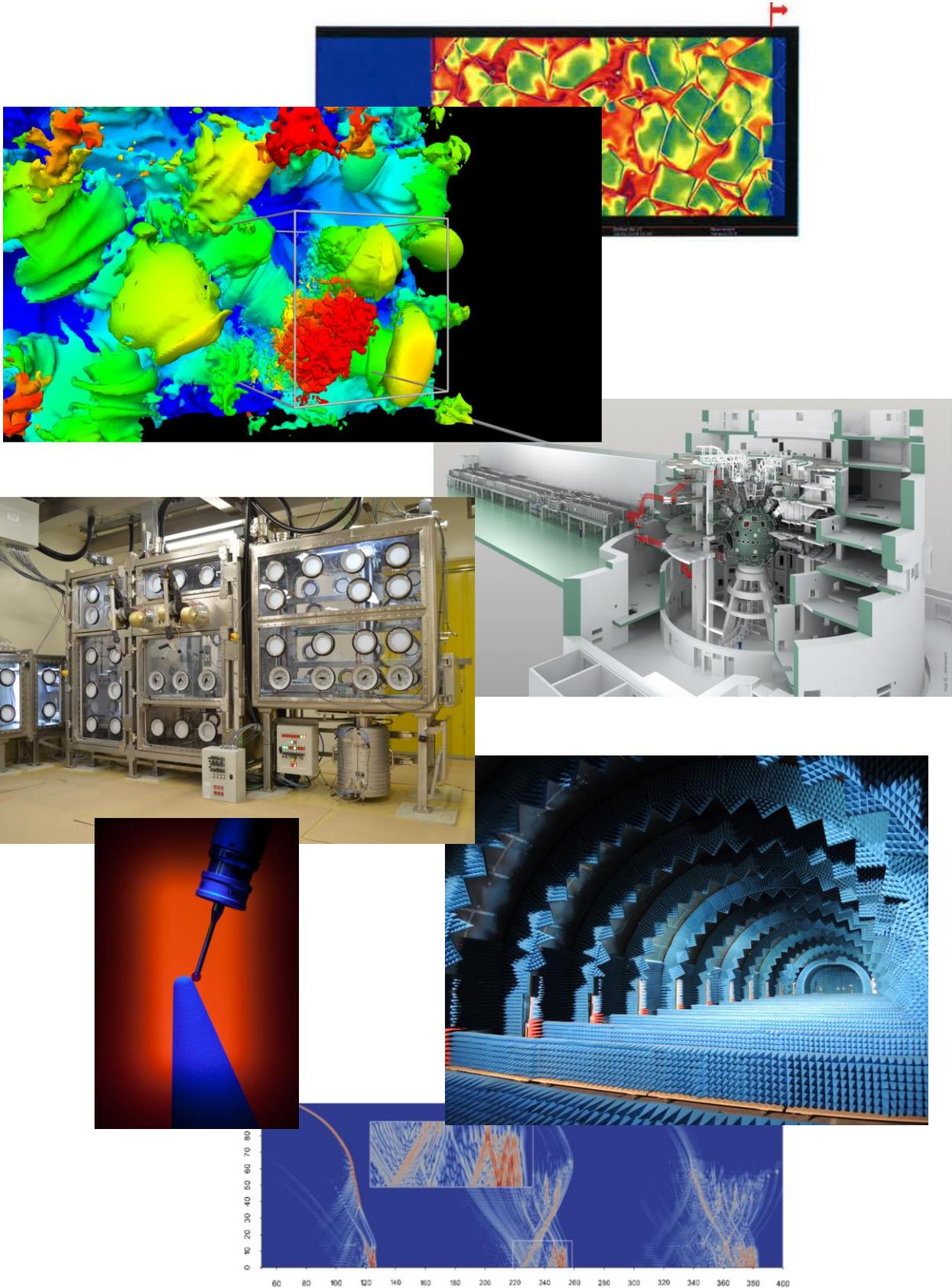




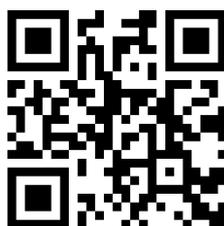
