



Direction des Applications Militaires

Thèses proposées au CEA/DAM pour l'année 2020

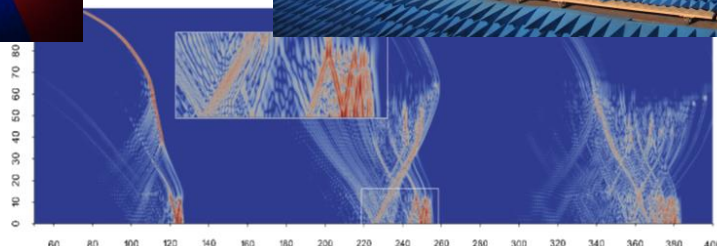
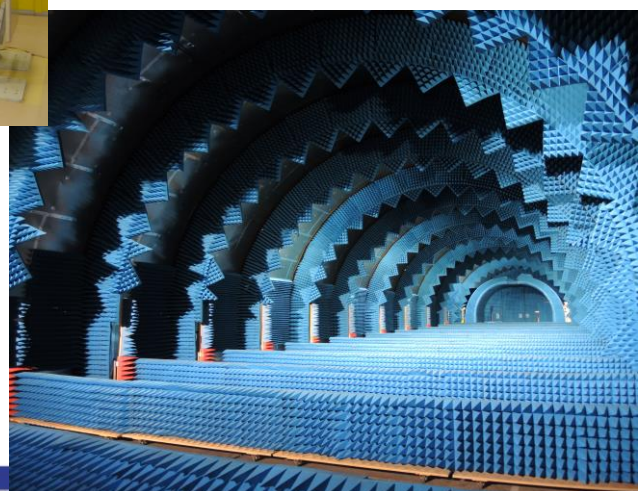
