

# POST-DOCTORATS 2022 PROPOSES AU



Direction des applications militaires



Vous êtes actuellement en thèse et envisagez 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, classés 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).

### **ACCEDER A DES EQUIPEMENTS DE RECHERCHE AU MEILLEUR NIVEAU MONDIAL**

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 Péta watt 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...

### **ENRICHIR VOS COMPETENCES ET ACCROITRE VOTRE EMPLOYABILITE**

Le CEA/DAM est un expert reconnu 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'interaction rayonnement-matière... Dans la plupart de ces domaines scientifiques et techniques, les ingénieurs-chercheurs et techniciens du CEA/DAM sont des acteurs de premier plan et les interactions sont fortes avec plusieurs laboratoires et équipes en France ou à l'étranger. Vous pourrez bénéficier de cet environnement d'une part pour élargir votre réseau professionnel et d'autre part pour démultiplier les ressources mobilisables pour votre projet de recherche. Ces collaborations permettent également 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 enfin 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.

### **VALORISER VOS TRAVAUX**

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 concrétisée notamment par une trentaine de brevets déposés chaque année, par des logiciels informatiques en open source ou encore par des outils de simulation physique au 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 restent nombreuses dans les années qui viennent, soutenues par des besoins croissants d'ingénieurs et de docteurs en sciences et techniques liés d'une part à de nombreux départs en retraite et d'autre part à l'évolution des activités vers le développement et la maîtrise de techniques toujours plus pointues et à l'élargissement de la démarche de simulation à de nombreux projets. Pour être à même de réaliser, dans le respect des délais et avec le niveau de performances requis, l'ensemble des travaux nécessaires aux projets à long terme que l'Etat lui a confiés, le CEA/DAM s'appuie 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-doctorant(e)s

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/>), classés par établissement d'accueil, et sur le site de recrutement du CEA pour les post-doctorants (<https://instn.cea.fr/post-doctorat/>), en sélectionnant Direction des applications militaires. 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**

# Les centres CEA / DAM

## LE RIPAULT

37260 Monts  
02.47.34.40.00

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

## DAM ÎLE-DE-FRANCE

Bruyères-le-Châtel  
91297 Arpajon  
01.69.26.40.00

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

## CESTA

BP2  
33114 Le Barp  
05.57.04.40.00

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

## VALDUC

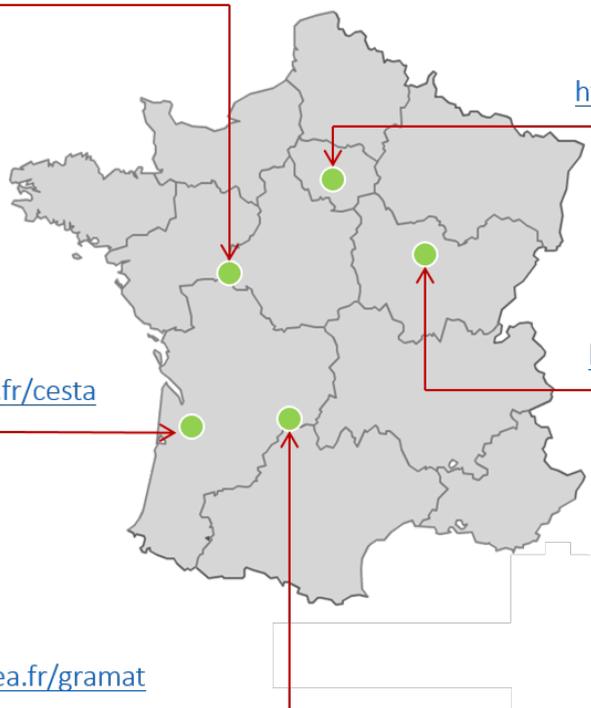
21120 Is-sur-Tille  
03.80.23.40.00

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

## GRAMAT

BP 80000  
46500 Gramat  
05.65.10.54.32

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



# Le centre CEA/Cesta

Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine

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

Le CESTA, rassemble 1000 salariés dans un centre de 700 hectares au cœur de la Nouvelle Aquitaine, au sud de la Gironde **entre Bordeaux et Arcachon**.

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

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

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

Conception

Grandes installations

Informatique scientifique

**Le Cesta propose des contrats postdoctoraux dans les domaines des lasers, de l'optique, de la turbulence, de l'aérodynamique, de l'électromagnétisme, de la mécanique des structures, des mathématiques appliquées ...**

Modélisation physique

Physique expérimentale

Lasers de puissance

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

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

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

## Conception et garantie des armes nucléaires, grâce au programme Simulation



© P. Stroppa/CEA

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

## Lutte contre la prolifération et le terrorisme

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



©C. Dupont/CEA

## Alerte auprès des autorités



© C. Dupont/CEA

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

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

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

## Expertise scientifique et technique

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

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

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

# Le Centre CEA/Le Ripault

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

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

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



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

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

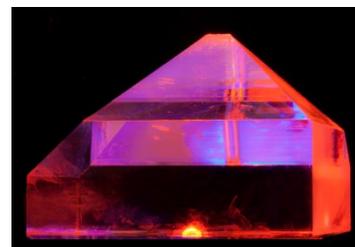
### **RÉPONDRE AUX ENJEUX DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE**

- Armes nucléaires
- Lutte contre la prolifération nucléaire
- Réacteurs nucléaires de propulsion navale

### **SURVEILLER, ANALYSER ET INTERVENIR POUR LA SÉCURITÉ**

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

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



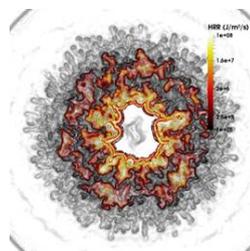
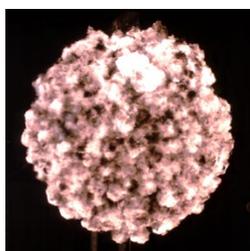
# Le CEA/Gramat

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

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

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

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

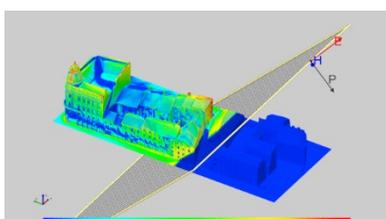


Vue expérimentale et simulation numérique d'une boule de feu (explosif en détonation)

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

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

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



Modélisation électromagnétique d'un quartier de ville



Antenne large bande pour tests électromagnétiques

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

# Le Centre CEA/Valduc

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



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

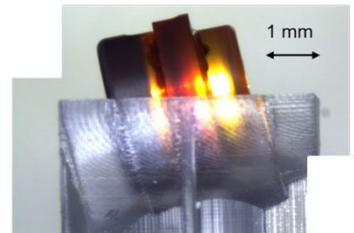
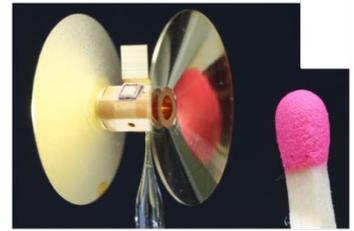
Ses compétences sont principalement centrées sur la **métallurgie de pointe, la chimie séparative et l'exploitation de grandes installations nucléaires**.



Le centre accueille également la nouvelle installation radiographique franco-britannique Epure, dans laquelle sont expérimentées des maquettes inertes d'armes nucléaires.

## L'esprit d'équipe en action ...

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



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



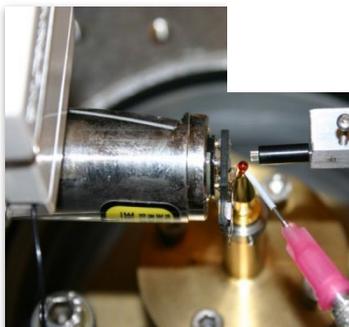
**DE GRANDES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES** conçues pour apporter un service très complet aux procédés de recherche et de fabrication qu'elles hébergent (ventilation, filtrage des atmosphères, fluides, réseaux, surveillance de la radioactivité, ...), garantissant un fonctionnement fiable et sûr. Leur fonctionnement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



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



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



Valduc propose des thèses et 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...)



# SOMMAIRE

CHIMIE .....	11
COMPOSANTS & EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES .....	15
ELECTROMAGNETISME, GENIE ELECTRIQUE.....	17
MATERIAUX, PHYSIQUE DU SOLIDE.....	20
MATHEMATIQUES, INFORMATION SCIENTIFIQUE, LOGICIEL .....	27
MECANIQUE & THERMIQUE.....	35
OPTIQUE & OPTRONIQUE.....	39
PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSE, CHIMIE & NANOSCIENCES .....	42
PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME, MOLECULE .....	44
SCIENCE DE LA TERRE & DE L'ENVIRONNEMENT .....	50
SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT.....	54
TECHNOLOGIES MICRO & NANO .....	56
THERMOHYDRAULIQUE & MECANIQUE DES FLUIDES .....	59

# CHIMIE

**Contexte :**

L'une des missions du Cea Le Ripault est la conception de nouvelles compositions explosives aux propriétés optimisées. A ce titre, le développement de nouveaux procédés de formulation est une activité fondamentale de ses laboratoires. C'est pourquoi, l'unité s'est dotée d'un mélangeur à onde acoustique (LabRAM) pour réaliser ces matériaux innovants.

**Objectif :**

L'objectif est d'élaborer, à l'échelle du laboratoire, des formulations constituées d'une ou plusieurs molécules énergétiques et d'un liant. Ces matériaux devront au final satisfaire le cahier des charges fixé en termes de performance et d'insensibilité. Ce nouveau procédé utilisant les ondes acoustiques est un procédé novateur et très prometteur pour l'obtention rapide de nouvelles compositions explosives aux propriétés optimisées. Le travail consistera donc à :

- Réaliser un recensement bibliographique permettant l'obtention de formulations se présentant sous forme de granulés via le procédé RAM (resonant acoustic mixing).
- Recenser les différents paramètres procédés et comprendre leur influence sur les propriétés finales du mélange
- Réaliser à l'échelle laboratoire la formulation de compositions énergétiques permettant de répondre au cahier des charges fixé.
- Caractériser les matériaux réalisés par des techniques appropriées, en particulier par des analyses microstructurales.
- Proposer des améliorations pour optimiser les propriétés finales.

**CENTRE**

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

**CONTACTS**

DAVID-QUILLOT Frank  
frank.david-quillot@cea.fr

PASQUINET Eric  
eric.pasquinet@cea.fr



### Contexte :

L'une des missions du CEA Le Ripault est la conception de nouvelles compositions explosives aux propriétés optimisées. A ce titre, la recherche de nouveaux matériaux énergétiques, susceptibles d'être intégrés dans des formulations innovantes, est une activité fondamentale de ses laboratoires.

