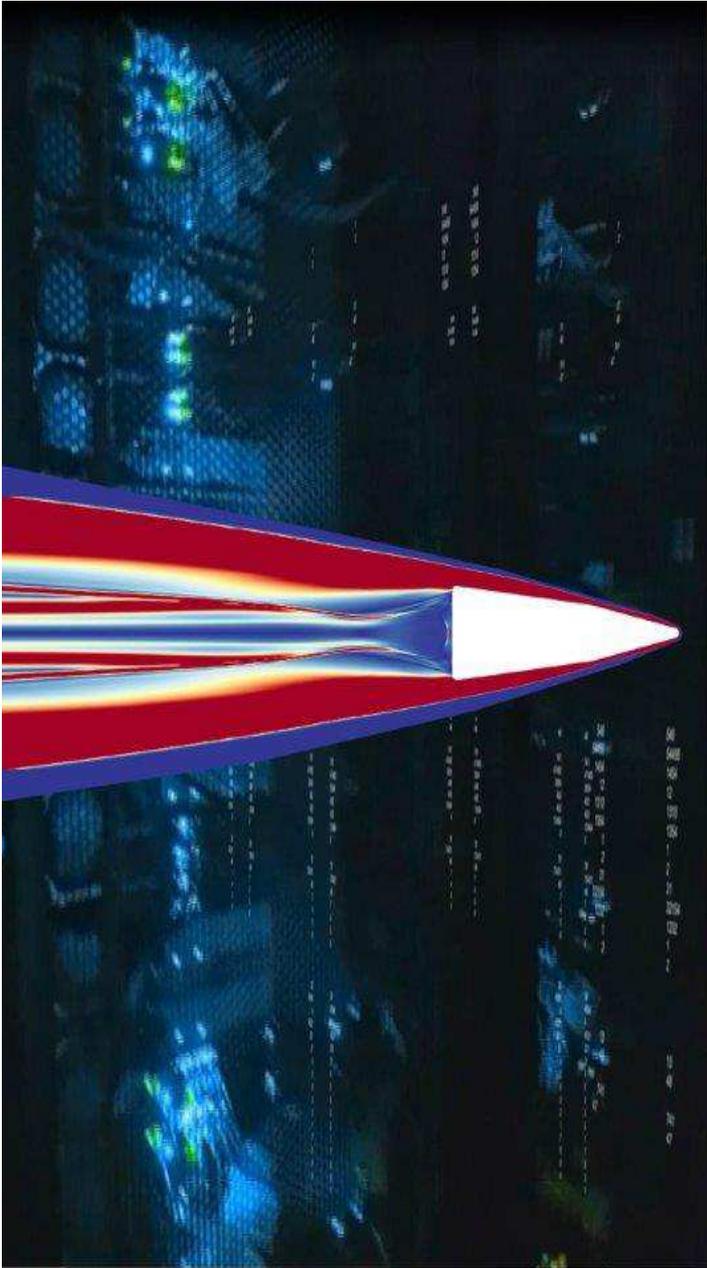
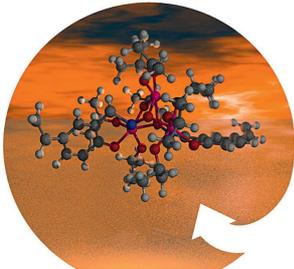




Direction des Applications Militaires



# Post-doctorats proposés au CEA/DAM



Année **2019**

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

Vous êtes actuellement en thèse et envisager de poursuivre votre carrière en complétant votre formation par un post-doctorat ? Rejoignez la Direction des applications militaires (DAM) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et ses équipes qui œuvrent, depuis plus de 60 ans, au maintien de la capacité de dissuasion de la France en relevant chaque jour des défis scientifiques et techniques ambitieux.

Vous trouverez dans ce recueil, classé par domaine scientifique, les sujets de post-doctorat proposés par les laboratoires et équipes du CEA/DAM. Dans de très nombreux domaines scientifiques ou techniques, 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 propose des sujets de post-doctorat en lien étroit avec les travaux de recherche et développement menés dans ses cinq établissements (DAM Île-de-France à Bruyères-le-Châtel à proximité d'Arpajon-91, CESTA au Barp près de Bordeaux-33, Gramat à côté de Brive-la-Gaillarde-46, le Ripault à côté de Tours-37 et Valduc à Is-sur-Tille à proximité de Dijon-21).

Vous bénéficierez, pour mener vos travaux, 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 les différents domaines scientifiques, vous pourrez bénéficier 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, ce qui vous constitue un atout formidable pour élargir votre réseau professionnel. Ces collaborations permettent en effet aux scientifiques du CEA/DAM 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.

Vous pourrez également bénéficier, au cours de votre post-doctorat, de formations scientifiques ou techniques complémentaires en lien avec votre thème de recherche et qui seront autant de compétences valorisables pour votre futur parcours professionnel. Le CEA/DAM est en effet expert dans de nombreux domaines de pointe comme la simulation multi-échelles des matériaux, la mécanique des fluides, le calcul hautes performances, la détection sismique, les calculs d'impact, l'élaboration de matériaux spécifiques, l'optique de puissance...

L'expertise au meilleur niveau des équipes du CEA/DAM 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 matérialisée 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 au sein du monde académique, notamment grâce aux collaborations déjà mentionnées avec les meilleures équipes françaises (projets collaboratifs, co-encadrement de thèses, groupes de recherche, laboratoires de recherche conventionnés, unités mixtes de recherche, ...) et internationales dans les domaines d'intérêt. Immérgé(e) au sein de telles équipes, vous serez

fortement incité(e) à valoriser votre travail, au travers de publications dans des revues à comité de lecture mais également de présentations dans des séminaires, congrès, workshops, que ce soit en France ou à l'étranger, afin de donner aux résultats obtenus toute la visibilité qu'ils méritent et ainsi mettre en lumière les compétences et connaissances que vous aurez renforcées ou acquises et qui seront importantes pour votre futur parcours professionnel.

Les perspectives de recrutement au sein du CEA/DAM sont d'ailleurs nombreuses dans les années qui viennent, soutenues par des besoins croissants d'ingénieurs et de docteurs en sciences 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 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, montrant une capacité à s'engager pour relever des enjeux ambitieux au sein d'équipes pluridisciplinaires, notamment recrutés parmi les viviers constitués grâce à l'accueil de post-doctorants.

Je vous invite à parcourir avec attention le recueil de sujets que vous trouverez également sur le site Internet du CEA/DAM (<http://www-dam.cea.fr/dam/rejoignez-nous/>), classé par établissement d'accueil, et sur le site de recrutement du CEA (<http://www.emploi.cea.fr/>). N'hésitez pas à prendre contact avec les responsables des sujets proposés 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 post-doctorat proposé.

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 équipes et 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

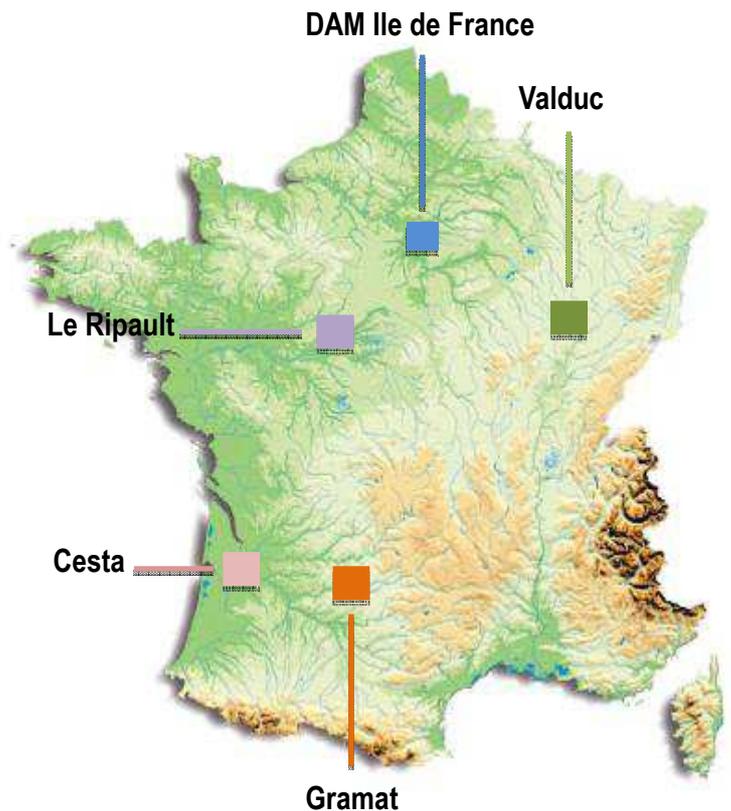
**CEA/Cesta** 05 57 04 40 00  
 B.P. 2  
 33114 Le Barp  
<http://www-dam.cea.fr/cesta>

**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



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

Le CESTA héberge **la plus grande installation laser d'Europe, LMJ/PETAL** (Laser MégaJoule/PETawatt Aquitaine Laser), fantastique instrument de recherche 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 (DIF)

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 scientifique. Les logiciels ainsi développés sont validés par comparaison à des résultats expérimentaux, obtenus essentiellement grâce à la machine radiographique Epure, aux lasers de puissance, et aux accélérateurs de particules.

### 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 DAM-Île de France 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 centre est équipé de grands calculateurs de la classe pétaflopique tel que TERA1000 pour les applications de la DAM. Par ailleurs le centre de calcul du CEA, le CCRT, est implanté au TGCC (Très Grand Centre de Calcul), jouxtant le site de Bruyères-le-Châtel. C'est une infrastructure réalisée pour accueillir la machine européenne CURIE de puissance pétaflopique acquise par GENCI (Grand Equipement National de Calcul Intensif) dans le cadre du partenariat européen Prace. Avec le centre TER@TEC de recherche et développement dans le domaine du Calcul Haute performance, le TGCC et le TERACAMPUS, 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 nombreuses avancées dans de nombreux domaines scientifiques de pointe, que ce soit à la DAM, ou dans les mondes académique et industriel.

**Situé au bord du complexe scientifique du plateau de Saclay, le CEA/DIF est en interaction directe avec la nouvelle Université Paris Saclay. Le CEA/DIF propose des post-doctorats dans des domaines variés allant de l'informatique, et des mathématiques, à la physique (nucléaire, plasmas, matière condensée, mécanique des fluides) en passant par l'optique non linéaire, les techniques de mesure, l'électronique, la géophysique...**

## Le centre CEA/Le Ripault

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

Le CEA/Le Ripault, situé près de Tours, rassemble, au profit de la Direction des applications militaires (DAM), tous les métiers et les compétences scientifiques et techniques nécessaires à la mise au point de nouveaux matériaux et de systèmes non nucléaires depuis leur développement (conception, synthèse, caractérisation...) jusqu'à leur industrialisation (procédés de mise en œuvre et intégration système). Le centre est également un acteur majeur de la transition énergétique dans le domaine des piles à combustible, du stockage de l'énergie, au profit du CEA et de ses partenaires académiques et industriels. Pour cela, Le Ripault a créé en 2006, en partenariat notamment avec la région Centre, la plate-forme AlHyance innovation dédiée aux matériaux pour l'énergie bas carbone.



Chargement des tubes d'échantillons dans un analyseur RMN

Pour assurer ses missions, le CEA/Le Ripault a développé des compétences dans les domaines des matériaux énergétiques, des matériaux organiques et hybrides, des matériaux résistants aux hautes températures et les isolants. Il œuvre également dans le domaine de l'optique et des composants lasers, de l'électromagnétisme, de la microélectronique et des capteurs.

Les métiers de la modélisation, de la synthèse chimique, de la caractérisation, des procédés de fabrication innovants (impression 3D) et de la sécurité, en particulier dans le domaine pyrotechnique, sont présents sur le site. Fort d'une activité scientifique amont de premier ordre, le CEA/Le Ripault accueille de nombreux stagiaires d'écoles ou d'universités, des doctorants et post-doctorants qui contribuent aux avancées réalisées dans les laboratoires. Cette politique se concrétise par des publications et communications scientifiques, par la participation à des programmes de recherche et par la mise à disposition de la communauté des chercheurs de certaines compétences ou outils du Centre.

Le CEA/Le Ripault est présent dans plusieurs Universités, naturellement à Tours, mais aussi à Orléans, Poitiers, Bourges, et à Bordeaux avec une Unité mixte de recherche, le Laboratoire des Composites thermo-structuraux.



Réalisation de réservoirs pour le stockage hydrogène

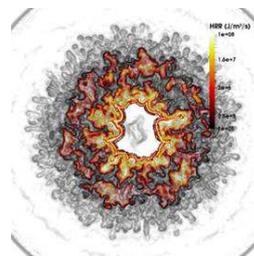
**Le CEA/Le Ripault propose des post-doctorats dans les domaines des matériaux organiques, céramiques et composites, de l'électromagnétisme, des systèmes énergétiques bas carbone, des procédés de fabrication innovants et dans celui des matériaux énergétiques.**

## Le centre CEA/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 ses 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.

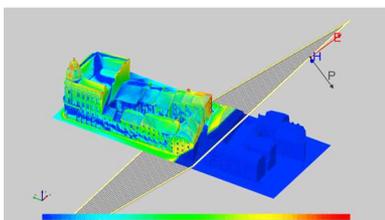


Vue expérimentale et simulation numérique d'une boule de feu (explosif en détonation)

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 structures sans mur de type Laboratoire de Recherche Conventonnés (LRC) permettant de renforcer les compétences de chacune des parties en matière de recherche académique et de recherche appliquée sur des thématiques identifiées.

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



Modélisation électromagnétique d'un quartier de ville



Antenne large bande pour tests électromagnétiques

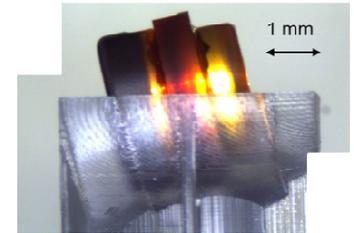
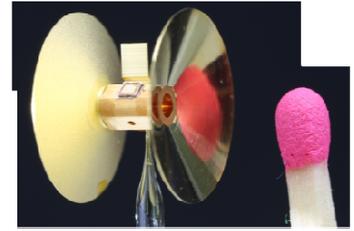
**Les post-doctorats proposés au CEA/Gramat peuvent concerner les domaines de l'électromagnétisme, de l'électronique, de la détonique (science des explosifs), de la dynamique des structures, de l'expérimentation et de la simulation numérique.**

## Le centre CEA/Valduc

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.

Valduc, c'est aussi un site nucléaire **au milieu d'une nature magnifique** et parfaitement protégée, riche d'espèces animales et végétales rares.



**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.



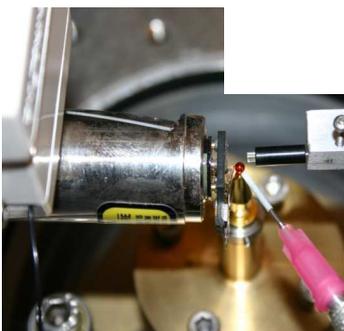
**DE GRANDES INSTALLATIONS NUCLEAIRES** conçues pour apporter un service très complet aux procédés de recherche et de fabrication qu'elles hébergent (ventilation, filtrage des atmosphères, fluides, réseaux, surveillance de la radioactivité, ...), garantissant un fonctionnement fiable et sûr. Leur fonctionnement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



**DES EQUIPEMENTS 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 post-doctorats dans le domaine de la **métallurgie, du cycle des matières nucléaires, des cibles pour les expériences laser, de la simulation des procédés de mise en forme.**

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



## CESTA

B.P. 2  
 33114 Le Barp

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



Homogénéisation de domaine volumique de matériaux hétérogènes dans un code 3D de Furtivité Electromagnétique.	Page 27
Développement d'une démarche de simulation basée sur un code existant, à valider et adapter pour des applications de CEM.	Page 49
Mise au point de méthodes de Décomposition de Domaines dans un code 3D de Furtivité Electromagnétique.	Page 50
Endommagement des composants optiques sur chaîne PETAL	Page 62
Lissage par double polarisation sur LMJ	Page 63
Outils d'aide à la décision pour la maintenance des optiques du LMJ	Page 64
Modélisation du comportement de défauts critiques dans les composants laser	Page 65
Etude amplificateur laser 1J 10 Hz	Page 66

## DAM - Ile de France

Bruyères le Châtel  
91297 Arpajon

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



Poursuite du développement et de la validation d'une nouvelle méthode d'étalonnage primaire des capteurs sismiques courtes périodes dans la bande 0,5 Hz - 100 Hz et analyse des problématiques associées à l'étalonnage des capteurs sismiques tri-axe dans la bande de fréquence 0,05 Hz – 10 Hz	Page 29
Développement d'un diagnostic d'imagerie X pour le LMJ	Page 30
Développement de diagnostics nucléaires pour le Laser MégaJoule	Page 31
Mise au point et caractérisation du compteur de neutron SCONE – Mesure de réactions (n,xn) sur actinides	Page 32
Caractérisation des défauts dans les diélectriques par la théorie de perturbation à plusieurs corps	Page 37
Calcul par dynamique moléculaire de la viscosité de dislocation vis dans le tantale, le fer, et le plutonium	Page 38
Modélisation homogène de la plasticité cristalline du TATB	Page 39
Caractérisation probabiliste bayésienne en temps réel de sources de rejets nocifs en environnement industriel ou urbain	Page 51
Modélisation et simulation rapide des ondes de souffle	Page 52
Simulation d'effets de sites sur maillage non structuré	Page 53
Apport des séries temporelles en imagerie satellitaire radar pour l'amélioration de la qualité et de la résolution des images	Page 54
Génération automatique de méta-maillages quadrangulaires	Page 55
Interprétation de résultats de calcul scientifique à l'aide de méthodes d'apprentissage	Page 56
Etude combinée ab-initio et champ de phase de la thermodynamique et de la cinétique des transitions de phases du Fer	Page 68
Mécanisme et cinétique de la cristallisation rapide des systèmes moléculaires et de leurs mélanges à l'aide de la CED-dynamique	Page 69
Optimisation du lissage optique pour maîtriser la propagation des faisceaux laser dans les plasmas chauds	Page 70
Etude numérique de l'instabilité acoustique ionique induite par le flux de chaleur et de ses effets dans la couronne plasma	Page 71
Calcul d'opacités radiatives pour la modélisation des intérieurs stellaires	Page 72

Modèles de diffusion Raman stimulée	Page 73
Modélisation microscopique de l'émission pré-équilibre au second ordre	Page 74
Etude de l'utilisation de la méthode GRiD MT pour la détection et la caractérisation d'évènements sismiques : de l'échelle locale à l'échelle régionale	Page 76

## GRAMAT

B.P. 80 200  
46500 Gramat

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



Gramat

Evolution de systèmes de vélocimétrie Laser Doppler en dynamique des matériaux	Page 33
--	---------

## LE RIPAULT

B.P. 16  
37260 Monts

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



Le Ripault

Elaboration de membranes nanocomposites hybrides phosphonées pour Pile à combustible du type PEMFC moyenne température	Page 19
Recherche et développement de procédé de traitement chimique contrôlé pour des optiques laser de grandes dimensions	Page 20
Développement d'un process de polymérisation	Page 21
Réalisation d'un banc de mesure de réflectivité dans le domaine de l'infrarouge pour des pièces en forme	Page 34
Imagerie de matériaux magnéto-diélectriques inhomogènes	Page 40
Déformation dynamique des matériaux granulaires : Influence des hétérogénéités locales sur le champ de température	Page 41
Simulation du comportement sous choc du PBX-9502 préchauffé jusqu'à 250°C	Page 42
Simulation eulérienne de la transition-choc détonation dans une composition au TATB	Page 43

Simulation micromagnétique hiérarchique à grande échelle des modes propres d'absorption	Page 44
Elaboration et caractérisation de C/résine à l'état vierge et pyrolysé	Page 45
Etude de l'élaboration de composites C/Sic	Page 46
Nouvelles fibres de carbone	Page 47
Instrumentation d'essais mécaniques à très haute température	Page 58
Rôle des interfaces dans la modélisation du comportement thermomécanique d'un composite carbone-carbone	Page 59
Développement, modélisation et caractérisation d'isolants thermiques haute température de type MLI (Multi Layers Insulation)	Page 60

## VALDUC

21120 Is-sur-Tille

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



Développement et application de la fluorescence X-raies L pour l'analyse en ligne de solutions d'actinides	Page 22
Compréhension des mécanismes de vieillissement de composés organiques en présence de radioéléments	Page 23
Comportement en entreposage de produits contenant des actinides : étude des dégagements gazeux	Page 24
Simulation thermodynamique et cinétique des transformations de phase par la méthode CALPHAD	Page 25
Caractérisation de chaîne radiographique en vue de sa prise en compte dans le logiciel de simulation de contrôles non destructifs CIVA	Page 35

# Les thématiques

✓ Chimie

✓ Electromagnétisme, génie électrique

✓ Instrumentation, métrologie et contrôle

✓ Matériaux, physique du solide

✓ Mathématiques, info scientifique, logiciel

✓ Mécanique et thermique

✓ Optique et optronique

✓ Physique du noyau, atome, molécule

✓ Sciences du climat et de l'environnement

L'ensemble des sujets, sous forme de recueil, est disponible sur le site Internet du CEA/DAM :

<http://www-dam.cea.fr/dam/index.html>

Les sujets, classés par centre, sont consultables sur le site internet du CEA/DAM :

<http://www-dam.cea.fr/dam/rejoignez-nous.html> - rubrique « thèses/post-doctorats »

Vous y trouverez, aussi, pour chacun des centres, des éléments sur ses activités et des informations pratiques.

