettre ainsi de remonter à une température.

Objectif de la thèse :

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

Déroulement de la thèse :

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

Directeur de thèse et école doctorale :
BALEMBOIS François
École doctorale Ondes et Matière (OM) – ED 572 /
Université Paris Saclay

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

MATERIAUX & APPLICATIONS

Sujet :

Contribution à l'étude de l'endommagement dynamique de céramiques : simulation discrète du choc laser

Contexte :

Compte tenu de leur résistance à très haute température et à très haute pression, les céramiques trouvent de nombreuses applications dans les domaines de l'aéronautique, l'automobile ou l'aérospatial. Le CEA/DAM mène actuellement des études en vue d'utiliser de fines couches de céramique issues d'un procédé par projection plasma pour protéger des éléments de diagnostic ou des supports d'échantillons dans la chambre d'expérience du laser Mégajoule.
Dans ce cadre applicatif, les céramiques sont soumises à des sollicitations thermomécaniques intenses (~ 1 GPa) et brèves (durée de l'impulsion à mi-hauteur inférieure à 100 ns). Ces sollicitations sont générées par des irradiations laser ou les impacts de micro-débris. Ce type de chargement induit généralement une fragmentation plus ou moins importante de la face avant des échantillons, et l'apparition de fissures en face arrière.

La maîtrise de cet endommagement est essentielle pour bien dimensionner les expériences et éviter la pollution de la chambre par des débris. Pour cela, il est nécessaire de bien modéliser les mécanismes de dégradation de ces céramiques. L'approche aux éléments discrets développée depuis quelques années par l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux (I2M) apparaît tout à fait pertinente pour traiter cette problématique.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est de progresser dans la compréhension et la modélisation des mécanismes de fissuration et de rupture des céramiques face à des sollicitations dynamiques très brèves. Nous nous intéresserons en particulier à la réponse de céramiques face à des ondes de contrainte générées par faisceau laser (durée d'impulsion à mi-hauteur inférieure à 100 ns) ou par faisceau d'électrons impulsionnel (durée d'impulsion à mi-hauteur de l'ordre de 100 ns).
Le comportement dynamique de ces céramiques est actuellement modélisé à l'aide d'approches homogènes équivalentes plus ou moins sophistiquées, qui semblent limitées notamment dans la représentation des mécanismes de fissuration. Dans le cadre de cette thèse, nous souhaitons utiliser une méthode aux éléments discrets pour traiter numériquement la phénoménologie d'initiation, de propagation et de coalescence des fissures. Cette méthode sera évaluée dans son cadre actuel et des développements complémentaires pourront être proposés. Elle sera confrontée à des expériences de choc laser et d'irradiation par faisceau d'électrons, en utilisant notamment le code par éléments discrets développé par l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux (I2M). Au final, une stratégie complète au sens : essai de caractérisation, modèle discret associé ; validation par comparaison avec l'expérience, est attendue.

Déroulement de la thèse :

La première partie du travail de thèse consistera à faire une synthèse bibliographique des résultats expérimentaux et des approches de modélisation traitant de l'endommagement sous sollicitations dynamiques des céramiques. Un programme expérimental de caractérisation devra ensuite être proposé et mené dans le cadre de la thèse. Il s'appuiera notamment sur l'utilisation des moyens expérimentaux disponibles à l'I2M de Bordeaux et au CEA/Cesta. En fonction des besoins, d'autres moyens expérimentaux présents sur les sites de CEA/Gramat, CEA/DIF et CEA/Le Ripault pourront être mis en œuvre. Les résultats expérimentaux serviront directement au développement de modèles physico-numériques permettant d'évaluer les capacités des approches de modélisation par éléments discrets.
Le(a) doctorant(e) travaillera au sein de l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux (I2M). Il sera amené à participer aux campagnes expérimentales qui seront réalisées sur les sites du CEA/DAM. L'encadrement sera assuré par S. Morel (I2M), J. Girardot (I2M), J-B Kopp (I2M) et F. Malaise (CEA-CESTA).

Directeur de thèse et école doctorale :
MOREL Stéphane, GIRARDOT Jérémie, KOPP Jean-Benoit
Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux
Université Bordeaux I - 351 Cours de la Libération,
33405 Talence cedex

Contact :
MALAISE Frédéric
CEA/CESTA - CS60001 - 33116 Le Barp Cedex
Tél. : 05.57.04.40.00 – frederic.malaise@cea.fr

Sujet :

Etude théorique et simulation du comportement sous choc de céramiques micro-fissurées

Contexte :

Les céramiques constituent de très bons candidats pour la conception de solutions des blindages à haut niveau de protection. Les travaux récents [Thèse de J.L. Zinszner, soutenue en 2014 ; HAL ref : tel-0175181] ont permis d'améliorer la compréhension des liens unissant la microstructure à la fragmentation des matériaux céramiques. Néanmoins, le comportement en compression dynamique et la résistance du milieu fragmenté à la progression du projectile restent décrits par des approches purement phénoménologiques. En effet, les modèles actuels peinent à décrire la réponse des céramiques endommagées, ce qui tend à limiter leur capacité prédictive. Des travaux de modélisation et de simulation utilisant une formulation de Galerkin discontinu sont menés au Laboratoire des Sciences des Procédés des Matériaux (LSPM) de l'Université Paris13 depuis plusieurs années pour étudier le comportement dynamique de matériaux fragiles contenant des microfissures [Numerical modeling of wave propagation Q. Gomez&al. 2019].

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse consiste à améliorer la connaissance des mécanismes pilotant le comportement en compression de milieux micro-fissurées. Dans ce but, des simulations numériques seront conduites en considérant explicitement une ou plusieurs populations de microfissures. Ces simulations en champ complet permettront de mieux appréhender l'influence des paramètres microstructuraux sur la réponse de céramiques en compression dynamique. Les conclusions tirées de l'analyse en champ complet permettront de proposer et de calibrer un modèle micromécanique homogénéisant les principaux mécanismes activés en compression dynamique.

Déroulement de la thèse :

Le projet de thèse comprendra plusieurs étapes mêlant modélisation, simulations numériques et participation éventuelle à des expérimentations :

1. Il s'agira tout d'abord de mener une analyse critique des travaux de la littérature étudiant expérimentalement, par la modélisation ou par la simulation le comportement sous choc de milieux multi-fissurés,
2. Il s'agira ensuite de développer la modélisation et la simulation par une formulation Galerkin discontinu de milieux élastiques contenant des populations de microfissures ; ces simulations permettront d'identifier l'influence de paramètres microstructuraux sur la réponse dynamique d'une céramique,
3. En s'appuyant sur les résultats précédents, il s'agira de développer et de valider un modèle micromécanique pour le comportement des céramiques micro-fissurées sous choc,
4. En parallèle, une ou plusieurs configurations expérimentales originales seront dimensionnées pour étudier la réponse sous choc de matériaux céramiques à différents niveaux de microfissuration.

Le(a) doctorant(e) sera basé(e) à Paris avec des missions à Gramat majoritairement en dernière année.

Directeur de thèse et école doctorale :
Prof. IONESCU Ioan
LSPM
Université Paris 13 Sorbonne-Paris-Cité

Contacts :
ZINSZNER Jean Luc
CEA/GRAMAT - BP80200 - 46500 GRAMAT
Tél. : 05.65.10.54.32 – jean-luc.zinszner@cea.fr

Sujet :

Evaluation des performances de nouveaux matériaux énergétiques par modélisation moléculaire

Contexte :

Le centre du CEA le Ripault est chargé de la mise au point et du développement de matériaux énergétiques pour les besoins Défense et cette expertise trouve de nombreuses applications dans le domaine civil. Qu'ils soient conçus en vue d'une utilisation en tant que propergols ou explosifs, ces derniers doivent remplir de nombreux critères de performances et de sécurité. Pour la mise au point de tels matériaux dont l'élaboration et la caractérisation sont particulièrement longues et coûteuses, il est primordial de focaliser dès que possible les efforts sur les cibles les plus prometteuses. C'est pourquoi le CEA Le Ripault développe depuis près de 20 ans des modèles prédictifs permettant d'évaluer un nombre croissant de propriétés avec une fiabilité toujours plus grande. Les modèles exploités actuellement par les chimistes organiciens ont été principalement développés entre 2005 et 2012 au Ripault, à l'exception de la méthode de chimie quantique utilisée pour les calculs d'enthalpie. Le retour d'expérience indique que cette dernière peut conduire à des erreurs importantes.

Objectif de la thèse :

Dans ce contexte, l'amélioration des performances théoriques utilisées pour sélectionner des cibles à synthétiser constitue une priorité. Elle passe par l'amélioration des calculs de densité et d'enthalpie, objectif de la thèse proposée. Les progrès récents en chimie quantique et en intelligence artificielle ouvrent en effet de nombreuses perspectives, les calculs *ab initio* permettant de produire les quantités massives de données nécessaires à l'application de techniques d'apprentissage automatique (machine learning). Afin de mettre à niveau les outils actuels, la thèse pourra exploiter ces avancées, en plus d'une démarche de modélisation basée sur des considérations physiques, et en lien étroit avec les chimistes organiciens utilisateurs des outils développés.

Déroulement de la thèse :

Le travail de thèse portera d'abord sur l'estimation des densités cristallines par une modélisation semi-empirique des effets non-locaux qui limitent la précision des méthodes additives. Au vu d'études préliminaires menées au laboratoire, cette première phase garantit l'obtention rapide de résultats, permettant d'envisager sereinement une seconde phase plus ambitieuse, concernant l'évaluation des enthalpies en phase solide et comportant divers volets indépendants :

- Evaluer des modèles récemment obtenus par apprentissage automatique pour le calcul des enthalpies de formation de molécules isolées ;
- Poursuivre le développement d'un modèle récent (*J. Chem. Inf. Model.* **2018**, *58*, 12−26) pour calculer les enthalpies des molécules isolées ;
- Appliquer des méthodes d'apprentissage automatique à la modélisation des enthalpies des ions isolées ;
- Elaborer des modèles physiques pour déterminer les énergies de cohésion des sels énergétiques : il s'agira de progresser par rapport aux modèles actuels basés exclusivement sur le volume des ions, en tenant compte notamment de leur déviation à la sphéricité.

En fonction de son profil et de ses centres d'intérêt, le(a) doctorant(e) pourra aborder ces divers volets dans l'ordre de son choix et se focaliser sur les approches qui paraissent les plus prometteuses.

Directeur de thèse et école doctorale :
MATHIEU Didier
Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers (EMSTU) Université François Rabelais (Tours)

Contacts :
MATHIEU Didier
CEA Le Ripault - BP16 - 37260 MONTS
Tél. : 02 47 34 40 00 – didier.mathieu@cea.fr

Sujet :

Conception et élaboration par Fabrication Additive de matériaux à porosité contrôlée à base de composites inorganiques. Modélisation des propriétés physiques.