### Objectif :

L'objectif est d'élaborer, à l'échelle du laboratoire, des matériaux constitués de mélanges de composés énergétiques à l'échelle moléculaire. Ces matériaux devront au final satisfaire le cahier des charges fixé en termes de performance et d'insensibilité.

Différents concepts voisins peuvent être imaginés afin d'obtenir des «composites organiques moléculaires» présentant des structures cristallines et/ou morphologiques particulières. Le travail consistera donc à :

- Réaliser un recensement bibliographique des types de matériaux envisageables et de leurs méthodes d'obtention.
- Evaluer leur potentiel pour les applications visées et sélectionner les plus pertinents.
- Réaliser à l'échelle laboratoire la synthèse de matériaux énergétiques permettant d'établir la preuve de concept.
- Caractériser les matériaux réalisés par des techniques appropriées, par exemple : diffraction des rayons X, microscopie électronique à balayage, spectrométrie Raman.
- Proposer des améliorations pour optimiser les propriétés finales.

## CENTRE

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

## CONTACT

PASQUINET ERIC  
eric.pasquinet@cea.fr

DAVID-QUILLOT Frank  
frank.david-quillot@cea.fr

The logo of the Commissariat à l'énergie atomique (CEA) is displayed. It consists of the lowercase letters 'cea' in a white, sans-serif font, centered within a red square. A thin green horizontal line is positioned directly beneath the letters.

### Contexte :

Une stratégie d'analyse en ligne est mise en place par le CEA, Centre de Valduc, pour quantifier les actinides (plutonium, américium, uranium) présents dans les solutions issues des procédés de recyclage du plutonium.

Durant un précédent stage post doctoral, une approche chimiométrique basée sur des mesures en spectrophotométrie UV-Visible-NIR a démontré son efficacité pour l'analyse de solutions contenant du plutonium en milieu acide nitrique.

Le sujet de ce stage post doctoral est de poursuivre le développement de l'approche chimiométrique, de façon à étendre la compatibilité du modèle à d'autres configurations analytiques (concentrations et spéciations des actinides différentes) et à optimiser les paramètres. En complément de l'approche chimiométrique, des essais par spectrométrie gamma seront conduits pour pallier les limitations de la spectrophotométrie. Le(la) post doctorant(e) aura également en charge l'implantation des moyens d'analyse développés sur une ligne de procédé ainsi que l'évaluation des performances dans cette configuration.

### Objectif :

Pour atteindre les objectifs, et sur la base du travail réalisé lors des études précédentes, le(la) post doctorant(e) :

- Réalisera des études bibliographiques sur l'analyse en ligne des actinides, afin de garantir le maintien de l'adéquation des techniques envisagées avec l'état de l'art.
- Développera des méthodes chimiométriques dédiées à la quantification du plutonium et en évaluera les performances analytiques (étalonnage, limites de détection, de quantification, incertitudes de mesure, justesse, influence des interférences et des effets de matrice...).
- Etudiera la possibilité de quantifier de faibles teneurs en américium et uranium dans des solutions de plutonium.
- Préparera l'implantation du moyen analytique sur une ligne de procédé (choix des adaptations technologiques, mise en place de prototypes, suivi des travaux d'implantation, essais de mise en service...), et évaluera les performances en ligne du moyen de mesure.

### CENTRE

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

### CONTACT

BAILLY Guillaume  
guillaume.bailly@cea.fr

LEGAY Guillaume  
guillaume.legay@cea.fr



# COMPOSANTS & EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES

**Contexte :**

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

**Objectif :**

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

**CENTRE**

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

**CONTACTS**

BRISSET Christophe  
christophe.brisset@cea.fr

BAZZOLI Sébastien  
sebastien.bazzoli@cea.fr



# **ELECTROMAGNETISME**

# **GENIE ELECTRIQUE**

**Contexte :**

PETAL est un laser picoseconde de haute énergie qui permet de générer des sources de rayonnement et de particules énergétiques. Il est couplé aux faisceaux nanoseconde du Laser Mégajoule (LMJ) et est installé sur le site CEA du CESTA. Les expériences menées avec des lasers de haute intensité comme PETAL peuvent générer des champs électromagnétiques très élevés et ainsi engendrer de potentiels dysfonctionnements des équipements de l'installation LMJ/PETAL.

Une chaîne de simulation 3D multi-échelles a été développée pour évaluer l'amplitude, la durée et le contenu spectral de l'Impulsion ElectroMagnétique (IEM) produite par ces expériences laser. Pour limiter l'intensité de l'IEM, un nouveau support de cible a été développé (dispositif de parade).

L'environnement électromagnétique dans et autour de la chambre d'expérience de l'installation a été mesuré lors des premières expériences PETAL. Un nouveau diagnostic de mesure du courant de décharge de la cible vient tout juste d'être implémenté sur l'installation. Ces premières mesures valident, pour cette gamme d'énergie, le fonctionnement de la parade ainsi que les résultats des simulations numériques.

**Objectif :**

L'objectif du post-doctorat est la maîtrise de l'IEM laser en régime petawatt, en termes à la fois de compréhension des phénomènes physiques mais également de développement de solutions de réduction des niveaux de champs électromagnétiques générés. L'étude comprendra une partie numérique et une partie expérimentale.

Les résultats de mesures acquis sur les premières expériences PETAL seront analysés. Il s'agira d'exploiter principalement des mesures de champ magnétique et de courant mais également certaines mesures particulières. Le(la) post-doctorant(e) participera aux expériences PETAL en cours ainsi qu'à une campagne de plusieurs semaines sur le laser VULCAN (UK) dédiée à la thématique IEM, dans le cadre d'une collaboration avec d'autres laboratoires européens.

Pour la partie numérique, la mission sera de restituer avec la chaîne de simulation les différents résultats expérimentaux. En particulier, le(la) post-doctorant(e) pourra s'appuyer sur le code Sophie, code Particles In Cell développé au CEA/CESTA et porté sur le super-calculateur du CEA/DAM. Les sensibilités de l'IEM aux différents paramètres seront étudiées et les conditions particulières d'expériences couplées LMJ/PETAL seront également modélisées afin de prévoir la montée en puissance du laser PETAL, sa future configuration multi-faisceaux et les évolutions du contraste prévues.

En s'appuyant à la fois sur les mesures et les calculs, le(la) post-doctorant(e) participera à l'adaptation du dispositif d'atténuation de l'IEM à la montée en puissance et aux nouvelles configurations de l'installation ainsi qu'à sa qualification notamment par un travail sur sa fiabilité et sa robustesse devra être mené.

Ce post-doctorat s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre les équipes de plusieurs centres CEA et du CELIA (UMR Université de Bordeaux-CNRS-CEA).

**CENTRE**

Cesta  
BP 2 – 33114 Le Barp  
☎ 05-57-04-40-00

**CONTACT**

ETCHESSAHAR Bertrand  
bertrand.etchessahar@cea.fr



**Contexte :**

La possibilité d'imager les propriétés radioélectriques de matériaux magnéto-diélectrique inhomogènes a été acquise au cours d'une thèse qui s'est déroulée au laboratoire au CEA Le Ripault. Deux 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. Ces travaux permettront ensuite 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...

**Objectif :**

En ce qui concerne l'axe métrologique, le travail présentera deux aspects : l'un expérimental, permettra au(à la) candidat(e) de faire évoluer le moyen de mesure pour le rendre robuste ou pour l'étendre à de nouvelles configurations de mesure ; l'autre 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.

**CENTRE**

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

**CONTACT**

MALLEJAC NICOLAS  
nicolas.mallejac@cea.fr



# MATERIAUX PHYSIQUE DU SOLIDE

**Contexte :**

Les particules radiatives perdent leur énergie dans les matériaux semiconducteurs des composants électroniques et optoélectroniques par des processus ionisants et non ionisants. Il en résulte la production de paires électron-trou, pour l'ionisation, et des atomes déplacés ou des défauts pour les Dommages de Déplacement (DD) au travers des cascades de déplacement qu'elles provoquent, pour les processus non-ionisants. Si les effets des DD sont observés et étudiés depuis longtemps sur différents types de systèmes (diodes, transistors bipolaires, capteurs d'images,...), une compréhension fondamentale du lien entre les changements au niveau de la structure atomique et l'effet électrique qui en résulte reste à étudier. Les principaux obstacles qui limitent cette compréhension sont la difficulté à reproduire numériquement l'évolution des structures endommagées sur des échelles de temps réalistes observables, compatibles avec les données expérimentales disponibles, et celle à suivre et à analyser les changements de structure atomique locale au cours de l'évolution de la cascade. La capacité à caractériser de tels changements est d'une importance capitale pour comprendre et prédire les dommages subis par le composant en fonction de l'énergie et du type des particules incidentes et des propriétés intrinsèques et extrinsèques du matériau.

**Objectif :**

Durant ce stage, le(a) post-doctorant(e) participera au développement d'un cadre de simulation à l'échelle atomique pour suivre, tracer et classifier les changements structurels le long des trajectoires des cascades de déplacement. Cela se fera au travers du développement d'une méthode pour décrire la nature statistique de ces cascades et pour identifier de façon automatisée les défauts et les amas de défauts. Cette méthode se basera sur l'utilisation et l'adaptation de descripteurs topologiques de structure locale et de techniques de correspondance de formes. A partir des résultats obtenus, le(a) post-doctorant(e) aura à construire une base de données de défauts qui servira comme donnée d'entrée aux ingénieurs responsables du durcissement sous radiation des composants et technologies microélectroniques.

**CENTRE**

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

**CONTACT**

RICHARD Nicolas  
nicolas.richard@cea.fr



**Contexte :**

Le contexte général du post-doctorat concerne les propriétés des matériaux énergétiques à base de solides moléculaires. Le but est de déterminer leurs propriétés structurales et thermodynamiques (équation d'état) à l'aide de méthodes de principes premiers, basées sur des propriétés électroniques, telles que la théorie de la fonctionnelle densité (DFT).

Dans ce type de matériaux, les interactions de van der Waals à longue portée jouent un rôle prépondérant. Comme les matériaux ne sont pas correctement modélisés par la théorie de la fonctionnelle densité standard, il est nécessaire d'aller au-delà des approximations usuelles.

De plus, les matériaux d'intérêt sont des solides moléculaires à base de molécules organiques. Ils contiennent notamment un grand nombre d'atomes d'hydrogène dont les noyaux sont connus pour avoir un comportement quantique (énergie de point zéro).