Ou par recherche libre sur :

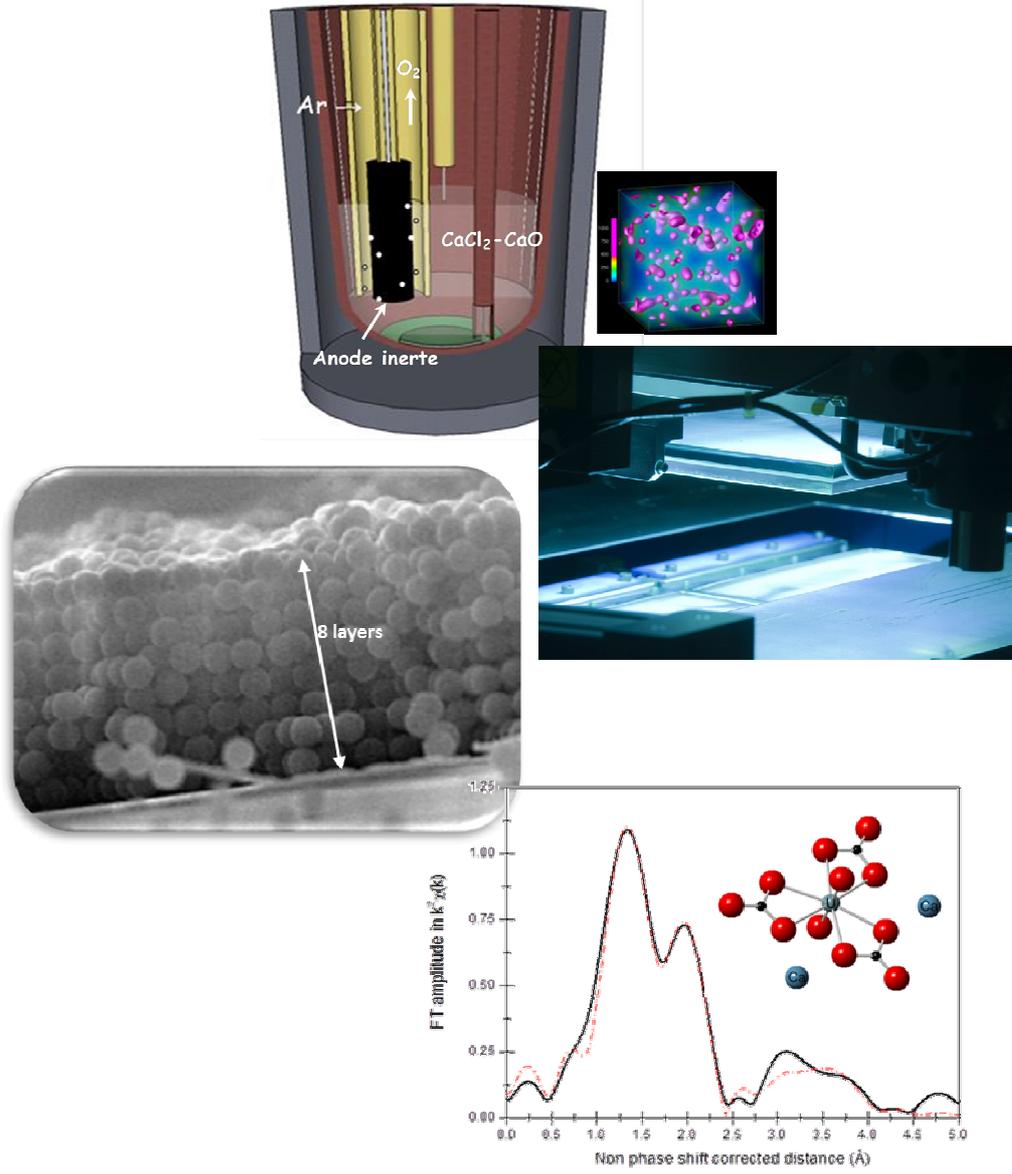
<https://www.emploi.cea.fr>

<b>CHIMIE</b> .....	18
Elaboration de membranes nanocomposites hybrides phosphonées pour Pile à combustible du type PEMFC moyenne température .....	19
Recherche et développement d'un procédé de traitement chimique contrôlé pour des optiques laser de grandes dimensions .....	20
Développement d'un process de polymérisation .....	21
Développement et application de la fluorescence X-raies L pour l'analyse en ligne de solutions d'actinides .....	22
Compréhension des mécanismes de vieillissement de composés organiques en présence de radioéléments .....	23
Comportement en entreposage de produits contenant des actinides : étude des dégagements gazeux.....	24
Simulation thermodynamique et cinétique des transformations de phase par la méthode CALPHAD .....	25
<b>ELECTROMAGNETISME &amp; GENIE ELECTRIQUE</b> .....	26
Homogénéisation de domaine volumique de matériaux hétérogènes dans un code 3D de Furtivité Electromagnétique .....	27
<b>INSTRUMENTATION, METROLOGIE &amp; CONTROLE</b> .....	28
Poursuite du développement et de la validation d'une nouvelle méthode d'étalonnage primaire des capteurs sismiques courtes périodes dans la bande 0,5 Hz - 100 Hz et analyse des problématiques associées à l'étalonnage des capteurs sismiques tri-axe dans la bande de fréquence 0,05 Hz – 10 Hz.....	29
Développement d'un diagnostic d'imagerie X pour le LMJ .....	30
Développement de diagnostics nucléaires pour le LMJ .....	31
Mise au point et caractérisation du compteur de neutrons SCONE – Mesure de réactions (n,xn) sur actinides.....	32
Evolution de systèmes de vélocimétrie Laser Doppler en dynamique des matériaux .....	33
Réalisation d'un banc de mesure de réflectivité dans le domaine de l'infrarouge pour des pièces en forme .....	34
Caractérisation de chaîne radiographique en vue de sa prise en compte dans le logiciel de simulation de Contrôles Non Destructifs CIVA.....	35

<b>MATERIAUX, PHYSIQUE DU SOLIDE</b> .....	36
Caractérisation des défauts dans les diélectriques par la théorie de perturbation à plusieurs corps .....	37
Calcul par dynamique moléculaire de la viscosité de dislocation vis dans le tantale, le fer, et le plutonium	38
Modélisation homogène de la plasticité cristalline du TATB .....	39
Imagerie de matériaux magnéto-diélectriques inhomogènes.....	40
Déformation dynamique des matériaux granulaires : Influence des hétérogénéités locales sur le champ de température.....	41
Simulation du comportement sous choc d'une composition explosive préchauffée jusqu'à 250°C .....	42
Simulation eulérienne de la transition-choc détonation dans une composition au TATB .....	43
Simulation micromagnétique hiérarchique à grande échelle des modes propres d'absorption .....	44
Elaboration et caractérisation de composites carbone-résine à l'état vierge et pyrolysé .....	45
Etude de l'élaboration de composites C/SiC.....	46
<b>MATHEMATIQUES, INFORMATIQUE SCIENTIFIQUE &amp; LOGICIEL</b> .....	48
Développement d'une démarche de simulation basée sur un code existant, à valider et adapter pour des applications de CEM .....	49
Mise au point de méthodes de Décomposition de Domaines dans un code 3D de Furtivité Electromagnétique .....	50
Caractérisation probabiliste bayésienne en temps réel de sources de rejets nocifs en environnement industriel ou urbain.....	51
Modélisation et simulation rapide des ondes de souffle .....	52
Simulation d'effets de sites sur maillage non structuré .....	53
Apport des séries temporelles en imagerie satellitaire radar pour l'amélioration de la qualité et de la résolution des images .....	54
Génération automatique de méta-maillages quadrangulaires.....	55
Interprétation de résultats de calcul scientifique à l'aide de méthodes d'apprentissage. ....	56

<b>MECANIQUE &amp; THERMIQUE</b> .....	57
Instrumentation d'essais mécaniques à très haute température .....	58
Rôle des interfaces dans la modélisation du comportement thermomécanique d'un composite carbone-carbone .....	59
Développement, modélisation et caractérisation d'isolants thermiques haute température de type MLI (Multi Layers Insulation) .....	60
<b>OPTIQUE &amp; OPTRONIQUE</b> .....	61
Endommagement des composants optiques sur chaîne PETAL .....	62
Lissage par double polarisation sur LMJ .....	63
Outils d'aide à la décision pour la maintenance des optiques du LMJ .....	64
Modélisation du comportement de défauts critiques dans les composants laser .....	65
Etude amplificateur laser 1J 10 Hz .....	66
<b>PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME &amp; MOLECULE</b> .....	67
Etude combinée <i>ab-initio</i> et champ de phase de la thermodynamique et de la cinétique des transitions de phases du fer .....	68
Mécanisme et cinétique de la cristallisation rapide des systèmes moléculaires et de leurs mélanges à l'aide de la Cellule à Enclumes de Diamants (CED)-dynamique .....	69
Optimisation du lissage optique pour maîtriser la propagation des faisceaux laser dans les plasmas chauds .....	70
Etude de l'instabilité acoustique ionique induite par le flux de chaleur dans la couronne plasma .....	71
Calcul d'opacités radiatives pour la modélisation des intérieurs stellaires .....	72
Modèles de diffusion Raman stimulée .....	73
Modélisation microscopique de l'émission pré-équilibre au second ordre .....	74
<b>SCIENCES DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT</b> .....	75
Etude de l'utilisation de la méthode GRiD MT pour la détection et la caractérisation d'évènements sismiques : de l'échelle locale à l'échelle régionale .....	76

# CHIMIE



**Sujet de post-doctorat :**

**Elaboration de membranes nanocomposites hybrides phosphonées pour Pile à combustible du type PEMFC moyenne température**

**Contexte :**

Les piles à combustible à membranes échangeuses de protons (PEMFC) sont des générateurs électriques qui utilisent l'hydrogène comme carburant sans émission de polluants. Leur rendement énergétique élevé, leur capacité à fonctionner à basse température et en dynamique ainsi que leur importante autonomie, font de la PEMFC la solution phare pour l'application automobile ou stationnaire, à condition d'atteindre les objectifs techniques et de coût extrêmement ambitieux. Pour répondre à ces enjeux, le CEA Le Ripault a structuré des travaux de recherche sur les matériaux de cœur de pile PEMFC en mettant l'accent sur l'innovation matériaux en lien très fort avec les moyens de mise en œuvre associés.

**Objectif :**

Les principales fonctions recherchées sur les membranes sont la conduction protonique et l'effet barrière aux gaz. Les matériaux les plus souvent utilisés sont des polymères perfluorosulfoniques (PFSA) dont le mode de conduction protonique nécessite une forte hydratation des groupements sulfonés ce qui limite leur fonctionnement à une température de 80°C. Pour faciliter la gestion de l'eau et optimiser le rendement, les constructeurs automobiles souhaitent pouvoir faire fonctionner la pile à 120°C. Dans ce cas, les polymères phosphonés sont de bons candidats pour apporter une conduction protonique en milieu anhydre. Le CEA Le Ripault a développé des matériaux innovants à base de polymères sulfonés et/ou phosphonés greffés sur de la silice dispersée dans une matrice PVDF. Les nanoparticules sulfonées sont préparées par polymérisation ATRP alors que les nanoparticules phosphonées sont obtenues par polymérisation anionique. Les membranes nanocomposites hybrides sulfonées présentent des caractéristiques très proches des membranes PFSA classiques pour un coût de production nettement moindre. Les premiers résultats sur les membranes phosphonées sont très prometteurs mais la tenue mécanique doit être améliorée.

Le post-doc proposé consistera donc à optimiser la voie de synthèse des nanoparticules phosphonées par polymérisation anionique de manière à développer de nouvelles formulations de membranes hybrides phosphonées ou bi-fonctionnelles présentant des propriétés mécaniques élevées à 120°C. Le (la) candidat(e) aura en charge la mise au point du procédé de greffage à partir de plusieurs brevets CEA, la réalisation des membranes par le procédé d'enduction évaporation et les caractérisations associées. Il(elle) devra donc posséder de solides compétences en synthèse organique, en chimie des polymères (notamment maîtriser la polymérisation anionique) et avoir des notions de mise en œuvre des matériaux polymères. Le (la) candidat(e) sera pleinement intégré au suivi du projet et collaborera avec une équipe expérimentée dans le domaine de la pile à combustible et de la chimie des polymères. Il(elle) devra restituer ces avancées aux partenaires périodiquement sous forme de présentations orales ou rapports.

**Contact :**

Janick BIGARRE  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00 - janick.bigarre@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

**Recherche et développement d'un procédé de traitement chimique contrôlé pour des optiques laser de grandes dimensions**

**Contexte :**

Le CEA Le Ripault, situé à proximité de Tours, développe des procédés chimiques originaux permettant l'érosion de pièces transparentes de silice de grandes dimensions. La fourniture d'optiques compatibles des spécifications demandées pour le Laser MégaJoule, situé sur le site du CEA/CESTA près de Bordeaux, demande en effet un traitement chimique réalisé de manière contrôlée, ne dégradant pas les propriétés optiques. Les besoins de réparation de ces optiques demandent également l'utilisation d'un tel dispositif.

Ces procédés font appel à l'utilisation de solutions basiques de forte concentration à chaud. Dans ce cadre, le CEA Le Ripault a développé un dispositif original (banc MALABAR) permettant le traitement d'échantillons de dimensions réduites et ce, dans le but de déterminer les paramètres prépondérants intervenant dans ce type de traitement chimique. A terme, l'objectif final est de mettre en place d'ici 2020 un dispositif permettant de traiter chimiquement des optiques de taille nominale de manière répétable, avec une gamme robuste.

Le (la) candidat(e) sera amené(e) à réaliser un plan d'expériences permettant la définition de cette gamme de corrosion chimique à chaud. Pour cela, il (elle) devra travailler en forte interaction avec les équipes du CEA/CESTA. Il (elle) devra également apporter des recommandations en ce qui concerne le design du dispositif échelle 1. Ses travaux pourront également être valorisés dans le cadre de publications scientifiques

Le développement d'un dispositif de corrosion basique à chaud doit être développé et mis en place au plus tard fin 2020. Ce dispositif original doit être amené à traiter un fort volume d'optiques du LMJ, tant pour l'approvisionnement que pour les besoins de réparation.

**Objectif :**

L'objectif de cette étude est de déterminer le plus tôt possible les paramètres prépondérants intervenant dans le traitement corrosif à chaud, afin de minimiser le risque industriel en cas de difficulté technique liée au développement du procédé échelle 1. Le (la) post-doctorant(e) devra dans ce cadre soutenir les équipes du CESTA dans les étapes d'ingénierie du dispositif échelle 1, parallèlement aux travaux liés à la compréhension des phénomènes.

**Contact :**

Sébastien LAMBERT  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00 - sebastien.lambert@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

**Développement d'un process de polymérisation**

**Contexte :**

Dans le cadre des missions du CEA, il existe un besoin en synthèse de polymères aux propriétés spécifiques. L'atteinte des propriétés souhaitées, ainsi que leur reproductibilité inter-batch, nécessitent la mise en place de procédés de synthèse précis et robustes.

**Objectif :**

Ce contrat post-doctoral aura pour objectif d'optimiser un procédé de synthèse de polymères déjà existants sur une échelle de 2 L, dans le but d'améliorer la répétabilité des propriétés physico-chimiques entre les batchs afin de limiter les taux de rebut. Plusieurs axes d'optimisation seront à explorer, notamment la semi-automatisation du procédé ainsi que la recherche d'une échelle de synthèse optimale. Parallèlement à cet objectif principal, des campagnes d'études et de réalisation de matériaux spécifiques (polymères alvéolaires et/ou gels aqueux) pourront être abordées.

**Contact :**

Stéphane CADRA  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00 - stephane.cadra@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Développement et application de la fluorescence X-raies L pour l'analyse en ligne de solutions d'actinides**

**Contexte :**

Un dispositif expérimental d'analyse en ligne compact, précis et rapide a été développé par le CEA/DAM, Centre de Valduc, pour quantifier les actinides (plutonium, américium, uranium), présents dans les solutions issues des procédés de recyclage du plutonium. Ce prototype, optimisé au cours d'une thèse, a démontré son efficacité pour l'analyse de solutions contenant des espèces simulant les actinides, et a donné des premiers résultats prometteurs pour la quantification des actinides dans des solutions préparées en enceinte de confinement.

**Objectif :**

Le sujet de ce post-doctorat propose de poursuivre le développement analytique du prototype en travaillant sur des solutions d'actinides de façon à qualifier le moyen d'analyse, à en optimiser les paramètres opératoires et la configuration instrumentale. Le (la) post-doctorant(e) aura également en charge l'implantation du moyen d'analyse sur une ligne de procédé, et l'évaluation des performances dans cette configuration. Pour atteindre cet objectif, et sur la base du travail réalisé lors des études précédentes, le (la) post-doctorant(e) :

- réalisera des études bibliographiques sur l'analyse des actinides par fluorescence X-raies L,
- développera des méthodes de quantification du plutonium, et évaluera les performances analytiques du prototype (étalonnage, limites de détection, de quantification, incertitudes de mesure, justesse, influence des effets de matrice...),
- étudiera l'impact des rayonnements gamma et de conversion interne émis par certains radioéléments sur le rayonnement de fluorescence X d'intérêt, pour l'analyse d'uranium en faible concentration relative, et proposera une méthodologie de quantification de l'uranium si cela s'avère possible,
- validera la possibilité de quantifier l'américium en faible concentration relative dans des solutions de plutonium, par exemple au moyen de la méthode des ajouts dosés,
- préparera l'implantation du moyen analytique sur une ligne de procédé (choix des adaptations technologiques, suivi des travaux d'implantation, essais de mise en service...), et évaluera les performances en ligne du moyen de mesure.

Le (la) candidat(e), docteur(e) en chimie ou chimie-physique, doit présenter des compétences dans un ou plusieurs de ces domaines : chimie analytique, chimie-physique, instrumentation, chimie nucléaire. Le sujet proposé imposant un travail expérimental en zone nucléaire, une expérience du travail en milieu nucléaire serait un plus, une pratique de l'instrumentation en laboratoire est impérative.

**Contact :**

Danièle CARDONNA  
CEA/Valduc – 21120 Is-Sur-tille  
Tél. : 03.80.23.40.00 - daniele.cardonna@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Compréhension des mécanismes de vieillissement de composés organiques en présence de radioéléments**

**Contexte :**

La stabilisation d'effluents organiques anciens, contenant du plutonium, nécessite la caractérisation physico-chimique de ces produits, de façon à les orienter dans la filière de traitement adéquate, ou à mettre en place une nouvelle filière adaptée. Dans ce but, le CEA/DAM, Centre de Valduc, a investi dans des moyens d'analyse de produits organiques, ces moyens étant intégrés en enceintes confinées. L'objectif est de développer et de mettre en place des procédures de caractérisation de mélanges de produits organiques (solides, pâteux ou liquides) contaminés par du plutonium, en mettant en œuvre les moyens de caractérisation disponibles au laboratoire : chromatographie gazeuse couplée à un double spectromètre de masse (GC/MS-MS), spectromètre infra-rouge (IRTF) et analyseur de carbone organique total.

**Objectif :**

Pour atteindre cet objectif, et sur la base de la liste des produits organiques initialement présents dans les effluents, le (la) post-doctorant(e) étudiera et définira tout d'abord les phénomènes physico-chimiques pouvant conduire à une dégradation ou à une modification structurelle des composés organiques en question. Pour cela, il (elle) mènera des études bibliographiques sur :

- les effets connus de la radiolyse sur les produits organiques définis,
- les effets du vieillissement et/ou des interactions physico-chimiques possibles sur les molécules organiques et sur leurs produits de dégradation.

Des travaux de modélisation permettraient de compléter cette étude en dressant des listes de filiations potentielles de produits de dégradation pour les molécules initialement présentes. Le (la) post-doctorant(e) développera ensuite des méthodes d'analyse spécifiques, et proposera les modifications technologiques nécessaires en fonction des résultats préliminaires. Une réflexion devra être menée sur les modes de préparation chimique des produits à mettre en œuvre avant leur caractérisation, de façon à réaliser des analyses qualitatives et quantitatives ainsi que sur les modes d'acquisition et d'ionisation à mettre au point par GC/MS-MS pour caractériser au mieux ces produits en fonction des limites définies. Le (la) post-doctorant(e) mettra en œuvre ces protocoles sur des produits organiques connus et non contaminés par des radioéléments de façon à acquérir des données de référence et évaluer les performances des appareils d'analyse. Ces essais seront réalisés dans un premier temps sur des produits simples, puis en mélanges de complexité croissante. Enfin, ces essais seront réalisés sur des matériaux contaminés.

Les résultats obtenus permettront de renforcer les connaissances des mécanismes de dégradation des molécules organiques (vieillessement et/ou effets de la radiolyse), et de compléter les modèles préalablement établis. L'identification des mécanismes de dégradation ainsi que les méthodes d'analyse requises feront l'objet de publications. Une expérience du travail en milieu nucléaire serait un plus.

**Contact :**

Danièle CARDONNA  
CEA/Valduc – 21120 Is-sur-tille  
Tél. : 03.80.23.40.00 - daniele.cardonna@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Comportement en entreposage de produits contenant des actinides : étude des dégagements gazeux.**

**Contexte :**

Un programme d'étude a été initié au CEA/Valduc afin de mieux comprendre et de mieux maîtriser les dégagements gazeux pouvant survenir lors de l'entreposage de produits contenant des actinides. Pour cela, plusieurs actions ont été entreprises :

- Un modèle a été initié prenant en compte les gaz de radiolyse des matériaux plastiques constituant l'emballage de conditionnement des produits, les différents échanges de gaz entre les produits, les emballages assurant le confinement des produits et l'atmosphère d'entreposage et des réactions de radiolyse de l'eau.
- Deux dispositifs de mesures sont opérationnels et des équipements ont été nucléarisés afin de caractériser les produits étudiés (ATG/DSC par exemple).

**Objectif :** Les objectifs de ce post-doctorat sont multiples :

- disposer d'un modèle prédictif fiable validé par des données expérimentales sur les gaz générés par la radiolyse alpha. En particulier, il sera nécessaire d'enrichir le modèle existant en intégrant la contribution aux gaz générés due à la radiolyse de l'eau contenue dans les produits,
- caractériser les différents produits vis-à-vis de leur teneur en eau et définir un éventuel traitement pour la limiter,
- proposer des solutions de conditionnement optimum pour les produits issus des opérations de recyclage d'actinides.
- après les formations nécessaires à la manipulation de radioéléments dans les installations du laboratoire, le (la) post-doctorant(e) devra reprendre les travaux en cours (bibliographie, conduite des essais, collaborations...).