Contexte :

Pour ses applications, le CEA/DAM met en œuvre des matériaux devant répondre à un cahier des charges très spécifique qui nécessite le plus souvent de maitriser une conception et une élaboration adaptée. Parmi les différentes familles de matériaux spécifiquement développés, celle des matériaux à porosité contrôlée est relativement générique puisqu'elle permet de répondre à des besoins variés comme les matériaux pour l'isolation thermique haute température ou des matériaux adaptés à une utilisation en conditions extrêmes.
Le CEA/Le Ripault dispose de cette double compétence *sol-gel* et fabrication additive (*F.A)* et l'étude proposée s'appuiera sur des moyens de développement et d'évaluation expérimentale uniques. Cette approche innovante vise à associer la synthèse sol-gel de résines chargées à la fabrication additive par stéréolithographie (SLA). Cette association, particulièrement riche en potentialités, est encore très peu décrite dans la littérature en ce qui concerne les compositions inorganiques (céramiques).
Ce sujet de recherche est considéré comme capital pour le CEA/DAM, de par :

- son caractère stratégique en termes de matériaux génériques vis-à-vis des applications visées,
- son réel potentiel d'innovation et d'avancée scientifique dans le domaine des matériaux nano-architecturés par fabrication additive.

Objectif de la thèse :

Dans ce contexte, la conception et l'élaboration de matériaux poreux à base de nanocomposites inorganiques est envisagée en se basant sur des procédés de chimie douce, permettant une approche *bottom-up* et donc une construction du matériau à l'échelle moléculaire.
L'objectif de la thèse sera donc d'orienter la préparation de ces nouveaux matériaux alvéolaires minéraux afin d'allier une résistance mécanique faisant actuellement défaut aux excellentes propriétés fonctionnelles exigées (thermique ou optique par exemple).
Un effort important sera réservé à la modélisation des propriétés physiques de ces matériaux, donnant ainsi l'opportunité d'une approche prédictive de leur comportement, en utilisant le concept de *matériau numérique* développé au CEA/LR depuis plusieurs années.

Déroulement de la thèse :

Le travail de thèse, échelonné sur 3 ans, nécessite de travailler sur les volets suivants :

1. Sélection des compositions sur une base d'éco-conception. Elaboration de ces compositions par voie chimie douce (sol-gel) adapté à la fabrication additive (SLA – stéréolithographie).
2. Modélisation des propriétés et caractérisations micro-structurales. Etablissement de relations microstructure – propriétés.
3. Optimisation de la phase d'élaboration et réalisation de démonstrateurs caractérisés.

L'approche *matériaux numériques* du CEA/LR associée à la fabrication additive permettra de valider les lois de comportement et les modèles prédictifs par une élaboration de matériaux à façon dont l'architecture et la microstructure sont le reflet des structures virtuelles conceptualisées. La F.A. apporte ainsi la preuve que le matériau numérique vérifie bien les propriétés recherchées et observées.

Directeur de thèse et école doctorale :
BELLEVILLE Philippe
Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers (EMSTU) Université François Rabelais (Tours)

Contacts :
PINTAULT Bruno
CEA Le Ripault - BP16 - 37260 MONTS
Tél. : 02 47 34 40 00 – bruno.pintault@cea.fr

Sujet :

Etude multiphysique de joints élastomères compressibles et modélisation de leur comportement thermomécanique en environnement sévère

Contexte :

Le CEA Le Ripault utilise des matériaux élastomères de type RTV (élastomères à vulcanisation à froid) originaux, chargés en microsphères remplies de gaz, leur conférant des propriétés de compressibilité mécanique. Employés en tant que liaisons jointives d'épaisseur faible dans des structures mécaniques complexes, ils ont pour objectif, par exemple, d'abaisser le niveau de contrainte des matériaux qui les entourent lors de variations thermiques et d'éviter, de fait, d'atteindre leur rupture. Ils peuvent également avoir un rôle de cohésion, empêchant dans ce cas le déplacement des matériaux qui y sont liés. Des simulations numériques de structures sont réalisées au CEA/DAM afin de prédire les niveaux de contrainte et de déformation atteints dans les différents éléments qui constituent ces structures, lors de sollicitations thermiques, mécaniques et/ou vibratoires. Cependant, seule une connaissance approfondie du comportement rhéologique des liaisons peut permettre d'atteindre un niveau de confiance acceptable dans ces calculs. De fait, l'établissement de nouvelles lois de comportement thermomécanique implémentées dans les outils de calculs est nécessaire pour améliorer leur précision.
Par ailleurs, il est intéressant de connaître *a priori* l'influence de la composition de ces matériaux (natures de l'élastomère et des microsphères gazeuses, rapport de mélange) sur leur comportement thermomécanique afin d'optimiser la formulation de ces matériaux selon l'environnement dans lesquels ils seront utilisés.

Objectif de la thèse :

La thèse vise à apporter de nouvelles connaissances sur le comportement thermomécanique de ces matériaux élastomères originaux et innovants au regard de leur composition et de leur comportement mécanique. L'influence des microsphères sur le comportement thermomécanique du matériau sera également étudiée par des approches complémentaires (mécanique, physique, microstructurale…). Au final, ce travail aboutira à l'établissement de modèles rhéologiques couplés à des considérations multiphysiques.

Déroulement de la thèse :

La thèse comprendra une étude bibliographique portant sur le comportement mécanique (expérimental et modèles connus) des élastomères RTV incompressibles et compressibles. Une campagne expérimentale appliquée à un matériau élastomère chargé différemment en microsphères sera conduite, en intégrant les effets de la température, de la multi-axialité et de la viscoélasticité, Les résultats obtenus serviront à la construction d'une première loi de comportement thermomécanique en grandes déformations, validée par des calculs numériques. Cette loi sera par la suite améliorée par une étude approfondie du matériau et de ses constituants (matrice élastomère et microsphères) incluant par exemple des observations de la microstructure au moyen d'outils choisis par le(a) doctorant(e), des essais visant à caractériser la tenue des microsphères en température et sous contraintes, ou encore l'influence du rapport de mélange « matrice élastomère/microsphères » sur le comportement. Ainsi, selon l'avancée des travaux, la thèse pourra inclure une approche multi-échelles destinée à apporter un sens physique au modèle proposé et d'accéder à des maximums locaux des champs de déformations et de contraintes.
Ce sujet de thèse est le fruit d'une collaboration entre le Laboratoire Mécanique de la Région Centre-Val de Loire (LaMé) et le CEA Le Ripault. Le(a) doctorant(e) aura ainsi accès aux moyens expérimentaux de ces deux entités, et sera en contact avec leurs équipes spécialisées dans des domaines scientifiques de pointe. Le(a) doctorant(e) sera amené(e) à présenter ses travaux dans des conférences internationales et devra produire un article dans une revue scientifique à comité de lecture.
Le(a) doctorant(e) recherché(e) doit avoir validé un Master de Recherche, préférentiellement en mécanique des matériaux. Une connaissance des matériaux polymères et élastomères au sens de la science des matériaux et de leur comportement, serait un plus. Enfin, un bon niveau d'anglais est souhaité (TOEIC > 750).

Directeur de thèse et école doctorale :

LACROIX Florian (MCF) et **MEO Stéphane** (Professeur) - Ecole doctorale EMSTU (Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers) de l'Université François Rabelais de Tours

Contacts :

Maxime BIESSY
CEA Le Ripault - BP16 - 37260 MONTS
Tél. : 02 47 34 40 00 – maxime.biessy@cea.fr

MATHEMATIQUES - ANALYSE NUMERIQUE – SIMULATION

Sujet :

Simulation numérique de l'ablation liquide

Contexte :

Lors de sa rentrée dans l'atmosphère d'une planète, un engin spatial subit un échauffement important dû aux frottements des gaz atmosphériques sur la paroi. Cette élévation de température conduit à une dégradation physico-chimique du bouclier thermique de l'objet constitué de matériaux composites. Un composite est constitué de divers matériaux qui s'ablatent différemment : les fibres de carbone qui assurent la tenue mécanique vont se sublimer tandis que la résine permettant la cohésion de la structure va se liquéfier. On peut ainsi observer à la surface du bouclier la formation de rugosités dans lesquelles s'écoule la résine liquide ainsi que les gaz atmosphériques. La dynamique de ces écoulements de type diphasique peut être complexe.
La problématique de l'ablation liquide étudiée dans cette thèse est riche et les problèmes numériques sont nombreux de par la diversité des phénomènes physiques à traiter. En toute généralité, il est a priori nécessaire de considérer des écoulements hypersoniques tridimensionnels autour d'un corps de rentrée dans sa globalité, mais aussi de s'intéresser aux écoulements de proche paroi, ainsi qu'à l'interaction de l'écoulement avec le corps de rentrée au travers de sa paroi où les phénomènes de fusion et de sublimation ont lieu. De plus, la résolution de la thermique dans la partie solide sur des maillages mobiles pouvant se déchirer au niveau de l'interface entre les différents matériaux est nécessaire.

Objectif de la thèse :

Un point clef à traiter issu de la problématique décrite ci-dessus est l'étude numérique de l'ablation de deux matériaux distincts juxtaposés et subissant naturellement une ablation différentielle. On peut imaginer la configuration canonique d'une plaque plane soumise à un écoulement hypersonique et constituée par deux matériaux successifs. En effet, on ne sait toujours pas à ce jour quelle méthode numérique est la plus adaptée pour suivre l'évolution de l'interface entre les deux matériaux et calculer précisément l'écoulement d'air. Le développement et l'utilisation d'un ensemble d'outils numériques innovants et performants (code Navier-Stokes non structuré, génération/adaptation de maillage de façon dynamique au cours de la simulation, thermique dans le solide, couplage fluide-thermique) sera nécessaire pour traiter de façon précise la problématique d'ablation différentielle.

Un autre objectif de la thèse consiste en l'étude numérique des points triples, c'est-à-dire les points de contact entre gaz, liquide et solide. La méthode numérique à développer devra être capable de simuler l'arrachement de gouttes de liquide à la paroi sous l'effet d'un écoulement cisaillé. Elle doit permettre de simuler la dynamique de la déformation de la goutte et sa mise en mouvement. L'aspect diphasique de l'écoulement induit par le phénomène d'ablation liquide sera traité par une méthode d'interface diffuse. Le caractère incompressible de la phase liquide est pris en compte dans le modèle compressible en utilisant un schéma de type Low-Mach pour le calcul des flux numériques.

Déroulement de la thèse :

Dans un premier temps, nous considérerons le problème de l'ablation d'un corps de rentrée complétement métallique. Ceci permettra d'étudier la problématique de l'ablation liquide sans tenir compte de l'ablation différentielle. Les aspects liés au déplacement du maillage inhérents à l'ablation différentielle seront traités dans un second temps.