Dans ce projet, nous proposons d'utiliser une fonctionnelle de van der Waals non locale dans le cadre suivant :

- Le logiciel ABINIT ([www.abinit.org](http://www.abinit.org)) sera utilisé et développé dans le cadre d'un projet international à forte visibilité, et surtout dans notre groupe. ABINIT est un logiciel de calcul dans le formalisme DFT, décrivant les fonctions électroniques sur une base d'ondes planes. Il a été adapté aux supercalculateurs massivement parallèles et hybrides.
- Une fonctionnelle de van der Waals non locale sera implémentée dans l'approche "Projector Augmented-Wave » (PAW), qui permet d'obtenir des résultats avec une grande précision. A ce jour, il n'existe pas de code implémentant un formalisme complet "PAW + van der Waals".

**Objectif :**

Le(a) post-doctorant(e) devra dans un premier temps développer le cadre théorique, à savoir les fonctionnelles non-locales dans une approche PAW complète.

Dans un second temps, il(elle) devra l'implémenter dans le code ABINIT, en portant une attention particulière au parallélisme sur architecture multi-cœurs.

Enfin le code sera utilisé pour l'étude de propriétés ciblées de solides moléculaires.

**CENTRE**

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

**CONTACT**

TORRENT Marc  
[marc.torrent@cea.fr](mailto:marc.torrent@cea.fr)



**Contexte :**

Ce post doctorat se place dans le cadre d'un projet dédié à l'étude du comportement de céramiques projetées plasma avant et après sollicitations dynamiques (CAPRIC DYN). Le projet CAPRIC DYN s'inscrit dans le contexte des revêtements céramiques à haute performance pour des applications telles que la protection de composants placés dans la chambre d'expérience du laser MégaJoule (LMJ), la protection de composants de satellites spatiaux, les revêtements barrières thermiques... Il s'intéresse à un domaine encore peu exploré pour ces revêtements : leur comportement quand ils sont soumis à des sollicitations mécaniques instationnaires dans une large gamme de vitesse et aux mécanismes de fracturation engendrés par ces sollicitations. Comme les propriétés de ces couches céramiques sont intimement liées à leur microstructure (porosités, micro-fissures résiduelles, structure lamellaire ou colonnaire) et aux contraintes résiduelles générées par les étapes de préparation, le projet vise à étudier le lien qui existe entre la microstructure des revêtements et leur résistance mécanique. Cela permettra d'optimiser les paramètres de la structure céramique pour répondre à des sollicitations particulières. Les travaux du post doctorat constituent une brique essentielle du projet et conduiront à de fortes interactions avec les autres partenaires.

**Objectif :**

Dans l'étape 1, l'objectif sera l'évaluation des torches plasma de nouvelle génération en réalisant des revêtements avec des microstructures variées et originales, à partir de la projection plasma en voie sèche, en voie liquide (procédé émergeant au niveau industriel) et en voie hybride. Il s'agira de générer différentes microstructures et d'alimenter en échantillons les partenaires du projet s'intéressant à la caractérisation dynamique des matériaux. Des matériaux à gradient de microstructure (évolution du taux de porosité/de l'architecture) seront ensuite envisagés. Les propriétés des particules en vol seront évaluées de façon à fournir des données expérimentales aux partenaires traitant les parties modélisation.

Dans l'étape 2, les revêtements seront caractérisés, notamment en termes de microstructure à différentes échelles (taux de porosité, micrographies, squelette de la matrice céramique), afin d'établir des corrélations entre les paramètres de projection, les propriétés des particules en vol et les propriétés des revêtements. Des caractérisations thermomécaniques sont également prévues. Enfin, dans l'étape 3, les mêmes matériaux seront à nouveau analysés après sollicitations dynamiques, en lien avec les partenaires.

**CENTRE**

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

**CONTACT**

QUET Aurélie  
aurelie.quet@cea.fr

CHUPIN Sylvain  
sylvain.chupin@cea.fr



**Contexte :**

La modélisation des matériaux composites à fibres continues (préforme) peut être réalisée à l'échelle mésoscopique par éléments finis en maillant la préforme tissée ainsi que la matrice. La géométrie de ces constituants peut être générée à partir d'une géométrie idéale ou issue d'imagerie par tomographie X. Une limite reste cependant le volume de matériau pouvant être représenté. Si le calcul classique par éléments finis est envisageable pour le matériau moyen, au point courant, les singularités géométriques (renfort, liaison, etc.) sont difficiles à prendre en compte (nombre de mailles important). Il est alors nécessaire de recourir à un calcul multi-échelle méso-macro. De récents développements en calcul par éléments finis montrent que la résolution du problème posé par le calcul sur modèle numérique d'une structure macroscopique décrite à l'échelle méso est possible en découpant ce calcul macro en une série de calculs méso. Il faut alors disposer d'une description numérique macroscopique du composite, y compris dans les zones de singularité.

**Objectif :**

L'objectif du sujet post-doctoral proposé est de construire un outil logiciel permettant de reproduire une architecture composite (renfort à fibres continues) d'une pièce de forme donnée. Une attention particulière sera portée aux géométries de renforts possibles (tissés, rapportés). Le choix des outils utilisés (mailleur, langage, ...) sera étudié au début du post-doctorat.

**CENTRE**

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

**CONTACT**

GUILLET François  
francois.guillet@cea.fr

SAUVET Anne-Laure  
anne-laure.sauvet@cea.fr

**Contexte :**

Les pièces en composites à matrices céramiques sont élaborées d'un seul tenant, le composite étant obtenu directement à la forme finale (par exemple par drapage, ...). L'épaisseur étant généralement limitée, des renforts doivent fréquemment être intégrés à la pièce finale dès l'élaboration. C'est également le cas des dispositifs de fixation. Tous ces points constituent des singularités dont il est nécessaire de connaître le comportement mécanique, qui est de ce fait différent du matériau au point courant. Pour chaque type de sollicitation que présente la forme considérée ainsi que le type de sollicitations auxquelles la pièce est soumise, il faut concevoir des essais mécaniques spécifiques sur des éprouvettes types dites "éprouvettes technologiques". Ces essais, à température ambiante mais également en température, permettent de préciser la tenue mécanique des singularités envisagées.

**Objectif :**

Les objectifs du stage post-doctoral sont de :

- Concevoir et proposer pour chaque type de singularité et de sollicitation des essais mécaniques pertinents.
- Dimensionner par calcul ces essais et valider la conception (géométrie, outillage).
- Réaliser les essais et comparer avec le calcul de dimensionnement.

Les matériaux considérés sont des composites oxyde/oxyde ainsi que des composites à renfort carbone.

Le(la) post-doctorant(e) pourra s'appuyer sur un environnement de type Bureau d'études pour le dimensionnement et Bureau des méthodes pour la conception d'outillage.

**CENTRE**

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

**CONTACT**

GUILLET François  
francois.guillet@cea.fr

PIQUET Charlotte  
charlotte.piquet@cea.fr



### Contexte :

La compréhension des mécanismes de corrosion des matériaux métalliques constitue un enjeu majeur pour l'industrie nucléaire. Les mécanismes de corrosion gaz-métal mettant en jeu des interactions entre les molécules gazeuses et la surface du matériau métallique ne sont pas intégralement élucidés.

La spectroscopie infrarouge permet l'analyse in situ de mélanges gazeux ou de la surface de matériaux métalliques. Cette technique physico-chimique, non-destructive et non intrusive, sonde les niveaux vibrationnels caractéristiques des liaisons et des groupements chimiques présents dans un milieu. Ceci permet notamment une analyse qualitative des espèces adsorbées et des liaisons constituées avec la surface.

Le laboratoire est équipé depuis mi-2016 d'un dispositif PM-IRRAS (Polarization Modulation InfraRed Reflection Absorption Spectroscopy ou spectroscopie infrarouge de réflexion-absorption par modulation de polarisation), dispositif permettant d'obtenir, séparément et simultanément, les signatures vibrationnelles des espèces de la phase gazeuse et celles des espèces en surface, et ainsi de suivre les évolutions conjointes de l'atmosphère gazeuse et de la surface de l'échantillon au cours des réactions de corrosion.

Ce dispositif a été installé en boîte à gants début 2017 pour pouvoir y étudier des matériaux toxiques ou très réactifs tel que le cérium.

### Objectif :

Le but principal du post-doctorat sera d'étudier le comportement du cérium sous différents gaz. Sera considérée l'influence de la nature des gaz, de la pression et de la température sur les interactions gaz-cérium.

Les suivis par PM-IRRAS de :

- l'évolution de la composition gazeuse au cours de la réaction,
- et l'évolution de l'état chimique de la surface (identification des espèces gazeuses adsorbées, identification des produits de corrosion formés),

aideront à mieux comprendre le comportement du cérium sous différents gaz, et à en déduire des schémas réactionnels.

Des couplages avec des analyses par XPS, par DRX (Diffraction des Rayons X) ou en modules « vidéo » (permettant la visualisation de la surface de l'échantillon) aideront à affiner la compréhension des phénomènes en jeu.

Ce stage post-doctoral permettra au(à la) candidat(e) de travailler sur le cérium, matériau largement étudié dans la littérature pour son oxyde CeO<sub>2</sub>, très souvent utilisé dans le domaine de la catalyse hétérogène avec des applications dans l'industrie automobile et dans l'industrie chimique notamment. Ceci permettra au(à la) candidat(e) d'échanger avec la communauté scientifique spécialiste du domaine. Il lui permettra également, en travaillant sur un dispositif expérimental original, d'accroître ses compétences concernant la spectroscopie infrarouge. L'unité d'accueil est dédié à la R&D dans les domaines de la métallurgie et aux analyses de surfaces, ce qui permettra au(à la) candidat(e) d'approfondir ses connaissances sur la caractérisation de surface des matériaux métalliques.

### CENTRE

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

### CONTACT

WEULERSSE Katia  
katia.weulersse@cea.fr

MAGNIEN Véronique  
veronique.magnien@cea.fr



**MATHEMATIQUES  
INFORMATION SCIENTIFIQUE  
LOGICIEL**

**Contexte :**

Le suivi de l'endommagement laser des composants optiques du Laser Mégajoule (LMJ) est essentiel pour garantir l'atteinte des performances attendues. Sur l'installation, des diagnostics réalisent des mesures d'endommagement des composants optiques afin de s'assurer de leur intégrité et de leur performance optique. Les dommages sont détectés sur les acquisitions par des algorithmes de traitement d'images. L'analyse de l'évolution de ces dommages doit permettre de repérer leur apparition et de prédire leur croissance. Les contraintes en termes de résolution et de nombre de données à traiter nécessitent la mise en œuvre de traitements numériques pour réaliser ces opérations d'analyse.