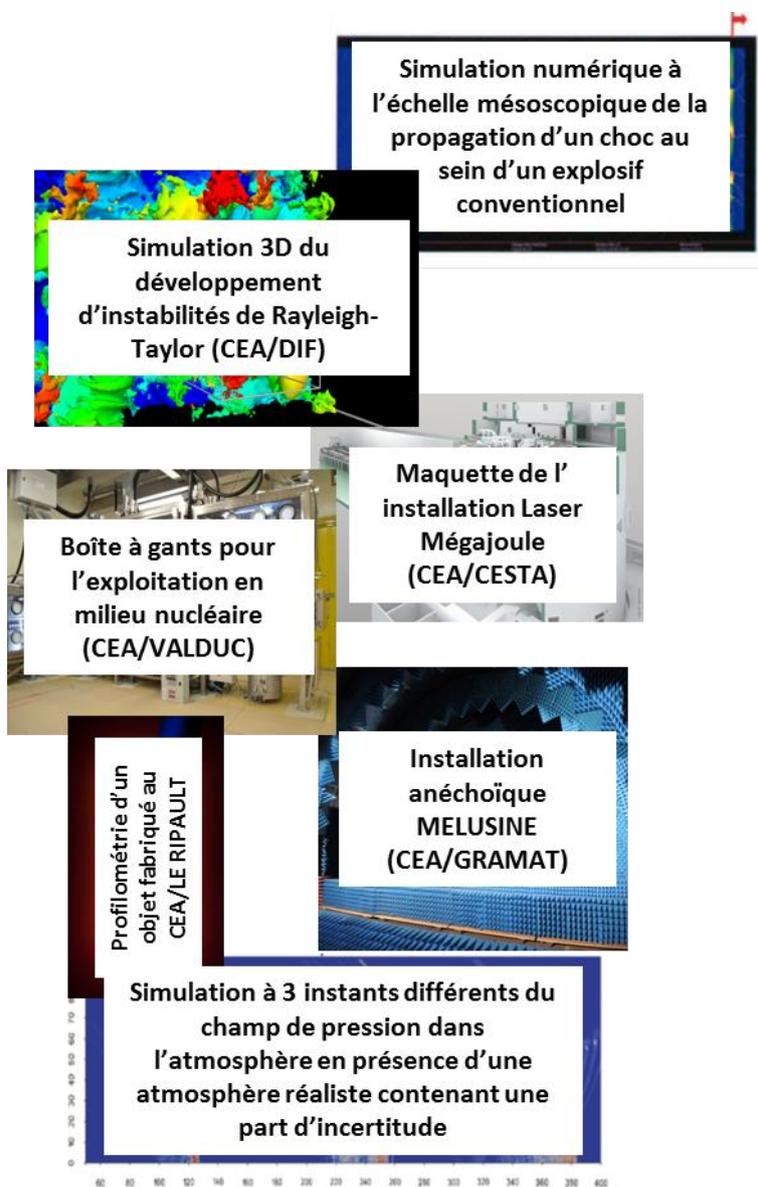
Direction des Applications Militaires