Directeur de thèse et école doctorale :
VILLEDIEU Philippe
MEGEP – Université de Toulouse
118 Rte de Narbonne – 31400 TOULOUSE

Contact :
PELUCHON Simon
CEA/CESTA - CS60001 - 33116 Le Barp Cedex
Tél. : 05.57.04.40.00 – simon.peluchon@cea.fr

Sujet :

Méthodes numériques innovantes pour l'aérodynamique supersonique 3D sur des maillages hybrides

Contexte :

La conception d'objets se déplaçant à très grande vitesse repose en grande partie sur la maîtrise de la simulation numérique des écoulements aérodynamiques tridimensionnels. Le modèle physique sous-jacent est celui des équations de Navier-Stokes qui décrivent les lois de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie d'un fluide compressible visqueux et conducteur de la chaleur. La structure de l'écoulement autour de l'aéronef est caractérisée par la présence d'une couche limite jouxtant la paroi, d'ondes de choc attachées et/ou détachées, de zones de détente et de recirculation suivant la forme géométrique de l'objet de vol. Ainsi les variables physiques de l'écoulement telles que la densité massique, la pression, la vitesse et la température subissent des variations très importantes aussi bien spatialement que temporellement. La simulation numérique de tels écoulements requiert des méthodes numériques robustes et précises capables de reproduire fidèlement la complexité des phénomènes physiques précédemment évoqués. Les méthodes numériques historiques s'appuient sur des approches aux Volumes Finis (VF) capturant les chocs au moyen de solveurs de Riemann approchés. Elle discrétisent les équations de l'aérodynamique sur des maillages multi-blocs structurés qui sont un gage de précision pour la description précise des couches limites. Toutefois, la construction de tels maillages peut s'avérer fastidieuse et chronophage dans les cas où des géométries complexes doivent être prises en compte.

Objectif de la thèse :

L'objectif principal de cette thèse réside dans la mise au point de méthodes VF pour résoudre la partie non visqueuse et non conductrice des équations de Navier-Stokes, autrement dit les équations d'Euler sur des maillages tridimensionnels non structurés. Il s'agira de mettre au point une approximation multidimensionnelle des flux numériques basée sur les approches de solveurs nodaux développés dans le contexte des schémas centrés pour l'hydrodynamique lagrangienne. Un soin particulier sera apporté à l'étude des propriétés de ces méthodes numériques afin de garantir la préservation de la positivité des quantités physiques telles que la densité et l'énergie interne et la satisfaction d'une inégalité d'entropie discrète. Ces propriétés sont respectivement le gage de la robustesse et de la consistance thermodynamique des méthodes ainsi construites. La discrétisation temporelle implicite indispensable pour évaluer les solutions stationnaires fera l'objet d'une étude poussée afin d'optimiser les performances de l'algorithme numérique sous-jacent sur des calculateurs massivement parallèles. Afin d'accroître la précision, une montée en ordre de la discrétisation spatiale sera conduite en utilisant le paradigme MOOD (multi-dimensional optimal order detection).

Déroulement de la thèse :

- Première année : étude bibliographique, construction de schémas numériques 2D et 3D pour les équations d'Euler et analyse numérique des propriétés de ces schémas ;
- Deuxième année : implémentation des schémas numériques 2D et 3D à l'ordre un dans une plateforme existante, discrétisation temporelle implicite et extension à l'ordre élevé ;
- Troisième année : validation, optimisation du parallélisme, préparation de communications scientifiques et rédaction du manuscrit.

Directeur de thèse et école doctorale :
LOUBERE Raphaël
Ecole Doctorale Mathématiques et Informatique
Université de Bordeaux

Contact :
MAIRE Pierre-Henri
CEA/CESTA - CS60001 - 33116 Le Barp Cedex
Tél. : 05.57.04.40.00– pierre-henri.maire@cea.fr

Sujet :

Développement d'un solveur creux multi-niveau pour des problèmes d'électromagnétisme

Contexte :

Afin d'améliorer la furtivité électromagnétique de différentes plateformes, le calcul de la Surface Equivalente Radar (SER) est indispensable dès le début de la phase de conception. Dans ce cadre, le CEA/DAM développe des codes de calcul simulant le comportement électromagnétique d'objets 3D complexes. L'un de ces codes couple une méthode éléments finis (pour le calcul à l'intérieur des matériaux) à une équation intégrale (utilisée comme condition de rayonnement exacte). La partie éléments finis est aujourd'hui traitée par une méthode de décomposition de domaine, chaque sous-domaine étant résolu à l'aide d'un solveur direct pour matrices creuses.
Cependant, avec l'augmentation des capacités de calcul du CEA/DAM, les limitations de cette méthode apparaissent :

- L'augmentation du nombre de sous-domaines tend à dégrader la convergence de la méthode.
- L'augmentation des tailles des sous-domaines rend l'utilisation d'un solveur direct compliquée, à cause du manque de scalabilité de ce type de solveur.

Objectif de la thèse :

L'objectif de cette thèse sera de rechercher et développer une nouvelle méthode de résolution de problèmes de type éléments finis pour l'électromagnétisme avec une scalabilité accrue.

Aujourd'hui, dans la littérature, la piste de recherche la plus prometteuse est la méthode multigrille. Le principe de cette méthode est l'utilisation d'une collection de problèmes grossiers qui permettent d'accélérer le calcul de la solution fine. C'est une méthode itérative, qui est éprouvée pour des problèmes elliptiques, et ayant une scalabilité optimale (la résolution est en O(N), N étant le nombre d'inconnues du problème). Cependant, il est connu que les méthodes multigrilles ne sont pas performantes pour des problèmes à noyaux oscillants tels que l'électromagnétisme ou l'acoustique (ces équations conduisant à des problèmes indéfinis). Un travail important de recherche est donc nécessaire pour trouver des opérateurs multigrilles qui soient performants pour ce type de problèmes.

Déroulement de la thèse :

- 1ère année : le(a) doctorant(e) réalisera une recherche bibliographique sur les méthodes multigrilles, en collaboration avec des experts du domaine. Il(elle) s'appropriera les développements faits actuellement sur les problèmes de type Maxwell définis
- 2ème année : le(a) doctorant(e) développera les opérateurs appropriés pour un problème indéfini correspondant à une discrétisation d'un problème d'acoustique. Cette étape permettra d'appréhender les problèmes indéfinis dans un contexte plus simple que l'électromagnétisme. Les développements seront effectués dans la bibliothèque Hypre du LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory, Californie, USA)
- 3ème année : le(a) doctorant(e) étendra les résultats obtenus pour l'acoustique à l'électromagnétisme. Les six derniers mois seront consacrés à la rédaction du manuscrit de thèse.

Des visites annuelles au LLNL en Californie sont à prévoir, dans le cadre de leur programme d'été.

Directeur de thèse et école doctorale :
A déterminer (contacts en cours)
Collaboration avec Rob Falgout du LLNL

Contact :
LECOUVEZ Matthieu
CEA/CESTA – 15 avenue des sablières – CS 60001 – 33116 Le Barp Cedex

Sujet :

Traitement statistique du signal pour la séparation de sources multiple sur des antennes

Contexte :

Le CEA/DAM exploite en routine les données du SSI (Système de Surveillance International) mis en place dans le cadre de la vérification du TICE (Traité d'Interdiction Complète des Essais). La méthode de traitement PMCC développée par le CEA est utilisée par l'organisation du TICE pour traiter l'ensemble des données infrasons du SSI. Dans la bande de fréquence d'intérêt pour la surveillance des explosions, le traitement opérationnel de ces données montre l'existence de nombreux signaux d'origines artificielles ou naturelles. La mesure de l'angle d'arrivée et de la vitesse de propagation des ondes cohérentes est réalisée en calculant les retards entre capteurs en explorant une grille temps-fréquence. Les retours d'expérience sur l'utilisation de ces algorithmes montrent des détections erronées et des estimations imprécises. Les causes en sont notamment que ces algorithmes ont été développés et optimisés pour détecter dans une même cellule temps-fréquence une unique source de signaux cohérents. Dans des conditions réalistes d'enregistrement, les stations détectent des sources multiples et les traitements actuels ne sont pas adaptés.

Objectif de la thèse :

Le projet de thèse consiste à élaborer et tester sur des bases contrôlées de signaux synthétiques et réels des méthodes haute-résolution pour séparer des sources multiples infrasons dans une même bande de fréquence. Par exemple, la méthode MUSIC (Multiple SIgnal Classification ou Classification) permet d'estimer les arrivées de plusieurs sources d'intérêt à bande étroite dans un même intervalle de temps et bande de fréquence. En général le nombre de sources est préalablement estimé par des modèles statistiques de vraisemblance pénalisée. De nouveaux algorithmes à bande large prenant en compte la perte de cohérence en fonction de la séparation inter-capteurs et la fréquence doivent être développés. Pour le CEA/DAM, les retombées attendues concernent l'amélioration des outils opérationnels de traitement pour détecter et caractériser des sources d'intérêt dans le bruit de fond ambiant.

Déroulement de la thèse :

Des algorithmes haute résolution pour l'estimation du nombre de sources et des caractéristiques des signaux d'intérêt seront développés. Des approches qui introduisent un a priori sur l'évolution temporelle de ces caractéristiques, comme par exemple les modèles de Markov cachés, doivent être considérées. Pour évaluer les performances des différentes méthodes et critères de détection proposés, des bases contrôlées de signaux synthétiques et réels seront constituées. Elles seront représentatives des conditions réelles de détection, tant concernant la diversité des signaux que la variabilité du bruit de fond. Il sera demandé d'établir systématiquement des tables de contingence des faux positifs et faux négatifs en considérant des configurations variées de stations (géométrie et nombre de capteurs). L'encadrement de la thèse mobilise l'expertise de Telecom ParisTech pour l'élaboration de méthodes statistiques haute résolution de traitement du signal. Des collaborations scientifiques établies entre le CEA/DAM et instituts partenaires seront renforcées pour constituer des bases de signaux de référence pertinentes. Cet encadrement contribue à mobiliser toutes les compétences nécessaires à la bonne conduite de la thèse pour donner à ce projet de thèse des orientations à des fins opérationnelles.

Directeur de thèse et école doctorale :
CHARBIT Maurice
Ecole doctorale Informatique, Télécommunications et Electronique (ITE) – ED 130 / Télécom ParisTech

Contacts :
LE PICHON Alexis
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01.69.26.40.00 – alexis.le-pichon@cea.fr

Sujet :

Schémas volumes finis d'ordre élevé positifs pour la diffusion sur maillage quelconque

Contexte :

L'opérateur de diffusion intervient dans un nombre considérable de modèles physiques s'appuyant sur la résolution de systèmes d'équations aux dérivées partielles. En se restreignant à la physique d'intérêt, on peut citer entre autre : la conduction thermique, la diffusion radiative, la turbulence, la magnéto-hydrodynamique. Être en mesure de discrétiser de manière précise et robuste cet opérateur est donc un enjeu crucial pour la simulation numérique des phénomènes suscités, et de bien d'autres.
En dynamique des fluides, les méthodes ALE (Arbitraire Lagrange Euler) sont couramment utilisées pour calculer la dynamique des écoulements. Elles bénéficient, d'une part, d'un remarquable ratio précision sur nombre d'éléments de discrétisation, et d'autre part ,elles permettent de préserver les interfaces inter-matériaux. En contrepartie, elles engendrent des mailles de formes quelconques. L'opérateur de diffusion discrétisé sur ce maillage doit donc être adapté à cette contrainte, ainsi qu'au faible nombre d'éléments de discrétisation.
En conséquence, l'objectif de ce travail est de proposer une discrétisation robuste et précise de cet opérateur sur maillages quelconques. En ce qui concerne la robustesse, de récents travaux ont montré qu'assurer la positivité de la solution numérique permettait de mener à leurs termes les simulations. Pour la précision, la montée en ordre est le moyen le plus adapté.