L'objectif de ce post-doctorat est de réaliser un algorithme de classification des dommages et de prédiction de croissance. Une version préliminaire de cet algorithme de deep learning (intelligence artificielle) développé en collaboration avec l'Institut Fresnel contient les premières briques pour le tracking des dommages et la prédiction de leur évolution. Il s'agira de l'enrichir et l'améliorer en s'appuyant sur les nouvelles mesures d'endommagement acquises sur l'installation du Laser Mégajoule. Des mesures complémentaires sur des composants représentatifs seront également réalisées sur les bancs d'analyse expérimentale de la tenue au flux laser au CEA CESTA. L'ensemble de ces mesures sera utilisé pour aider à l'entraînement et au réglage des réseaux de neurones.

**Objectif :**

L'objectif de ce post-doctorat est de poursuivre le développement d'algorithmes d'intelligence artificielle pour la prédiction de l'endommagement laser sur le Laser Mégajoule. Le travail comprend :

- L'analyse des données issues de l'installation du LMJ, très représentatives du comportement étudié.
- La définition, le suivi et l'analyse d'expériences sur d'autres moyens expérimentaux pour apprécier l'impact des facteurs d'influence sur la croissance de dommage (taux de modulation, forme temporelle de l'impulsion laser, largeur de bande spectrale, pollution particulière des optiques) afin de les intégrer au modèle de deep learning.
- L'analyse des publications scientifiques du domaine pour construire un ensemble algorithmique complet et représentatif.

L'algorithme aujourd'hui développé est un algorithme de deep learning supervisé. D'autres méthodes pourront être testées pour répondre aux besoins de classification des dommages et de prédiction de leur évolution. Ces travaux seront conduits en partie en collaboration avec l'Institut Fresnel (Marseille).

**CENTRE**

Cesta  
BP 2 – 33114 Le Barp  
☎ 05-57-04-40-00

**CONTACT**

LACOMBE Chloé  
chloe.lacombe@cea.fr

LAMAIGNIERE Laurent  
laurent.lamaigniere@cea.fr



## Simulation d'un milieu poreux soumis à des impacts à haute vitesse

Mathématiques,  
information scientifique,  
logiciel

### Contexte :

La maîtrise de la réponse dynamique de matériaux complexes (mousse, céramique, métal, composite) suite à des sollicitations intenses (dépôt d'énergie, impact hyper-vélocité) est un enjeu majeur pour de nombreuses applications développées et conduites par la Direction des Applications Militaires (DAM) du Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA). Dans cette optique, le CEA CESTA développe des modélisations mathématiques du comportement de matériaux face à des impacts hypervélocité. Ainsi, dans le cadre de l'ANR ASTRID SNIP (Simulation Numérique des Impacts dans les milieux poreux) en collaboration avec l'IUSTI (Université Aix-Marseille), des études sur le thème de la modélisation des matériaux poreux sont menées. Elles ont pour objectif d'aboutir à l'élaboration de modèles innovants plus robustes et palliant les déficits théoriques des méthodes existantes (consistance thermodynamique, préservation du principe d'entropie)

### Objectif :

Dans le cadre de ce post-doctorat, le(la) candidat devra effectuer, dans un premier temps, une revue bibliographique pour comprendre les méthodes et modèles développés au sein de l'IUSTI et du CEA CESTA et comprendre leurs différences. Dans un second temps, il/elle étudiera la compatibilité entre le modèle développé à l'IUSTI et les méthodes de résolution numériques utilisées dans le code de calcul de dynamique rapide du CEA CESTA. Il/elle proposera des adaptations et des améliorations de ce modèle pour prendre en compte l'ensemble des phénomènes physiques que l'on souhaite capturer (plasticité, contraintes de cisaillement, présence d'inclusions fluides, endommagement) et rendre son intégration dans le code de calcul possible. Après une phase de développement, la validation de l'ensemble de ces travaux sera effectuée via des comparaisons avec les modèles physico-numériques existants ainsi que la confrontation avec les résultats expérimentaux d'impacts issus de la littérature et/ou effectués au CEA/DAM.

### CENTRE

Cesta  
BP 2 – 33114 Le Barp  
☎ 05-57-04-40-00

### CONTACT

THERME Nicolas  
Nicolas.therme@cea.fr

HEBERT David  
David.hebdert@cea.fr

The logo for CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) consists of the lowercase letters 'cea' in a white, sans-serif font, positioned above a horizontal green line. The logo is set against a dark red square background.

## Fiabilité des algorithmes d'Intelligence Artificielle appliqués à la surveillance de l'environnement

Mathématiques,  
information scientifique,  
logiciel

### Contexte :

Le CEA Dam-Île de France prend en continu le pouls de la Terre à l'aide d'un réseau de capteurs qui enregistrent les plus petits mouvements du sol, des océans et de l'atmosphère.

Toutes ces données, qui prennent la forme de signaux, sont analysées systématiquement afin d'alerter rapidement les autorités en cas de forts séismes, de tsunamis ou d'essais nucléaires, puis sont sauvegardées dans une base de données.

Ces données accumulées au fil des années sont une mine d'or qu'il faut sans cesse apprendre à explorer. Fort de sa base de données regroupant aujourd'hui plus de 500 000 événements géophysiques et plus de 20 ans de signaux numériques, l'unité s'est engagée activement pour mettre en œuvre des traitements issus de l'apprentissage automatique (apprentissage profond et au sens large intelligence artificielle) afin de répondre à ses missions de surveillance.

Le principal inconvénient des méthodes IA de discrimination couramment utilisées est de considérer lors de la phase d'apprentissage uniquement les données préalablement analysées et classifiées. Ainsi lors de l'utilisation opérationnelle, la classification de données appartenant à des classes jamais identifiées par le passé ou absentes des catalogues de référence est problématique et systématiquement erronée. Pour l'instant nous ne disposons d'aucune méthode permettant d'identifier ces données et donc d'améliorer ni même d'évaluer la confiance à attribuer aux analyses d'une IA.

Pourtant, dans le contexte de la surveillance, ce type de données est d'une importance primordiale car il peut s'agir : d'un événement atypique (explosion, ...), d'une nouvelle classe de signal (ouverture d'une mine, d'une usine), de l'évolution d'une classe d'événement (changement de dynamique d'une faille, modification d'une activité anthropique, etc.), d'une défaillance d'un capteur mettant en cause les performances du système de surveillance.

Le projet est une collaboration entre deux laboratoires complémentaires du CEA (Bruyères-le-Châtel et Grenoble), le premier ayant une expertise dans le domaine applicatif, l'autre étant spécialiste des méthodes d'intelligence artificielle. Le(la) post-doctorant(e) sera accueilli(e) au CEA de Grenoble.

### Objectif :

Les travaux seront divisés en deux étapes. Il s'agit dans un premier temps de bien classer les données (signaux) appartenant aux classes connues tout en détectant l'apparition d'événements non connus. Pour cela, nous proposons de développer dans le cadre de ce post-doc un modèle IA original couplant modélisation de séries temporelles, classification et détection d'anomalies. Chaque donnée ne pouvant être assimilée à une classe connue sera alors regroupée dans une classe « anomalie ». Dans un second temps, les données de cette classe seront regroupées automatiquement selon leurs similarités (étape de clustering) puis présentées aux experts pour une analyse plus approfondie.

### CENTRE

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

### CONTACT

GAILLARD Pierre  
pierre.gaillard@cea.fr

MALFANTE Marielle  
marielle.malfante@cea.fr

The logo of the CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) is displayed in white on a red square background. It consists of the lowercase letters 'cea' in a sans-serif font, with a horizontal line underneath the letters.

## Développement de métamodèles pour la simulation rapide des ondes de choc

Mathématiques,  
information scientifique,  
logiciel

### Contexte :

Les explosions dans l'air génèrent des ondes de choc, appelées ondes de souffle, dont les effets mécaniques sur les structures peuvent être dévastateurs. Afin de prédire ces effets, le CEA DAM a développé plusieurs outils de calcul complémentaires, simulant les effets des ondes de souffle avec des degrés de précision et des coûts d'utilisation variés.

Il existe un premier code de calcul, haute-fidélité, qui modélise toute la complexité du champ d'ondes 3D, avec la prise en compte de la topographie et de bâtiments de forme complexe. Ce code demande cependant des ressources conséquentes, qui sont fournies par les supercalculateurs du CEA DAM. Un second code de calcul 2D, beaucoup plus rapide, simplifie la physique du problème en ne résolvant que l'évolution de la géométrie du front de choc. Ce second solveur est moins précis et ne peut pas prédire de manière satisfaisante certains indicateurs mécaniques tels que l'impulsion mécanique produite par l'onde de souffle sur le sol ou sur les bâtiments. Ces deux codes sont relativement lourds à mettre en œuvre et sont donc peu adaptés aux urgences opérationnelles, aux quantifications des incertitudes et aux problèmes d'optimisation.

### Objectif :

L'objectif du post-doctorat est de développer des métamodèles, c'est-à-dire des modèles de substitution à réponse rapide. Ces métamodèles seront construits à partir d'un apprentissage statistique réalisé sur les sorties des deux codes de simulation mentionnés ci-dessus. De cette manière, les métamodèles établiront un lien simplifié entre les paramètres d'entrée (caractérisation de la source explosive, topographie, géométrie des bâtiments) et les sorties d'intérêt (champs de surpression, impulsions, durée de phase positive).

La principale activité de recherche du(e) la post-doctorant(e) sera de développer une méthodologie pour générer ces métamodèles, en prenant en compte les spécificités du problème physique considéré. Le(a) post-doctorant(e) disposera d'une grande liberté sur le choix de la méthodologie (krigeage, train de tenseurs, réseau de neurones...). Cependant, étant donné la cohabitation de deux codes de simulation, une approche multi-fidélité serait a priori souhaitable. L'application des métamodèles aux ondes de choc étant un sujet très peu exploré dans la littérature scientifique, le(a) post-doctorant(e) bénéficiera d'opportunités de publications. Il(elle) disposera également d'un accès unique aux ressources des supercalculateurs de la DAM pour réaliser la phase d'apprentissage.

Une fois la méthodologie choisie, des métamodèles opérationnels seront générés en prenant en compte la topographie 2D/3D, et validés sur des topographies réalistes. L'estimation des erreurs associées à ces modèles de substitution serait souhaitable. Par ailleurs, une preuve de concept d'une approche multi-fidélité, et/ou une preuve de concept pour la prise en compte des bâtiments. Sont attendues au moins une publication scientifique, et la participation à au moins un congrès/workshop.