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

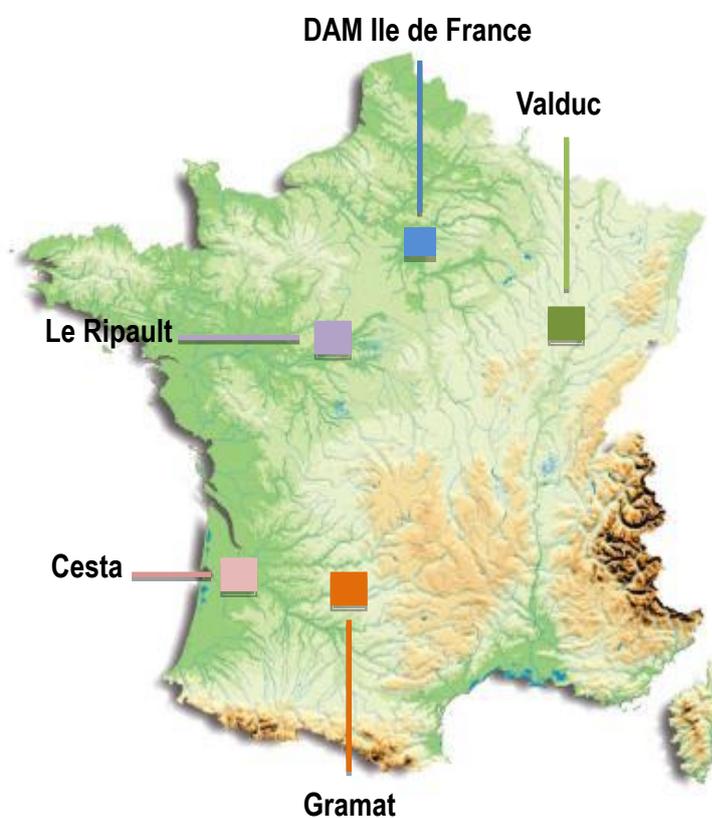
CEA/Cesta 05 57 04 40 00
B.P. 2
33114 Le Barp
<http://www-dam.cea.fr/cesta>

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>



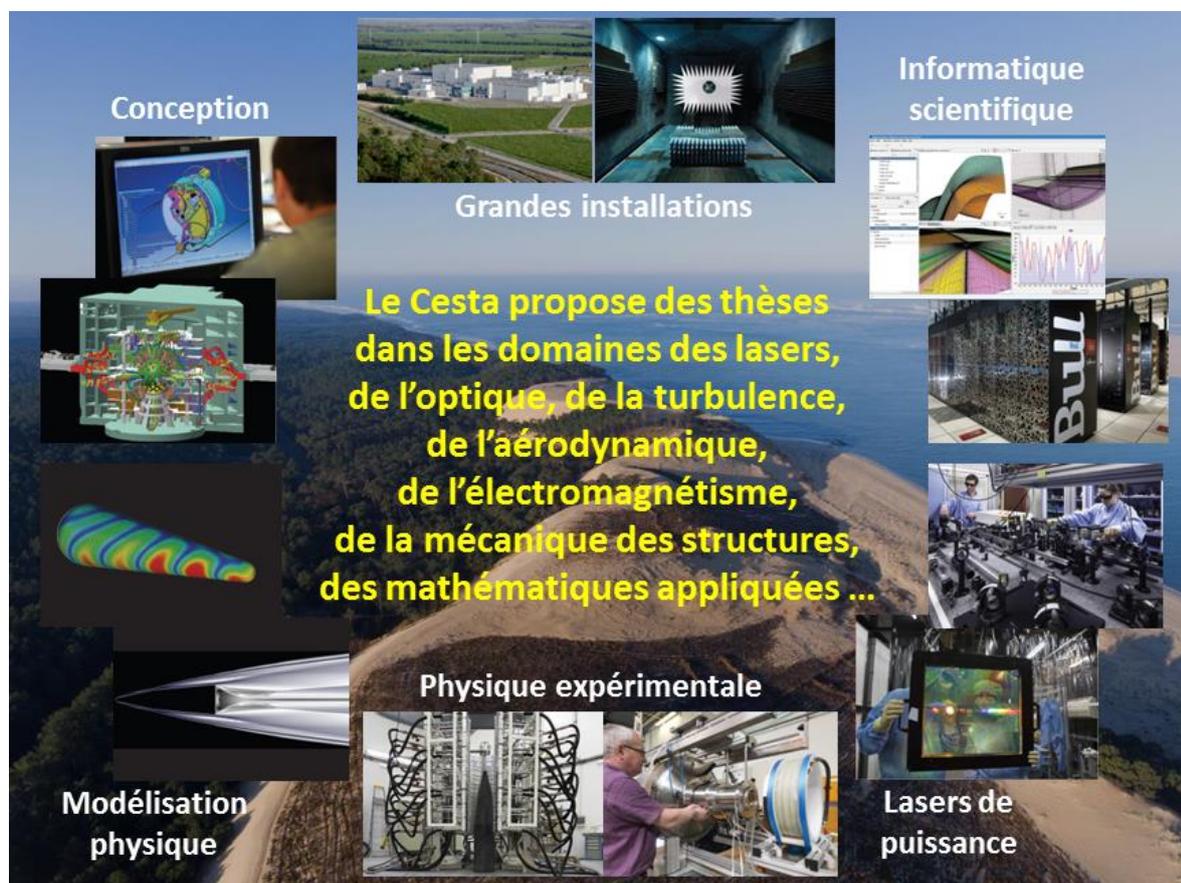
Le CEA/DAM est également fortement impliqué dans trois Unités mixtes de recherche : le **LCTS** (Laboratoire des composites thermo-structuraux) et le **CELIA** (Centre lasers intenses et applications) situés à l'Université de Bordeaux (33) ainsi que le **LULI** (Laboratoire pour l'utilisation des lasers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