Objectif de la thèse :

Dans un premier temps, le(a) doctorant(e) proposera une méthode en 1D pour concilier ces deux objectifs (précision, robustesse), en adaptant les travaux de B. Després de l'Université Paris VI aux maillages non-uniformes. Le cas de coefficients de diffusion discontinus sera également considéré.
Dans un second temps, il(elle) mènera l'analyse et la validation numérique de ce schéma afin de s'assurer du respect des objectifs cités précédemment.
Il(elle) formalisera enfin l'extension de ce schéma aux dimensions 2 et 3, en considérant éventuellement des maillages curvilignes. La validation numérique nécessitera le codage d'une méthode positive au moins d'ordre 3 pour la diffusion en 2D.

Déroulement de la thèse :

La première année est consacrée à la bibliographie (2 mois pour s'approprier l'état de l'art sur le sujet, fourni par les encadrants, puis une veille tout au long de la thèse), à l'extension des travaux de B. Després sur des maillages non-uniformes en 1D, à l'analyse numérique du schéma obtenu et sa mise en œuvre informatique (6 mois, y compris les tests numériques).
La deuxième année est consacrée à l'extension en 2D du schéma obtenu en première année : analyse numérique (5 mois), programmation (5 mois), tests numériques (2 mois).
La troisième année est dédiée à la rédaction d'article(s) (4 mois) et du manuscrit de thèse (6 mois), ainsi qu'à la préparation de la soutenance (2 mois).

Directeur de thèse et école doctorale :
BLANC Xavier
Ecole doctorale Sciences Mathématiques de Paris –
ED 386 / Sorbonne Université (Université Paris Diderot)

Contact :
LABOURASSE Emmanuel
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – emmanuel.labourasse@cea.fr

Sujet :

Génération et adaptation de maillages mixtes à l'aide de métriques orientées

Contexte :

Le travail de thèse s'inscrit dans le contexte de la simulation numérique de phénomènes physiques sur des architectures modernes de calculateurs, et plus précisément dans la génération automatique de maillages mixtes. Générer des maillages adaptés aux problèmes physiques complexes est une activité délicate qui, en pratique, est effectuée partiellement de façon manuelle et nécessite un temps ingénieur conséquent. En proposant une solution automatique de maillage mixte basée sur la connaissance d'informations de tailles et d'orientations dans le domaine à discrétiser, nous envisageons de réduire ce temps ingénieur.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est de fournir un cadre de génération de maillages mixtes (comportant à la fois des hexaèdres et des tétraèdres en 3D) adapté d'une part aux phénomènes physiques étudiés et d'autre part aux architectures de calculateurs modernes. Pour cela, le cadre proposé sera basé sur l'extension de techniques d'adaptation de maillages simpliciaux. Celles-ci sont robustes et permettent intrinsèquement de contrôler la densité, l'orientation et la qualité du maillage. En considérant les travaux récents sur les champs d'orientations 3D, elles peuvent être complétées d'une information de direction pour générer des maillages volumiques mixtes voire totalement quadrangulaires dans le cas surfacique. Une telle approche est une solution viable pour contrôler automatiquement la taille et l'orientation de couches de quadrilatères et d'hexaèdres dans des zones d'intérêt (couches minces en aérodynamique externes, interfaces multi-fluides en hydrodynamique par exemple).

La génération de maillages mixtes est un problème algorithmiquement complexe et potentiellement difficile à paralléliser. L'utilisation de techniques d'adaptation de maillages offre au moins deux avantages majeurs :

1.- L'ensemble des traitements peut reposer sur un unique opérateur topologique local, dit de cavité. C'est donc la seule opération complexe à optimiser selon les architectures matérielles cibles par exemple

2.- Un découpage net en deux phases synchrones successives sur lesquelles une parallélisation par extraction de tâches indépendantes est possible. Ces deux phases sont la définition de points à insérer et la modification du maillage – via l'opérateur de cavité – à proprement parler.

D'un point de vue mathématique, tous les développements reposeront sur le socle théorique des espaces métriques Riemanniens.

Déroulement de la thèse :

Première année : la thèse débutera par une étude bibliographique des algorithmes d'adaptation de maillages simpliciaux et de génération de champs d'orientation. Suivra la définition d'une première approche pour le cas surfacique afin d'obtenir des maillages composés uniquement de quadrilatères dont la taille et l'orientation sera contrôlée. L'ensemble de ces travaux sera réalisé en gardant à l'esprit le caractère parallèle (concurrent et distribué) que doivent avoir les solutions.

Deuxième année : Suivant les résultats obtenus en première année, les travaux se poursuivront alors selon deux axes complémentaires : (1) L'extension de l'approche au cas volumique en considérant des géométries de nature diverses et potentiellement non-variétés ; (2) La mise en œuvre d'un prototype validant les choix effectués d'un point de vue parallèle.

Troisième année : Les solutions de maillages proposées seront validées expérimentalement en considérant des problèmes en aérodynamique externe et en hydrodynamique, avant la rédaction du manuscrit final de thèse

Directeur de thèse et école doctorale :
LOSEILLE Adrien
Ecole doctorale Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC
ED 580 / Université Paris-Saclay

Contact :
LEDOUX Franck
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél : 01 69 26 40 00 – franck.ledoux@cea.fr

Sujet :

Support outillé pour le débogage de modèles métiers

Contexte :

Le développement de codes de simulation pour le calcul haute performance est une activité complexe, fortement sujette aux erreurs, difficile à vérifier et à valider. Pour accompagner les mathématiciens et physiciens dans le développement de leurs codes de simulation, le CEA/DAM dispose d'une longue expérience dans le développement d'outils et de méthodes innovants. Dans ce contexte, le CEA/DAM a lancé deux projets basés sur la définition de langages spécifiques au domaine (DSL), en utilisant les outils et les méthodes de l'ingénierie dirigée par les modèles. Les DSL devraient aider les utilisateurs dans le développement de leur code de simulation, grâce à la séparation des préoccupations et à l'augmentation du niveau d'abstraction. Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans cette activité.

Objectif de la thèse :

Les principaux objectifs de cette thèse sont de compléter les environnements de modélisation actuels associés aux DSL avec des outils de débogage avancés.
Nous proposons d'explorer la définition d'événements spécifiques à un domaine qui seront définis en tant que propriétés sur l'état d'exécution d'un modèle, et de déclencher divers comportements lorsqu'une propriété est activée. Les comportements possibles comprennent :
- la définition de points d'arrêt (c'est-à-dire faire une pause dans l'exécution), puis poursuivre l'exécution pas à pas (avant / arrière);
- l'exécution d'outils de visualisation spécifiques au domaine sur l'état actuel, l'historique associé ou le chemin d'exécution parcouru;
- l'exécution de comportements spécifiques pour tracer, enregistrer et visualiser le reste de l'exécution.

le(a) doctorant(e) explorera la définition d'un nouveau méta-langage pour compléter la définition d'un DSL par la spécification des événements spécifiques au domaine. Il(elle) proposera également une approche efficace, mais non intrusive, pour interpréter ces événements lors de l'exécution.

Déroulement de la thèse :

La première année sera d'abord consacrée à l'état de l'art, à la compréhension des fonctionnalités de débogage actuelles fournies par le studio GEMOC, à la définition des principales études de cas pour la thèse, puis à la définition provisoire du paradigme sous-jacent au méta-langage.
La deuxième année sera consacrée à la mise en œuvre et à l'évaluation du méta-langage, y compris la compilation des événements, et leur interprétation à l'exécution (i.e. pendant la simulation). Différentes itérations seront nécessaires sur la définition du méta-langage, en fonction du résultat des évaluations.
Au cours de la troisième année, le(a) doctorant(e) mettra en œuvre des expérimentations utilisateur : il(elle) fournira le méta-langage aux utilisateurs finaux, évaluera la pertinence de sa syntaxe, son expressivité et son efficacité au moment de l'exécution. Il(elle) fera évoluer le méta-langage pour s'adapter aux résultats des expérimentations de l'utilisateur. La troisième année sera également consacrée à la rédaction du manuscrit de thèse et à la publication

Directeur de thèse et école doctorale :
COMBEMALE Benoît
Ecole doctorale Mathématiques, Informatique, Télécommunications de Toulouse (MITT) – ED 475 / Université Toulouse

Contact :
LELANDAIS Benoît
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél : 01 69 26 40 00 – benoit.lelandais@cea.fr

Sujet :

Mesure et analyse du gradient spatial du champ d'ondes sismiques pour la caractérisation de sources sismiques à distance régionale en milieu complexe

Contexte :

Dans le cadre de ses missions de surveillance et d'analyse de l'environnement, le CEA/DIF 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. Le travail de thèse actuel de R. Rusch (2017-2020) vise à caractériser les performances de l'antenne sismique du LSBB vis-à-vis de la mesure du mouvement de rotation.

Objectif de la thèse :

Ce sujet se place dans la continuité de ce travail de recherche et a pour vocation d'étudier l'apport de la mesure 6 composantes (6C : 3 translations + 3 rotations) par un capteur unique, et d'une façon plus générale, du gradient spatial du champ d'onde sismique pour la discrimination des propriétés de la source. Après s'être intéressé aux performances des instruments de mesures actuels du gradient spatial sismique, deux domaines de fréquence seront examinés. A basse fréquence, les méthodes d'inversion du mécanisme au foyer fournissent une information précieuse sur le tenseur des moments sismiques à la source et donc sur sa géométrie. Même si d'un point de vue théorique, les travaux de S. Donner et al. ont mis en évidence un gain de résolution important sur la profondeur et les composantes du tenseur des moments, à ce jour aucune application à des données réelles n'a permis de valider ces résultats. Le premier objectif de ce travail est donc d'appliquer ces développements théoriques à des données réelles, notamment en collaboration avec un ou plusieurs partenaires internationaux (collaboration à mettre en place BGR et LLNL). A haute fréquence, l'inversion du tenseur des moments est souvent difficile voire impossible en raison de la méconnaissance de la fonction de Green source-récepteur. De nombreuses méthodes de discrimination sont basées sur l'étude de la distribution de l'énergie du signal sismique dans le domaine temps-fréquence-phase : rapport Mb/Ms, rapport spectraux Pn/Lg, etc... Elles utilisent comme données d'entrée le mouvement de translation du sol mesuré par des sismomètres dans les 3 directions Nord, Est et verticale. Le second objectif de ce travail de thèse est d'identifier dans quels cas une mesure 6C du mouvement sismique et par extension, la connaissance du gradient sismique, permet d'améliorer l'identification de la nature de la source sismique.