### CENTRE

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

### CONTACT

TERRANA Sébastien  
sebastien.terrana@cea.fr



## Accélération par GPU d'un code de dynamique des gaz préexistant.

Mathématiques,  
information scientifique,  
logiciel

### Contexte :

Le code Triclade, développé au CEA-DAM, est un code DNS tridimensionnel écrit en C++ MPI résolvant les équations de Navier-Stokes compressibles pour un mélange binaire de gaz parfaits sur des maillages cartésiens. Il est utilisé, en particulier, pour simuler le mélange turbulent se produisant aux interfaces entre fluides sous l'effet d'instabilités hydrodynamiques.

### Objectif :

Le(a) post-doctorant(e) aura pour tâche l'amélioration des performances de l'application en mettant en place un nouveau degré de parallélisme basé sur une programmation sur carte graphique (GPU). Le code ainsi produit devra réduire au mieux la divergence entre les approches CPU et GPU, en permettant notamment d'unifier les appels aux fonctions calculatoires de manière à masquer l'utilisation explicite des accélérateurs. Pour ce faire, il(elle) pourra se baser sur une API existante (telle que Kokkos), ou, suivant les besoins, de directives de pré-compilations (telles que OpenMP). Le(a) post-doctorant(e) sera amené(e) à collaborer fortement avec plusieurs autres équipes travaillant autour de l'accélération GPU. Une bonne connaissance de la programmation C/C++, des systèmes distribués (calculateurs) ainsi que de la programmation sur carte graphique seront nécessaires à la concrétisation de ces objectifs. Des connaissances en mécanique des fluides seraient appréciées.

### CENTRE

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

### CONTACT

GRIFFOND Jérôme  
[jerome.griffond@cea.fr](mailto:jerome.griffond@cea.fr)

OTESKI Ludomir  
[Ludomir.oteski@cea.fr](mailto:Ludomir.oteski@cea.fr)

The logo for CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) is displayed in white lowercase letters on a dark red square background. A thin green horizontal line is positioned below the letters.

**Contexte :**

Dans de nombreuses applications (moteurs électriques, stockage des données, détection, antennes, ...), les propriétés magnétiques des matériaux s'obtiennent par un équilibre subtil entre différentes interactions, un fait qui rend la conception de nouveaux composés complexes. Or de nos jours, les théories de la structure électronique à grande efficacité offrent une aide inestimable à l'exploration d'un vaste espace physico-chimique disponible, ainsi qu'un outil supplémentaire de conception pour la synthèse expérimentale. Ces méthodes prédisent efficacement les propriétés magnétiques élémentaires d'un composé et la stabilité de certaines de ses propriétés thermodynamiques, mais restent aveugles à d'autres informations cruciales concernant par exemple la température de transition magnétique. Toutefois, il est aujourd'hui apparu possible d'utiliser certains des modèles d'apprentissage automatique pour prédire par exemple la température de Curie et d'étudier ainsi des composés inédits par des méthodes à forte valeur ajoutée.

**Objectif :**

Le travail post-doctoral portera sur le développement d'un outil de prédiction et de recherche de nouvelles structures magnétiques utilisant conjointement un code de dynamique moléculaire magnétique précédemment développé au CEA et un algorithme d'apprentissage sur la base des fonctionnalités de la bibliothèque AFLOWLIB-ML.

**CENTRE**

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

**CONTACT**

THIBAudeau Pascal  
pascal.thibaudeau@cea.fr



## ÉCOULEMENT DIPHASIQUE COMPRESSIBLE ET REACTIF-TRANSITION A LA DETONATION

Mathématiques,  
information scientifique,  
logiciel

### Contexte :

L'évaluation de la sécurité d'une structure pyrotechnique passe par la prédiction du niveau de réaction atteint lors d'agressions thermiques (chauffage, feu) ou mécaniques (impact). Les équipes du CEA/DAM ont développé et homologué un code de simulation numérique (sur la base du logiciel ABAQUS) permettant de prédire l'explosion thermique, la première étape du processus réactif. L'attention se tourne maintenant vers les étapes suivantes que sont la combustion, la déflagration et la transition à la détonation. Dans le cadre de ce contrat post-doctoral, le cas des agressions par impacts sera plus particulièrement étudié. La prédiction de la transition combustion-déflagration-détonation nécessite de mesurer, de comprendre et de modéliser plusieurs mécanismes physiques : propagation de la décomposition par conduction thermique, par infiltration des gaz chauds, par formation de points chauds au passage d'une onde de compression... La complexité du processus n'a pas permis jusqu'ici à la communauté scientifique internationale de proposer une démarche unifiée et pragmatique. Le travail sera réalisé en collaboration avec les équipes du Laboratoire de mécanique Gabriel LaMé (région Centre Val de Loire) et avec les équipes d'autres sites du CEA. Des échanges peuvent avoir lieu avec d'autres équipes universitaires ou bien avec l'INRIA.

### Objectif :

La simulation de la transition à la détonation nécessite de se placer dans le contexte des écoulements diphasiques compressibles (écoulement de gaz au sein d'un empilement granulaire) et de prendre en compte, pour la phase solide, une équation de compaction du matériau granulaire en plus de l'équation d'état du solide. Le modèle réactif proposé en 1986 par Baer et Nunziato sera implémenté dans ABAQUS explicit dans sa version simplifiée en 2001 par Kapila et ses coauteurs. Il s'agit de programmer les lois de conservation de chaque phase, les relations de fermeture, les termes d'interaction et les lois du mélange en supposant un équilibre mécanique (vitesse et pression) mais un déséquilibre thermique entre les phases.

Les résultats numériques seront comparés à des mesures publiées jusqu'ici dans la littérature ou à des expériences réalisées durant la présence du(de la) post-doctorant(e) au CEA. Une interaction forte est souhaitée avec l'équipe en charge de la réalisation de ces essais.

Ce travail de recherche donnera l'opportunité au(à la) post-doctorant(e) d'étendre ou de parfaire ses connaissances dans les domaines de la dynamique rapide, des écoulements compressibles réactifs et de la physique des matériaux granulaires et de la matière condensée.

### CENTRE

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

### CONTACTS

PICART Didier  
didier.picart@cea.fr

JUNQUA MOULLET Alexandra  
alexandra.junquamoulet@cea.fr

The logo of the Commissariat à l'énergie atomique (CEA) is displayed. It consists of the lowercase letters 'cea' in a white, sans-serif font, positioned above a horizontal green line. The entire logo is set against a dark red square background.

# MECANIQUE & THERMIQUE

### Contexte :

Dans le cadre de la prévision des écoulements hypersoniques pour la rentrée atmosphérique, des études de simulations numériques directes (DNS) sont conduites de manière ciblée afin d'expliquer en détail la physique des écoulements sur des cas d'application spécifique. Le but de ces simulations avancées est d'accéder à un niveau de détail très fin des écoulements, d'expliquer leur dynamique instationnaire et également d'analyser les mécanismes de transition en action responsables du passage du régime laminaire au régime turbulent. Afin de continuer à progresser sur ces sujets, deux nouveaux cas d'application seront considérés durant le post-doctorat avec des comparaisons systématiques des résultats de simulation avancée obtenus aux données bibliographiques et expérimentales disponibles. L'étude portera dans un premier temps sur une forme générique d'objet bien documentée, puis un second cas d'application sera considéré pour la deuxième partie de l'étude.

### Objectif :

La simulation numérique directe permet d'analyser les écoulements aérodynamiques à un niveau de détail très élevé mais requiert un savoir-faire très important. L'objectif du post-doctorat est donc de s'approprier le mode de fonctionnement du code DNS en régime hypersonique, ainsi que les techniques d'analyse de stabilité des écoulements afin d'étudier de nouvelles formes d'objet et d'expliquer en détail la physique instationnaire des écoulements hypersoniques. Comme indiqué précédemment, une base de validation expérimentale permettra de confronter calculs et essais, le rôle du(de la) post-doctorant(e) sera alors non seulement d'analyser finement les écoulements simulés mais également de faire le parallèle avec les observations issues des essais en soufflerie et avec les données bibliographiques disponibles.

### CENTRE

Cesta  
BP 2 – 33114 Le Barp  
☎ 05-57-04-40-00

### CONTACT

ESQUIEU Sébastien  
sebastien.esquieu@cea.fr

The logo for CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) is displayed in white lowercase letters on a red square background. A thin green horizontal line is positioned below the letters.

**Contexte :**

Le projet EOLE explore une nouvelle technique originale pour simuler en laboratoire les effets d'une explosion de forte énergie. L'injection d'un courant impulsionnel intense dans un fil fin provoque son explosion et génère une onde de souffle sphérique qui se propage dans l'air ambiant puis vient interagir avec une maquette sous test.

EOLE, "dieu des vents", étend donc son champ d'action au souffle d'une « Electro-explosion Obéissant à la Loi d'Echelle ». La faisabilité de cette technique a été démontrée en 2021 au CEA/Gramat en développant un générateur compact de courant impulsionnel intense (400 kA – 400 ns) ainsi qu'une configuration de fil explosé permettant de générer une explosion sphérique d'énergie 5 kJ environ.

**Objectif :**

Le post-doctorat proposé a pour objet de mettre au point cette technique pour simuler les effets d'une explosion sur des maquettes à l'échelle réduite. Un haut niveau de qualité devra être atteint pour que EOLE devienne un simulateur d'effet de souffle capable de mener un grand nombre d'expérimentations dans des conditions parfaitement fiables et reproductibles sur des maquettes 3D d'architectures et de positionnements variables.

**CENTRE**

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

**CONTACTS**

ZUCCHINI Frédéric  
frederic.zucchini@cea.fr

LASSALLE Francis  
francis.lassalle@cea.fr



### Contexte :

Afin de réaliser des études de sécurité pyrotechnique, nous avons développé des outils de calcul permettant de simuler le processus de transition-choc-détonation (TCD) dans des explosifs faiblement poreux. Dans ce type de matériau, c'est l'interaction de l'onde de choc avec leur microstructure (défauts, pores) qui conduit à l'allumage localisé des réactions chimiques, qui, sous certaines conditions, peuvent se propager au reste de l'explosif. Afin de restituer cette phénoménologie, nous avons développé un outil numérique en nous appuyant sur un code d'hydrodynamique rapide. Celui-ci inclut différentes formulations d'un modèle de formation de points chauds par implosion viscoplastique de pores sphériques selon que les calculs sont faits en Euler ou en Lagrange. Ces formulations sont complétées par la donnée d'une loi de distribution de porosité ainsi que par une loi de cinétique chimique macroscopique qui décrit la transformation de l'explosif en produit de détonation. Les constantes de cette loi de cinétique chimique ont été ajustées afin de reproduire au mieux des résultats d'essais de chocs plans simples ou doubles 1D. Ces outils numériques sont aussi capables de restituer à 20 % près les seuils de détonation lors d'impact de barreau sur explosif nu ou protégé en face avant.