En particulier, le (la) post-doctorant(e) devra :

- conduire les expériences de vieillissement pour quantifier de façon expérimental les gaz de radiolyse et ainsi pouvoir ajuster et valider le modèle en cours d'élaboration,
- suivre les études de caractérisation des différents types de produits en particulier par ATG en collaboration avec un autre service du centre de Valduc.

Pour cela, il (elle) pourra s'appuyer sur les compétences acquises par le laboratoire de pyrochimie dans ces domaines ainsi que sur les résultats des études en cours. Il (elle) devra également profiter des compétences du CEA au moyen d'échanges avec d'autres équipes travaillant sur la radiolyse (CEA/Saclay par exemple) en prenant en compte la spécificité des produits manipulés sur le centre de Valduc (radiolyse alpha).

Dans la mesure du possible, les résultats obtenus (en particulier ceux obtenus dans le cadre de collaboration) devront faire l'objet de présentations et/ou de publications.

**Contact :**

Benoît CLAUX  
CEA/Valduc – 21120 Is-Sur-tille  
Tél. : 03.80.23.40.00 - benoit.claux@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Simulation thermodynamique et cinétique des transformations de phase par la méthode CALPHAD**

**Contexte :**

Le plutonium est sans doute un des éléments dont la métallurgie est la plus complexe puisqu'il possède six variétés allotropiques. Une d'entre elles, la phase  $\delta$ , est plus ductile et moins oxydable que la phase  $\alpha$ . Cette phase peut être stabilisée à température ambiante grâce à l'addition d'éléments comme l'aluminium, le gallium, le cérium ou encore l'américium. Sous l'effet des basses températures ou d'une élévation de pression, ces alliages  $\delta$  métastables subissent différents types de transformations via différents chemins thermodynamiques (directs ou partiellement indirects avec des phénomènes associés telle la diffusion du soluté). Dans ce contexte, il apparaît opportun de pouvoir simuler ce comportement et d'identifier les phénomènes mis en jeu.

**Objectif :**

Dans ce but, le CEA/Valduc a réalisé des expériences par diffraction des rayons X (DRX), dilatométrie, calorimétrie (DSC), microsonde de Castaing, et microscopie électronique à balayage (MEB) afin de caractériser, analyser et comprendre les transformations de phase. En parallèle à ces études expérimentales poussées, le CEA/Valduc a initié une étude de simulation thermodynamique et cinétique des transformations de phase par la méthode CALPHAD (CALculation of PHase Diagrams) afin de comprendre les processus mis en jeu d'un point de vue théorique, puis de prédire les transformations impliquées en fonction de la température, des contraintes extérieures et de la composition chimique des alliages. Cette étude numérique, basée sur l'utilisation du logiciel Thermo-Calc couplé au module cinétique DICTRA (Diffusion Controlled TRAnsformations) repose sur le développement et l'optimisation de la description des volumes au sein des bases de données existantes. Il sera ainsi demandé au (à la) post-doctorant(e) en charge de cette étude de :

- se former à l'implémentation de la description des volumes au sein des bases de données thermodynamiques utilisées par le logiciel Thermo-Calc et le module DICTRA permettant la modélisation des transformations de phase. Sur ce point, la maîtrise des optimisations de type CALPHAD est indispensable ;
- collaborer étroitement avec les expérimentateurs afin de proposer les expériences nécessaires pour alimenter les optimisations des bases de données ;
- participation à la mise en place et au suivi de collaborations avec des acteurs reconnus dans le domaine CALPHAD ;
- synthétiser et de publier les résultats obtenus sous formes de différents documents et de publications dans des journaux internationaux ou communications en congrès.

Le (la) post-doctorant(e) sera intégré(e) dans une unité de recherche, dédiée à la métallurgie et aux analyses de surface. Cette unité dispose de nombreux moyens expérimentaux nucléarisés qui permettront au (à la) post-doctorant(e) d'approfondir ses connaissances sur la caractérisation de surface des matériaux métalliques. Enfin, l'intégration au sein d'une équipe d'ingénieurs et de techniciens jeunes lui permettra d'enrichir son expérience et d'acquérir les bases pour gérer une équipe dans la suite de sa carrière.

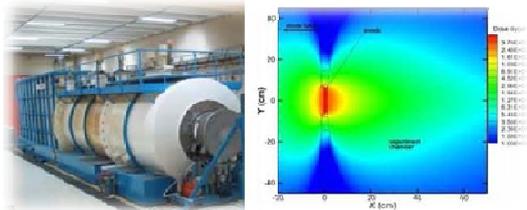
**Contact :**

Benoît OUDOT  
CEA/Valduc – 21120 Is-Sur-tille  
Tél. : 03.80.23.40.00 - benoit.oudot@cea.fr r

# ELECTROMAGNETISME & GENIE ELECTRIQUE

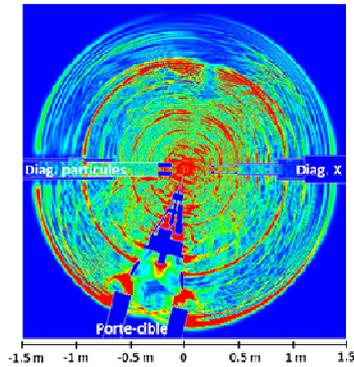


Moyen CESAR de classe méga-volts et centaines de kilo-ampères pour la génération de faisceaux d'électrons intenses

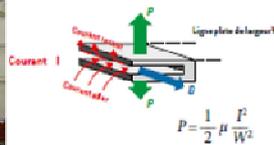


Moyen ASTERIX

Dispositif anti-impulsion électromagnétique prévu pour les expériences PETAL en terminaison du porte-cible



Simulation du champ électrique rayonné pour une expérience laser PETAL de 1kJ dans la chambre du LMJ maillée avec 15 milliards de mailles



Moyen GEPI : générateur de pression intense

**Sujet du post-doctorat :**

**Homogénéisation de domaine volumique de matériaux hétérogènes dans un code 3D de Furtivité Electromagnétique**

**Contexte :**

L'objectif de l'étude est de définir les caractéristiques électriques – permittivité et perméabilité électriques – de matériaux constitués de deux matériaux distincts : une matrice neutre contenant une dispersion d'un second matériau à caractéristiques diélectriques connues. On utilise, entre autres outils, un code de calcul par éléments finis résolvant les équations de Maxwell en guide d'ondes et des outils de représentations informatiques des domaines (maillages).

L'optimisation de la *SER* (*Surface Equivalente Radar*) pour la furtivité électromagnétique nécessite l'élaboration et la connaissance fine de matériaux, d'une part hétérogènes, d'autre part composés de nano inclusions de particules diverses. Les matériaux étant déterminés et proposés par les concepteurs et caractérisés par des mesures précises, doivent donc avant tout calcul de SER être aussi vérifiés par des calculs eux aussi précis. Or ces matériaux par leurs caractéristiques périodiques (souvent) ou par la présence de nano particules, peuvent, entre autres, être modélisés avec des techniques propres au calcul scientifique. C'est le cas avec des conditions aux limites de périodicité, utilisant les décompositions en modes de Floquet, par exemple, ou le calcul d'homogénéisation utilisant des techniques adaptées comme la convergence à deux échelles. Dans le cas de certains matériaux en effet les formes variationnelles (i.e. les quantités de type énergie), ne sont plus définies positives et on doit adapter les méthodes classiques de résolution.

**Objectif et déroulement :**

Le sujet du post-doctorat consistera à considérer les équations de Maxwell en guide borné avec utilisation de conditions aux limites quasi-périodiques et la décomposition des champs électromagnétiques en mode de Floquet et à introduire ces expressions numériques dans un code de calcul par éléments finis volumiques 3D. Cette première phase de développement conduira à un certain nombre d'études de matériaux *in situ*, et aussi à des comparaisons avec des mesures.

Dans un second temps sera abordé le problème de *l'homogénéisation numérique*. Cette partie du travail consistera donc à étudier ces techniques de modélisation, plutôt récentes, et de modélisation du processus d'homogénéisation : nouvelle formulation mathématique du problème de Maxwell envisagé comme cas limite (lorsque, petites, les inclusions tendent vers une taille nulle). Après s'être familiarisé avec ces textes, il faudra coder et résoudre des problèmes avec des matériaux constitués d'inclusions sphériques identiques et disposées en réseau régulier, ou au contraire des nano particules de tailles quelconques disposées de manière aléatoire.

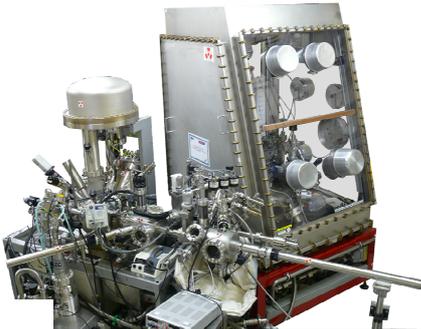
**Contact :**

Patrick LACOSTE  
CEA/Cesta – BP 2 – 33114 Le Barp  
Tél. : 05 57 04 40 00 – patrick.lacoste @cea.fr

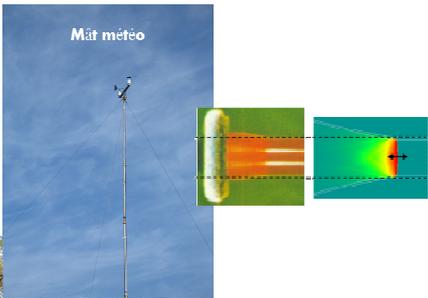
# INSTRUMENTATION, METROLOGIE & CONTROLE



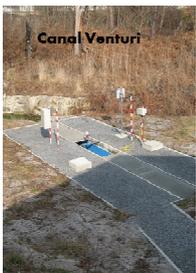
Capteur sismique



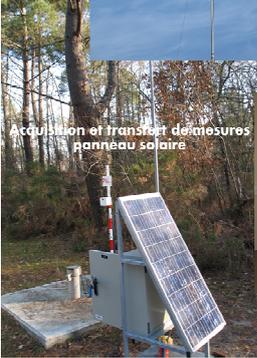
Acquisition et transfert de mesures



Mât météo



Canal Venturi



Acquisition et transfert de mesures  
panneau solaire



Bac de mesure  
Temps réel



Imageur X

**Sujet du post-doctorat :**

**Poursuite du développement et de la validation d'une nouvelle méthode d'étalonnage primaire des capteurs sismiques courtes périodes dans la bande 0,5 Hz - 100 Hz et analyse des problématiques associées à l'étalonnage des capteurs sismiques tri-axe dans la bande de fréquence 0,05 Hz – 10 Hz**

**Contexte :**

Les capteurs sismiques qui équipent les chaînes de mesure des stations sismiques du CEA/DAM font l'objet d'une évaluation et d'un suivi de leur performance dans le cadre d'un processus métrologique mis en œuvre au sein du laboratoire d'accueil au CEA/DAM Ile-de-France. Le besoin croissant de garantie, d'amélioration des performances, d'élargissement de la bande de fréquence (haute et basse) d'utilisation de ces capteurs sur site est fortement tributaire en premier lieu de la maîtrise du processus d'étalonnage (moyens et méthode) en laboratoire.

Le laboratoire s'est doté début 2015 d'un nouveau banc d'étalonnage absolu, unique à ce jour, pour répondre à la fois aux contraintes liées aux capteurs sismiques (masse très élevée > 10 kg, volume important) et à l'exigence de traçabilité des mesures au système international d'unité (SI).

Une qualification préliminaire de ce banc a été réalisée avec le Laboratoire National de métrologie et d'Essai (LNE), par comparaison et par méthode primaire (vibromètre laser) sur des accéléromètres et des capteurs sismiques monodirectionnels dans la bande 0,5 Hz – 100 Hz.

Des travaux complémentaires restent à réaliser sur la modélisation du processus de mesure, d'évaluation et d'optimisation des contraintes mécaniques à l'interface entre le capteur et la zone de contact sur le banc. Par ailleurs, l'étalonnage des capteurs sismiques tri-axes large bande nécessite la mise en œuvre d'une analyse spécifique qui s'appuiera sur les résultats de l'étalonnage des capteurs courtes périodes, mais prendra en compte la spécificité de leur architecture mécanique, de la bande de fréquence plus étendue en basse fréquence jusqu'à 0,05 Hz, des problématiques de stabilité environnementale et des performances intrinsèques du banc pour une utilisation en très basse fréquence qui restent encore à entreprendre.

**Objectif :**

L'objectif est de disposer d'un banc d'étalonnage de référence pour la métrologie dynamique vibratoire associé à une méthode d'étalonnage primaire des capteurs sismiques mono-axe et tri-axe validés sur une bande de fréquence de 0,05 Hz à 100 Hz. Ce dispositif répondra aux exigences métrologiques et qualité d'un référentiel ISO 17025 :2017 au regard de l'évolution de la collaboration avec le LNE, et aux exigences de nos clients et utilisateurs.

Les travaux de ce contrat post-doctoral devront conduire à des publications dans des revues ou journaux spécialisés.

**Contact :**

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

**Sujet du post-doctorat :**

**Développement d'un diagnostic d'imagerie X pour le LMJ**

**Contexte :**

Dans le cadre de son programme "Simulation", le CEA-DAM s'est doté, sur le site du CESTA près de Bordeaux, d'une installation laser de puissance : le laser Mégajoule (LMJ), qui est entré en fonctionnement en 2014. Le programme expérimental envisagé sur le LMJ pour les prochaines années induit des besoins en imagerie à rayons X qui concernent en particulier l'étude de l'implosion d'un microballon dans le contexte des expériences de fusion par confinement inertiel (FCI).

Le système d'imagerie à rayons X à développer a pour but de caractériser par la mesure l'objet émissif X produit pendant cette implosion (100  $\mu\text{m}$  - 1 mm), la forme de la zone émissive et son évolution en fonction du temps. La résolution spatiale requise doit être meilleure que 10  $\mu\text{m}$  et la résolution temporelle doit pouvoir être de l'ordre de quelques dizaines de ps. Ces mesures sont réalisées dans une ambiance radiative composée principalement de rayonnements X, gamma et neutron.

Le laboratoire d'accueil, situé au CEA/DIF (DAM Ile-de-France) à Bruyères-le-Châtel (91), a en charge la conception, le développement, la recette et l'étalonnage des dispositifs de mesure (aussi appelés diagnostics) qui seront utilisés sur l'installation LMJ.

**Objectif :**

Le sujet porte sur l'étude et la réalisation d'un diagnostic dédié à l'imagerie dans le domaine X (2 - 13 keV) qui a pour vocation de fournir plusieurs images à deux dimensions de la cible « plasma » avec l'évolution spatiale, temporelle et spectrale du plasma. Le concept met en œuvre un bloc optique comprenant un microscope X qui assure, par des miroirs utilisés en incidence rasante, la réflexion et la focalisation du flux X sur un détecteur constitué de plusieurs pistes conductrices photosensibles. Ces pistes sont déposées sur la face avant d'une galette de micro-canaux et peuvent être portées brièvement à une haute tension déclenchée à différents instants. On réalise ainsi un obturateur optoélectronique à plusieurs instantanés. L'image est enregistrée ensuite sur une caméra CCD. La sélection spectrale du rayonnement X est assurée par des dépôts multicouches. L'objectif de ce post-doc sera de participer, au sein du laboratoire, à la définition et au développement de l'ensemble de cet imageur nécessitant à la fois de la simulation et de l'expérimentation.

Le (la) candidat(e) participera dans un premier temps à la définition des dépôts multicouches, puis à la caractérisation des miroirs avec revêtement déposé, sur réflectomètre ou auprès du synchrotron SOLEIL. Il (elle) définira ensuite le banc d'alignement nécessaire pour valider le microscope X puis réalisera la caractérisation de ce microscope auprès de générateurs X et sur installation laser. Il (elle) réalisera en parallèle une étude photométrique de l'imageur X, qui devra à terme aboutir à un outil, développé sous Python, prenant en compte les performances du microscope X et de la caméra de détection, permettant de prédire les signaux expérimentaux.

Le sujet de ce post-doc est un sujet ouvert qui doit donner lieu à des revues d'audience internationale et permet de participer à des conférences nationales ou internationales. Le (la) candidat(e) devra avoir une formation en physique optique et en instrumentation. Il (elle) devra maîtriser l'anglais et sera amené(e) à utiliser des logiciels informatiques de CAO. Les travaux se déroulant en interface avec de nombreux intervenants, internes et externes, le (la) candidat(e) doit montrer de bonnes capacités relationnelles, faire preuve d'autonomie et être prêt(e) à découvrir le domaine de l'optique X.

**Contact :**

René WROBEL  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 - rene.wrobel@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Développement de diagnostics nucléaires pour le LMJ**

**Contexte :**

Dans le cadre de son programme "Simulation", le CEA-DAM s'est doté, sur le site du CESTA près de Bordeaux, d'une installation laser de puissance : le laser Mégajoule (LMJ), qui est entré en fonctionnement en 2014. Le LMJ permettra à terme de réaliser des expériences de fusion par confinement inertiel (FCI), c'est-à-dire la combustion thermonucléaire d'une petite capsule constituée d'un mélange de deutérium et de tritium à l'aide de l'énergie du laser. La performance des expériences de fusion nucléaire sera caractérisée, entre autres, par la mesure des neutrons issus des réactions de fusion qui pourront produire jusqu'à  $10^{19}$  neutrons de 14 MeV en  $10^{-10}$  s. Pour les expériences de fusion, les principaux paramètres à mesurer seront le nombre de neutrons émis, la température ionique du combustible, l'instant d'émission des neutrons ainsi que la durée de combustion. Ces mesures sont réalisées dans une ambiance radiative intense composée principalement de rayonnements X, gamma et neutron.

Le laboratoire d'accueil, situé au CEA/DIF (DAM Ile-de-France) à Bruyères-le-Châtel (91), a en charge la conception, le développement, la recette et l'étalonnage des dispositifs de mesure (aussi appelés diagnostics) qui seront utilisés sur l'installation LMJ.

**Objectif :**

Les diagnostics fréquemment utilisés sont basés sur des mesures par activation ou constitués de photomultiplicateurs à galette de microcanaux couplés à des scintillateurs ou de diamants CVD. Ils peuvent être placés sur des bases de vol dont la distance à la source peut varier de quelques dizaines de centimètres jusqu'à atteindre plusieurs dizaines de mètres. La qualité des mesures neutroniques dépendra principalement de l'optimisation du rapport signal à bruit (RSB) et donc de la collimation de ces bases de vol.

L'objectif de ce post-doc sera de participer, au sein du laboratoire, à la définition et au développement de l'ensemble de ces diagnostics nécessitant à la fois de la simulation et de l'expérimentation.

Le (la) candidat(e) sera amené(e) à participer à différentes phases du développement des diagnostics nucléaires comme la définition des positions de mesure sur le LMJ et leur impact sur le RSB (en liaison avec l'ingénierie projet et en utilisant des codes de type GEANT4 et/ou MCNP), la R&D sur les diamants CVD et leur qualification sur installations laser ou sur accélérateurs (développement de codes Python pour le traitement des données). Le (la) candidat(e) sera amené(e) à collaborer avec d'autres laboratoires du CEA mais aussi avec l'université de Rochester (USA) pour les activités expérimentales sur l'installation OMEGA.

Le sujet de ce post-doc est un sujet ouvert qui doit donner lieu à publication et permet de participer à des conférences internationales. Le (la) candidat(e) devra avoir une formation en physique nucléaire et en instrumentation. Il (elle) devra maîtriser l'anglais et les langages informatiques Python et C++. Les travaux se déroulant en interface avec de nombreux intervenants, internes et externes, le (la) candidat(e) doit montrer de bonnes capacités relationnelles et d'écoute, être réactif et mobile.

**Contact :**

René WROBEL  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 - rene.wrobel@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Mise au point et caractérisation du compteur de neutrons SCONE – Mesure de réactions (n,xn) sur actinides**

**Contexte :**

Le laboratoire d'accueil situé au CEA/DIF (DAM Ile-de-France) à Bruyères-le-Châtel (91) est fortement impliqué dans des mesures de sections efficaces de réactions (n,xn). Les expériences se dérouleront auprès de l'installation NFS (Neutron For Science) du GANIL. Une proposition d'expérience a d'ores et déjà été acceptée, et nous devrions faire une première mesure sur l'uranium 238 en 2019. Dans ce cadre nous développons un nouveau détecteur SCONE, qui est un compteur de neutrons très efficace.

**Objectif :**

Le travail à réaliser dans le cadre de ce contrat post-doctoral porte sur la mise au point et la réalisation du compteur de neutrons SCONE. Ce nouveau type de compteur a la particularité d'avoir une segmentation optique importante par rapport aux compteurs traditionnels. Il est donc important de définir des stratégies de déclenchement de l'acquisition, sur des critères de multiplicité de déclenchement de photomultiplicateur nouvelles. Ce travail se fera par des simulations du dispositif. Ces simulations permettront également de préciser l'efficacité de détection des neutrons pour différents types de réactions nucléaires, réactions (n,xn), fission, diffusion inélastique. Ce travail devra se faire en collaboration avec les évaluateurs de l'unité pour notamment regarder l'influence des distributions angulaires sur l'efficacité de détection. Pour ce qui est de la réalisation, il comporte la mise en construction du compteur et sa caractérisation expérimentale. Des mesures sur le 252Cf seront réalisées.