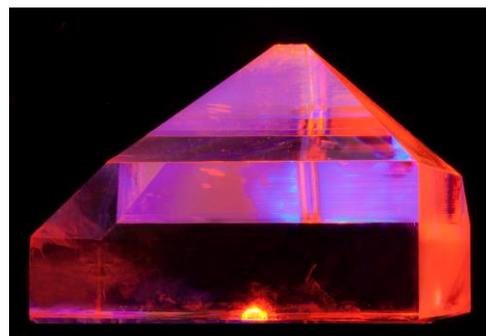
RÉPONDRE AUX ENJEUX DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

- 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.



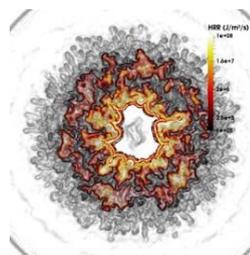
Le CEA/Gramat

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.

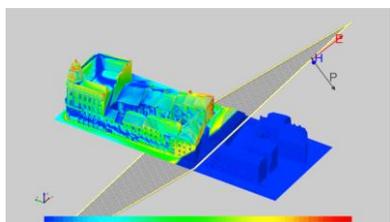


Vue expérimentale et simulation numérique d'une boule de feu (explosif en détonation)

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

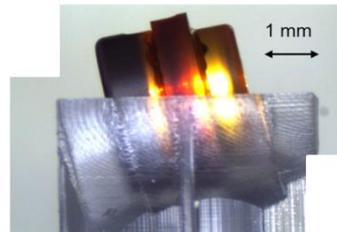
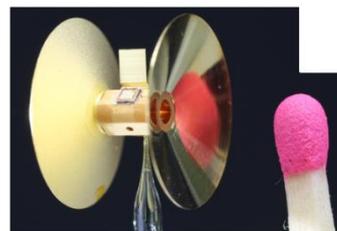
Site Web : <http://www-dam.cea.fr/valduc>

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.



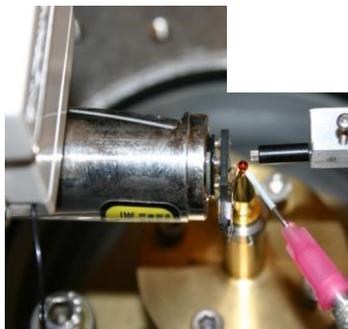
DE GRANDES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES conçues pour apporter un service très complet aux procédés de recherche et de fabrication qu'ils hébergent (ventilation, filtrage des atmosphères, fluides, réseaux, surveillance de la radioactivité, ...), garantissant un fonctionnement fiable et sûr. Leur fonctionnement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



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



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



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

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



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'ablent 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 cisailé. 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 complètement 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 :

- 1^{ère} 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
- 2^{ème} 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 Hypra du LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory, Californie, USA)
- 3^{ème} 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.laborasse@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