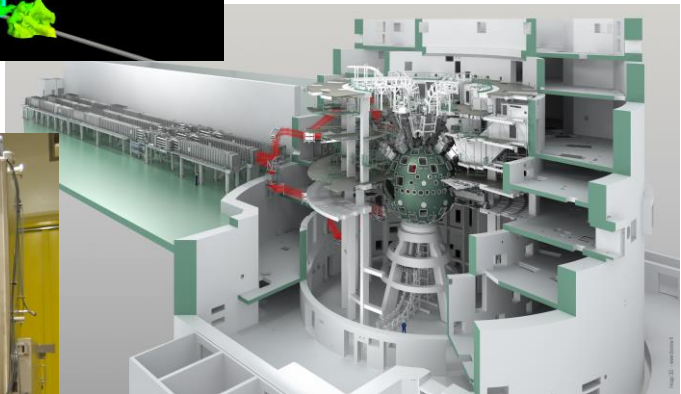
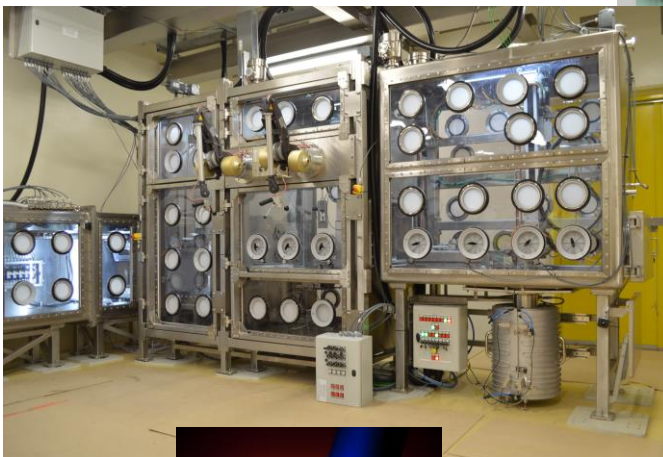
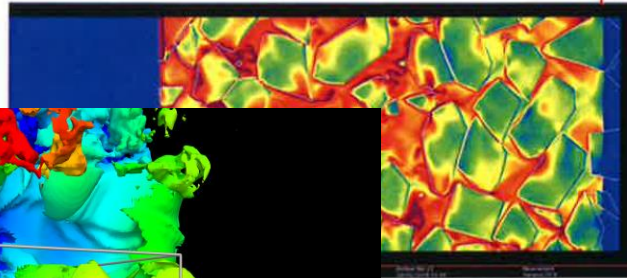
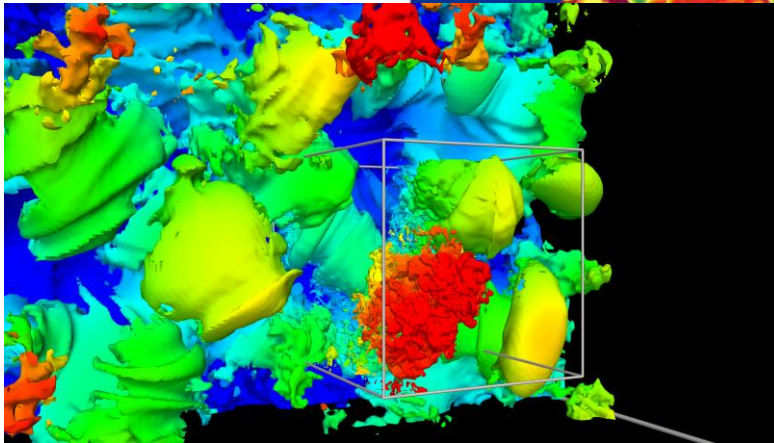
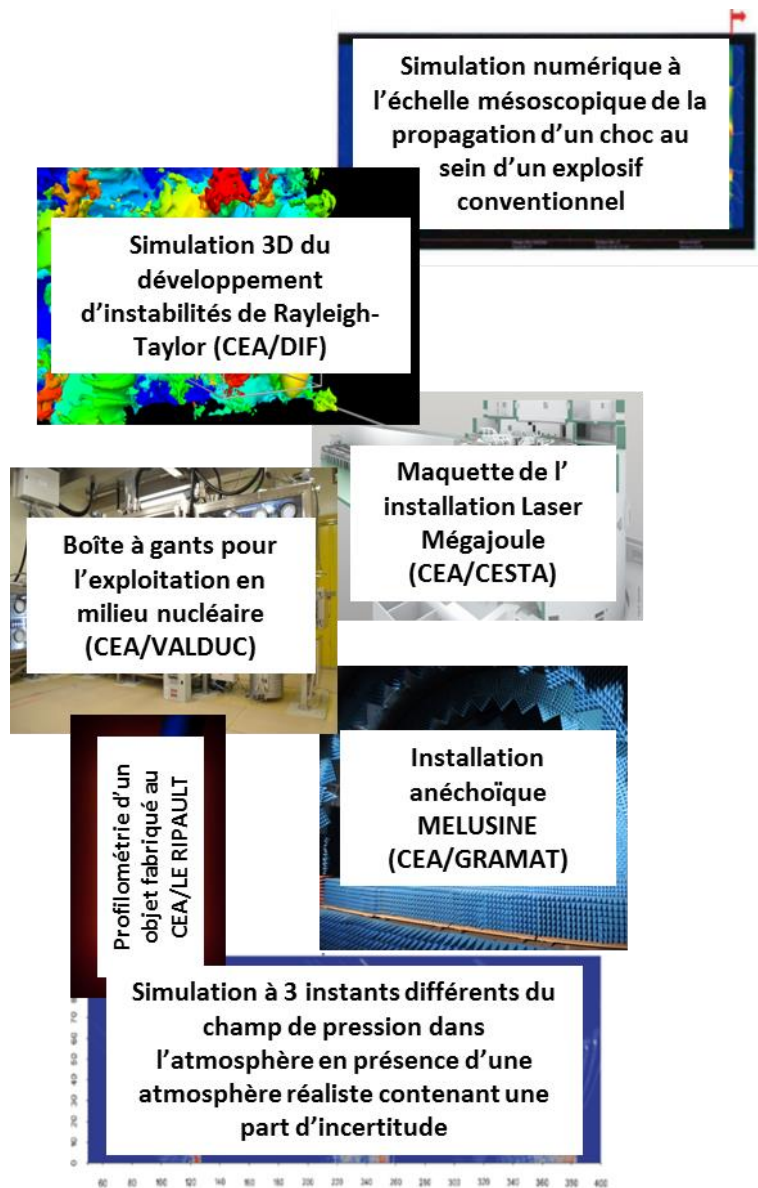