**Contact :**

Gilbert BELIER  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – gilbert.belier@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :****Evolution de systèmes de vélocimétrie Laser Doppler en dynamique des matériaux****Contexte :**

Dans le domaine de la physique des chocs ou plus généralement de l'étude du comportement dynamique des matériaux, l'interférométrie Doppler de type VISAR (Velocity Interferometer System for Any Reflector), développée dans les années 1970, a représenté une avancée considérable. Des phénomènes rapides (quelques nanosecondes à la microseconde) et à grande vitesse (plusieurs centaines de mètres par seconde) pouvaient alors être mesurés. Ces systèmes ont évolué au fil des ans, donnant lieu à différentes générations d'équipements et à de nombreux développements. L'apparition de composants optiques fibrés dans le domaine des télécommunications a facilité la réalisation de systèmes « Vélocimétrie Hétérodyne » (VH, aussi dénommée Interférométrie Doppler Fibré ou Photonic Doppler Velocimetry en anglais). Ces systèmes offrent de nombreux avantages en termes d'exactitude et de reproductibilité des mesures. Les orientations du CEA Gramat sur les développements actuels sont la mesure en ligne et en 2D ainsi que la quantification de l'erreur résiduelle sur la mesure de vitesse.

**Objectif :**

Les travaux envisagés dans ce post-doctorat ont notamment pour but de réaliser un nouveau système multi-longueurs d'onde permettant la mesure d'un profil de vitesses en ligne ou en 2D à la surface d'un matériau sous sollicitation dynamique (choc plan, compression isentropique, etc.) de quelques mm/s à environ 10 km/s. Le nouveau système VH devra permettre de réaliser la mesure d'un profil de vitesse avec une résolution spatiale et temporelle suffisante pour mieux appréhender les phénomènes physiques mis en jeu afin d'optimiser les codes de simulation numérique utilisés actuellement en dynamique des matériaux.

La fonction de transfert globale de la chaîne de mesure, incluant le traitement du signal, sera ensuite modélisée et maîtrisée par l'estimation de son incertitude de mesure. Le CEA Gramat possède une palette d'outils de traitement du signal pour estimer la fréquence Doppler. Les techniques de transformée de Fourier glissante (SFFT) et d'analyse du déphasage des signaux d'interférences sont les plus utilisées. L'outil devra être mis à niveau pour intégrer de manière automatique le calcul d'incertitude sur la mesure de vitesses.

Le nouveau système VH et l'outil de traitement du signal mis à jour seront validés sur un banc optique puis sur des expérimentations de dynamique des matériaux au CEA Gramat notamment sur un générateur de rampe de compression nommé GEPI (Générateur Electrique de Pressions Intenses) utilisant les Hautes Puissances Pulsées (HPP), qui permet d'atteindre des contraintes maximales de l'ordre de 100 GPa avec des temps de montée caractéristiques de 450-500 ns.

**Déroulement :**

Sur la base des travaux déjà menés sur les mesures de vitesses en dynamique des matériaux, la première partie de ce travail consistera à prendre en main les systèmes de vélocimétrie hétérodyne et les outils de traitement du signal. La seconde partie aura pour but de quantifier l'erreur résiduelle sur la mesure de vitesse. La dernière partie de ce travail consistera à valider le nouveau système multi-longueurs d'onde et l'outil de traitement du signal adapté dans le but d'utiliser l'ensemble en routine sur des moyens expérimentaux du CEA Gramat.

**Contact :**

Yohan BARBARIN & Gaël LEBLANC  
CEA/Gramat – BP 80200 – 46500 GRAMAT  
Tél. : 05 65 10 54 32 - yohan.barbarin@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

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

**Contexte :**

Le CEA/Le Ripault possède des compétences reconnues dans la caractérisation optique des matériaux. Pour des applications industrielles liées au Laser Mégajoule (LMJ), il a déjà développé un réflectomètre dans le domaine du visible et du proche infrarouge, donnant une excellente précision sur de petites pièces, même non planes. Nous souhaitons à présent concevoir un système équivalent fonctionnant dans le domaine de l'infrarouge moyen et lointain, et appliqué à de plus grandes dimensions (de l'ordre de la dizaine de centimètres).

**Objectif :**

Le CEA/Le Ripault étudie généralement les propriétés optiques des matériaux sur échantillons plans de petite taille (de l'ordre du centimètre) dans un domaine allant de l'ultraviolet à l'infrarouge. Afin de valider le protocole de caractérisation sur pièces réelles, l'objectif est de caractériser des formes non obligatoirement planes via la réalisation d'un banc de mesure de réflectivité infrarouge portable.

**Contacts :**

Hervé PIOMBINI & Corinne MARCEL  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00  
herve.piombini@cea.fr & corinne.marcel@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :****Caractérisation de chaîne radiographique en vue de sa prise en compte dans le logiciel de simulation de Contrôles Non Destructifs CIVA****Contexte :**

Le CEA/Valduc utilise la radiographie ou la tomographie comme moyen de contrôle pour caractériser des soudures, soit en termes de santé matière, soit en termes de tenue mécanique en déterminant une hauteur soudée. L'objectif de caractériser une chaîne radiographique dans le logiciel de simulation de Contrôles Non Destructifs CIVA est d'être capable à terme de prédire la faisabilité ou non d'un contrôle, vis-à-vis des limites de détection et des incertitudes de mesures, ou d'aider à la compréhension d'observables non prévisibles.

Pour simuler une chaîne radiographique, il est nécessaire d'améliorer les connaissances sur les sources X et les détecteurs. Les sources X sont généralement des microfoyer 225 kV et les détecteurs sont numériques, de type photostimulable ou flat panel, ou argentique.

**Objectif :**

La modélisation des sources X (dose, tache focale, spectre) et des détecteurs (sensibilité, rapport signal sur bruit, résolution spatiale) sera obtenue à partir de l'analyse d'images expérimentales acquises sur les différents moyens. La première étape sera consacrée aux traitements des images acquises sur des gradins ou des Indicateurs Qualité d'Images (IQI). Ce traitement devra être effectué à l'aide du logiciel Matlab. Une étude devra être menée pour déterminer la stabilité des moyens afin d'évaluer la précision avec laquelle les caractéristiques des sources et des détecteurs devront être obtenues. Les caractéristiques des sources et des détecteurs obtenues, elles devront être intégrées au logiciel CIVA pour vérifier la bonne adéquation entre les images expérimentales et simulées.

La seconde étape sera consacrée à la simulation de différentes chaînes radiographiques en prenant en compte leur environnement réel (support mécanique, murs, ...). L'objectif est d'identifier les paramètres les plus influents qui peuvent être à l'origine du bruit ou de défauts sur les images expérimentales (le rétrodiffusé des supports, etc.) afin de les intégrer dans la simulation de la chaîne radiographique.

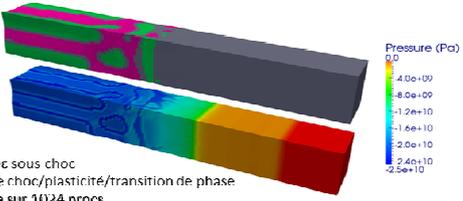
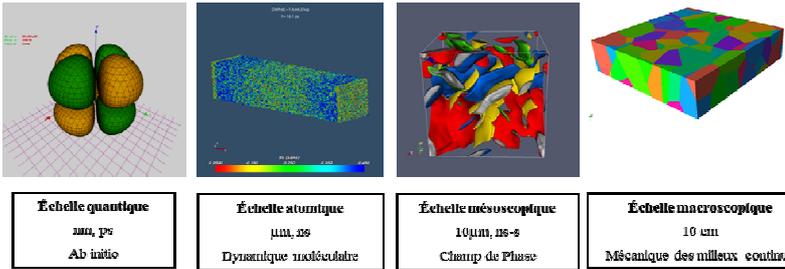
Enfin, la dernière étape sera la mise en œuvre de la chaîne radiographique simulée concernant deux applications. La première consiste à étudier l'intérêt de la prise en compte des caractéristiques dimensionnelles réelles des pièces telle que fabriquées vis-à-vis d'un contrôle de santé matière. La seconde application consiste à étudier la prise en compte du rayonnement diffusé simulé pour effectuer les reconstructions tomographiques et évaluer son intérêt.

Le (la) candidat(e) devra connaître les techniques relatives au traitement du signal, la physique de la radiographie, réaliser des simulations numériques et utiliser des logiciels tels que Matlab et CIVA.

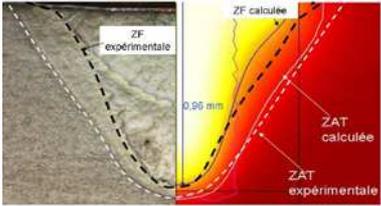
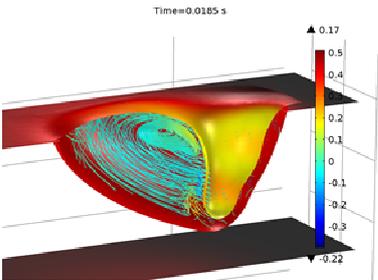
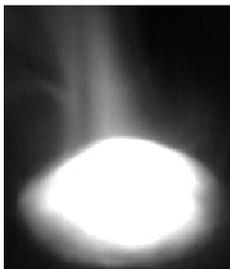
**Contact :**

Francis LAMY  
CEA/Valduc – 21120 Is-Sur-tille  
Tél. : 03.80.23.40.00 – francis.lamy@cea.fr

# MATERIAUX, PHYSIQUE DU SOLIDE



Transition Fer  $\alpha \rightarrow \epsilon$  sous choc  
Etude du couplage choc/plasticité/transition de phase  
Etude préliminaire sur 1024 procs



Observation du bain fondu par caméra rapide, simulation thermo-hydraulique du soudage continu et simulation thermo-métallurgique du soudage du TA6V

**Sujet du post-doctorat :**

**Caractérisation des défauts dans les diélectriques par la théorie de perturbation à plusieurs corps**

**Contexte :**

Un matériau diélectrique soumis à des radiations voit ses propriétés macroscopiques altérées. Ces modifications sont dues à la création à l'échelle atomique de défauts ponctuels qui affectent ses propriétés optiques et électroniques. Pour caractériser ces défauts, la simulation à l'échelle atomique apparaît donc particulièrement adaptée. Pour cela, trois étapes peuvent être enchaînées : à partir des structures atomiques des défauts obtenues dans le cadre de la Théorie de la Fonctionnelle de la Densité (DFT), on applique la théorie de perturbation à plusieurs corps pour calculer la structure électronique (approximation GW) et les propriétés optiques des défauts (équation de Bethe-Salpeter-BSE). Les codes permettant de réaliser ces trois étapes d'affilée sur des cellules de simulation de grandes tailles nécessaires pour un défaut dilué neutre ou chargé n'existent pas totalement à l'heure actuelle.

**Objectif :**

Le travail de post-doctorat consistera à faire les développements nécessaires dans le code Abinit, à comparer ses résultats à d'autres codes de la communauté (SaX, BerkeleyGW...) et à les valider sur des défauts dans trois matériaux d'intérêts pour nos applications:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{HfO}_2$  et SiC.

**Contact :**

Nicolas RICHARD  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – nicolas.richard@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Calcul par dynamique moléculaire de la viscosité de dislocation vis dans le tantale, le fer, et le plutonium**

**Contexte :**

Les modélisations multiéchelles pour les lois de comportement des métaux ont pour but de modéliser finement l'ensemble des mécanismes de la plasticité grâce à des modélisations faites aux petites échelles, de l'angström à la fraction de millimètre. Parmi les techniques utilisées, on citera par exemple les calculs de structure électronique (code Abinit), de dynamique moléculaire (code Stamp), de dynamique des dislocations (code MobiDiC), ou de plasticité cristalline (code Coddex). L'utilisation de calculs de structure électronique pour obtenir de nombreux paramètres de ces lois confère une capacité prédictive à ces approches, très utilisées pour les lois de comportement dédiées aux hautes pressions et aux chocs intenses pour lesquelles peu de données expérimentales existent.

La plasticité est essentiellement due au mouvement de lignes de défaut du cristal, appelées dislocations. La mobilité des dislocations (relation entre la contrainte subie par la dislocation et sa vitesse) dépend fortement de la structure du cristal. Pour les structures cristallines cubiques centrées, la très forte friction des dislocations sur le réseau est responsable d'une grande susceptibilité à la température et à la vitesse de déformation. Cette friction peut être étudiée par dynamique moléculaire, pour plusieurs régimes de chargement, allant de la dynamique modérée à la dynamique rapide.

**Objectif :**

Dans un premier temps les dislocations vis seront étudiées et comparées aux résultats de la littérature. Ensuite, l'ensemble des caractères de dislocation (vis et coin) seront investigués, jusqu'aux très hautes vitesses de propagation. Pour cette étude, un potentiel numérique sera utilisé et ajusté sur des données obtenues par calculs de structure électronique *ab initio*.

**Contact :**

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

**Sujet du post-doctoral :**

**Modélisation homogène de la plasticité cristalline du TATB**

**Contexte :**

La composition des matériaux énergétiques se décline très souvent sous la forme d'une association entre des grains cristallins compactés de la molécule explosive et un liant polymère occupant moins de 3% en masse de la matrice. Le TATB (1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzène) est un matériau énergétique destiné à certaines applications militaires. L'étude de ce matériau, de sa structure et de son comportement sous l'effet de facteurs extérieurs tels que la température ou la pression en particulier est donc d'un grand intérêt.

La principale voie de déclenchement de la détonation des matériaux explosifs solides est l'apparition de points chauds, zones localisées au sein desquelles la température et la contrainte sont anormalement élevées et où des réactions chimiques très exothermiques peuvent avoir lieu sur un laps de temps très court. Plusieurs études pointent les effets du cisaillement et de la déformation plastique du TATB sur l'apparition de tels points chauds. La connaissance des mécanismes de déformation plastique représente alors un élément incontournable afin de comprendre la réponse d'un matériau explosif sous l'application de contraintes mécaniques et l'apparition de zones localisées de forte énergie pouvant mener à la formation de points chauds, puis au phénomène de réaction chimique.

**Objectif :**

L'objectif est ici de développer et d'identifier un modèle homogène actuellement en cours de construction pour le monocristal de TATB, dans lequel les divers mécanismes de plasticité connus sont décrits par des champs continus de variables internes. De la sorte, ni les dislocations, ni les pseudo-macles ne sont considérées individuellement. Ce modèle est destiné *in fine* à être utilisé pour des simulations de type homogénéisation en champs complets, faisant intervenir un nombre de grains représentatif de la réponse élastoviscoplastique macroscopique d'agrégats polycristallins en transformations finies (grandes déformations et grandes rotations). Ces travaux tireront partie du savoir-faire acquis dans ce domaine lors de l'étude menée dans le cadre de la thèse de J.-B. Gagnier. Les travaux proposés se décomposent en trois phases distinctes, relatives respectivement :

1. à la construction du modèle et à son identification,
2. son implantation numérique,
3. sa mise en oeuvre et sa validation. Ce travail sera réalisé en collaboration avec le CEA, ENSAM et ENSMines-Paris.

**Contact :**

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

**Sujet de post-doctorat :**

**Imagerie de matériaux magnéto-diélectriques inhomogènes**

**Contexte :**

Acteur majeur en matière de recherche, de développement et d'innovation, le CEA Le Ripault, situé près de Tours, concentre tous les métiers et compétences scientifiques et techniques nécessaires à la mise au point de nouveaux matériaux non nucléaires depuis leur développement jusqu'à leur industrialisation. Le laboratoire d'accueil s'intéresse dans ce cadre aux matériaux magnéto-diélectrique inhomogènes et à leurs propriétés.

**Objectif :**

La possibilité d'imager les propriétés radioélectriques de matériaux magnéto-diélectrique inhomogènes a été acquise au cours d'une thèse qui s'est déroulé au laboratoire. Trois axes restent cependant à développer. Le premier consiste à étendre et valider l'utilisation du moyen en 3D. Le second est de consolider la métrologie de l'installation et d'évaluer les incertitudes de mesure. Enfin, un troisième axe est d'utiliser l'installation pour caractériser des revêtements avancés du type méta-matériaux, matériaux hyperboliques, matériaux à microstructure contrôlée réalisés en fabrication additive ou soustractive...

En ce qui concerne l'axe métrologique, le travail du post-doctorat proposé présentera deux aspects :

- Un aspect expérimental permettant de faire évoluer le moyen de mesure pour le rendre robuste ou pour l'étendre à de nouvelles configurations de mesure ;
- Un autre axe de travail passera par l'utilisation de méthodes probabilistes et de moyens de simulation pour évaluer les incertitudes de mesure et conduire des études de sensibilité. En ce qui concerne l'exploitation du moyen, le travail demandé consistera surtout à mettre en œuvre les caractérisations adéquates et interpréter correctement celles-ci par un modèle physique. Une capacité à dialoguer avec des spécialistes des matériaux est indispensable.

**Contact :**

Nicolas MALLEJAC  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00 - nicolas.mallejac@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

**Déformation dynamique des matériaux granulaires : Influence des hétérogénéités locales sur le champ de température**

**Contexte :** Les matériaux granulaires présentent une microstructure fortement hétérogène où la distribution granulométrique et le comportement mécanique des grains jouent un rôle prépondérant dans la localisation de l'énergie mécanique générée par un projectile lors de l'impact de la cible. Si les calculs d'impact réalisés à l'échelle macroscopique montrent un échauffement de l'ordre de 50°C, plusieurs centaines de degrés peuvent être obtenus localement. On parle alors de « points chauds ». Pour les matériaux granulaires énergétiques, cette élévation de température peut mener à un début de décomposition chimique exothermique et, plus tard, vers un régime de combustion violent. L'étude proposée a comme objectif de relier la sollicitation mécanique macroscopique au risque d'allumage local. L'étude proposée concerne plus particulièrement l'impact de structures contenant des matériaux organiques et énergétiques confinés dans un montage métallique. Les projectiles ont des vitesses comprises entre 50 et 500 m/s et des masses de 100 g à plusieurs dizaines de kilogrammes. Les premières observations microstructurales montrent que la sollicitation mécanique se localise dans des bandes de cisaillement dont la largeur est l'ordre de 200 à 500  $\mu\text{m}$ . Un premier matériau étudié au CEA est constitué d'une distribution étendue de grains d'une même nature. La microstructure a été schématisée par deux phases : les plus gros grains représentant environ 50% de la distribution et la « matrice » constituée des plus petits grains, du liant (qqs %) et de la porosité (qqs %). A partir d'une approche « matériau numérique » à cette échelle, nous avons montré que la majeure partie de la déformation est encaissée par la « matrice ». La localisation de l'allumage (et donc le mécanisme de chauffage par frottement ou plasticité) doit être principalement recherchée dans cette phase. L'étude s'est poursuivie pour un second matériau contenant deux types de grains aux comportements différents et présents à part égale dans la composition. Un ensemble d'outils numériques a été mis en œuvre pour réaliser les calculs 3D d'impact avec un solveur lagrangien aux éléments finis et un contrôle régulier et une optimisation de la qualité du maillage. Ces méthodes ont permis de simuler le cisaillement d'un cube de 200  $\mu\text{m}$  de côté contenant quelques dizaines de grains (Voronoi) et d'observer la localisation des échauffements. Nous avons montré qu'une hétérogénéité de comportement permet déjà d'expliquer de forts échauffements. Cet effet a été constaté soit lorsque la microstructure comporte deux phases de comportement isotrope différent (2 modèles isotropes élastiques parfaitement plastiques), ou bien lorsqu'elle contient une seule phase dont le comportement plastique est anisotrope et initialement orienté aléatoirement.

**Objectif :** Le sujet confié au candidat à ce contrat post-doctoral comporte trois volets :

1. **Volet thermique :** il s'agira de **compléter la démarche numérique déjà en place par une prise en compte de la diffusion thermique** via la résolution de l'équation de la chaleur à l'échelle locale en tenant compte de la dissipation mécanique et de la chaleur dégagée par la décomposition exothermique. Le flux thermique libéré par les réactions chimiques permettra de détecter l'apparition d'un allumage au sein de la microstructure. Dans le cadre d'une démarche pas à pas, le couplage thermomécanique entre l'échauffement et les propriétés mécaniques sera négligé, le calcul thermique se réduisant alors à un post-traitement des simulations numériques mécaniques. Le champ de température devra être calculé y compris lors des calculs avec remaillage. Une **réflexion** sera menée quant à la prise en compte des propriétés thermiques anisotropes des cristaux dans ces simulations mésoscopiques.
2. **Volet mécanique :** il s'agira de **compléter la base bibliographique du laboratoire** dans le domaine du comportement thermo-mécanique des matériaux énergétiques à l'échelle de leurs constituants, puis d'**étudier le rôle supplémentaire joué par l'anisotropie d'élasticité** des grains. Il s'agit de simuler la réponse de polycristaux dont le comportement est composé d'une élasticité anisotrope et de la plasticité anisotrope déjà prise en compte. L'anisotropie doit être prise en compte tout au long du calcul, y compris lors des phases de remaillage. Enfin, le **rôle de l'endommagement sera étudié**. Une loi d'endommagement sera ajoutée à la partie élastique des modèles. Ce phénomène conduisant à un adoucissement du comportement pourrait influencer grandement la localisation des déformations et des efforts à l'échelle locale.
3. **Volet applicatif :** Pour quelques cas d'impact réalistes, déterminer la **probabilité d'allumage** d'un matériau en fonction des sollicitations et du comportement de ces constituants.

**Contact :**

Didier PICART  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00 - didier.picart@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

**Simulation du comportement sous choc d'une composition explosive préchauffée jusqu'à 250°C**

**Contexte :**

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre de la garantie de la sécurité pyrotechnique par une démarche de simulation.

**Objectif :**

Les compositions explosives, majoritairement constituées de TATB, comme le PBX-9502 sont réputées très insensibles au choc à température ambiante. Ce n'est plus le cas lorsque ces compositions sont fortement préchauffées. Ainsi, à 250°C, leur sensibilité au choc est du même ordre de grandeur que celle d'une composition à base d'octogène.

L'objectif du travail proposé est donc de simuler l'effet d'un préchauffage initial sur le processus de transition choc-détonation dans le PBX-9502 en géométrie 1D et 2D. Ces simulations seront réalisées sur grands calculateurs avec un code d'hydrodynamique eulérien et une loi de cinétique chimique, basée sur un modèle de formation de points chauds, qu'il s'agira d'améliorer afin d'étendre son domaine d'applicabilité jusqu'à 250°C.