Déroulement de la thèse :

Dans une première partie, la sensibilité des caractéristiques du gradient sismique aux paramètres de la source sera étudiée sur des données issues de modélisations numériques. Ce travail de recherche s'appuiera sur les capacités de simulation numérique du CEA/DAM et notamment la simulation de champ d'ondes sismiques en milieu aléatoire pour la partie Haute Fréquence. Les données numériques obtenues seront ensuite comparées aux connaissances actuelles dans le domaine, tant en termes de physique de la propagation de ondes, que des méthodes de traitement du signal. Dans un deuxième temps, ces simulations seront utilisées pour développer et valider de nouveaux outils de discrimination de la source, d'estimation de son énergie mais aussi de sa nature, notamment de son mécanisme. Enfin, les performances de ces nouvelles méthodes seront évaluées sur des données réelles issues d'expérience spécifiques réalisées en collaboration avec le Laboratoire Souterrain Bas Bruit (LSBB), ou avec des partenaires extérieurs.

En plus de connaissances solides en sismologie et propagation des ondes, le candidat devra posséder de bonnes bases en traitement du signal, d'utilisation de l'outil informatique, avec un intérêt certain pour les méthodes de simulation numériques.

Directeur de thèse et école doctorale :
GAFFET Stéphane
Ecole doctorale Sciences Fondamentales et Appliquées – (SFA) – ED 364 / Université Côte d'Azur

Contacts :
SEBE Olivier
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – olivier.sebe@cea.fr

OPTIQUE - OPTIQUE LASER - OPTIQUE APPLIQUEE

Sujet :

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

Contexte :

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

Objectif de la thèse :

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

- équipées de matériaux amplificateurs de natures différentes pour optimiser la bande de gain,

- équipées de matériaux composites collés pour optimiser le refroidissement,

et de proposer des méthodes de refroidissement alternatives.

Déroulement de la thèse :

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

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

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

Directeur de thèse et école doctorale :
CAMY Patrice
Ecole doctorale Physique, Sciences de l'ingénieur, matériaux, Énergie (ED 591, PSIME)
Normandie Université

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

Sujet :

Etude d'un nuage de particules micrométriques issu de la face arrière d'une plaque métallique soumise à un choc

Contexte :

Le sujet proposé porte sur l'étude du comportement de la face arrière d'une plaque métallique soumise à un choc de plusieurs GPa à plusieurs dizaines de GPa. La sollicitation peut avoir pour origine une impulsion lumineuse nanoseconde de plusieurs joules provenant d'un laser de puissance (GCLT au CEA/DIF, LULI à l'Ecole Polytechnique, ENSAM-PIMM à Paris) ou bien l'action d'un explosif.

La face arrière, située à l'opposé de cette sollicitation, peut produire un nuage de particules selon différents mécanismes, isolés ou combinés : le microjetting (micro-charges creuses découlant des stries d'usinage), le micro-écaillage (croisement de détentes) et le passage en fusion (en choc ou détente). Ce nuage peut ensuite se déployer dans le vide ou bien entrer en interaction avec un gaz et révéler ou modifier ses caractéristiques intrinsèques.

Objectif de la thèse :

Cette thèse permettra d'approfondir les thématiques suivantes :

1/ Caractérisation expérimentale de la formation et de la fragmentation d'un microjet lors d'un premier ou second choc grâce, entre autres, aux récents développements de l'imagerie laser ou de l'imagerie radiographique X basse énergie (100 keV) ;

2/ Simulation de l'interaction entre une lumière laser et le nuage ou jet de particules (et confrontation expérimentale) :

- Simulation physique de type modèle de diffusion : un premier modèle existe mais il doit être amélioré ;
- Simulation électromagnétique : interaction entre une lumière (laser optique, voire radiographique) et le nuage ou le jet de particules. Les moyens actuels de calcul nous donnent la possibilité de simuler de manière discrète les équations de Maxwell en 2D ou en 3D pour anticiper l'interaction d'une onde électromagnétique proche infrarouge avec les différents éléments issus de l'endommagement de la face arrière.

Déroulement de la thèse :

La thèse comportera un volet théorique, un volet expérimental et un volet de développement de codes d'analyse de signaux expérimentaux.

Le volet théorique portera sur la modélisation de l'interaction particule / signal optique, à base de modèles de diffusion ou de calculs électromagnétiques, en prenant en compte la longueur d'onde. Le(a) doctorant(e) devra approfondir ces aspects. Des résultats d'expériences passées sont disponibles et lui permettront dans un premier temps de confronter la théorie à l'expérience.

Dans un second temps et en parallèle, le volet expérimental de la thèse consistera à proposer et participer à la conception d'expériences innovantes permettant entre autres des visualisations à l'aide d'imagerie laser picoseconde. Le(a) doctorant(e) / le doctorant assurera le suivi de la réalisation de ces expériences ainsi que le dépouillement et l'analyse des signaux acquis.

A ce titre, la doctorante / le doctorant développera des codes d'analyse des signaux.

Directeur de thèse et école doctorale :
Pas encore définis à ce jour

Contacts :
BURIE Jean-René
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – jean-rene.burie@cea.fr

Sujet :

Dimensionnement de sources térahertz produites par des plasmas d'air

Contexte :

La spectroscopie dite non-linéaire consiste à exploiter les propriétés de conversion en fréquence d'un milieu développant des non-linéarités au passage d'un champ optique pour en adapter le rayonnement à l'analyse de matériaux cibles. Un axe fort de recherche actuelle en photonique est la capacité de pouvoir mesurer tout un ensemble de signatures spectrales caractérisant des matériaux à des distances éloignées de ces derniers, à partir de plasmas créés par des impulsions ultra brèves laser dans l'air, ces plasmas pouvant émettre des champs électromagnétiques secondaires très intenses dans de larges domaines spectraux allant des ondes millimétriques aux ondes optiques.
Dans ce contexte, la spectroscopie térahertz (THz) non-linéaire est devenue un outil important pour l'étude des molécules complexes en phase condensée. De nombreux agents chimiques, biologiques, radiologiques, nucléaires et explosifs présentent des caractéristiques spectrales dans cette région en fréquence, qui offre donc un fort potentiel pour les applications de sécurité. De faible énergie, les photons THz excitent uniquement les porteurs libres, les phonons optiques dans les solides et certaines vibrations et rotations moléculaires. La spectroscopie THz offre un large éventail d'applications, outre la sécurité, par exemple en imagerie médicale ou pour la surveillance de l'environnement. De nos jours il existe une demande croissante de sources de rayonnement THz intenses pour ces applications, en particulier pour une détection à distance. Une contrainte importante en spectroscopie est également de couvrir des largeurs de bande spectrales importantes afin de mesurer autant de signatures moléculaires que possible.
Le projet ANR/ASTRID ALTESSE (2015 - 2018), basé sur un partenariat entre le CEA-DIF, le CELIA, l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL) et la laboratoire DTU/Fotonik de l'Université Technique du Danemark, a récemment permis de révéler le riche potentiel d'une spectroscopie térahertz (THz) résolue en temps utilisant un plasma d'air formé par des impulsions laser femtosecondes à deux couleurs. Des percées scientifiques et technologiques majeures ont pu être réalisées, comme la faisabilité d'une spectroscopie THz directe d'explosifs à une distance éloignée de 15 mètres de la source laser, la première spectroscopie d'absorption de quelques THz jusqu'à l'infrarouge moyen (< 60 THz), ou encore la découverte d'une forte croissance de l'énergie électromagnétique rayonnée produite lorsque l'on augmente la longueur d'onde laser du proche au moyen infrarouge.

Objectif de la thèse :

Le travail de cette thèse s'inscrit dans le nouveau projet MATURATION ALTESSE 2 (2019 – 2022) qui se focalisera sur les moyens de fiabiliser cette technologie et d'accroitre l'émission THz par des plasmas d'air utilisant de nombreux harmoniques laser. Les recherches seront orientées sur le contrôle et l'amplification de spectres THz émis par des plasmas atmosphériques, en particulier par une étude quantitative du régime de filamentation laser capable d'autoguider des impulsions femtosecondes sur plusieurs mètres dans l'air et de produire des plasmas étendus au fort pouvoir émissif. Calibrer l'émissivité de ces plasmas d'air en utilisant des impulsions optiques femtosecondes multi-cycles ou proches d'un cycle optique permettra de mieux appréhender le terme source d'une spectroscopie menée en laboratoire, puis à ciel ouvert. Ce champ de la physique requiert un travail de modélisation théorique et numérique novateur tant pour les aspects fondamentaux qu'appliqués, puisque les études de modélisation seront intégrées à un programme expérimental pour lequel il s'agira de proposer les solutions les plus performantes en termes d'interaction laser-matière et de rayonnement produit. Un volet important des études consistera à simuler différentes géométries d'un plasma d'air pour moduler les spectres THz produits.

Déroulement de la thèse :

La première année de thèse consistera à acquérir les connaissances bibliographiques nécessaires au travail proposé. L'étudiant(e) sera invité(e) à modéliser analytiquement la propagation d'une ou plusieurs impulsions laser femtosecondes couplées dans un plasma d'air et de retrouver les caractéristiques fondamentales d'émission de champs térahertz par des mélanges de plusieurs « couleurs » laser. Des scénarios et géométries de plasmas originaux optimisant la production de rayonnement pourront être proposés. En parallèle l'étudiant(e) commencera à se familiariser avec le code de propagation undirectionnelle CUP3D disponible au CEA, qui permet de simuler la propagation d'impulsions laser ultrabrèves et la génération de plasma sur de longues distances atmosphériques. La deuxième année de thèse aura pour objectif de tester les schémas d'interaction proposés par l'étudiant(e) à partir de simulations utilisant ce code sur les super-calculateurs massivement parallèles du CEA-DIF. L'étudiant(e) acquerra ainsi une formation dans le calcul haute performance. Il (elle) sera amené(e) à participer aux campagnes expérimentales du projet ALTESSE 2 et à en interpréter les résultats. La troisième année de thèse sera consacrée à la rédaction d'articles et à celle du mémoire de thèse. Le (La) candidat(e) devra posséder une formation avancée en optique non-linéaire, en physique des plasmas et/ou en calcul scientifique.

Directeur de thèse et école doctorale :
BERGE Luc
Ecole doctorale Ondes et Matière (OM) – ED 572 / Université Paris Saclay

Contacts :
BERGE Luc
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – luc.berge@cea.fr

Sujet :

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

Contexte :

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

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est d'étudier le comportement d'un amplificateur laser en régime de saturation :
- en fonction de l'élargissement homogène et/ou inhomogène des raies d'émission laser de matériaux vitreux et cristallins,
- en cherchant les limites de l'approche « fonction de transfert »,
afin de proposer des méthodes de compensation spectrale adaptable aux changements de régime.

Déroulement de la thèse :

Il s'agira, dans le cadre d'une démarche scientifique classique, de développer des études analytiques, numériques et expérimentales pour valider des concepts de compensation de la courbe de gain d'amplification en régime de saturation dans l'objectif de parvenir à un système réellement exploitable dans le contexte exigeant des lasers de puissance.
Ce sujet permettra au(à la) candidat(e) de mettre à profit ou d'élargir ses compétences en laser, fibres optiques, mises en forme et caractérisation d'impulsions,…
Les développements seront menés au sein d'une unité du CEA/CESTA près de Bordeaux travaillant sur les nouvelles technologies laser, en particulier dans le cadre d'un projet soutenu par la région Nouvelle-Aquitaine. Ils se feront en collaboration avec le CIMAP à Caen.