Illustration couverture



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

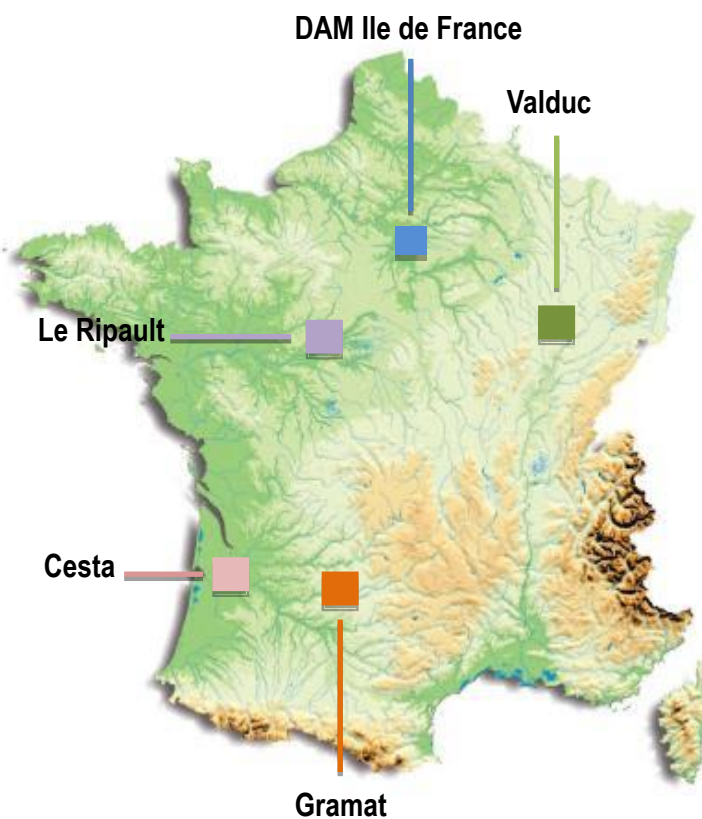
CEA/Cesta 05 57 04 40 00
B.P. 2
33114 Le Barp
<http://www-dam.cea.fr/cesta>

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>



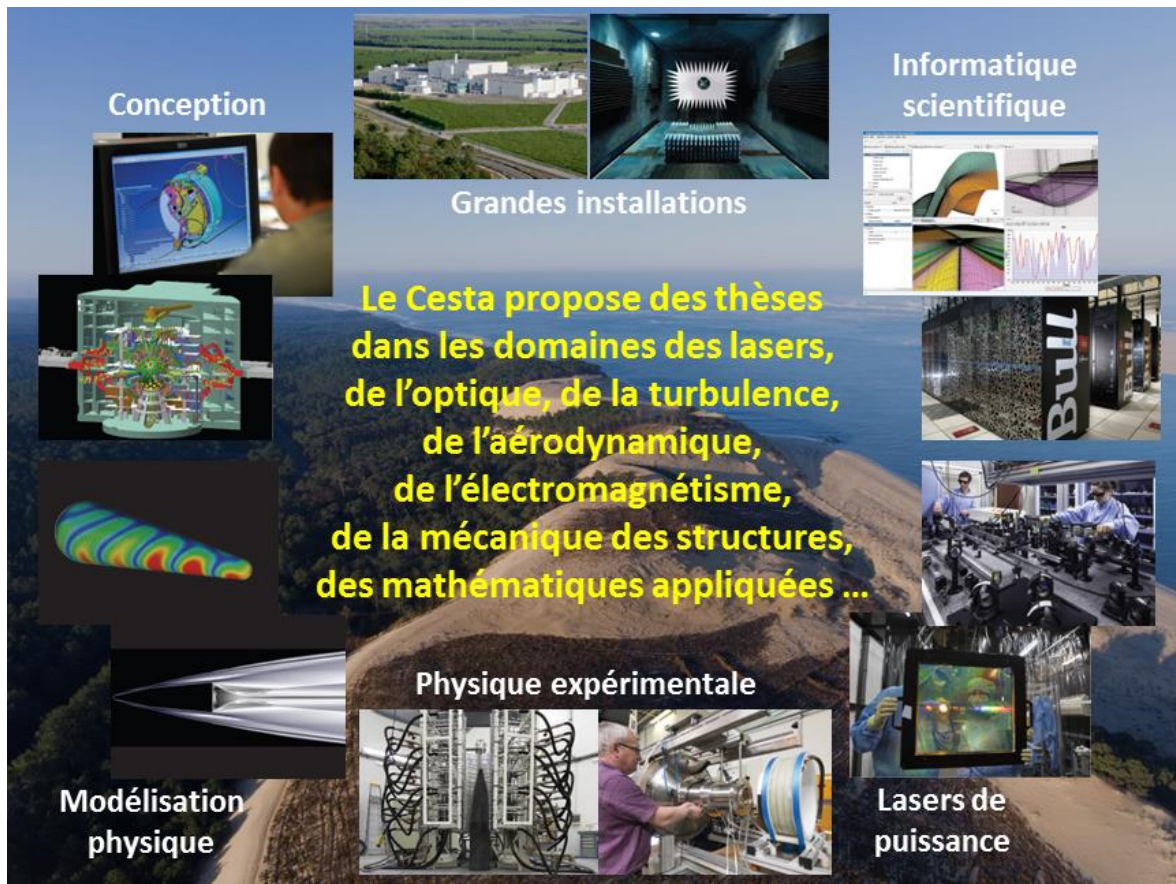
Le CEA/DAM est également fortement impliqué dans trois Unités mixtes de recherche : le **LCTS** (Laboratoire des composites thermo-structuraux) et le **CELIA** (Centre lasers intenses et applications) situés à l'Université de Bordeaux (33) ainsi que le **LULI** (Laboratoire pour l'utilisation des lasers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