Pour atteindre cet objectif, on recensera tout d'abord dans la littérature les travaux portant sur la caractérisation du comportement détonique de compositions à base de TATB préchauffées jusqu'à 250°C. Cette analyse bibliographique doit nous permettre de mieux comprendre les phénomènes induits par le préchauffage d'un explosif à base de TATB, mais aussi d'acquérir les données nécessaires à la réalisation des premières simulations.

Dans un second temps, il s'agira de compléter ce référentiel expérimental en définissant les mesures complémentaires indispensables au calage et à la validation d'une seconde version plus réaliste de notre loi de cinétique.

**Contact :**

Eric BOUTON  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00 - eric.bouton@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

**Simulation eulérienne de la transition-choc détonation dans une composition au TATB**

**Contexte :**

Ces travaux entrent dans le cadre de la garantie de la sécurité pyrotechnique par une démarche de simulation.

Afin de réaliser des études de sécurité pyrotechnique, nous avons développé un outil de calcul permettant de simuler le processus de transition-choc-détonation (TCD) dans un explosif au TATB faiblement poreux. La spécificité de notre outil, qui est basé sur le code hydrodynamique lagrangien Hésione, est d'inclure un modèle explicite de formation de points chauds par implosion viscoplastique de pores sphériques. Celui-ci est complété par la donnée d'une loi de distribution de porosité ainsi que par une loi de cinétique chimique macroscopique décrivant la transformation du TATB en produit de détonation. Les constantes de cette loi de cinétique chimique ont été calées afin de reproduire au mieux des résultats d'essais de choc plan 1D. La première version de notre outil permet ainsi de restituer correctement des profondeurs d'amorçage, la désensibilisation totale par choc double ainsi que les seuils de détonation lors d'impact de barreau sur explosif nu ou protégé en face avant. Ces premiers résultats encourageants sont toutefois limités à des cas de calculs n'entraînant pas des déformations trop importantes de la structure pyrotechnique étudiée.

**Objectif :**

L'objectif du travail demandé est donc, dans un premier temps, de voir comment modifier notre outil numérique afin de réaliser des calculs eulériens pour simuler des configurations d'essais subissant de grandes déformations.

Une fois ces modifications implantées dans le code d'hydrodynamique, il s'agira de recalculer les constantes de la loi de cinétique macroscopique afin de restituer non seulement des résultats d'essais 1D mais aussi 2D. Les nouveaux essais à prendre en compte dans la matrice de qualification seront, par exemple, des courbes d'effet de diamètre ou des profils de vitesse matérielle mesurée, lors d'impacts de barreau, à travers une fenêtre transparente, en face arrière de cylindres d'explosif.

Ce travail sera aussi complété par la définition et le dimensionnement d'essais de TCD permettant de mieux évaluer le potentiel et les limites de notre nouvel outil de calcul.

**Contact :**

Eric BOUTON  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00 - eric.bouton@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

**Simulation micromagnétique hiérarchique à grande échelle des modes propres d'absorption**

**Contexte :**

Actuellement, en fonction de l'échelle spatiale d'intérêt, la prédiction de la dynamique d'aimantation d'objets magnétiques s'appuie sur deux stratégies numériques standardisées : la voie micromagnétique et la voie atomistique. Ces deux approches s'appuient sur la résolution d'une équation d'évolution temporelle de l'aimantation ou du moment magnétique classique, dont la solution à temps long est caractéristique d'un certain état d'équilibre. Afin de prédire la susceptibilité magnétique résonante spectrale d'un tel état, on procède à des variations faibles autour de cet état d'équilibre, soit de nouveau à l'aide d'une méthode temporelle relaxée, soit à l'aide d'une méthode spectrale. Ces stratégies sont numériquement coûteuses, s'accommodent mal des effets thermiques et peinent à s'accorder autour de problèmes standardisés afin de comparer les performances respectives de leurs implémentations.

**Objectif :**

L'objectif de ce post-doctorat est de proposer une méthode micromagnétique innovante des équations de la dynamique de Landau-Lifshitz-Bloch en hiérarchie gaussienne. Cette nouvelle méthode se fonde sur une formulation atomistique stochastique tant de l'équation de précession que de ses moments afin de former une hiérarchie dynamique ouverte d'équations effectives. Le (la) candidat(e) se verra confier l'implémentation numérique en méthode des éléments finis de ce système dynamique, analysera sa convergence et développera une formulation des faibles oscillations comme un problème généralisé aux valeurs propres d'opérateurs auto-adjoints connectant les champs effectifs micromagnétiques ainsi que leurs moments d'ordre élevé. Il s'appuiera notamment sur les calculateurs massivement parallèles de la Direction des applications militaires.

**Contact :**

P. THIBAudeau  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00  
pascal.thibaudeau@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

**Elaboration et caractérisation de composites carbone-résine à l'état vierge et pyrolysé**

**Contexte :**

Que ce soit lors de la dégradation au cours de l'emploi d'un composite carbone/résine ou lors de la fabrication d'un composite carbone/carbone par voie résine, la compréhension des mécanismes de pyrolyse de la résine et les propriétés interfaciales fibre/matrice sont des points clés pour l'obtention de matériaux pertinents. De plus, la réglementation REACH va conduire à l'obsolescence de différents matériaux composites à renfort carbone à matrice organique ou à matrice carbone.

**Objectif :**

L'objectif de cette étude est de décrire la dégradation de différentes matrices seules, mais surtout au sein de mini-composites réalisés avec une nouvelle résine.

Au stade pyrolysé, il s'agira de proposer une méthodologie d'étude des interfaces fibre/matrice de composites constitués. Le début des travaux consistera à choisir quelques candidats de résines adaptées et à réaliser la caractérisation élémentaire de leur dégradation. Ces travaux seront menés en parallèle d'une thèse actuellement en cours localisée au CEA le Ripault situé à proximité de Tours.

Dans une seconde étape, des micro-composites seront produits à partir des résines candidates et de fibres de carbone de natures diverses notamment pour conduire l'étude des interfaces fibre-matrice et de la pyrolyse (densité de fissures, topologie des réseaux associés, rôle des interfaces et influence de leurs caractéristiques...).

En complément, des plaques composites issues du CEA Le Ripault ou de provenance industrielle seront fournies. Ces mini-composites permettront dans une dernière phase de caractériser les interfaces fibre/matrice au stade vierge et pyrolysé et de remonter aux lois de dégradation des résines au sein des composites.

Ce post-doctorat sera mené au LCTS Bordeaux (Unité Mixte de Recherche CNRS-UB-Safran Ceramics-CEA), sous contrat CNRS.

**Contacts :**

Damien BRANDT & Nicolas TENEZE  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00  
damien.brandt@cea.fr & nicolas.teneze@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :****Etude de l'élaboration de composites C/SiC****Contexte :**

Les besoins dans les domaines spatial et aéronautique requièrent des matériaux qui possèdent des propriétés mécaniques élevées à haute température (1000°C ou plus), tout en étant relativement légers. La famille des matériaux composites à matrice céramique (CMC), en particulier les C/SiC, semble la plus pertinente vis-à-vis du besoin. Cependant il est nécessaire de mener des études pour déterminer les solutions les plus performantes parmi la grande variété des types d'architectures fibreuses et des microstructures de matrice possibles, tout en tenant compte des contraintes liées aux procédés disponibles et aux géométries visées.

**Objectif :**

L'objectif est d'élaborer et d'évaluer par des caractérisations notamment thermostructurales et morphologiques un panel large d'échantillons. Cela concerne notamment la densification de différents types d'architectures fibreuses, par différentes techniques (PIP, siliciuration, voies hybrides), afin de pouvoir comparer les caractéristiques et propriétés des matériaux obtenus.

Le (la) candidat(e) aura en charge la définition, la mise en œuvre du programme de travail et des échantillons en s'appuyant sur les moyens et experts du LCTS. En soutien, des travaux additionnels utilisant des moyens d'élaboration ou de caractérisation non disponibles au LCTS pourront être menés sur le site du CEA le Ripault.

Ce post-doctorat sera mené au LCTS Bordeaux (Unité Mixte de Recherche CNRS-UB-Safran Ceramics-CEA).

**Contacts :**

Damien BRANDT & Nicolas TENEZE  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00  
damien.brandt@cea.fr & nicolas.teneze@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :****Nouvelles fibres de carbone****Contexte :**

Les fibres de carbone constituent le renfort de choix pour la majorité des applications qui nécessitent de concilier légèreté et performances mécaniques. Selon les applications, les propriétés recherchées en priorité peuvent varier (rigidité, résistance ou conductivité). Les propriétés des fibres de carbone résultent de la combinaison étroite d'une parfaite maîtrise de la fabrication d'un fil précurseur en matériau organique (chimie du produit et filage), puis du contrôle précis de sa transformation en fil de carbone. Les propriétés du composite, et notamment des interfaces ou interphases, peuvent varier également sensiblement en fonction de la chimie et de la topologie de surface de la fibre.

**Objectif :**

L'étude comportera plusieurs volets dont la caractérisation des fils précurseurs, des fibres de carbone produites, de l'interface fibre/résine ainsi que l'étude et l'optimisation des traitements thermiques et d'ensimage en lien avec les spécifications et propriétés ciblées.

Les échantillons de fils précurseurs et fibres de carbone seront fournis. Les protocoles de caractérisation seront conjointement définis avec le CEA Le Ripault (Monts, Indre-et-Loire) et si certaines intercomparaisons ou techniques particulières s'avéraient nécessaires, des moyens spécifiques pourraient être mis à contribution au CEA. Le candidat aura accès au moyen de carbonisation du LCTS pour évaluer l'influence des conditions de traitement sur la morphologie et les caractéristiques des filaments, ainsi que sur l'homogénéité du traitement au niveau de la mèche. Cette étude devra permettre de définir les préconisations de protocole pour un changement d'échelle (pilote).

Le post-doctorant proposera une méthodologie de caractérisation, assurera les essais et produira les rapports périodiques correspondants.

Ce post-doc sera mené au LCTS à Bordeaux (Unité Mixte de Recherche CNRS-UB-Safran Ceramics-CEA), sous contrat CNRS.

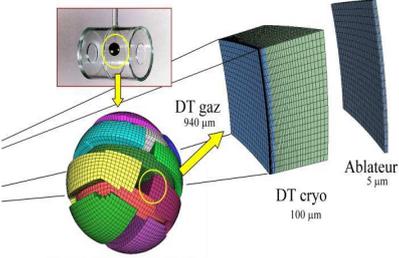
**Contacts :**

Stéphane Cadra et Catherine Delhomme  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00  
stephane.cadra@cea.fr ; catherine.delhomme@cea.fr

# MATHEMATIQUES, INFORMATIQUE SCIENTIFIQUE & LOGICIEL



Simulation numérique des expériences de Laser



**Sujet du post-doctorat :**

**Développement d'une démarche de simulation basée sur un code existant, à valider et adapter pour des applications de CEM**

**Contexte :** Dans le domaine de la compatibilité électromagnétique (CEM) et de la montée en régime des capacités de simulation au CESTA, il est prévu de développer l'utilisation de la simulation numérique tri-dimensionnelle prédictive sur le supercalculateur pétaflopique Téra 1000 pour la résolution de problèmes de CEM.

Le CEA/DAM dispose pour cela d'un code développé en interne potentiellement en mesure de répondre au besoin de simulation appliquée à la CEM : le code Sophie, qui résout les équations d'évolution de Maxwell Ampère et Faraday couplées de manière auto-consistante à l'équation de Vlasov qui régit l'évolution de particules chargées. Ce code est basé sur la méthode FDTD ; il est utilisé depuis dix ans dans le domaine des impulsions électromagnétiques générées par l'interaction rayonnement-matière, et est déjà validé sur un certain nombre de configurations dans d'autres contextes que la CEM. Il est capable de traiter des calculs comportant des centaines de milliards de mailles sur plusieurs milliers de processeurs en des temps raisonnables, grâce à un parallélisme hybride MPI et OpenMP.

**Objectif :** L'objectif du post-doctorat est de proposer, justifier et mettre en œuvre des méthodes de validation de l'utilisation du code Sophie pour la résolution de problèmes de CEM.

Pour cela, le (la) post-doctorant(e) s'appropriera les schémas et algorithmes du code Sophie de résolution des équations de Maxwell (sans l'équation de Vlasov), et prendra en compte le besoin CEM défini par ailleurs. Il est envisageable dans un second temps de définir des modèles et algorithmes physico-numériques complémentaires à mettre en place dans le code Sophie, puis de les y implémenter.

Après une prise en main du code, le (la) post-doctorant(e) :

- simulera des cas de calcul représentatifs de problèmes d'électromagnétisme (par exemple, le couplage d'ondes électromagnétiques avec des lignes de transmission simples puis complexes et multiples, ou la pénétration de champs magnétiques basses fréquence dans des cavités métalliques non assimilables à des conducteurs parfaits),
- comparera les résultats obtenus avec des données de référence pertinemment choisies,
- établira les paramètres d'emploi du code pour résoudre les problèmes de CEM,
- pourra le cas échéant compléter les modèles de Sophie par des développements spécifiques (par exemple, fils non rectilignes, jonctions entre fils).

**Contacts :**

Olivier CESSENAT & Céline ZUBER  
CEA/Cesta – BP 2 – 33114 Le Barp  
Tél. : 05 57 04 40 00  
olivier.cessenat@cea.fr & celine.zuber@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :****Mise au point de méthodes de Décomposition de Domaines dans un code 3D de Furtivité Electromagnétique****Contexte :**

Dans le cadre de sa démarche de Garantie par la Simulation, le CEA/Cesta développe des chaînes logicielles 3D pour plusieurs domaines de la physique, en particulier la Furtivité Electromagnétique.

Pour traiter des objets réels, les outils de simulation doivent être capables de modéliser des problèmes multi-échelles. Les méthodes d'équations intégrales surfaciques sont particulièrement adaptées à la résolution de ce type de problème. Toutefois la discrétisation des formulations intégrales conduit à un système linéaire avec une matrice dense, généralement mal conditionnée. La résolution de ce système par solveur direct limite la taille de problème accessible (quelques dizaines de millions), même si de grandes avancées ont été faites sur les solveurs ces vingt dernières années. L'emploi d'un solveur itératif permet *a priori* de gagner une décade sur la taille des problèmes mais la convergence n'est pas assurée à cause du mauvais conditionnement de la matrice.

Ces cinq dernières années ont vu l'émergence de nouvelles méthodes, connues dans le cadre de formulations volumiques des équations de Maxwell, mais jamais utilisées en équations intégrales surfaciques : les méthodes de décomposition de domaines. Les méthodes de décomposition de domaines se basent sur une décomposition en sous-domaines plus petits du domaine initial. Les sous-domaines sont résolus dans un premier temps indépendamment les uns des autres puis leurs solutions sont couplées. Ces méthodes ont de nombreux avantages comme de produire un préconditionneur efficace, de pouvoir mailler les sous-domaines indépendamment les uns des autres, d'être bien adaptées au calcul parallèle et au final de résoudre de problèmes de très grande taille.

**Objectif et déroulement :**

Le sujet du post-doctorat consistera à étudier deux de ces techniques récentes de décomposition de domaines sans recouvrement : l'une basée sur une formulation de type Galerkin discontinue avec une méthode de pénalisation, l'autre plus classique basée sur un découpage volumique de l'objet. Ces méthodes, quoique donnant certains résultats spectaculaires, méritent une analyse plus poussée en particulier sur la précision que l'on peut en espérer. Après les avoir analysées voire améliorées, le (la) post-doctorant(e) aura à intégrer ces méthodes dans un code de calcul 3D existant, massivement parallèle, développé au CEA/Cesta sur le supercalculateur Pétaflopique TERA-1000 du CEA/DAM. Il (elle) pourra employer le nouveau solveur direct rapide utilisant une technique de compression hiérarchique pour la résolution des sous-domaines. Pour la résolution du problème global liant les sous-domaines, il faudra mettre au point des solveurs itératifs performants dans le cas de multi-secondes membres en essayant de tirer parti de la puissance de calcul du supercalculateur TERA-1000. Des simulations numériques permettront d'étudier la convergence des deux méthodes et leur précision dans le cas d'objets parfaitement conducteurs avec des maillages conformes. Le cas des maillages non conformes entre les sous-domaines nécessitera des adaptations spécifiques à chacune des méthodes. Une fois familiarisé avec les équations intégrales surfaciques, le (la) post-doctorant(e) pourra évaluer si la première méthode, écrite initialement pour des objets conducteurs, peut s'étendre aux cas d'objets diélectriques.

**Contact :**

Agnès PUJOL  
CEA/Cesta – BP 2 – 33114 Le Barp  
Tél. : 05 57 04 40 00 - agnes.pujol@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Caractérisation probabiliste bayésienne en temps réel de sources de rejets nocifs en environnement industriel ou urbain**

**Contexte :**

La caractérisation des sources de rejets atmosphériques à l'origine de détections sur des capteurs est cruciale lorsque les produits rejetés présentent un danger immédiat ou différé pour la santé humaine ou l'environnement. Il en va ainsi de fuites de produits chimiques dans des installations et sur des sites industriels ou de toute source polluante qui serait introduite dans une infrastructure critique (gare ferroviaire, aéroport...) ou un quartier urbain.

Des travaux antérieurs faisant appel aux expertises du CEA-DAM et de l'Institut Mines – Télécom ont souligné l'intérêt d'utiliser des modèles physiques 3D des écoulements d'air et de la dispersion tenant compte de l'influence du bâti (industriel ou urbain) dans le cadre de l'inférence bayésienne, ceci en lien avec des algorithmes de reconstruction probabiliste des termes sources. Plusieurs algorithmes ont été testés parmi lesquels AMIS (*Adaptive Multiple Importance Sampling*) et SMC (*Sequential Monte Carlo Sampler*) ont montré leur efficacité, en particulier lorsque la localisation et l'ampleur des sources sont pré-identifiées au moyen de simulations 3D de la dispersion en mode rétrograde.

**Objectif :**

Sur la base des travaux indiqués ci-dessus, le sujet post-doctoral visera à améliorer les méthodes d'estimation des termes sources afin de pouvoir les appliquer dans le contexte opérationnel. Plus précisément, l'algorithme AMIS nécessitant un choix parfois complexe de valeurs de paramètres, l'idée sera d'introduire une estimation de la distribution *a posteriori*, non seulement des caractéristiques de la source, mais également des paramètres du modèle. Par ailleurs, il sera intéressant de considérer la prise en compte de détections « à la volée », ce à quoi se prête l'algorithme SMC. Au final, les travaux devraient permettre de localiser et quantifier de façon probabiliste des sources de rejets à l'atmosphère, dans des délais suffisamment courts pour répondre aux besoins induits par ce type de situations d'urgence.

**Contact :**

Patrick ARMAND  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 - patrick.armand@cea.fr

**Sujet du post-doctoral :****Modélisation et simulation rapide des ondes de souffle****Contexte :**

Lors d'une explosion, la libération soudaine d'une quantité finie d'énergie génère une onde de souffle. Cette onde mobile est constituée d'un choc suivi d'une zone de détente (phase positive) avant retour progressif à l'équilibre. En interagissant avec les obstacles, le choc est réfléchi, diffracté ou se recombine, ce qui conduit à un front d'onde de forme complexe, rendant difficile voire impossible une estimation *a priori* des effets des explosions hors cas triviaux. Dans ce contexte, le CEA développe depuis plusieurs années deux voies d'expertise. La première est basée sur la simulation numérique instationnaire et tridimensionnelle des équations d'Euler. Compte tenu des différentes échelles caractéristiques en jeu, ces simulations peuvent nécessiter plusieurs milliards de mailles et sont rendues possibles uniquement grâce aux logiciels et aux supercalculateurs massivement parallèles du CEA-DAM.

La seconde voie, qui est l'objet du présent travail, est basée sur une adaptation d'un modèle simplifié décrivant avec une bonne approximation l'évolution du front de choc pour les nombres de Mach élevés. Il s'agit d'une variante du modèle Geometrical Shock Dynamics (GSD) de Whitham. Mathématiquement, ce modèle (hyperbolique) est gouverné par deux équations qui donnent la position et la vitesse locale du choc. La dimension du problème est ainsi réduite (passage du cas Euler 3D/5 équations au 2D/2 équations) et des méthodes numériques rapides de type Fast-Marching ou Lagrangiennes ont pu être mises au point par notre équipe.

**Objectif :**

Nos travaux récents ont consisté à étendre le modèle GSD aux faibles nombres de Mach et à implémenter le modèle résultant en formulation Lagrangienne pour plus de facilité de mise au point.

D'un point de vue modélisation, plusieurs aspects restent à traiter. Le modèle de base étant hyperbolique, il développe des discontinuités sur le front qui sont assimilables à la trace d'un point triple pour un front de Mach. Or, la réflexion non régulière n'existe que sous certaines conditions physiques. La première étape du travail consistera donc à étendre le modèle GSD au cas de la réflexion régulière. Le second aspect important pour les ondes de souffle est l'ajout d'une équation pour la durée de la phase positive du signal de pression.

D'un point de vue numérique, la méthode de type Fast-Marching mise au point a l'avantage de gérer efficacement les recombinaisons d'ondes. L'intégration des évolutions récentes du modèle, de la branche Lagrangienne notamment, ainsi que l'extension au second ordre du schéma numérique seront effectuées. Pour des cas 3D de grande envergure, le passage à une structure de donnée AMR, ainsi que la parallélisation de la méthode sont nécessaires. Notre approche semble partager certaines spécificités de la méthode FIM qui sera comparée à une approche plus classique avant mise en œuvre. Le code résultant sera validé par comparaison aux expériences et simulations Euler connues. En fonction de l'avancement de ces travaux, le traitement des arrivées multiples pourra être envisagé. Ce travail pourra faire l'objet de communications dans des congrès internationaux et de plusieurs publications dans des revues de rang A.