Directeur de thèse et école doctorale :
BRAUD Alain
Ecole doctorale Physique, Sciences de l'ingénieur, matériaux, Énergie (ED 591, PSIME)
Normandie Université

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

PHYSIQUE DES ACCELERATEURS

Sujet :

Focalisation d'un faisceau intense d'électrons relativistes pour la radiographie éclair

Contexte :

La radiographie éclair employée notamment dans le cadre du programme Simulation du CEA/DAM, utilise des accélérateurs d'électrons relativistes (~20 MeV) pulsés (< 100ns) et à fort courant (~2 kA) comme EPURE, installée sur site de Valduc. Le rayonnement X est produit par l'interaction du faisceau d'électrons avec une cible de conversion métallique. Le faisceau d'électrons est focalisé sur la cible par un champ magnétique statique produit par un solénoïde, et la taille de la tache focale électronique obtenue est de l'ordre du millimètre. Diminuer cette taille permettrait d'améliorer la résolution des radiographies ; cependant, un phénomène d'émission d'ions par la cible fortement chauffée par le faisceau d'électrons perturbe la focalisation de celui-ci, et *in fine* augmente la taille de la source d'émission des rayons X. D'autre part, le CEA mène des études prospectives sur la possibilité de générer des impulsions de rayons X successives à partir d'un accélérateur qui enverrait plusieurs paquets d'électrons sur la cible de conversion. Dans ce cas, les paquets d'électrons successifs devraient traverser une plume de plasma qui perturberait aussi leur focalisation.
Du point de vue expérimental, le CESTA dispose du moyen FEVAIR délivrant un faisceau représentatif. Un certain nombre d'outils ont été développés ou sont en cours de réalisation pour pouvoir caractériser la focalisation du faisceau, ainsi que sa propagation dans un plasma maitrisé.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est d'étudier la focalisation d'un faisceau intense d'électrons relativistes dans le contexte décrit ci-dessus, ainsi que des solutions innovantes pour l'améliorer.

Déroulement de la thèse :

Le(a) candidat(e) participera d'abord à la conception, la réalisation et l'interprétation d'expériences dédiées à la compréhension et la maîtrise des processus décrits ci-dessus. Les expériences seront menées en particulier sur le moyen FEVAIR du CESTA, et éventuellement sur l'installation EPURE au CEA/Valduc. Le(a) candidat(e) se familiarisera avec les techniques et les moyens expérimentaux du laboratoire, ainsi que la physique concernée. Les diagnostics mis en œuvre couvriront les domaines de l'électrotechnique, de l'optique, et du rayonnement X. L'interprétation pourra s'appuyer sur l'utilisation des codes électromagnétiques et Particle In Cell disponibles au laboratoire.
Une attirance certaine pour la physique expérimentale est nécessaire, des connaissances en électromagnétisme, physique relativiste et des plasmas sont souhaitables.

Directeur de thèse et école doctorale :
Fabien DORCHIES (laboratoire CELIA)
Ecole Doctorale Sciences Physiques et de l'Ingénieur
Université de Bordeaux
351 cours de la Libération – Bât.A10 – RDC
33405 TALENCE

Contact :
FOURMENT Claude
CEA/CESTA - CS60001 - 33116 LE BARP CEDEX
Tél. : 05.57.04.40.00 – claude.fourment@cea.fr

PHYSIQUE DU SOLIDE, SURFACES & INTERFACES

Sujet :

Etude expérimentale des microstructures et transitions de phase en conditions extrêmes

Contexte :

L'étude des relations microstructure-propriétés est un domaine considérable de l'ingénierie des matériaux. C'est par exemple leur microstructure martensitique, due à un changement de phase dans le fer, qui est responsable de la dureté des aciers trempés. Les cellules à enclumes de diamants chauffées par laser permettent d'induire des transitions de phase (fusion, solidification, transformation solide-solide) sous conditions extrêmes dans les matériaux. L'effet des transitions de phase sur la microstructure en conditions extrêmes est maintenant possible grâce aux nouvelles techniques de préparation et caractérisation in situ d'échantillons (usinage laser, FIB, tomographie…). Ces mesures donnent des informations sur les mécanismes mis en jeu, et permettent de synthétiser des matériaux ayant des propriétés particulières. Les applications vont de la physique fondamentale au design de matériaux ou à l'étude de systèmes naturels comme le noyau de la Terre qui est son enveloppe la plus profonde et est constituée essentiellement de fer.

Objectif de la thèse :

Les microstructures induites par le polymorphisme sous haute pression et haute température (du fer – intérêt géophysique - et du titane – intérêt technologique) seront étudiées en cellule à enclumes de diamants, en utilisant le rayonnement X synchrotron. Cela permettra de caractériser les mécanismes des transitions de phase impliquées, et de synthétiser des échantillons aux microstructures performantes – par exemple, permettant de nouvelles mesures sur des phases d'intérêt géophysique.
Le(a) candidat(e) doit avoir les connaissances de base en physique du solide et des matériaux, éventuellement en géophysique, et un intérêt pour la physique expérimentale.

Déroulement de la thèse :

L'étudiant(e) participera d'abord à une campagne expérimentale de diffraction de rayons X (cellule diamant, chauffage résistif et laser) au synchrotron Soleil et analysera les données (analyse poudre et multigrains) pour affiner les domaines thermodynamiques d'intérêt. Ceci lui permettra de déposer des projets de recherche sur ce grand instrument, ainsi que l'ESRF, en utilisant éventuellement des techniques complémentaires (tomographie, spectroscopie X) pouvant éclairer les mécanismes des transitions de phases étudiées.
Cette thèse se déroulera au CEA/DIF de Bruyères le Châtel (Essonne) et au Synchrotron Soleil (Saint Aubin, Essonne). le(a) doctorant(e) sera immergé(e) au sein d'une équipe de recherche spécialisée dans la technique de la cellule à enclumes de diamants. Nous collaborons avec les scientifiques de la ligne de lumière Psiché du Synchrotron Soleil, qui est dédiée à la caractérisation des matériaux sous conditions extrêmes (diffraction et tomographie).

Directeur de thèse et école doctorale :
DEWAELE Agnès
Ecole doctorale Physique en Ile de France (PIF ED 564 / Université Paris Saclay
Collaboration avec GUIGNOT Nicolas (Synchrotron Soleil)

Contacts :
DEWAELE Agnès
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – agnes.dewaele@cea.fr

Sujet :

Calcul quantique des transitions de phases du fer : influence du magnétisme et des corrélations électroniques

Contexte :

De nombreux solides présentent de fortes interactions électroniques répulsives, telles que les métaux de transitions et leur oxydes, où les systèmes contenant des orbitales *f* (lanthanides). Ces interactions sont notamment responsables de la localisation des électrons sur les atomes, du magnétisme, et de la transition de Mott due à leur délocalisation sous pression. La description ab-initio de cette localisation est, d'un point de vue fondamental, un défi, car il s'agit d'un problème à N corps complexe. La prise en compte de cette localisation est pourtant primordiale pour la modélisation de nombreux systèmes géophysiques à base de fer (cœur de la terre, manteau terrestre), des batteries au lithium, des composés magnétiques, etc.
Par ailleurs, à l'heure actuelle, une description fondamentale et générale de la cinétique des transitions solide-solide est un problème ouvert. Même une simple description thermodynamique des transitions de phases dans le fer fait partie des problèmes non résolus, puisque à la complexité des interactions électroniques entre électrons *d* ou *f* s'ajoute l'importance des effets de température (phonons, entropie). Une telle description est indispensable pour comprendre le diagramme de phase ou la structure du fer dans les conditions du noyau terrestre [*Hausoel A. et al., Nature Comm. 2017 ;* Pourovskii *L.V. et al., New J. Phys. 2017*].

Objectif de la thèse :

Le sujet de stage se focalisera sur le calcul de la stabilité thermodynamique des phases du fer afin d'en modéliser les phases en fonction de la pression et de la température. Nous utiliserons une implémentation récente [*Amadon B. et al., Phys. Rev. B, 2008 ; Amadon B. and al., J. Phys. Cond. Mat. 2012 ; Amadon B. et al. Phys. Rev. B, 2014 ; Gonze X. et al., CPC 2016*] dans le code ABINIT de la combinaison de la Théorie de la Fonctionnelle de la Densité (DFT), de la théorie du Champ Moyen Dynamique (DMFT, résolue par une méthode de Monte Carlo Quantique) qui permet de prendre en compte les fortes interactions électroniques locales. Cette méthode a montré sa précision pour décrire les propriétés structurales par exemple des actinides [*Amadon B., Phys. Rev. B, 2016*]. Il s'agira d'évaluer les contributions relatives de l'énergie interne, et des entropies des électrons (due à la localisation des électrons) et des phonons et leur interprétation en terme d'interactions entre orbitales et de répulsion électronique.

Déroulement de la thèse :

On étudiera d'abord l'équation d'état du Fer à basse température dans le domaine où l'entropie est négligeable. Il s'agira de traiter dans un formalisme cohérent le magnétisme et les fortes interactions électroniques. Suivant les goûts du(de la) candidat(e), une partie de développement de code sera possible. Dans un deuxième temps, on s'intéressera aux effets de températures et on évaluera les contributions dominantes (électroniques ou phonons) lors des différentes transitions de phases et en fonction des conditions de température et de pression.

Directeur de thèse et école doctorale :
AMADON Bernard
Ecole doctorale Physique en Ile de France (PIF) – ED 564 / Université Paris Saclay

Contacts :
AMADON Bernard
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – bernard.amadon@cea.fr

Sujet :

Influence des transitions de phase de l'étain sur l'éjection de matière

Contexte :

Le débouché d'un choc sur la surface libre d'un matériau se caractérise par l'apparition de deux phénomènes principaux qu'il convient de bien appréhender : le micro-jetting et le micro-écaillage. En effet, ces deux phénomènes contribuent à l'éjection de particules très véloces dans le milieu environnant qui peuvent fortement influer sur le fonctionnement de systèmes complexes comme les cibles des lasers de puissance mais également perturber les systèmes de mesure associés à une expérience. Le micro-jetting est lié à la présence de défauts de surface comme, par exemple, une rayure : la réflexion du choc incident sur ces défauts donne naissance au développement d'instabilités de type Richtmyer-Meshkov qui finissent par se briser en petits fragments qui se dispersent dans le milieu ambiant. Le micro-écaillage, quant à lui, est lié à la mise en tension et à la fracturation au sein même du matériau après la réflexion du choc incident. Bien que théoriquement distincts, ces deux phénomènes sont en fait indissociables car le micro-jetting induit nécessairement du micro-écaillage.
Grâce à la combinaison d'expériences et de simulations allant de l'atome à la mécanique des milieux continus, la phénoménologie générale du micro-jetting et du micro-écaillage est assez bien comprise dans le cas le plus simple : celui d'un matériau parfaitement liquide. Mais il s'agit là d'un cas idéal, la fusion sous choc n'étant jamais parfaite et ce, particulièrement dans le cas de matériaux présentant des cinétiques de changement de phases lentes par rapport à la durée caractéristique des processus d'éjection.