### Objectif :

L'objectif du travail est d'abord, dans un premier temps, de comparer finement les résultats des calculs en Euler ou en Lagrange afin de pouvoir en préciser les avantages et les inconvénients. Puis, il s'agira dans un deuxième temps de modifier la loi de cinétique chimique actuelle afin de restituer aussi l'effet de la porosité initiale et de la surface spécifique des grains d'explosif sur la distance d'émergence latérale d'une détonation. C'est à dire la distance nécessaire à une détonation qui débouche dans une cartouche d'explosif de plus grand diamètre pour atteindre son bord. Ce travail de modélisation et de simulation sera ensuite complété par la définition et le dimensionnement d'essais de TCD permettant de mieux évaluer les capacités et les limites de notre nouvel outil de calcul.

### CENTRE

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

### CONTACTS

BOUTON Eric  
eric.bouton@cea.fr

PEREIRA Franck  
franck.pereira@cea.fr



# OPTIQUE & OPTRONIQUE

### Contexte :

Le CEA/DAM développe un module amplificateur laser à verre dopé néodyme pompé par flash et refroidi par liquide capable d'un fonctionnement en cadence de l'ordre d'un tir/minute. Ce module d'une section de 90 mm a été dimensionné et monté en laboratoire. En parallèle, des modèles numériques ont été mis au point afin d'en simuler le fonctionnement (thermo optique et thermo mécanique en présence d'une fluide en écoulement et thermo-hydraulique)

### Objectif :

L'objectif du post doctorat sera de mener une étude paramétrique expérimentale du fonctionnement de cette cellule amplificatrice pour en déterminer les performances laser ultimes. Les travaux porteront en premier lieu sur l'amélioration du gain délivré par l'amplificateur et en second lieu sur la maîtrise de la surface d'onde transmise amplifiée en présence de fluide de refroidissement circulant. Les activités mêleront une activité expérimentale et une activité de modélisation multiphysique en s'appuyant sur les codes en place.

### CENTRE

Cesta  
BP 2 – 33114 Le Barp  
☎ 05-57-04-40-00

### CONTACTS

DALBIES Pierre-Marie  
pierre-marie.dalbies@cea.fr

NEAUPORT Jérôme  
jerome.neauport@cea.fr



### Contexte :

Dans le cadre d'expériences d'hydrodynamique réalisées au CEA-DAM, le laboratoire cherche à radiographier en imagerie X impulsionnelle des objets en mouvement très rapide (plusieurs milliers de m/s), constitués de matériaux très denses ( $> 10 \text{ g/cm}^3$ ). Pour certaines applications spécifiques, l'imagerie X conventionnelle, qui fournit un contraste lié à des variations de sections efficaces d'absorption, s'avère insuffisante. Comme l'ont montré de nombreuses études, il est possible d'exploiter de manière complémentaire l'information contenue dans la phase du rayonnement X. Les techniques de contraste de phase développées ces dernières années en imagerie X dans le domaine médical et dans l'industrie semblent prometteuses pour nos applications. Elles offrent en effet des résolutions spatiales de l'ordre de quelques dizaines de micromètres, et elles permettent désormais l'utilisation de sources X incohérentes et polychromatiques. Il reste à démontrer que ces techniques sont transposables à nos conditions expérimentales très spécifiques (spectres en énergie au-delà d'une centaine de keV), et émission d'une seule impulsion X.

### Objectif :

Dans un premier temps, le(a) post-doctorant(e) développera un moyen de simulation de la chaîne complète de radiographie X impulsionnelle par contraste de phase en combinant si nécessaire les approches corpusculaires et ondulatoires du rayonnement X. L'étude portera ensuite sur le choix de la source et du détecteur. Le(a) post-doctorant(e) sera aussi amené(e) à développer un algorithme de reconstruction du signal de phase à partir des acquisitions réalisées ou simulées. Enfin, le dimensionnement global de la chaîne devra prendre en compte les contraintes d'encombrement liées à nos installations.

### CENTRE

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

### CONTACT

DURAND Olivier  
olivier.durand@cea.fr



**PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSE**  
**CHIMIE**  
**&**  
**NANOSCIENCES**

**Contexte :**

Dans le cadre de la réalisation de composants optiques de grandes dimensions pour le Laser Mégajoule, il est nécessaire d'étudier la croissance des cristaux de DKDP (KDP deutéré). Ils sont traditionnellement produits par croissance lente (la durée de croissance dépasse deux ans). Mais le laboratoire propose ici d'étudier une méthode rapide de croissance réduisant le délai de fabrication à quelques mois.

**Objectif :**

L'objectif du stage post-doctoral est d'adapter la méthode de croissance rapide des cristaux de KDP à celle des cristaux de DKDP (deutérés). Sur la base de la bibliographie, il est admis que la méthode de croissance rapide du KDP n'est pas directement applicable à la croissance rapide du DKDP.

La croissance par abaissement de température, telle qu'utilisée pour le KDP, produit des cristaux DKDP dont le rapport de forme n'est pas favorable à la découpe d'optiques adaptées aux lasers de puissance et dont les propriétés d'usage, notamment la tenue au flux laser, ne répondent pas aux spécifications. Les moyens et les méthodes à mettre en place pour contourner ces difficultés ont été considérés et il s'agit donc de développer, sur des installations à l'échelle du laboratoire, une méthode rapide de croissance de DKDP par les modifications des conditions de croissance, notamment les propriétés chimiques des solutions et le domaine de température balayé durant la croissance. Ces nouveaux développements pourront donner lieu à des publications scientifiques.

**CENTRE**

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

**CONTACTS**

PINTAULT Bruno  
bruno.pintault@cea.fr

SIGAL Hervé  
herve.sigal@cea.fr



**PHYSIQUE DU NOYAU**  
**ATOME**  
**MOLECULE**

### Contexte :

Le rayonnement joue un rôle majeur dans une grande variété de plasmas astrophysiques à haute densité d'énergie. 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. Les éléments de numéro atomique  $Z$  supérieur ou égal à trois contribuent significativement à l'opacité, bien qu'ils ne représentent que quelques pourcents du mélange. Suite à une analyse spectrale récente de la photosphère solaire, les quantités d'éléments de faible numéro atomique (principalement carbone, azote et oxygène) ont été revues à la baisse. Les modèles solaires standards utilisant la nouvelle composition photosphérique sont en désaccord avec les observations d'hélio-sismologie et les mesures de flux de neutrinos. On estime qu'une augmentation régulière de l'opacité dans la zone radiative solaire de 5 % près du cœur à 25 % à la base de la zone convective pourrait réconcilier modèles et observations. Une telle hypothèse implique que les opacités des éléments plus lourds (comme le chrome, le fer et le nickel) devraient être révisées à la hausse. Du fait des températures élevées, ces éléments sont partiellement ionisés et de nombreux états atomiques excités contribuent à l'opacité. Une grande partie des tables d'opacité utilisées par la communauté des astrophysiciens a été calculée il y a 20 ans, à une époque où les moyens de calculs n'étaient pas ce qu'ils sont aujourd'hui.

### Objectif :

Plusieurs groupes développent de nouveaux codes d'opacité pour des applications à la physique stellaire. Bien qu'ils diffèrent par leur modélisation du plasma, ces codes reposent pour la plupart sur des approches « détaillées » décrivant la structure fine des configurations électroniques. Le modèle SCO-RCG, appartient à cette famille, 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 raies spectrales. Il permet également la prise en compte d'un grand nombre d'états excités, et un calcul exact de l'effet Stark pour les atomes hydrogénoïdes et héliumoïdes.

L'objectif du post-doctorat proposé est d'utiliser SCO-RCG pour calculer des opacités utiles pour la modélisation des zones radiatives solaires. Même si le code est déjà abouti (il a été confronté avec succès à de nombreuses expériences laser et Z-pinch), le(a) post-doctorant(e) devra améliorer certains aspects de la modélisation, comme le traitement de l'effet Bremsstrahlung inverse ou les diffusions Compton et Rayleigh. Il(elle) contribuera aussi à rendre le code robuste pour effectuer des calculs intensifs. Les sources possibles d'incertitude dans les calculs seront examinées et discutées. Le(a) post-doctorant(e) pourra également interagir avec des astrophysiciens pour tester les nouvelles opacités dans un code de structure et d'évolution stellaires.

### CENTRE

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

### CONTACT

PAIN Jean-Christophe  
jean-christophe.pain@cea.fr



**Contexte :**

Le faisceau d'électrons délivré par le générateur CESAR du CEA/CESTA permet d'étudier des matériaux soumis à des dépôts brefs et intenses d'énergie. Afin d'analyser correctement les résultats de ces expériences, il faut connaître précisément les caractéristiques des électrons quand ils impactent le matériau considéré. Plusieurs diagnostics permettent de connaître ceux-ci mais les calculs et simulations actuels ne permettent pas de prédire correctement le transport du faisceau depuis sa production dans une diode sous vide jusqu'à la cible placée dans du gaz à pression donnée. En effet, lors de sa propagation dans le gaz, le faisceau ionise celui-ci. Or, certaines caractéristiques du plasma créé par l'interaction du faisceau d'électrons avec le gaz (taux d'ionisation, conductivité ...) ont un fort effet sur le transport de ce faisceau jusqu'à la cible (courant de retour, instabilités...).

Sous vide, les codes Particle-In-Cell (PIC) commerciaux classiques sont prédictifs mais, en présence d'un gaz, dans les conditions correspondant à nos applications, la physique du transport devient complexe et n'est pas correctement traitée par ces outils, notamment parce qu'un trop grand nombre de particules doit être géré (électrons primaires et espèces secondaires dues à l'ionisation du gaz). En revanche, le code PIC CALDER, développé à la DAM, est adapté aux supercalculateurs actuels et représente un outil irremplaçable pour l'étude des divers phénomènes intervenant dans la propagation du faisceau dans le gaz : ionisation du gaz et modélisation de l'interaction entre le faisceau et le plasma créé.

**Objectif :**

Le but de ce post-doctorat est de simuler avec CALDER les expériences qui seront réalisées sur CESAR. Seules des simulations 2D incomplètes ont été réalisées jusqu'à maintenant, mais elles ont l'avantage de mettre en jeu une physique réaliste avec un coût calcul raisonnable. La prise en main et l'utilisation de ce code constitueront donc une première partie du post-doctorat. Le candidat étudiera et simulera des cas physiques simples, théoriquement connus, puis les effets plus complexes seront traités comme, par exemple, ceux associés à la présence d'un champ magnétique externe.