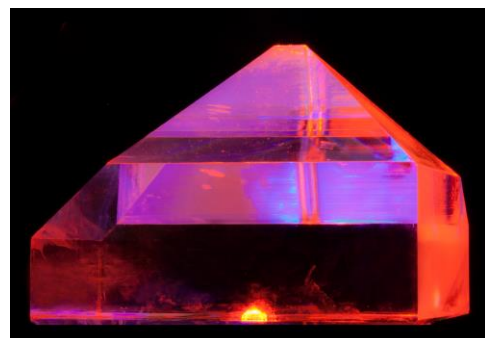
RÉPONDRE AUX ENJEUX DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

- 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.



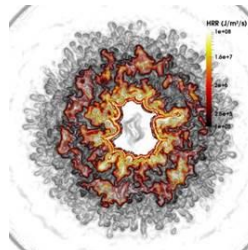
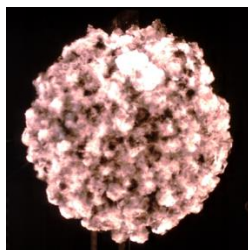
Le CEA/Gramat

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.

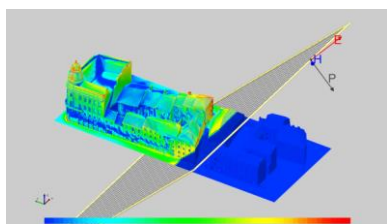


Vue expérimentale et simulation numérique d'une boule de feu (explosif en détonation)

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

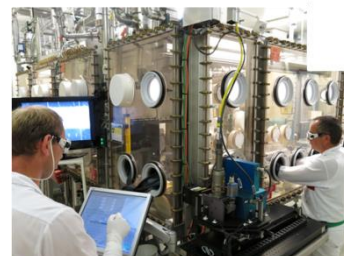
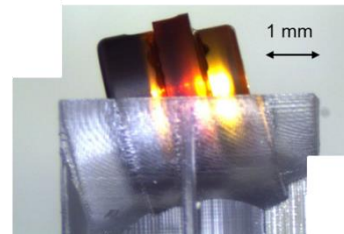
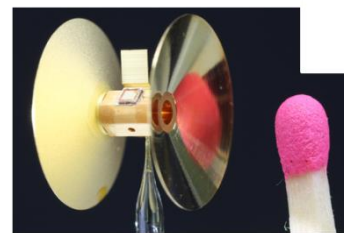
Site Web : <http://www-dam.cea.fr/valduc>

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.



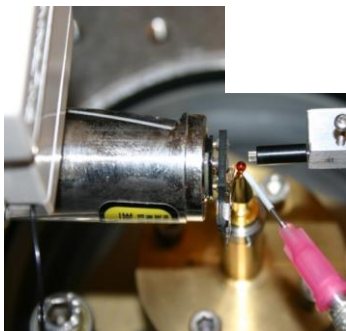
DES ÉQUIPEMENTS TRÈS ÉLABORÉS

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...)



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 impulsif (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-Benoît**
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-fissurés. 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 maîtriser 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