Objectif de la thèse :

Le but de cette thèse est donc de franchir une étape importante en intégrant dans la compréhension et dans la description théorique de l'éjection la présence de régions imparfaitement fondues. Ce travail combinera des simulations de dynamique moléculaire classique et de mécanique des milieux continus qui, après validation sur des expériences réalisées au laboratoire, serviront de base à une formulation théorique des processus ainsi observés.

Déroulement de la thèse :

Le travail s'effectuera au sein d'une équipe possédant une solide expérience tant dans le domaine de la simulation que de l'expérimentation. Les codes de calculs qui seront utilisés sont extrêmement performants et parfaitement adaptés aux supercalculateurs de nouvelles générations sur lesquels seront réalisées les simulations. Ces supercalculateurs sont parmi les plus puissants d'Europe et permettent de simuler et de traiter des systèmes contenant plusieurs centaines de millions d'atomes ou de mailles. Le matériau retenu est l'étain car il peut adopter des phases cristallographiques très variées selon les conditions thermodynamiques ; il est de plus relativement simple à expérimenter et bien maîtrisé du point de vue du calcul.

Directeur de thèse et école doctorale :
JOLLET François
Ecole doctorale Physique et Chimie des Matériaux – ED 397 / Sorbonne Université (UPMC)

Contacts :
DURAND Olivier
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – olivier.durand@cea.fr

PHYSIQUE MESOSCOPIQUE

Sujet :

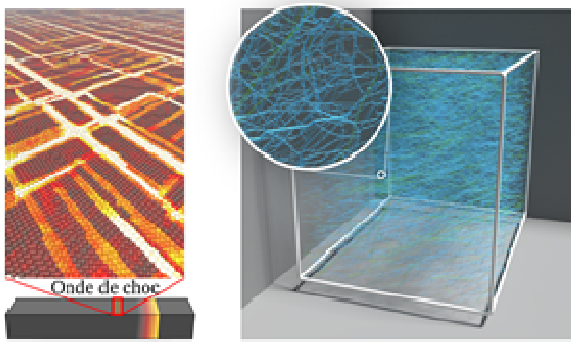
Plasticité sous choc : couplage entre dynamique moléculaire et dynamique des dislocations

Contexte :

La déformation irréversible des métaux est essentiellement due au déplacement de défauts linéaires du cristal appelés dislocations. Lorsque la densité de dislocations augmente, les interactions entre dislocations réduisent leur mobilité, entrainant une augmentation de la résistance du métal (augmentation de la limite d'écoulement). Un choc intense sur un métal cristallin induit une très forte densité de dislocations. Cette microstructure n'est toutefois pas stable : les dislocations interagissent (notamment par annihilation de dislocations) ce qui dans ce cas peut conduire à une diminution de la densité de dislocations. La prévision de la microstructure post-choc, de son évolution temporelle et donc de la limite d'écoulement est le cadre général de cette thèse. Cette étude s'insère dans le cadre, plus général d'une modélisation multiéchelle, dont le but est de définir, via des simulations numériques de l'atome au polycristal, une loi de comportement des métaux sous très hautes pressions.

Objectif de la thèse :

Le but de cette thèse est d'analyser la microstructure produite par le choc, afin d'en extraire les lignes de dislocations. Le temps caractéristique associé à la création de dislocations sous choc (de l'ordre de 10ps) est très court comparé au temps de relaxation de la microstructure (de l'ordre de la µs). Nous proposons de traiter la création de la microstructure par simulation de dynamique moléculaire, très bien adaptée à la modélisation d'une onde de choc pour ces échelles de temps et d'espace (voir figure, à gauche).



A gauche, déformations laissées par les dislocations après le passage d'une onde choc (bandes claires) lors d'une simulation de dynamique moléculaire (10 millions d'atomes). A droite, modélisation par dynamique des dislocations de la déformation plastique dans un cube de 10µm au cube

Déroulement de la thèse :

Une première phase consistera à analyser la microstructure produite en termes d'histogrammes de systèmes de glissement activés, de caractère de dislocation, de jonction, etc. Cette phase implique l'utilisation (et dans une moindre mesure la modification) d'un code de dynamique moléculaire (STAMP, voir figure de gauche), utilisable sur calculateur massivement parallèle pour produire des microstructures sous très hautes vitesses de déformation. Un code dédié à l'extraction des dislocations dans les simulations de dynamique moléculaire (OVITO) sera également utilisé.

Une deuxième phase consistera à reproduire une microstructure équivalente (mêmes histogrammes) par l'utilisateur d'un code de dynamique de dislocation (MobiDiC, voir figure de droite). Une attention particulière sera portée à la définition de la loi de vitesse de dislocation, que l'on pourra extraire des simulations de dynamique moléculaire.

Lors d'une troisième phase, l'évolution (aux temps courts) de la structure de dislocations sera comparée entre dynamique moléculaire et dynamique des dislocations.

Directeur de thèse et école doctorale :
Pas encore définis à ce jour

Contact :
DENOUAL Christophe
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél : 01 69 26 40 00 – christophe.denoual@cea.fr

Sujet :

Elaboration d'une loi de comportement élasto-plastique en grandes transformations : prise en compte de l'anisotropie induite dans la modélisation du comportement d'un matériau métallique polycristallin

Contexte :

Le comportement élasto-plastique d'un matériau métallique polycristallin ayant subi de grandes déformations présente un caractère anisotrope du fait notamment d'un écrouissage orienté en fonction des directions du chargement mais également de l'évolution de sa texture (distribution des orientations cristallines).
La rotation des grains (monocristaux) avec la déformation tend en effet à concentrer les orientations cristallines dans des directions privilégiées ce qui accentue l'anisotropie de la réponse globale du polycristal et ce, d'autant plus que le comportement des monocristaux est lui-même fortement anisotrope.
Une description précise du comportement élasto-plastique macroscopique de tels matériaux implique d'intégrer dans la loi de comportement une modélisation de cette anisotropie induite et de son évolution au cours du chargement.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est l'élaboration d'une loi de comportement élasto-plastique utilisable en grandes transformations qui décrive l'évolution de l'anisotropie au cours de la déformation au moyen de variables internes bien choisies et en nombre réduit.
Un premier type de variables doit permettre de caractériser les directions propres de l'anisotropie (axes de symétrie du comportement qui sont a priori confondus avec ceux de la texture). Un deuxième type de variables doit permettre de caractériser la forme des surfaces d'écoulement dans le repère de ces directions propres.
L'identification de ces variables internes et de leurs lois d'évolution sera réalisée en utilisant des résultats de simulations d'agrégats polycristallins menées avec le code de plasticité cristalline développé au CEA/DIF (Coddex).
On s'intéressera à différentes structures cristallines et notamment la structure hexagonale compacte pour laquelle l'anisotropie des monocristaux est forte.

Déroulement de la thèse :

Dans une première étape du travail, le(a) doctorant(e) s'intéressera au cas de chargements monotones possédant des directions propres constantes (dans ce cas, celles-ci sont confondues avec les directions propres de l'anisotropie induite, qui sont donc constantes) :

- Analyse de la forme des surfaces d'écoulement plastique pour différentes quantités de pré-déformation à l'aide du code de plasticité cristalline (stage de Master M2 préparatoire à la thèse) ;
- Formulation d'une loi de comportement à anisotropie évolutive s'appliquant à ces chargements monotones.

Il(elle) abordera dans un second temps la question de la rotation des directions propres d'anisotropie avec celles du chargement :

- Prise en compte dans la loi de comportement à l'aide de variables internes adaptées ;
- Identification des paramètres associés à l'aide de simulations d'agrégats soumis à des chargements bien choisis.

L'existence de « textures limites » stables qui sont généralement atteintes pour des chargements monotones sera mise à profit pour guider la formulation des lois.

Directeur de thèse et école doctorale :
BRENNER Renald
Ecole doctorale Science Mécanique Acoustique, Electronique et Robotique de Paris (SMAER
ED 391 / Sorbonne Université (UPMC)

Contact :
DEQUIEDT Jean-Lin
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – jean-lin.dequiedt@cea.fr

Sujet :

Introduction d'effets de gradient dans un modèle de plasticité cristalline et modélisation du comportement aux joints de grains

Contexte :

Un modèle de plasticité cristalline est développé depuis plusieurs années au CEA/DAM dans le formalisme des grandes transformations élasto-plastiques. La règle d'écoulement, écrite sur chacun des systèmes de glissement de la structure cristallographique considérée, prend comme variable d'écrouissage les densités de dislocations intégrées dans un « modèle de la forêt » généralisé.
L'ajout de termes de gradient à ce modèle est envisagé afin de rendre compte d'effets d'échelle (qui ne sont pas reproduits par la formulation locale actuelle) et notamment de l'incidence de la taille des grains sur la réponse d'un agrégat.
Un premier travail bibliographique a été entrepris en interne sur cette thématique et le formalisme de Gurtin et co-auteurs a été retenu : celui-ci s'appuie sur le fait qu'aux gradients de glissement plastique sont associés des accumulations de dislocations de même signe (dites « dislocations géométriquement nécessaires » ou GND). Une énergie interne (dite « énergie de défauts ») est associée à ces densités GND et on peut dériver des relations de la thermodynamique des micro-forces s'opposant aux gradients des glissements plastiques.

Objectif de la thèse :

L'objectif de la thèse est de poursuivre ce travail d'extension du modèle de plasticité cristalline aux effets non-locaux et de prendre part à son implantation dans le code de plasticité cristalline Coddex développé au CEA/DAM. Les points suivants méritent notamment d'être approfondis :

- L'écriture de conditions aux interfaces en termes de micro-forces surfaciques ou de flux de densités GND ; le(a) doctorant(e) cherchera à établir des liens avec la modélisation des joints de grains sous forme de réseaux réguliers de dislocations.
- L'identification de l'énergie de défauts à partir de considérations physiques sur l'arrangement des dislocations à l'échelle microscopique ; le(a) doctorant(e) pourra s'appuyer sur des calculs bi-dimensionnels de dynamique des dislocations (DD).
- L'extension du formalisme de Gurtin et des conditions de bord associées aux grandes transformations élasto-plastiques.

Déroulement de la thèse :

Une première étape du travail consistera à s'approprier le formalisme des modèles-non-locaux en plasticité cristalline. La signification physique de grandeurs telles que les tenseurs densités de dislocations volumique et surfacique et l'énergie de défauts devra être précisée. Le(a) doctorant(e) proposera des moyens d'identification de l'énergie de défauts (calculs de dynamique des dislocations en configuration bi-dimentionnelle ou autre). Il(elle) tentera également de faire le lien entre la densité de dislocation surfacique et les réseaux de dislocations constituant les joints de grains.
Dans une deuxième étape, le(a) doctorant(e) s'intéressera à l'extension de la modélisation aux grandes transformations élasto-plastiques (se pose notamment la question de la configuration sur laquelle doivent se définir les grandeurs précédentes).