Ensuite, une modification de certains algorithmes pourra être nécessaire pour modéliser correctement l'évolution du faisceau sur des temps longs, proches de la durée totale de l'interaction. Une amélioration des conditions aux limites appliquées aux particules du plasma devra en particulier être réalisée, afin de mieux décrire les effets de bords spécifiques à ce type d'expérience. Le passage à une géométrie 3D ou cylindrique permettra aussi d'améliorer la compréhension des phénomènes physiques en jeu.

La dernière partie du travail demandé portera sur l'interprétation des résultats de ces simulations. L'objectif sera ici d'identifier les mécanismes prépondérants et de parvenir à les modéliser d'une façon simplifiée mais réaliste pour faire le lien avec les données expérimentales accessibles.

**CENTRE**

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

**CONTACT**

DAVOINE Xavier  
xavier.davoine@cea.fr



### Contexte :

The study of Warm Dense Matter (WDM) is a challenging field that is at the crossroads between condensed matter and plasma physics. XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure) is a standard technique in condensed matter physics measurements which brings valuable information on electronic and ionic structure. This technique was recently extended to WDM regime. We showed (both theoretically and experimentally) that a precise description of X-ray absorption spectrum is a key diagnostic to follow the complex mechanism of phase transition. XANES absorption are computed using Density Functional Theory combined within the framework of Projected Augmented-Wave and linear response theory. This description makes use of frozen core approximation which severely limits the description for extreme pressure conditions ( $\sim 100$  GPa and above). The challenge is now to go beyond the frozen core approximation keeping in mind that an all electrons calculation is numerically out of reach for this extreme conditions.

### Objectif :

The position of the edge in the absorption spectrum is connected to the energy difference between the DOS and the core orbital. Both undergo variations with temperature and density that we have to take into account to describe a possible energy shift of the absorption features when modifying the thermodynamical conditions. This is mandatory to be able to compare theoretical and experimental spectra. This is challenging using PAW and frozen core approximation. One promising possibility is to make possible the relaxation of the core orbitals consistently with the valence electrons.

During this post-doc, the candidate will have to run DFT based molecular dynamics simulations on massively parallel computers to obtain the properties of metals in extreme pressure ( $T > 10000$  K) and temperature ( $P > 100$  GPa). Implementation will be necessary to improve the description of XANES spectra for this extreme condition. All implementation and calculation will be done with ABINIT code. All this work will be done with a close interaction with experimental teams.

### CENTRE

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

### CONTACTS

RECOULES Vanina  
vanina.recoules@cea.fr

TORRENT Marc  
marc.torrent@cea.fr



**Contexte :**

The advent of femtosecond lasers has shed a new light on non-equilibrium physics. The ultrafast energy absorption by electrons and the finite rate of their energy transfer to the lattice create non-equilibrium states of matter, triggering a new class of non-thermal processes from the ambient solid up to extreme conditions of temperature and pressure. The dynamical interplay between electrons and the atomic structure is the key issue that drives the ultrafast phase transitions dynamics. The heat transfer rate between electron and ions is accounted for by electron-phonon scattering. This electron-phonon coupling is a crucial input, there is still a controversy on the description of this coupling constant for two-temperature systems. The goal of this post-doc is to advance the theoretical formulation for electron-phonon coupling and implement the new formulation in a electronic structure code based on Density Functional Theory.

**Objectif :**

The time evolution of the electronic and ionic temperature can be described by rate equations in what is known as Two Temperature Models (TTM). The heat transfer rate is accounted for by electron-phonon scattering and electron-phonon coupling is a crucial input for the TTM. At this time, there is still a controversy on the description of this coupling constant for two-temperature systems as they go from solid states to liquid then to plasma. During this transformation, matter reach extreme conditions of temperature (up to  $\sim 30000\text{K}$ ) and pressure (up to  $\sim 100\text{GPa}$ ). This seriously challenges theoretical calculation of time evolution of the electronic structure of two-temperature solids. The solid states physics approach considers that the electron kinetic is transferred to the degrees of freedom of bound ions, described as phonons. On the other side the plasmas physics approaches consider the scattering of electrons with plasmons. Recently, new formulations were proposed using Time Dependent DFT.

During this post-doc, the candidate will have to find the formulation for the electron-phonon coupling suitable for warm dense matter starting from the most recent publications. This formulation will be then implemented in a ab initio code. At last, the candidate will run DFT based molecular dynamics simulations on massively parallel computers to obtain the electron phonon coupling for two-temperatures metals at extreme conditions. All implementation and calculation will be done with ABINIT code. All this work will be done in close interaction with people running classical molecular dynamics and experimental teams.

**CENTRE**

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

**CONTACTS**

RECOULES Vanina  
vanina.recoules@cea.fr

TORRENT Marc  
marc.torrent@cea.fr



**Contexte :**

Dans les expériences de Fusion par Confinement Inertiel (FCI) réalisées sur le Laser Mégajoule (LMJ) au CEA, des faisceaux lasers intenses traversent une cavité remplie de gaz. Aux niveaux d'éclairement considérés ( $>1E15$  W/cm<sup>2</sup>), ce gaz est rapidement ionisé. Les faisceaux se propagent ainsi dans le plasma formé et sont soumis à différentes instabilités néfastes pour réaliser la fusion. Des techniques dites de lissage optique ont ainsi été proposées pour tenter de supprimer ou réduire ces instabilités. Elles consistent à briser les cohérences spatiales et temporelles des impulsions lasers afin que les longueurs et temps caractéristiques du faisceau laser soient plus petits que ceux requis pour le développement des instabilités. La brisure de la cohérence spatiale est réalisée par une lame de phase qui va répartir l'énergie laser en une multitude de grains de lumière appelés points chauds. La brisure de cohérence temporelle s'effectue en élargissant le spectre et en dispersant chacune des fréquences grâce à un réseau. La connaissance des caractéristiques des points chauds (largeur, longueur, contraste, temps de cohérence, vitesses ...) est importante pour prédire le niveau des différentes instabilités et celles-ci peuvent évoluer en fonction du temps et au cours de la propagation des faisceaux.

**Objectif :**

Par souci de simplicité, les instabilités se développant lors de l'interaction laser-plasma sont le plus souvent étudiées dans des cas idéaux (plasma homogène) et autour du point de focalisation des faisceaux lasers. Or dans les expériences de FCI réalisées sur le LMJ, les faisceaux sont focalisés près du trou d'entrée laser de la cavité qui a une longueur d'environ 1 cm. Des instabilités peuvent donc se produire à la fois en amont du meilleur foyer (dans le plasma créé par l'explosion de la fenêtre) et aussi et surtout en aval de celui-ci (assez loin à l'intérieur de la cavité). Le but de ce stage est d'étudier comment le développement de certaines instabilités peut varier lorsqu'il se produit loin du meilleur foyer du faisceau laser. Les instabilités de propagation (autofocalisation, diffusion Brillouin vers l'avant) et la rétrodiffusion Brillouin seront plus particulièrement étudiées. Le travail sera réalisé grâce à de nombreux outils de diagnostics et à des codes numériques développés par notre laboratoire.

**CENTRE**

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

**CONTACTS**

RIAZUELO Gilles  
Gilles.Riazuelo@cea.fr

BERGÉ Luc  
Luc.Berge@cea.fr



# **SCIENCES DE LA TERRE & DE L'ENVIRONNEMENT**

**Contexte :**

Ce sujet s'inscrit dans le cadre de projets CEA sur la modélisation de la propagation en champs proche et lointain (de quelques km à quelques dizaines de km) d'ondes de surpression consécutives à des explosions [Nguyen-Dinh, JCA2018] ou à des sources 3D étendues comme le tonnerre [Gallin, JGRA 2016]. Le CEA a développé des chaînes de simulation numérique pour les sources explosives. En particulier, une chaîne composée d'un code résolvant les équations 2D compressibles de la mécanique des fluides couplé avec un code parabolique 2D permet de restituer les effets de la topographie et des hétérogénéités de l'atmosphère sur la propagation nonlinéaire des ondes de souffle. Parallèlement, des campagnes expérimentales ont permis de constituer des bases de données composées de plusieurs centaines d'événements. Cet ensemble de données permet d'envisager la validation statistique des modèles de propagation acoustique en extérieur.

Ces travaux sont réalisés dans le cadre du LRC LETMA réunissant le CEA/DAM, Sorbonne Université et le Laboratoire de Mécanique des fluides de d'Acoustique (LMFA) de l'Ecole Centrale Lyon.

**Objectif :**

L'objectif du post-doctorat est de développer un modèle paramétrique de sources explosives 3D étendues en environnement complexe en maîtrisant ses incertitudes. L'origine des incertitudes est liée d'une part aux approximations du modèle sur l'extension spatiale de la source ou le type d'explosif et d'autre part à la méconnaissance du milieu de propagation. La calibration des incertitudes des modèles est nécessaire afin d'envisager la caractérisation probabiliste de sources acoustiques.

**CENTRE**

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

**CONTACT**

GAINVILLE Olaf  
olaf.gainville@cea.fr



**Contexte :**

Simuler avec précision la propagation d'un champ d'ondes sismiques dans un milieu complexe peut être réalisé en résolvant numériquement l'équation élastodynamique complète. Les seules limitations de cette approche sont inhérentes au schéma de discrétisation choisi.

Ce dernier doit notamment respecter certaines contraintes : précision, robustesse, et dispersion et dissipation numériques minimales. Ceci nécessite une discrétisation spatiale fine, et un nombre important de degrés de liberté requérant des efforts algorithmiques et informatiques conséquents.

Au CEA/DAM, un code basé sur une méthode de type éléments spectraux (éléments finis d'ordre élevé) a été mis en place ces dernières années. Cette méthode répond aux critères précédemment énoncés. Néanmoins, les méthodes d'éléments spectraux souffrent de quelques limitations : notamment, leur efficacité repose sur une discrétisation spatiale hexaédrique, rendant délicat le maillage de certaines structures. Enfin, la mise en place d'interfaces non-conformes n'est pas aisée.

**Objectif :**

Ces problématiques peuvent être résolues en recourant à une méthode de type DG (Galerkin discontinu). Cette dernière utilise des éléments finis pour lesquels la transmission d'informations entre éléments se fait par l'intermédiaire d'un flux (ici, de type Godunov), à l'instar des méthodes de volumes finis.

La première étape du travail post-doctoral sera de généraliser les travaux de Terrana, Vilotte et Guillot (2018) de 2- à 3-D, et d'optimiser les algorithmes déjà existants afin de réaliser des simulations sur super-calculateurs. La mise en place de maillages tétraédriques et des non-conformités de types h et p est attendue. La prise en compte de l'atténuation et de l'anisotropie, propriétés importantes des matériaux, est également un résultat espéré. Une application à la propagation d'un champ d'ondes dans un modèle de Terre stratifié permettra de valider les développements, qui seront ensuite appliqués à la caractérisation d'une source sismique dans une région hétérogène du globe.