**Contact :**

Nicolas LARDJANE  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – nicolas.lardjane@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :****Simulation d'effets de sites sur maillage non structuré****Contexte :**

L'évaluation de l'aléa sismique est un sujet de recherche majeur très actif qui permet d'assurer la tenue au séisme des bâtiments. En pratique, les méthodes mises en œuvre conduisent à une estimation de l'accélération du sol à partir de lois d'atténuation empiriques. En présence de remblais ou de conditions géologiques particulières, comme un bassin sédimentaire par exemple, cette approche peut être mise en défaut et la simulation numérique permet d'affiner l'analyse. La simulation de la propagation des ondes sismiques et des effets de sites n'est toutefois pas aisée au regard des échelles caractéristiques mises en jeu. Dans ce contexte, le CEA-DAM participe depuis plusieurs années au développement d'un code de propagation sismique sur maillage hexaédrique nommé SEM3D. Ce logiciel est hautement optimisé et offre, en conjonction avec l'arrivée du supercalculateur Tera1000, de nouvelles perspectives en termes de résolution spatiale et donc de fréquence transportée. Si la partie propagation est aujourd'hui bien maîtrisée, la prise en compte de structures géologiques complexes reste délicate sur maillage hexaédrique. Le recours à une approche non structurée tétraédrique constitue une alternative qu'il convient d'étudier au regard des avancées scientifiques récentes.

**Objectif :**

L'analyse de la littérature montre qu'en parallèle des méthodes classiques d'éléments spectraux (SE) ou de Galerkin discontinu (DG), des approches volumes finis (FV) d'ordre élevé sont développées depuis quelques années. Ces méthodes ont l'avantage d'une complexité informatique réduite et peuvent offrir une alternative intéressante, notamment dans le cas de cellules hexaédrique de mauvais rapport d'aspect.

L'objectif du travail proposé est donc d'évaluer et de réaliser une comparaison des différentes méthodes. Une étude bibliographique conduisant à l'état de l'art des algorithmes et des codes disponibles sera menée. L'intérêt des approches SE, DG, et FV, sera ensuite discuté sur la base de modèles 1D simples. A l'issue de cette phase, un code 2D de type volume finis sera développé et les résultats comparés aux autres approches déjà maîtrisées en interne CEA.

Ce travail fera l'objet de communications dans des congrès internationaux et de publications dans des revues de rang A.

**Contact :**

Nicolas LARDJANE  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – nicolas.lardjane@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Apport des séries temporelles en imagerie satellitaire radar pour l'amélioration de la qualité et de la résolution des images**

**Contexte :**

L'imagerie satellitaire SAR (Synthetic Aperture Radar : Radar à Synthèse d'Ouverture) connaît une nouvelle phase de développement grâce aux satellites actuels (tels que Sentinel 1), avec l'apparition de longues séries temporelles d'images, de plusieurs centaines d'images, acquises dans des conditions de prises de vue identiques. La communauté scientifique commence à exploiter ces données, notamment pour la mesure de déformation et la détection de changements. Cependant, de larges champs d'investigation restent encore à explorer concernant la diminution du bruit sur une image radar ainsi que l'amélioration de la résolution en exploitant ces séries temporelles.

**Objectif :**

Le premier objectif du post-doctorat est d'exploiter les séries temporelles d'images afin d'améliorer la qualité des images SAR qui sont soumises à un fort bruit dit de « speckle ». Une des pistes est d'exploiter un formalisme récent consistant à séparer la composante stable de la rétrodiffusion radar de la composante de speckle, ce qui permettra d'obtenir des images débruitées. Le second objectif est d'améliorer la résolution des images. Dans un ensemble d'images acquises sur une zone, celles-ci sont légèrement décalées entre elles. L'exploitation de cet ensemble d'images pourrait permettre d'obtenir une image super-résolue, comme c'est le cas dans l'exploitation de séries d'images vidéo. Cependant, les algorithmes classiquement utilisés en vidéo doivent être adaptés : d'une part, des changements peuvent être apparus entre les acquisitions ; d'autre part, l'image SAR est une image de nombres complexes. Le (la) candidat(e) devra mettre en place différentes techniques de super-résolution adaptées aux images SAR et les comparer sur plusieurs cas d'étude.

**Contact :**

Béatrice PINEL-PUYSSEGUR  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – [beatrice.puysegur@cea.fr](mailto:beatrice.puysegur@cea.fr)

**Sujet du post-doctorat :**

**Génération automatique de méta-maillages quadrangulaires**

**Contexte :** De nombreuses méthodes mathématiques utilisées en simulation numérique requièrent de discrétiser le domaine géométrique étudié par un ensemble fini d'éléments simples formant un maillage. Pour des domaines surfaciques, ces éléments simples, appelés mailles, sont généralement des triangles ou des quadrangles. Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à la génération de maillages quadrangulaires, et plus particulièrement ceux dits structurés par blocs, c'est-à-dire des assemblages conformes de grilles régulières. Si, en pratique, ceci permet de générer des maillages linéaires fins hautement structurés en raffinant chaque bloc (voir figure 1), nous souhaitons utiliser cette structure pour générer un maillage grossier d'ordre élevé, où chaque bloc correspond à une maille courbe dont les arêtes sont représentées par des polynômes d'ordre supérieur ou égal à 2. Nous qualifions un tel maillage de méta-maillage.

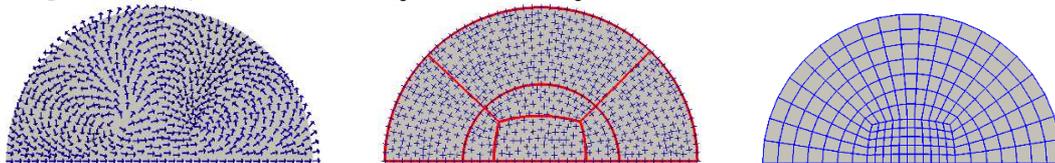


Figure 1. Génération d'un maillage structure par blocs.

De gauche à droite : le champ d'orientation généré ; la structure par bloc ajoutée ; un maillage quadrilatéral généré.

Plusieurs travaux ont porté durant les dernières années sur la génération de ces maillages structurés par blocs. En particulier, les travaux de Kowalski N. [Thèse, 2013] et Kowalski N. *et al.* [Engineering with Computers, 31 (3), 405-421, 2015] exhibent la structure par blocs qui nous intéresse en proposant de : **(1)** Générer un champ d'orientations sur un maillage triangulaire T de à l'aide de la résolution d'une EDP simple ; **(2)** Identifier les singularités du champ et les singularités géométriques du bord de ; **(3)** Construire un réseau de lignes reliant ces différentes singularités pour former une structure de blocs, pour laquelle il est prouvé que chaque sommet est de valence 3, 4 ou 5 et que chaque zone est quadrangulaire.

**Objectif :**

C'est dans la continuité de ces travaux que se positionne l'étude proposée avec plusieurs axes de recherche déjà identifiés :

1. Le champ d'orientations obtenu à l'étape (1) nécessite de résoudre un problème de type élément fini sur T. La précision du résultat est fortement corrélée à la finesse de discrétisation de T. Intuitivement plus le maillage sera fin, plus le résultat sera précis. Le corollaire est que le temps de calcul augmente avec la finesse de T. Afin d'obtenir un résultat suffisamment précis tout en maîtrisant les coûts calculatoires, nous proposons d'utiliser des techniques d'adaptation de maillage ou le maillage T est modifié itérativement pour être fin dans les zones de fort intérêt et grossier dans les zones de faible intérêt. L'adaptation sera par exemple guidée par la détection de caractéristiques topologiques du champ.
2. En considérant la génération de champs d'orientations telle que décrite dans les travaux de Ray N. *et al.* [Computer Aided Design, 102, 94-103, 2018] nous souhaitons étendre l'approche de Kowalski N. *and al.* [Engineering with Computers, 31(3), 405-421, 2015] à la gestion de surfaces 3D. Cette extension devra en outre prendre en compte la gestion de contraintes internes aux surfaces (failles, lignes fermées, etc.).
3. La structure de blocs obtenue à la fin de l'étape (3) pourra être munie de blocs inutiles car trop fins par rapport à la résolution souhaitée. Une étape de post-traitement basée sur des techniques de suppression de feuillets [Ledoux F. *et al.* Engineering with Computers, 26 (4), 433-447, 2010 - Kowalski N. *et al.* Engineering with Computers, 28(3), 241-253, 2012] pourra être ajoutée à cet effet.
4. Enfin les blocs obtenus devront être des éléments courbes d'ordre arbitraire.

L'obtention de résultats suivant tout ou partie de ces axes de recherches constituerait une avancée significative en maillage qui pourra faire l'objet de publications scientifiques dans des revues ou des congrès internationaux. Mais obtenir de tels maillages serait aussi directement utile pour de nombreuses applications. En particulier, nous évaluerons les résultats obtenus en alimentant les outils de la plateforme CIVA (<http://www.extende.com/civa-in-a-few-words>), notamment un solveur éléments finis permettant la résolution numérique de problèmes de propagation d'ondes élastodynamiques à hautes fréquences. Ce type de problème apparaît entre autres dans le contexte de la modélisation des expériences de Contrôle Non-Destructif (CND) par ultrasons, tels que le Contrôle de Santé Intégré ou Structural Health Monitoring (SHM) par ondes guidées des pièces composites, utilisées dans le domaine de l'aérospatial.

<b>Contact :</b>	Franck LEDOUX CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon Tél. : 01 69 26 40 00 – <a href="mailto:franck.ledoux@cea.fr">franck.ledoux@cea.fr</a>
------------------	---

**Sujet du post-doctorat :**

**Interprétation de résultats de calcul scientifique à l'aide de méthodes d'apprentissage.**

**Contexte :**

La question posée est d'utiliser (si possible avec efficacité) des réseaux de neurones et des méthodes d'apprentissage pour interpréter des résultats de calcul scientifique et développer de nouveaux schémas numériques non linéaires.

En effet le constat est le suivant : d'une part le calcul scientifique s'attache à construire des objets (les codes de calculs multiphysiques) de plus en plus non linéaires et complexes. Cela se réalise entre autres avec des schémas numériques eux-mêmes de plus en plus non linéaires et complexes : force est de constater que l'analyse numérique rigoureuse de ces schémas est de plus en plus délicate. D'autre part de nouveaux algorithmes apparaissent avec un degré de maturité avancée, à partir de réseaux de neurones par exemple en partant du logiciel TensorFlow. Des applications à des problèmes très non linéaires et à la mécanique des fluides avec turbulence sont évoquées dans une conférence récente organisée par le LANL. Dans ce contexte une question générale semble naturelle: peut-on utiliser ces nouveaux outils pour faire progresser le calcul scientifique ? Plusieurs travaux très récents en analyse numérique attestent également de cet intérêt.

**Objectif :**

Le sujet consistera à comparer la littérature récente sur le sujet avec les expériences numériques obtenues par B. Desprès à base du logiciel TensorFlow pour la classification (de type apprentissage supervisé) de résultats de schémas numériques issus de schémas de transport modernes. Parmi les pistes de recherche envisagées, on s'attachera à développer une stratégie pour le développement de schémas non linéaires pour des modèles de transport linéaire, des équations non linéaires de type Burgers, voire même en cas de succès pour un système non linéaire hyperbolique (dynamique des gaz compressible).

Un point de départ pourra consister à reprendre les tests numériques et à les accélérer sur carte GPU.

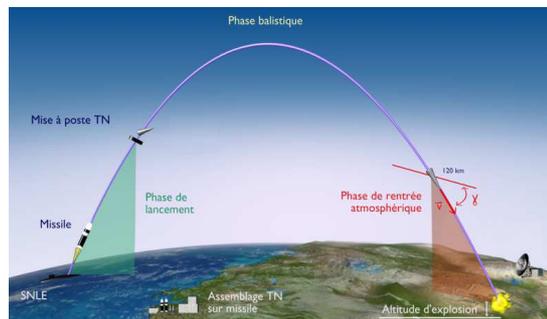
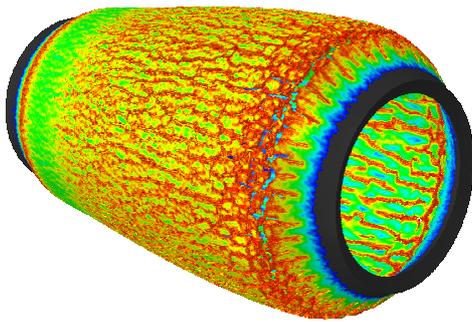
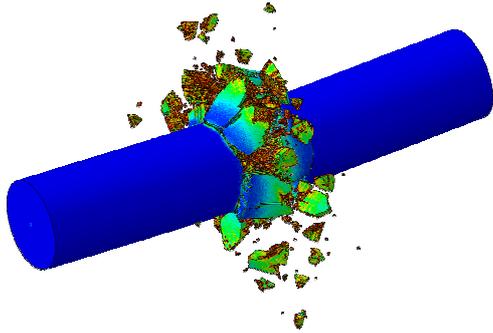
Une autre piste potentiellement fructueuse consiste à étudier un algorithme de reconstruction d'interface à partir de données numériques de type fractions de présence. En effet une interface partitionne une figure et génère ce que l'on peut interpréter comme une image que l'on peut classer en différents types. A la différence de la situation précédente, les paramètres d'intérêts sont continus (angles, ...). L'étude s'attachera à mettre en place une procédure opérationnelle de type problème inverse et à enrichir la liste des paramètres décrivant l'interface. Des comparaisons pourront être faites avec d'autres algorithmes en reconstruction d'interfaces pour l'ingénierie, à partir d'articles de recherche qui seront fournis.

**Contacts :**

Jean-Christophe WEILL  
CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France  
01 69 26 40 00 – jean-christophe.weill@cea.fr

Bruno DESPRES  
professeur LJLL, UPMC, Sorbonne université  
despres@ljl.math.jussieu.fr

# MECANIQUE & THERMIQUE



**Sujet de post-doctorat :**

**Instrumentation d'essais mécaniques à très haute température**

**Contexte :**

Les composites carbone/carbone sont constitués de fibres de carbone dont la cohésion est assurée par une matrice de carbone. Ces matériaux sont sollicités à des températures proches de 3000°C. Pour obtenir leurs propriétés dans des domaines de températures représentatifs, il est nécessaire de mettre en œuvre des machines dédiées.

**Objectif :**

Dans le cas des composites C/C 3D à haute température, une machine spécifique a été conçue pour atteindre des températures extrêmes, tout en mesurant le comportement thermomécanique. Une instrumentation thermique et mécanique est en place sur la machine. Elle permet d'obtenir la déformation et la contrainte axiale des matériaux à la température indiquée par les capteurs.

Le (la) post-doctorant(e) sera chargé(e) de :

- Concevoir une instrumentation permettant de révéler l'ensemble des composantes mécaniques subies par les éprouvettes en traction et, si possible, en compression ;
- Simuler les essais par éléments finis tenant compte du comportement macroscopique à haute température des matériaux ;
- Proposer des montages alternatifs visant à améliorer la procédure d'essai.

**Contact :**

Guillaume HUCHET & Christophe TALLARON  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00  
guillaume.huchet@cea.fr & christophe.tallaron@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

**Rôle des interfaces dans la modélisation du comportement thermomécanique d'un composite carbone-carbone**

**Contexte :**

Les composites carbone/carbone sont constituées de fibres de carbone dont la cohésion est assurée par une matrice de carbone. Schématiquement, on peut considérer que les propriétés mécaniques dans l'axe des fibres sont assurées par celles-ci alors que les propriétés hors axe sont dues à la matrice et au mélange fibre/matrice. Nous nous intéresserons dans le cadre du sujet proposé à l'étude des propriétés hors axes d'un composite et, notamment, à la relation entre ces propriétés et la nature des interfaces.

**Objectif :**

Dans les cas des composites C/C 3D, l'architecture 3D joue un rôle dans les propriétés mécaniques « hors axe », c'est-à-dire lorsque la sollicitation générant du cisaillement n'est pas directement dans l'axe des fibres constituant le composite. Dans le type de composites considéré, les fibres sont en effet arrangées en baguettes droites, de sections rectangulaires dont les côtés sont inférieurs au millimètre. Ces baguettes sont arrangées selon une architecture 3D avec des baguettes en X, d'autres en Y et en Z. Les sections des différentes baguettes peuvent différer d'une orientation de baguette à l'autre. Les vides entre les baguettes sont comblés par la matrice carbone.

Des travaux précédents étudiant notamment les propriétés mécaniques hors axes d'un composite C/C 3D ont montré l'importance des interfaces entre baguettes et plus particulièrement la propriété qu'ont ces baguettes, liées les unes aux autres uniquement par une épaisseur faible de matrice, à « glisser » les unes par rapport aux autres. Cette propriété de cohésion des baguettes entre elles est accessible expérimentalement par un dispositif de « push-out » mis en place au LCTS de Bordeaux lors des travaux mentionnés.

Il s'agira, d'une part, d'intégrer les nouveaux résultats expérimentaux obtenus depuis les travaux précédents et, d'autre part, d'approfondir le lien entre la nature des interfaces mettant en jeu les baguettes. Le (la) candidat(e) devra pour cela :

- Valider un nouveau code de calcul sous ABAQUS permettant de réaliser des expériences numériques avec différentes géométries d'éprouvettes ;
- Exploiter ce code en comparant les expériences réalisées avec les expériences numériques ;
- Intégrer l'ensemble des caractérisations réalisées au LCTS depuis les travaux précédents

**Contact :**

François GUILLET & Christophe TALLARON  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00  
francois.guillet@cea.fr & christophe.tallaron@cea.fr

**Sujet de post-doctorat :**

**Développement, modélisation et caractérisation d'isolants thermiques haute température de type MLI (Multi Layers Insulation)**

**Contexte :**

Les composites MLI sont constitués d'une alternance de feuilles bloquant les échanges thermiques par rayonnement (par exemple, feuilles métalliques à faible émissivité) séparées par des espaceurs structurants à faible conduction thermique (par exemple, des tulles). Ces structures sont des solutions efficaces d'isolation thermique en faible épaisseur particulièrement intéressantes à haute température car les échanges thermiques se font alors majoritairement par rayonnement. Le CEA développe ces matériaux, par exemple pour isoler des piles à combustible de type SOFC (Solid Oxide Fuel Cells).

**Objectif :**

Le sujet du post-doctorat porte sur le développement de MLI performants à haute température à partir de produits commerciaux (tissu, feutre, film métallique, etc.) par la réalisation d'essais thermiques dynamiques dans un four haute température. Ces expériences permettront de comparer le fonctionnement des différents MLI et d'en optimiser l'architecture.

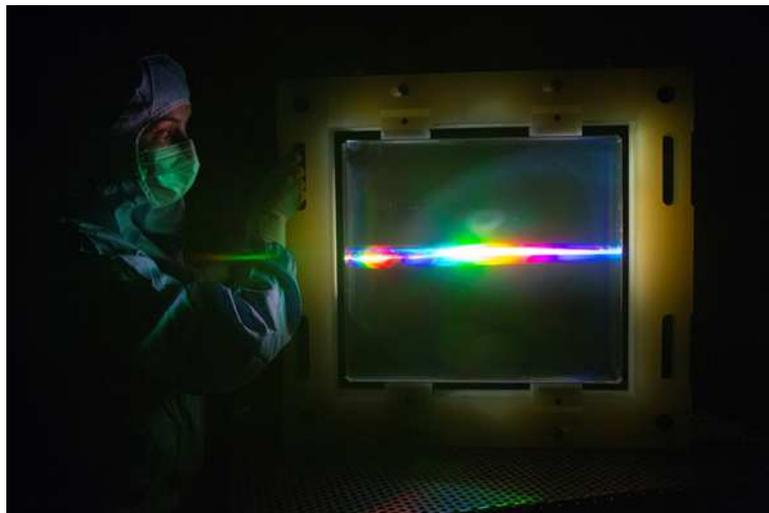
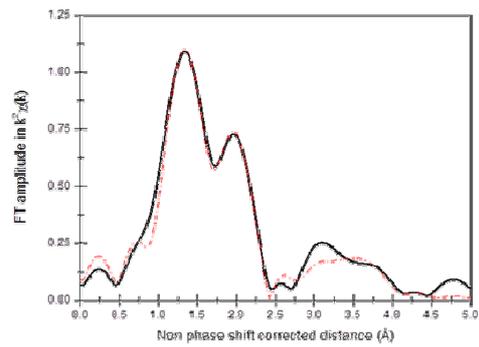
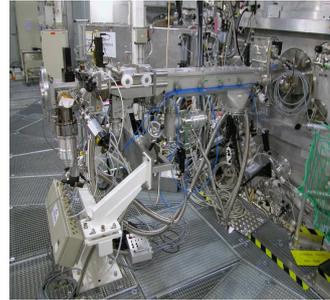
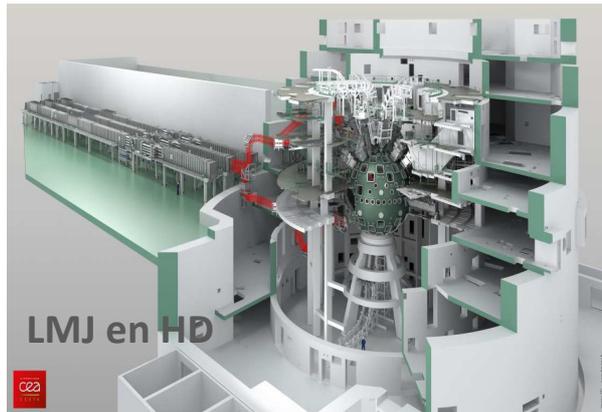
Une étape de modélisation numérique du dispositif permettra d'obtenir des valeurs de conductivité et d'évaluer les erreurs du système pour éventuellement les corriger.

Enfin un modèle thermique du MLI sera élaboré sur la base de ces mesures et sera confronté à des caractérisations optiques (émissivité) des différents constituants du MLI.