Directeur de thèse et école doctorale :
Pas encore définis à ce jour

Contacts :
DEQUIEDT Jean-Lin
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – jean-lin.dequiedt@cea.fr

PHYSIQUE NUCLEAIRE

Sujet :

Rôle de la force tenseur dans les approches effectives - Application aux noyaux impairs-impairs N=Z

Contexte :

Le monde de l'infiniment petit est régi par les lois de l'interaction forte, l'une des quatre interactions fondamentales à l'origine de l'univers tel que nous le connaissons. Cette dernière est responsable de l'hadronisation des quarks en neutrons et en protons qui est le seul état liés de quarks. L'interaction qui s'exerce entre les nucléons eux-mêmes est le résidu à longue distance (de l'ordre du Fermi!) de l'interaction forte. C'est donc à la physique nucléaire ce que la force de Van der Waals est à la matière condensée. Les symétries fondamentales permettent d'en extraire une forme générale. Ces dernières années, de nombreux travaux ont été réalisés avec pour objectif de relier l'interaction forte (point de vue "haute énergie") à l'interaction nucléaire (point de vue "basse énergie") grâce à la théorie des champs effectifs. En effet, la théorie de l'interaction forte, la chromodynamique quantique (QCD), n'est pas perturbative aux énergies de la physique nucléaire.
Toutefois, il reste à accomplir de nombreux progrès afin d'expliquer la physique des noyaux directement à partir de théories effectives s'inspirant du Lagrangien QCD. La force au sein du noyau est, par définition, une somme d'interactions faisant intervenir un nombre différent de constituants, c.-à-d. de deux à A nucléons, la masse du noyau. Cependant, il existe une hiérarchie : l'interaction entre deux nucléons domine largement ; celle à trois nucléons bien que moins intense est également indispensable pour la description des noyaux. Quant aux interactions entre quatre nucléons et au-delà, il n'y a pas de réponse définitive. L'interaction nucléaire contient plusieurs composantes autorisées par les symétries du problème et classées selon leur action sur les orbitales, l'espace de spin et isospin, par exemple des termes centraux, des termes spin-orbite et des termes tenseurs. L'importance de ces différents termes et leurs rôles varient en fonction de la distance entre les nucléons. En général, trois domaines caractérisent l'interaction nucléaire: la courte, la moyenne et la longue distance. Contrairement à la moyenne et à la longue distance, l'interaction nucléaire manifeste une très forte répulsivité à courte distance.

Objectif de la thèse :

Dans le cadre de sa thèse, le(la) doctorant(e) s'intéressera à la partie tensorielle de l'interaction nucléaire et à son rôle dans la détermination des propriétés des états fondamentaux et excités des noyaux: déformations, masses et énergies d'excitation, spin, isospin etc... Il(elle) étudiera, entre autre chose, son impact sur l'appariement proton-neutron dans les noyaux impairs-impairs N=Z. L'existence de ce type d'appariement et sa manifestation dans les noyaux sont des questions importantes en physique nucléaire.

Déroulement de la thèse :

Pour avancer dans ce projet ambitieux, le(la) doctorant(e) utilisera une approche à N-corps développée au CEA/DIF depuis plusieurs années, la méthode de "mélange de configurations multiparticules-multitrous". Cette approche, bien que très répandue dans d'autres domaines de la physique pour lesquels son application est plus aisée, est nouvelle en physique nucléaire. Elle possède l'avantage de prendre en compte l'ensemble des corrélations présentes dans le noyau (appariement, collectivités rotationnelle et vibrationnelle, couplage excitations individuelles et collectives), tout en conservant/préservant un maximum de symétries fondamentales. En outre, elle s'applique naturellement aux noyaux pairs-pairs, impairs et aussi impairs-impairs. Les premières applications de cette approche, aussi bien pour la structure que pour les réactions nucléaires, ont donné d'excellents résultats.
Le sujet proposé se fera en collaboration avec des physiciens de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (Guillaume Hupin) et de l'Institute for Nuclear Theory de Seattle (Caroline Robin), qui sont experts à la fois dans les approches "ab initio" et de type champ moyen et au-delà.

Directeur de thèse et école doctorale :
PILLET Nathalie
Ecole doctorale Particules, Hadrons, Energie, Noyau, Instrumentation, Imagerie, Cosmos et Simulation (PHENIICS) – ED 576 / Université Paris Saclay

Contacts :
PILLET Nathalie
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – nathalie.pillet@cea.fr

Sujet :

Etude de la désexcitation radiative des fragments de fission dans la fission spontanée du 252Cf

Contexte :

La description de l'évolution temporelle d'une population de fragments de fission dans un milieu riche en neutrons, typiquement comme une étoile en fin de vie, nécessite la connaissance précise des sections efficaces neutroniques de ces fragments. La difficulté associée à ces mesures provient du temps de vie très bref de la plupart de ces fragments, rendant ainsi la fabrication de cibles impossible et donc leur étude en laboratoire particulièrement difficile. A ce jour, les fichiers neutroniques sur les fragments de fission reposent uniquement sur des évaluations théoriques qui n'ont pas été validées.
L'évaluation des réactions neutroniques sur les fragments de fission dépend principalement de trois ingrédients : le potentiel optique, relativement bien maitrisé, pour décrire l'émission de neutrons, les densités de niveaux qui décrivent l'évolution du nombre des états nucléaires en fonction de l'énergie d'excitation et les fonctions de force γ qui contrôlent les probabilités de décroissance de ces états nucléaires. Dans cette thèse, nous proposons de mesurer les densités de niveaux et les fonctions de forces γ pour un grand nombre de fragments de fissions. La mesure de l'émission γ en coïncidence avec une fragmentation provenant du processus de fission du ^{252}Cf nous permettra d'obtenir des données uniques et fournira des contraintes très fortes pour les modèles utilisés pour l'évaluation des réactions de neutroniques.

Objectif de la thèse :

Il s'agit d'une thèse en physique nucléaire expérimentale dont l'objectif est une validation des ingrédients théoriques utilisés dans les modèles de réaction. Cela nécessite de mettre en place un dispositif expérimental complexe afin d'extraire les bonnes observables. Entre autres, les fragments de fission seront détectés à l'aide d'une double-chambre d'ionisation à grille de Frisch. L'excellente résolution en énergie de la chambre d'ionisation combinée à un dépôt très mince de ^{252}Cf fournira une bonne résolution en masse des fragments et donnera accès aux distributions de masse pré-neutron et post-neutron. Afin d'augmenter considérablement la sélectivité, les fragmentations seront aussi sélectionnées soit par l'émission de gammas retardés provenant d'isomères nanosecondes ou microsecondes connus, soit par la détection de la fission froide (désexcitation sans émission de neutrons). Nous mesurerons pour chaque isomère, leur population en fonction de l'énergie cinétique totale des fragments de fission associés et de la cascade gamma les alimentant (énergie et multiplicité). Pour cela, un spectromètre $4\pi\gamma$ est en cours de construction dans notre groupe, constitué d'environ soixante détecteurs NaI. La mise en œuvre de ces détecteurs sera un des objectifs de la thèse ainsi que l'élaboration des programmes d'analyse des données associées. Une détermination des observables recherchées et leur comparaison avec différents modèles théoriques constitueront l'objectif final de la thèse.

Déroulement de la thèse :

L'étudiant(e) devra simuler précisément le détecteur $4\pi\gamma$, en utilisant le code de simulation GEANT4, et participer à son assemblage et aux premiers tests. Il/Elle sera aussi impliqué(e) dans l'utilisation du nouveau système d'acquisition numérique associé au spectromètre $4\pi\gamma$. Pour la réalisation de la première campagne de mesures, une double chambre d'ionisation devra être intégrée au centre du spectromètre gamma. L'étudiant(e) participera aussi aux tests et à l'intégration de cette chambre d'ionisation dans le spectromètre $4\pi\gamma$. Les premières mesures sont prévues pour fin 2020, début 2021. L'étudiant(e) sera responsable de l'analyse et l'interprétation de ces premières mesures. Pour cela, l'étudiant(e) bénéficiera de l'expertise du laboratoire tant au niveau expérimentale que théorique pour développer le sujet. Au cours de la thèse, l'étudiant(e) pourra être amené(e) à participer à d'autres expériences du groupe, notamment aux Etats-Unis sur les installations du LANL, et aussi à communiquer ses résultats au cours de conférences internationales.

Directeur de thèse et école doctorale :
ROIG Olivier
Ecole doctorale Particules, Hadrons, Energie, Noyau, Instrumentation, Imagerie, Cosmos et Simulation (PHENIICS) – ED 576 / Université Paris Saclay

Contacts :
ROIG Olivier
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel – 91297 Arpajon
Tél. : 01 69 26 40 00 – olivier.roig@cea.fr

PHYSIQUE DES PLASMAS & INTERACTIONS LASER-MATIERE

Sujet :

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

Contexte :

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

Objectif de la thèse :

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

Déroulement de la thèse :

Pour cela, le travail expérimental s'appuiera sur trois grands types d'expériences réalisées sur les installations laser complémentaires disponibles en France (à l'Ecole Polytechnique et au CEA/CESTA) et aux Etats-Unis (Omega à l'Université de Rochester). Ces expériences seront définies pour étudier et quantifier les instabilités collectives dans des configurations impliquant jusqu'à 40 faisceaux. Les principaux diagnostics qui seront mis en place dans ces expériences sont optiques dans les domaines visible, UV et X. En raison des enjeux liés aux pertes d'énergie potentiellement importantes par ces instabilités, de tels instruments sont en cours de réalisation et seront bientôt disponibles pour l'installation LMJ du CESTA. Les expériences associées fourniront des résultats dans des conditions de plus en plus représentatives de la FCI permettant de tester les modèles qui auront été développés au travers des expériences élémentaires. L'interprétation des observations expérimentales correspondantes s'appuiera sur les codes PIC (Particle in Cell) et de couplage d'ondes existants et en cours de développement. Au-delà de l'apport pour le développement des codes d'interaction dans le cadre de la FCI, ces expériences de base intéressent les différents schémas d'amplification d'impulsions courtes dans des plasmas visant à repousser les limites vers les ultra-hautes intensités au-delà de la limite technologique de tenue au flux des réseaux inhérente à la méthode CPA.
A l'issue de la thèse, l'étudiant(e) sera formé(e) à la conception d'une expérience sur une installation laser de puissance et plus généralement à la conduite d'un grand projet scientifique. Sur le plan de la physique, il(elle) devrait avoir acquis une formation solide sur la thématique de la physique des plasmas, de l'interaction laser-plasma ainsi qu'une vision d'ensemble sur toutes les problématiques liées à l'atteinte de l'ignition par laser. Sur le plan pratique, l'étudiant(e) aura acquis une expérience solide en optique dans les domaines visible, UV et X et en analyse de données.

Directeur de thèse et école doctorale :
LABAUNE Christine
Ecole doctorale Ondes et Matière (OM)
ED 572 / Université Paris Saclay

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

Sujet :

Propagation d'un faisceau laser intense dans un plasma magnétisé

Contexte :

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

Objectif de la thèse :

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

Déroulement de la thèse :

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

Directeur de thèse et école doctorale :
FUCHS Julien
Ecole doctorale Onde et Matière (OM) – ED 572 /
Université Paris-Saclay

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

CESTA
BP 2
33114 Le Barp
05 57 04 40 00

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

Le Ripault
BP 16
37260 Monts
02 47 34 40 00

Gramat
BP 80200
46500 Gramat
05 65 10 54 32

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