**Contacts :**

François Duverger & Anne-Lise Adenot-Engelvin  
CEA/Le Ripault – BP 16 – 37260 Monts  
Tél. : 02 47 34 40 00  
francois.duverger@cea.fr  
anne-lise.adenot-engelvin@cea.fr

# OPTIQUE & OPTRONIQUE



**Sujet du post-doctorat :**

**Endommagement des composants optiques sur chaîne PETAL**

**Contexte :**

Les lasers de puissance fonctionnant en régime d'impulsions courtes délivrent des faisceaux dont l'éclairement est de plusieurs TW/cm<sup>2</sup>. A de tels niveaux, des problèmes d'endommagement laser interviennent sur les composants assurant le transport et la compression des impulsions, limitant ainsi la puissance des chaînes laser. Le Département Lasers de Puissance du CEA/CESTA, qui a en charge l'exploitation du laser PETAL, étudie l'endommagement laser des composants optiques en régime d'impulsions courtes (de quelques centaines de femtosecondes à quelques picosecondes). Le post-doctorat proposé consiste à mieux comprendre l'endommagement laser constaté sur chaîne et en particulier sur les miroirs de transport.

**Objectif :**

Les principaux objectifs de ce post-doctorat sont :

- de disposer d'une métrologie optique complète et résolue des divers composants optiques constituant la chaîne laser PETAL ;
- d'utiliser voire de développer les modèles nécessaires à la qualification des modulations spatiales et temporelles créées lors de la propagation du faisceau laser, de l'impact potentiel sur la durée d'impulsion ;
- de corrélérer ces modélisations avec l'état constaté sur chaîne en utilisant les moyens d'observation disponibles.

Le (la) post-doctorant(e) mettra à profit les divers moyens de caractérisation optiques et de modélisation disponibles au CEA/CESTA. Il (elle) travaillera en étroite collaboration avec les équipes Optiques et Laser. Il (elle) sera en outre probablement amené(e) à dérouler cette même démarche sur un laser américain dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de Rochester (NY, USA).

La pertinence de cette étude originale dans le domaine de l'endommagement en impulsions courtes permet d'envisager la rédaction de plusieurs articles scientifiques de qualité dans des journaux à comité de lecture. Une attention particulière sera portée à l'atteinte de cet objectif. Le (la) post-doctorant(e) sera également amené(e) à présenter ses résultats lors de congrès nationaux et internationaux où il (elle) rencontrera la communauté scientifique travaillant sur ces thématiques.

**Contacts :**

Hervé COIC & Jérôme NEAUPORT  
CEA/Cesta – BP 2 – 33114 LE BARP  
Tél. : 05.57.04.40.00  
herve.coic@cea.fr & jerome.neauport@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Lissage par double polarisation sur LMJ**

**Contexte :**

Idéalement, la tache focale des lasers de puissance nanoseconde, comme le Laser Mégajoule (LMJ), devrait être parfaitement homogène. En pratique, c'est impossible à obtenir et elle est composée d'une figure de tavelure comportant de nombreux points chauds et froids. Pour donner l'illusion d'homogénéité, différentes techniques de lissage, parfois complémentaires, existent (déplacement rapide des points chauds, superposition de deux états de polarisation,...).

**Objectif :**

Le post-doctorat proposé consistera à étudier la faisabilité d'un lissage dit par "double polarisation" sur l'installation LMJ. Ce lissage consiste à superposer deux états de polarisation dans la tache focale grâce à l'ajout d'un élément optique birefringent. En pratique il s'agira de :

- Etablir les différentes configurations d'implantation envisageables ;
- Définir les spécifications des éléments optiques additionnels ;
- Comparer les performances des différentes solutions.

Deux éléments dispersifs principaux seront envisagés : cristal de KDP et réseau de transmission birefringent. Pour remplir ces objectifs, le (la) post-doctorant(e) sera amené(e) à utiliser divers outils de propagation (MIRO), de modélisation (COMSOL, GSOLVER) afin de simuler les propriétés de ces composants (efficacité de diffraction, calcul de champ pour les réseaux, diffusion Raman dans les KDP notamment...). Il (elle) prendra en particulier en charge l'étude et la caractérisation optique de ces composants en collaboration avec les unités du CEA/CESTA et hors CESTA. Un lien sera fait avec les études de propagation dans les plasmas menées au CEA/DIF. Des échanges avec des collègues américains sont également envisagés (LLE).

**Contacts :**

Jérôme NEAUPORT & Mélanie MANGEANT  
CEA/Cesta – BP 2 – 33114 LE BARP  
Tél. : 05.57.04.40.00  
jerome.neauport@cea.fr & melanie.mangeant@cea.fr

**Sujet du post-doctorat :**

**Outils d'aide à la décision pour la maintenance des optiques du LMJ**

**Contexte :**

Dans le cadre du Laser Mégajoule, le Département des Lasers de Puissance du CEA/CESTA a en charge le suivi de l'endommagement laser des composants optiques sur les chaînes laser du LMJ. Il est également équipé, en base arrière, de bancs pour l'analyse expérimentale de la tenue au flux laser de composants représentatifs de la chaîne LMJ. Sur l'installation LMJ, des diagnostics s'assurent de l'intégrité des composants. Ils effectuent un suivi des optiques afin de repérer l'apparition des dommages et de mesurer leur éventuelle croissance. Ces mesures permettent de classer les dommages en fonction de leur dangerosité et d'en déduire des lois d'exploitation. C'est sur cette base que sont prises les décisions de maintenance des optiques sur le LMJ. L'objectif de ce travail est d'établir, d'améliorer et de valider les traitements numériques des observables disponibles sur chaîne pour affiner les stratégies de maintenance susceptibles d'être mises en œuvre sur le LMJ.

**Objectif :**

En collaboration avec une équipe d'ingénieurs et techniciens, le (la) post-doctorant(e) effectuera :

- des acquisitions sur chaîne LMJ et des dépouillements des images issues des nombreux faisceaux du LMJ. Ces résultats apporteront une compréhension du comportement statistique des dommages de grande taille ;
- des confrontations et analyses statistiques du comportement des dommages en laboratoire et sur chaîne afin d'en extraire les paramètres pertinents et valider des stratégies de maintenance globale.

Il (elle) réalisera les différents tests et plus précisément :

- Il (elle) participera au dépouillement des mesures sur chaîne et en base arrière.
- Il (elle) mettra en œuvre des méthodes de statistique descriptive ou non descriptive afin de modéliser les lois d'apparition et de croissance des dommages.
- Il (elle) mettra en œuvre des méthodes de classification afin d'identifier les différentes familles de dommages.
- Il (elle) confrontera les lois observées sur LMJ et en base arrière afin d'extraire et d'affiner les paramètres pertinents pour la définition des stratégies d'exploitation sur l'installation.

**Contact :**

Sébastien VERMERSCH & Chloé LACOMBE  
CEA/Cesta – BP 2 – 33114 LE BARP  
Tél. : 05.57.04.40.00  
sebastien.vermersch@cea.fr & chloe.lacombe@cea.fr

**Sujet du post-doctoral :**

**Modélisation du comportement de défauts critiques dans les composants laser**

**Contexte :**

Le Laboratoire de Métrologie Optique a en charge de caractériser par prélèvement les composants optiques du Laser Mégajoule. Parmi les nombreux composants optiques livrés par les industriels, certains présentent des défauts de fabrication qui peuvent parfois avoir des conséquences dramatiques sur le faisceau laser et contribuer ainsi à l'endommagement d'autres composants en aval de la chaîne au cours des tirs laser. Nous avons démarré une thèse en 2016 sur cette thématique afin de mieux comprendre ces mécanismes et être plus aptes à juger des conséquences associées à ces défauts résiduels. Nous étudions donc la diffraction de défauts représentatifs en exploitant un banc prototype de mesure de propagation laser permettant de quantifier ces impacts en régime dit « linéaire ». Nous validons des modèles issus de simulations numériques en les comparant aux images mesurées.

**Objectif :**

L'objectif du contrat de post-doctorat est de s'inscrire dans la lignée de cette thèse et de mettre en place les outils expérimentaux et numériques permettant de statuer sur l'acceptation des défauts détectés. Il s'agira d'une part de finaliser le développement du dispositif existant afin de quantifier les mesurandes caractéristiques des objets à analyser ; et d'autre part, de réexprimer au mieux ces caractéristiques (résolution du problème inverse de la diffraction) pour appliquer des modèles de propagation non-linéaires et estimer le champ électromagnétique au niveau des différents composants en aval lors d'un tir de puissance. Ces outils permettraient ainsi de juger avec pertinence de l'utilisation du composant optique en l'état, malgré la présence de défauts, ou de la nécessité d'un éventuel post-procédé de réparation.

Les outils numériques à développer pourront également être validés expérimentalement par le biais d'expériences laser sur une installation du laboratoire appelée « MELBA » et capable d'accéder à des conditions de propagation laser en régime non-linéaire.

La pertinence de ces travaux dans le domaine des lasers de puissance permet d'envisager la rédaction de un à plusieurs articles scientifiques de qualité dans des journaux à comité de lecture. Le post doctorant sera également amené à présenter ses résultats lors de congrès nationaux et internationaux où il rencontrera la communauté scientifique travaillant sur des thématiques similaires.

**Contact :**

Stéphane BOUILLET & Jérôme DAURIOS  
CEA/Cesta – BP 2 – 33114 LE BARP  
Tél. : 05.57.04.40.00  
stephane.bouillet@cea.fr & jerome.daurios@cea.fr

**Sujet du post-doctoral :**

**Etude amplificateur laser 1J 10 Hz**

**Contexte :**

De grandes installations d'étude de physique par laser de puissance sont actuellement en fonctionnement : le NIF National Ignition Facility aux Etats-Unis et depuis 2014 le LMJ Laser MégaJoule en France. Il est aujourd'hui envisageable d'améliorer les premiers étages d'amplification de ces chaînes laser en particulier les modules préamplificateurs situés entre la source laser et la section amplificatrice. Cet étage délivrant des énergies de l'ordre du joule est aujourd'hui limité à 1 tir toutes les 5 minutes. Le matériau amplificateur, un verre phosphate dopé au néodyme, utilisé également dans les grands amplificateurs des chaînes lasers impose une longueur d'onde de 1053 nm.

Ces contraintes fortes nous amènent à développer de nouveaux matériaux laser et de nouvelles architectures. Les premières synthèses de ces matériaux ont débuté dans le cadre d'une collaboration avec le laboratoire CIMAP à Caen. Le cristal retenu est un fluorure de calcium dopé au néodyme.

Les études sont basées sur des développements de briques technologiques de base (amplificateur régénératif, amplificateur à pompage transverse, à disque, miroir actif, ...). Ils ont essentiellement vocation à valider le choix des technologies retenues et à recalculer une simulation thermo-opto-mécanique.

**Objectif :**

L'objectif du post-doc sera de :

- participer à la première étape du projet 1J/10Hz qui concerne l'étude et le dimensionnement d'amplificateurs en intégrant les propriétés spectroscopiques des nouveaux matériaux. En particulier il faudra qualifier expérimentalement et trouver les limites des nouveaux matériaux dans une architecture de pompage de type miroir actif.
- pré-dimensionner une architecture laser 1J à une cadence de 10 Hz. Une partie du travail sera alors consacrée à la validation des résultats expérimentaux à l'aide de codes de calculs couplant les effets laser aux effets thermiques.

Pour ces travaux, le candidat s'appuiera sur :

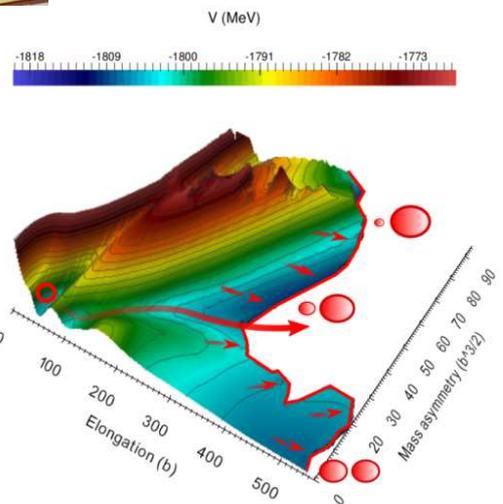
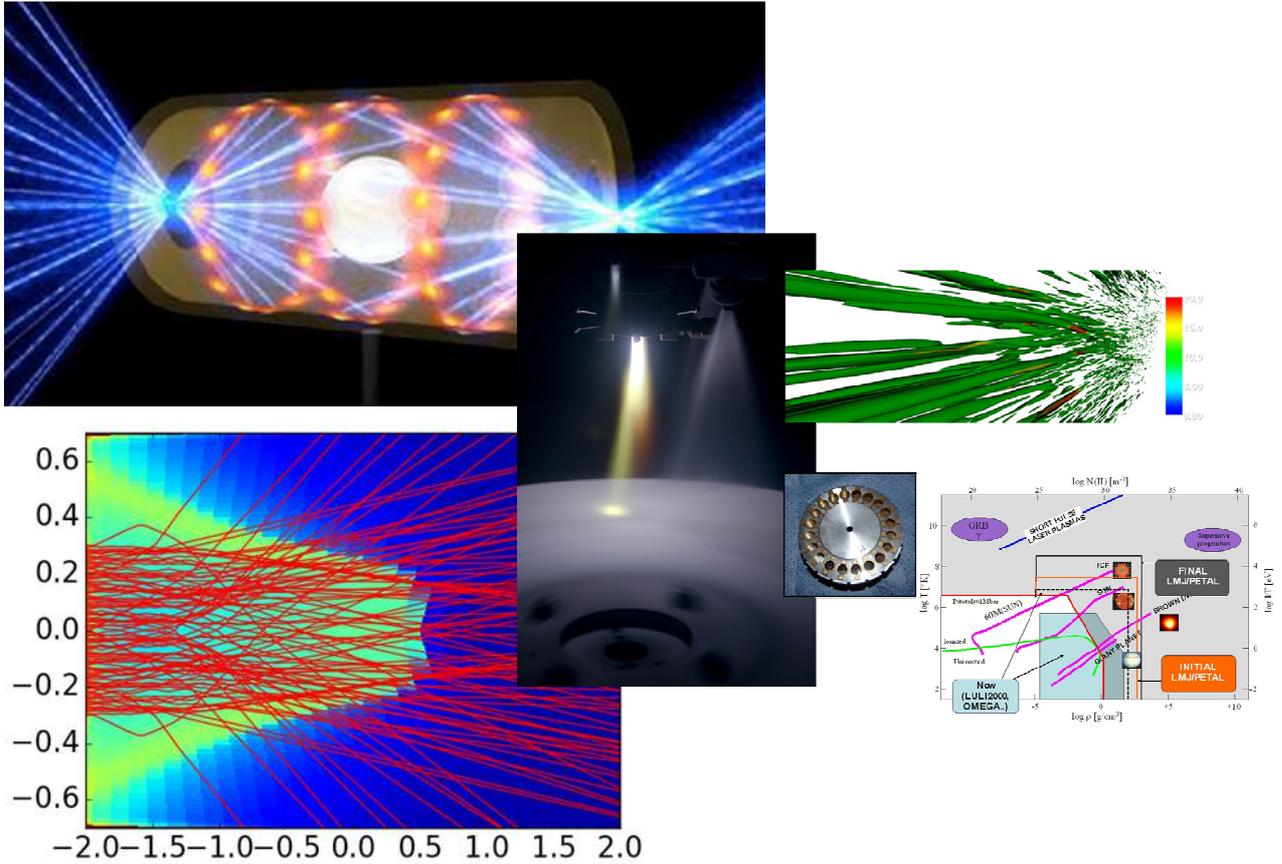
- les modules de pompages diodes développés par le CEA/CESTA.
- les nouveaux matériaux en cours de développement en collaboration avec le CIMAP.
- les codes de calcul utilisés au CEA/CESTA pour la propagation de faisceau.

Le post-doc s'appuiera sur des travaux expérimentaux couplés à des modélisations. Il nécessitera des collaborations entre différents laboratoires, internes au CEA et aussi ceux du monde académique.

**Contact :**

Sébastien MONTANT  
CEA/Cesta – BP 2 – 33114 LE BARP  
Tél. : 05.57.04.40.00  
sebastien.montant@cea.fr

# PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME & MOLECULE



**Sujet du post-doctorat :**

**Etude combinée *ab-initio* et champ de phase de la thermodynamique et de la cinétique des transitions de phases du fer.**

**Contexte :**

La description thermodynamique et *a fortiori* cinétique des transitions de phases dans le fer fait partie des problèmes non résolus, puisque à la complexité des interactions électroniques s'ajoute l'importance des effets de température (phonons, entropie). Il s'agit d'un élément indispensable pour comprendre la physique du cœur de la Terre. Cette problématique est également centrale pour les mécanismes de transitions dits martensitiques (transitions qui peuvent se décrire par un mouvement collectif et ordonné des atomes) et couple de façon intime l'évolution de la structure électronique et le comportement macroscopique.

Lors d'une transition martensitique dans un monocristal, certaines symétries sont brisées pour former plusieurs variants. Par exemple, dans la transformation cubique centrée (BCC) vers hexagonal compact (HCP) dans le fer à 15 GPa, un monocristal de fer se scinde en 6 variants HCP, d'orientation différente. Comme cette transformation s'accompagne de déformation, une interaction élastique entre variants peut contrarier cette transformation car une énergie élastique liée aux variants en interaction doit être considérée. Cette énergie dépend fortement du nombre de symétries brisées, et de la déformation des variants.

**Objectif :**

Le sujet post-doctoral porte sur l'étude des transformations dans le fer près du point triple FCC-BCC-HCP, vers 12G Pa et 750 Kelvin. Lors d'une transformation, par ex. BCC->HCP, les variants de la troisième phase (par ex. FCC) peuvent intervenir comme catalyseurs de la transformation, car les interactions élastiques BCC/FCC + FCC/HCP sont plus faibles. Ces phases intermédiaires ayant des déformations très différentes, la sensibilité à la contrainte appliquée est elle aussi très altérée par leur présence. A l'heure actuelle, une description fondamentale et générale des mécanismes des transitions solides-solides près de points triples est un problème ouvert.

Le sujet post-doctoral comporte deux parties :

- Dans un premier temps, il s'agira de calculer la stabilité thermodynamique des phases du Fer à basse température, autour du point triple des phases  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\epsilon$ . Nous utiliserons pour cela la méthode DFT/GGA. Selon l'importance des corrélations électroniques dans ce domaine, nous pourrions utiliser une implémentation récente dans le code ABINIT de la Théorie de la Fonctionnelle de la Densité (DFT) et la Théorie du Champ Moyen Dynamique.
- Dans un deuxième temps, nous étudierons le mécanisme des transitions de phases, en comparant la stabilité des chemins de transition entre les différentes phases.

**Contact :**

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

**Sujet du post-doctoral :**

**Mécanisme et cinétique de la cristallisation rapide des systèmes moléculaires et de leurs mélanges à l'aide de la Cellule à Enclumes de Diamants (CED)-dynamique.**

**Contexte :**

Nous développons une nouvelle approche expérimentale, basée sur la CED-dynamique, pour mesurer la réponse physico-chimique des systèmes moléculaires sous des rampes de pression d'une durée de la milliseconde.

Les mesures spectroscopiques, Raman et infra-rouge, seront effectuées sur un nouveau banc que nous développons au laboratoire et les mesures de diffraction X devant le laser à électrons libres XFEL de Hambourg, où nous participons au consortium pour effectuer les premières expériences.

**Objectif :**

Le (la) post-doctorant(e) prendra en charge la collecte et l'analyse des données sur la cristallisation et la fusion dynamique des systèmes moléculaires. Ces expériences, basées sur des signatures spectroscopiques, aideront à préparer les mesures sur les métaux qui ne pourront se faire que devant les grands instruments XFEL ou ESRF nouvelle machine.

**Contact :**

Paul LOUBEYRE  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00  
paul.loubeyre@cea.fr

**Sujet du post-doctoral :****Optimisation du lissage optique pour maîtriser la propagation des faisceaux laser dans les plasmas chauds****Contexte :**

Les lasers de puissance dédiés à la réalisation de l'ignition en laboratoire, c'est-à-dire l'obtention d'une production d'énergie par réactions de fusion supérieure à l'énergie investie pour la produire, sont rendus partiellement incohérents par différents procédés. Ces techniques dites de lissage optique sont nécessaires pour garantir la propagation des lasers dans le milieu plasma qu'ils traversent. En effet, des instabilités se développent durant leurs parcours, conduisant à une perte d'énergie par rétrodiffusion ou à une dégradation de la propagation. La croissance des instabilités nécessite le dépassement d'un seuil en intensité, très vite atteint dans les configurations envisagées, ainsi qu'une certaine cohérence spatio-temporelle pour que l'instabilité se développe. Le lissage optique permet partiellement d'atteindre ces objectifs en introduisant une incohérence spatiale et temporelle. Par ailleurs, le lissage optique nécessite un élargissement spectral qui peut nuire au bon fonctionnement de l'installation en général : apparition de modulations d'amplitude importantes, perte de rendement. Mais d'autres techniques, comme l'utilisation de deux polarisations, permettent de limiter les instabilités laser-plasma (ILP) lorsqu'elles sont mise en œuvre seules ou en complément d'une autre méthode. Ainsi, il est important de trouver les bons compromis entre performance laser et réduction des ILP.

**Objectif :**

Toutes les expériences réalisées sur les différentes installations laser existantes ont démontré une réduction des ILP par les différentes techniques de lissage optique envisagées, ainsi que l'effet bénéfique du cumul de ces techniques. Cependant, les raisons pour lesquelles le lissage est efficace restent marginalement connues. Dans le cadre de ce travail postdoctoral, nous cherchons à déterminer ces raisons ainsi que les conditions plasma favorisant cette efficacité. Pour ce faire, deux codes de propagation laser 3D dédiés seront utilisés, l'un servant à la modélisation du champ optique et le second à modéliser l'interaction du champ avec le plasma, en particulier la diffusion Brillouin stimulée. Ce travail permettra de mieux choisir les paramètres du lissage optique afin d'améliorer les performances de l'installation Laser Mégajoule (LMJ) du CEA, tout en assurant une limitation des instabilités.

**Contacts :**

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

Denis PENNINCKX  
CEA/Cesta – BP 2 – 33114 LE BARP  
Tél. : 05.57.04.40.00 - Denis.Penninckx@cea.fr

**Sujet du post-doctoral :**

**Etude de l'instabilité acoustique ionique induite par le flux de chaleur dans la couronne plasma**

**Contexte :**

La turbulence acoustique ionique est en mesure d'affecter de nombreux aspects de la physique de l'interaction dans les plasmas de fusion par confinement inertiel. Le transport, les instabilités paramétriques, la propagation des faisceaux lasers et l'absorption peuvent être modifiés par des niveaux élevés de fluctuations acoustiques ioniques.

La propagation d'un flux de chaleur électronique entraîne par réaction, une dérive de la fonction de distribution électronique. En effet, les électrons rapides qui conduisent l'énergie thermique des régions chaudes du plasma vers les régions froides, sont aussi porteurs d'une charge électrique qui doit être compensée par la présence d'un courant de retour d'électrons froids.

Ce courant de retour peut conduire à une instabilité acoustique ionique si cette vitesse de dérive est supérieure à la vitesse de phase des ondes sonores (c'est-à-dire la vitesse du son). Dans ce cas, les ondes ioniques prennent de l'énergie aux électrons et la turbulence acoustique ionique s'installe.

La création d'un spectre continu d'ondes acoustiques ioniques va conduire à une diffusion plus importante des électrons et par conséquent à une augmentation de la collisionnalité électronique conduisant ainsi à une réduction du flux de chaleur et une absorption anormale du laser.

**Objectif :**

L'objet de ce post doc est d'étudier ce mécanisme physique potentiellement présent dans les plasmas de fusion par des simulations de type « particle in cell » (PIC) en deux dimensions spatiales.

Le(a) post doctorant(e) aura en charge : (i) d'analyser le spectre des ondes acoustiques ioniques générées par l'instabilité lorsque les conditions de seuil sont franchis, (ii) d'étudier en détail l'absorption anormale d'un laser induite par le changement de collisionnalité dans la zone plasma sous-dense et (iii) de contribuer à la proposition et l'interprétation d'expériences lasers dédiées à l'étude de ce phénomène.

Ces différentes étapes doivent permettre d'atteindre l'objectif appliqué de ce stage postdoctoral, qui est de proposer des modèles phénoménologiques de cette absorption anormale du laser pouvant être implémentés dans des codes d'hydrodynamique radiative

**Contact :**

Paul-Edouard MASSON-LABORDE  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00  
paul-edouard.masson-laborde@cea.fr

**Sujet du post-doctoral :****Calcul d'opacités radiatives pour la modélisation des intérieurs stellaires****Contexte :**

Le rayonnement joue un rôle majeur dans une grande variété de plasmas astrophysiques à haute densité d'énergie. Par exemple, les profils de température interne des étoiles de type solaire sont contrôlés par la capacité de la matière stellaire à absorber le rayonnement, c'est-à-dire son opacité radiative. Parmi les nombreux constituants des étoiles, les éléments dits « métalliques » (de numéro atomique  $Z$  supérieur à deux) contribuent significativement à l'opacité, bien qu'ils ne représentent que quelques pourcents du mélange complet. Suite à une analyse spectrale récente de la photosphère solaire, les quantités d'éléments métalliques de faible numéro atomique (principalement carbone, azote et oxygène) ont été révisées à la baisse. Les modèles solaires standards utilisant la nouvelle composition photosphérique sont en désaccord avec les observations des pulsations du Soleil et les mesures de flux de neutrinos. Parmi les différentes explications proposées, une augmentation de l'opacité dans la zone radiative solaire pourrait réconcilier les modèles et les observations. Une telle hypothèse implique que les opacités des éléments plus lourds devraient être révisées à la hausse pour compenser la diminution de l'abondance des éléments métalliques de faible  $Z$ . Ces éléments lourds sont toujours partiellement ionisés : de nombreux états atomiques excités sont sensiblement peuplés et contribuent de manière significative à l'opacité. Les calculs fondés sur un échantillonnage incomplet de ces états peuvent conduire à des valeurs d'opacité trop faibles. Une grande partie des tables d'opacité couramment utilisées par la communauté des astrophysiciens a été calculée il y a 20 ans lorsque les ressources informatiques n'étaient pas ce qu'elles sont aujourd'hui. Jusqu'à encore très récemment, les astrophysiciens utilisaient soit les tables OP (du nom de l'« Opacity Project », une collaboration académique internationale) ou OPAL (« OPAcités Livermore », du nom du laboratoire national américain Lawrence Livermore). Plusieurs groupes développent actuellement de nouveaux codes d'opacité pour des applications liées à la physique stellaire. Bien que ces codes diffèrent par leur modélisation du plasma, la plupart repose sur des approches dites « détaillées » fondées sur le calcul de la structure fine des configurations électroniques. Le modèle d'opacité SCO-RCG, appartient à cette famille de codes très précis, mais il est unique en son genre, en ce sens qu'il permet de modéliser les effets de l'environnement plasma sur les fonctions d'onde, et donc sur les énergies et les forces d'oscillateur des nombreuses raies spectrales. Il permet également la prise en compte d'un grand nombre d'états excités et de raies satellites, et dispose d'un calcul exact de l'effet Stark pour les atomes hydrogénoïdes et héliumoïdes.

**Objectif :**

L'objectif du stage post-doctoral est d'utiliser le code SCO-RCG pour calculer des opacités utiles pour la modélisation des zones radiatives solaires. Même si le code est déjà très abouti (il a été confronté avec succès à de nombreuses expériences de spectroscopie d'absorption laser et Z-pinch), le chercheur devra améliorer certains aspects de la modélisation, comme le traitement de l'effet Bremsstrahlung inverse, la diffusion Compton par les électrons libres, ou encore la diffusion Rayleigh par les électrons liés. Il contribuera aussi à rendre le code robuste afin de le mettre en capacité d'effectuer des calculs intensifs dans un domaine étendu de conditions thermodynamiques. Les sources possibles d'incertitude dans les calculs seront examinées et discutées. Les opacités obtenues seront comparées aux données de et OPAL. Le jeune chercheur devra également interagir avec des astrophysiciens (par exemple au CEA/IRFU) pour tester les nouvelles opacités dans un code de structure et d'évolution stellaires.

**Contact :**

Jean-Christophe PAIN  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00  
jean-christophe.pain@cea.fr

**Sujet du post-doctoral :****Modèles de diffusion Raman stimulée****Contexte :**

Le sujet s'inscrit dans le contexte de la fusion par confinement inertiel, dans le schéma dit d'attaque indirecte. Dans ce schéma, une impulsion laser très énergétique, d'une dizaine de nanosecondes, doit traverser un plasma de longueur centimétrique, avant que son énergie puisse être utilisée pour imploser une bille de Deutérium-Tritium. Or, la propagation laser dans un plasma induit des instabilités, telles que la diffusion Raman stimulée, qui mettent en jeu des effets cinétiques déformant la fonction de distribution électronique. Les effets cinétiques se déroulent sur des échelles de temps de l'ordre de la femtoseconde et des échelles spatiales de l'ordre de la centaine de nanomètres. Cela veut dire que la description de la propagation laser demande de travailler sur 5 ordres de grandeur en espace et 7 ordres de grandeur en temps. C'est dans ce contexte que s'inscrit le sujet post-doctoral.

**Objectif :**

Pour décrire la propagation laser tout en tenant compte des effets cinétiques, plusieurs pistes existent. La plus simple serait d'utiliser directement un code cinétique. De tels codes sont effectivement utiles dans le sens où ils fournissent des calculs de référence, mais ils ne sont pas directement utilisables pour dimensionner des expériences de fusion. Une autre approche consiste à intégrer analytiquement les effets cinétiques pour les incorporer dans des équations dites d'enveloppe. Ces équations d'enveloppe sont résolues numériquement à l'aide d'un code tridimensionnel qui permet de simuler la propagation laser sur des distances, et pendant des durées, pertinentes pour la fusion. Ce code n'est cependant pas utilisable directement pour dimensionner les expériences de fusion. En effet, on utilise à cette fin un code de type hydrodynamique qui, par essence, ne peut pas résoudre directement des équations de propagation d'ondes. On introduit alors, dans ce code, des modèles analytiques très simplifiés. Dans ce contexte, l'objectif du travail post-doctoral est double. D'une part, on désire enrichir notre code d'enveloppe en tenant compte de l'inhomogénéité du plasma. Les équations correspondantes ont déjà été obtenues, il faut les résoudre numériquement. On veut aussi améliorer la précision des modèles simplifiés, que l'on introduit dans le code hydrodynamique de dimensionnement pour tenir compte de la diffusion Raman stimulée. Or, cette instabilité repose sur des mécanismes fins de compensation de déphasage à 3 ondes, que l'on veut correctement prendre en compte.

Le travail proposé est alors essentiellement de nature numérique. D'une part, on veut travailler sur le code d'enveloppe et s'assurer en particulier qu'il gère correctement les déphasages. On pourra, pour cela, faire des comparaisons avec les résultats de codes cinétiques. D'autre part, on veut déduire du travail sur le code d'enveloppe un modèle simplifié traitant lui aussi les déphasages de manière pertinente, et pouvant être implémenté de manière effective dans un code hydrodynamique.

**Contact :**

Didier BENISTI  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – didier.benisti@cea.fr

**Sujet du post-doctoral :****Modélisation microscopique de l'émission pré-équilibre au second ordre**

**Contexte :** Depuis une vingtaine d'années, des études sont menées au Service de Physique Nucléaire du Centre DAM Ile de France sur les mécanismes de réaction directe et d'émission de pré-équilibre en suivant une approche dite microscopique, c'est-à-dire qui met en jeu une description quantique des noyaux en interaction au niveau des degrés de liberté nucléoniques. Des avancées ont récemment été réalisées dans le cadre des réactions induites par neutron sur des actinides pour des énergies jusqu'à 18-MeV. L'approche microscopique utilisant les résultats de structure du modèle de la Quasi-Particle Random Phase approximation a permis d'expliquer et de résoudre le problème de la sous-estimation de l'émission neutron à haute énergie, mais aussi de mieux décrire les voies de réaction  $(n,xny)$  et notamment la voie  $(n,2n)$ . Par ailleurs, les modèles développés ont été appliqués à des études plus fondamentales afin d'interpréter des expériences réalisées en cinématique inverse mettant en jeu des faisceaux de noyaux exotiques (voir, par exemple). De manière générale, ces approches microscopiques de réaction nucléaire établissent un lien direct entre les résultats de structure nucléaire pure et des sections efficaces pour des réactions induites par nucléons.

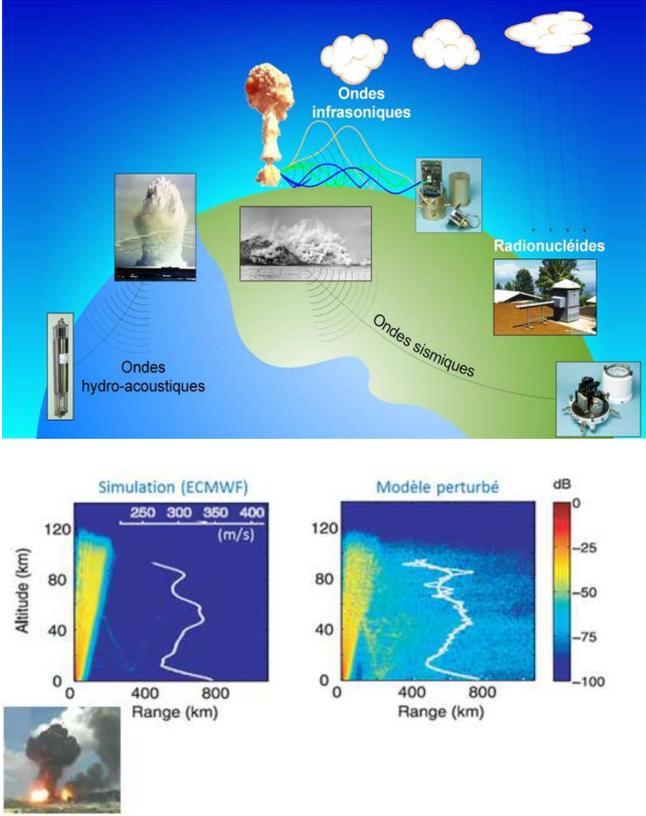
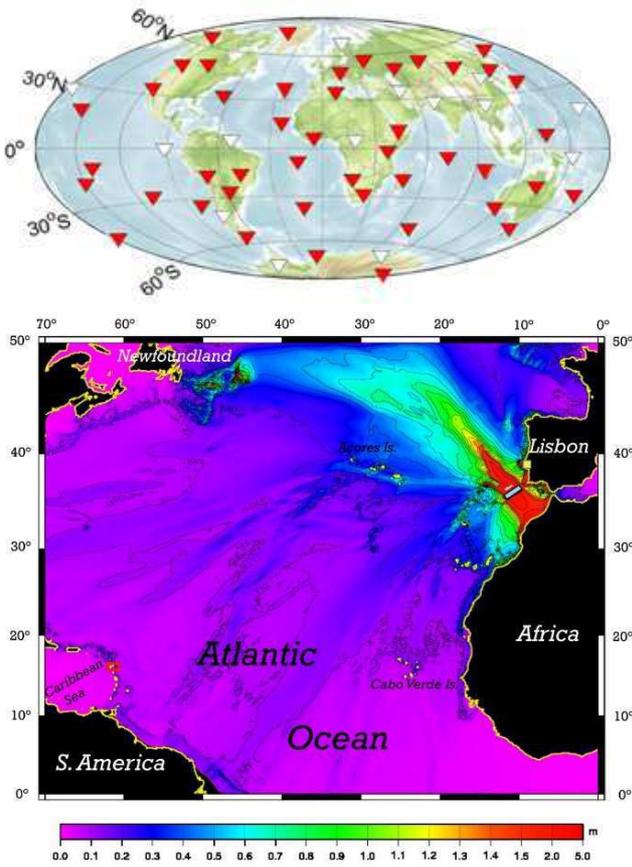
Cependant, la description microscopique de l'émission de pré-équilibre tient, pour le moment, seulement compte des excitations à un phonon (excitations intrinsèques du noyau les plus fondamentales). La collision entre un noyau et un nucléon génère des transitions vers les excitations de la cible. Pour de faibles transferts d'énergie, typiquement entre 0 et 10 MeV, les transitions vers des états à un phonon sont dominantes. Lorsque les transferts d'énergie croissent, les excitations à deux phonons deviennent nombreuses et peuvent contribuer fortement à la réaction. Ce mécanisme est dit du deuxième ordre, car il fait intervenir deux fois l'interaction effective entre un nucléon du noyau et le nucléon projectile. Son importance relative à celui du premier ordre (excitations à un phonon) croît quand l'énergie transférée augmente jusqu'à devenir dominant pour une énergie d'excitation donnée, qui dépend du noyau considéré. Cette limite est particulièrement basse dans le cas des actinides.

**Objectif :** Des études ont déjà été entreprises afin de modéliser ces excitations à deux phonons. Le développement de nouveaux codes pour la résolution des équations couplées pour la diffusion, et généralisant le calcul de potentiels microscopiques, objet d'une thèse au Service de Physique Nucléaire, rendra possible le calcul exact des couplages entre états à un phonon et deux phonons. Ce calcul est la brique élémentaire d'une détermination des sections efficaces de pré-équilibre pour des énergies incidente au-delà de 12 MeV (pour les actinides). Par ailleurs, des travaux ont été entrepris, en commun avec le LLNL, afin d'affiner le calcul au premier ordre et de d'estimer la contribution du second ordre. Le projet postdoctoral s'inscrit dans la continuité de ces études et aura comme objet un calcul complet des contributions du second ordre. Dans un premier temps, les recherches se focaliseront sur quelques noyaux sphériques, noyaux « laboratoires » qui permettent de tester et valider la méthode, puis porteront sur les réactions sur des cibles déformées, dont les actinides font partie.

**Contact :**

Marc DUPUIS  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00 – marc.dupuis@cea.fr

# SCIENCES DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT



**Sujet du post-doctorat :**

**Etude de l'utilisation de la méthode GRiD MT pour la détection et la caractérisation d'évènements sismiques : de l'échelle locale à l'échelle régionale**

**Contexte :**

Plusieurs méthodes existent pour mener à bien les missions de surveillance de territoire et d'alerte sismique, mais l'une d'entre elles permet d'apporter des réponses rapides en termes de détection, localisation et estimation des paramètres des sources sismiques de façon automatique : il s'agit de la méthode GRiD MT. Le Centre national des données (CND), hébergé au CEA, cherche à étudier les conditions d'implémentation de cette méthode à diverses régions d'intérêt et à différents types d'évènements sismiques pour une exploitation en temps quasi-réel. A travers ce sujet de post-doctorat, des réponses à de nombreuses questions pourront être apportées dans ce sens.

**Objectif :**

L'algorithme GRiD MT, développé au Berkeley Seismological Laboratory de l'University of California, Berkeley est en cours d'implémentation au CEA. GRiD MT propose un traitement automatique de formes d'ondes sismiques et permet de détecter, localiser, et de caractériser les évènements sismiques et leurs paramètres de source - tenseur des moments, magnitude de moment - dans une région d'intérêt. Ces paramètres sont essentiels pour la caractérisation rapide des forts tremblements de terre, et en particulier de leur potentiel tsunamigénique, mais également, pour l'analyse automatique de la sismicité modérée d'une région d'intérêt. L'étude proposée portera sur trois régions de taille croissante afin d'appréhender les questions relatives à la détectabilité de séismes plus ou moins importants à des distances plus ou moins grandes. Ainsi, le travail consistera à mettre en place et à analyser les performances de GRiD MT sur :

- 1) une zone restreinte de la région Midi-Pyrénées en se focalisant sur des zones très actives sismiquement,
- 2) une zone couvrant la chaîne pyrénéenne,
- 3) la zone définie pour l'alerte France au CEA couvrant l'ensemble du territoire métropolitain et les régions avoisinantes.

Des études d'évènements spécifiques seront menées dans chacune des trois régions étudiées.

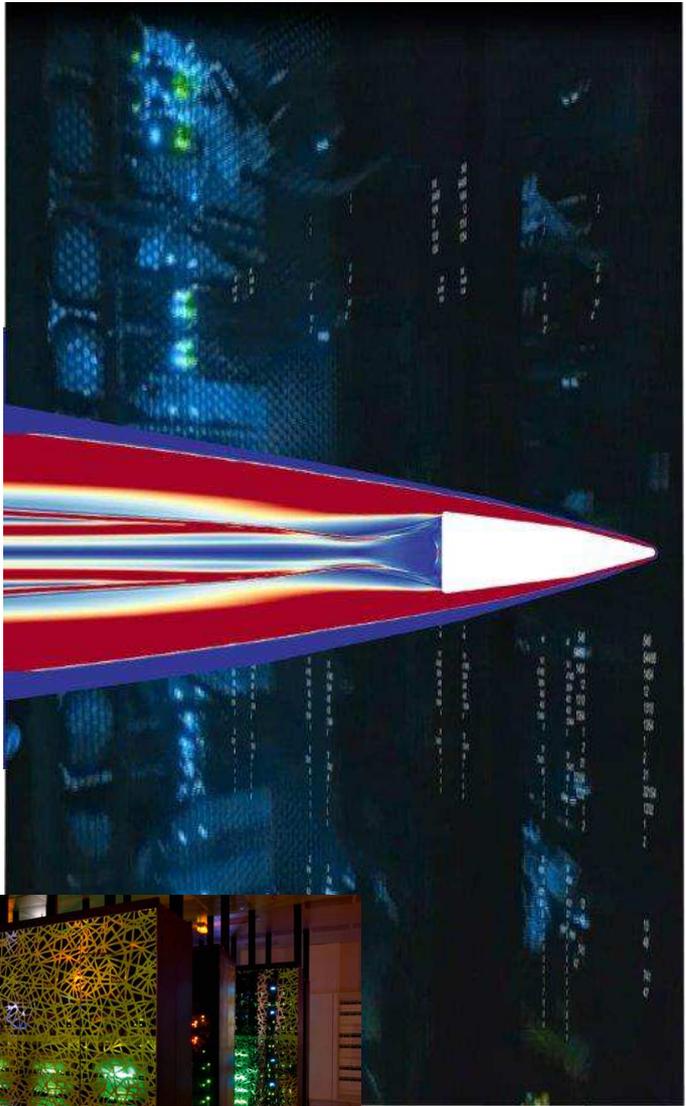
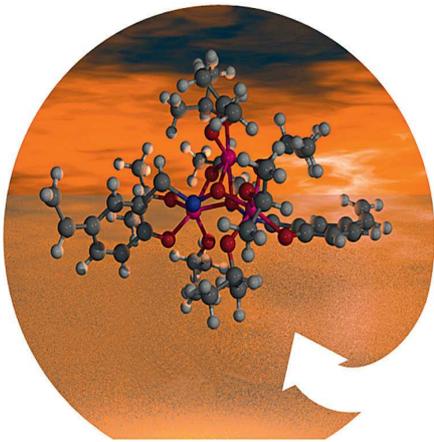
Grâce à l'étude proposée sur les trois zones définies ci-dessus, il sera possible de juger de la pertinence de la méthode GRiD MT pour l'étude rapide d'évènements sismique. Ce travail permettra, de plus, d'étudier les conséquences de la prise en compte de modèles de Terre de complexités diverses (unidimensionnel versus tridimensionnel) dans la caractérisation des sources sismiques. Ce dernier point sera particulièrement intéressant pour l'analyse des séismes de plus faible magnitude enregistrés sur des stations locales.

**Contacts :**

Aurélie TRILLA & Yoann CANO  
CEA/DIF – Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
Tél. : 01 69 26 40 00  
aurelie.trilla@cea.fr & yoann.cano@cea.fr

Jean LETORT  
Observatoire Midi-Pyrénées  
j.letort@neuf.fr





**CESTA**  
BP 2  
33114 Le Barp  
05 57 04 40 00

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

**Le Ripault**  
BP 16  
37260 Monts  
02 47 34 40 00

**Gramat**  
BP 80200  
46500 Gramat  
05 65 10 54 32

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