Un deuxième axe d'activité consistera à tester les développements récents de Burman et al. (2020), basés sur l'intégration de frontières immergées au sein d'éléments finis de type DG. L'application ciblée est la propagation d'ondes de surface de basse fréquence, dont le déplacement propre dépend fortement des propriétés de la croûte terrestre, très mince. Le rapport épaisseur de croûte sur longueur d'onde caractéristique des ondes de surface représente jusqu'à présent un verrou numérique.

Il conviendra enfin d'incorporer au logiciel les effets de la gravité (essentiels pour les ondes de basse fréquence), via la résolution couplée des équations du mouvement et de Poisson pour le potentiel gravitaire (problème de type elliptique). Le formalisme pour le traitement de l'auto-gravitation reposera sur des éléments spectraux infinis. L'étude du préconditionnement de la matrice associée sera importante.

**CENTRE**

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

**CONTACTS**

GUILLOT Laurent  
laurent.guillot@cea.fr

BURGOS Gaël  
gael.burgos@cea.fr



### Contexte :

La propagation à distance régionale est fortement affectée par le caractère très hétérogène de la croûte terrestre. Notre méconnaissance de la structure fine de l'intérieur de la Terre rend très difficile une modélisation déterministe du champ d'ondes sismiques, tout particulièrement à haute fréquence. La décomposition ou l'inversion d'enregistrements sismiques régionaux, en vue de l'estimation de la fonction source ou des effets de site, est souvent fortement biaisée ou s'avère impossible à effectuer, notamment pour des événements de magnitude modérée. Dans le cadre d'une collaboration avec l'IRAP (Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie) de Toulouse, un modèle de propagation énergétique des ondes sismiques basé sur la théorie du transfert radiatif a été développé afin d'améliorer les méthodes actuelles d'estimation de la magnitude (Heller 2020).

### Objectif :

En s'appuyant sur ce nouveau modèle de transfert radiatif du mouvement du sol, l'objectif de ce travail de recherche est de développer et d'optimiser un outil "d'inversion généralisée" du signal sismique régional permettant de séparer les différentes composantes du mouvement sismique : ses paramètres de source, notamment sa magnitude, ses paramètres de propagation et d'atténuation, ainsi que les effets locaux.

Le modèle actuel sera amélioré afin de prendre en compte les phases mantelliques et intégrer une variation spatiale des paramètres de scattering et d'atténuation intrinsèque. Après une validation de l'algorithme d'inversion sur des données synthétiques, il sera appliqué sur différentes bases de données sismiques régionales incluant différents types de sources et de milieux de propagation. Une attention toute particulière sera apportée à l'évaluation des performances de l'algorithme à fournir une estimation de la magnitude de qualité même dans des conditions défavorables en termes de signal disponible. Les outils d'inversion seront donc à intégrer et à automatiser afin de manipuler et analyser de grands volumes de données sismiques. L'application aux données réelles pourra aussi s'appuyer sur les données de deux expériences sismiques temporaires « PREMISES » effectuées en 2018 et 2020 sur le site du Laboratoire Souterrain Bas Bruit (LSBB) et consistant en l'enregistrement par un réseau dense de plus de 300 capteurs de plusieurs tirs sismiques. Ce travail de recherche bénéficiera des moyens de calcul du CCRT (Centre de Calcul Recherche et Technologie) du CEA.

### CENTRE

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

### CONTACT

SEBE Olivier  
olivier.sebe@cea.fr



# **SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT**

**Contexte :**

Une bonne compréhension de la moyenne atmosphère (MA) et des perturbations de fine échelle, telles les ondes de gravité (OG), est identifiée comme essentielle à la bonne évaluation des capacités de détection infrason du Système de Surveillance International (SSI) mis en œuvre dans le cadre du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICE). La technologie infrason est un moyen d'évaluation des modèles, par le biais de simulations de propagation. Les longues séries temporelles d'observation infrason obtenues dans le cadre du TICE permettent d'accéder à des contraintes uniques et complémentaires des observations haute résolution (lidar, radar), locales et limitées dans le temps, comme démontré par les précédentes éditions du projet d'infrastructure ARISE (Atmospheric dynamics Research Infrastructure in Europe) menées par le CEA. Le modèle ICON (ICOsahedral Non hydrostatic) développé conjointement par l'Institut Max Planck de Météorologie (MPIM) et par le Centre de météorologie allemand (DWD) est un modèle non-hydrostatique haute-résolution de prévision numérique du temps et un modèle utilisé pour la recherche. Il est unique par sa capacité à modéliser jusqu'à la moyenne atmosphère (150 km). Son autre spécificité réside dans l'implémentation récente d'une nouvelle paramétrisation à l'état de l'art des OG (ondes de gravité), représentant des effets négligés jusqu'alors par les paramétrisations usuelles. Ces caractéristiques essentielles d'ICON en font un outil de premier choix pour la simulation de propagation infrason et l'étude de l'impact des OG sur les capacités de détection.

**Objectif :**

Le travail consistera en la réalisation de simulations régionales et globales de la moyenne atmosphère à l'aide du modèle ICON, en utilisant les moyens HPC accessibles, notamment au TGCC à Bruyères-le-Châtel. Des régions d'intérêt particulier et des événements de référence seront ciblés sur la base des précédentes campagnes ARISE et de la localisation des stations infrason du SSI. Des outils de simulation de propagation seront utilisés pour confronter simulations et observations. Les biais des observables infrason seront quantifiés et mis en parallèle des biais enregistrés dans la moyenne atmosphère à l'aide d'observations ARISE haute-résolution depuis la surface. Les performances de la paramétrisation des OG dans ICON seront évaluées par comparaison des simulations à faible résolution (avec paramétrisation) et haute résolution (sans paramétrisation). Des comparaisons aux résultats obtenus à partir d'analyses météorologiques utilisées en opérationnel permettront de quantifier l'apport du modèle ICON. Des ajustements des termes sources de la paramétrisation pourront être proposés afin de démontrer la faisabilité de se reposer sur la technologie infrason pour l'amélioration de modèles. L'impact des OG sur les capacités de détection du réseau infrason du SSI et sur la morphologie globale du guidage des infrasons sera étudié afin d'affiner les cartes de capacité de détection dans le contexte du TICE.

**CENTRE**

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

**CONTACT**

LISTOWSKI Constantino  
constantino.listowski@cea.fr



# TECHNOLOGIES MICRO & NANO

**Contexte :**

L'évolution et l'intégration des composants électroniques reposent depuis longtemps sur la miniaturisation des dimensions des transistors. Leur taille atteint désormais des dimensions telles que les épaisseurs de couches minces ne contiennent plus que quelques couches atomiques. Pour poursuivre l'intégration des composants, une des voies les plus prometteuses consiste à explorer les empilements en 3D de composants. Cette démarche initiée au CEA LETI depuis plusieurs années a permis l'apparition de composants tels que les FinFETs, les nano-fils de silicium et plus récemment les nano-sheets. Les premières études radiatives du CEA DIF montrent que les premières générations de ces technologies sont prometteuses, et identifiées comme solution possible pour l'électronique du futur. Ces études radiatives nécessitent d'être poursuivies sur les dernières générations technologiques actuellement développées au CEA LETI.

**Objectif :**

Les objectifs de ce post-doctorat seront :

- De comprendre le fonctionnement des composants avancés du CEA LETI et des effets prédominants des radiations dans l'électronique.
- D'identifier, de modéliser et de simuler numériquement les environnements radiatifs d'intérêt et leur interaction avec les zones sensibles des dispositifs.
- De définir et réaliser les tests radiatifs pertinents par rapport aux environnements définis.
- D'évaluer les règles de conception pour optimiser les futurs composants électroniques afin de les rendre plus résistants aux effets des radiations.

**CENTRE**

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

**CONTACT**

LAMBERT Damien  
damien.lambert@cea.fr



### Contexte :

Les métasurfaces, constituées de motifs conducteurs, sont exploitées pour créer des réponses électromagnétiques originales (substrat haute impédance, tapis d'invisibilité, ...). Leur réalisation par impression jet d'encre conductrice est un acquis de l'équipe, qui développe ce type de matériaux en collaboration avec des partenaires académiques et industriels (thèse de G. Klotz, de l'université Aix-Marseille, juin 2021). La résolution des motifs imprimés peut être améliorée en travaillant sur le substrat, et notamment sa tension de surface, afin de limiter l'étalement de l'encre. De plus, la faisabilité de motifs multicouches combinant des matériaux conducteurs et diélectriques a été démontrée, mais n'a pas encore été exploitée.

### Objectif :

L'objectif de ce contrat postdoctoral est de réaliser avec l'imprimante jet d'encre du laboratoire des métasurfaces, pour explorer expérimentalement l'influence des paramètres géométriques sur la réponse électromagnétique. La conception des motifs est définie en collaboration avec l'équipe, qui dispose également de moyens de caractérisation électromagnétique. Ceux-ci peuvent être complétés par des collaborations avec des laboratoires ou des partenaires industriels. La réalisation de métasurfaces avec des motifs multicouches enrichira le potentiel d'application de ces métasurfaces. Ces résultats donneront lieu à des publications ou des brevets.

### CENTRE

Le Ripault  
BP 16 – 37260 Monts  
☎ 02-47-34-40-00

### CONTACT

ADENOT-ENGELVIN Anne-Lise  
anne-lise.adenot-engelvin@cea.fr



# **THERMOHYDRAULIQUE & MECANIQUE DES FLUIDES**

**Contexte :**

La Direction des applications militaires du CEA met en œuvre des méthodes numériques pour les calculs d'hydrodynamique sous des contraintes particulièrement sévères : transport et déformations sur de grandes échelles, évolutions isentropes et sous chocs forts, équations d'état complexes et mélanges de matériaux, couplages à d'autres physiques multiples et complexes, maillages importants requérant des ordinateurs massivement parallèles, etc.

Pour répondre à ces besoins, le CEA/DAM développe depuis quelques années des méthodes selon le formalisme dit ALE (Arbitrary Lagrange–Euler), dans lequel le maillage évolue dans le temps selon des règles spécifiées arbitrairement par l'utilisateur de manière à capturer au mieux les particularités de l'écoulement. Un schéma original ALE direct arbitrairement multi-fluides et multi-vitesses a ainsi été conçu et implanté dans une maquette avec des résultats prometteurs sur plusieurs cas tests sévères (IJMF 132 (2020) 103324). En l'état il ne comporte que les termes réversibles (pression et transport) sachant que les termes dissipatifs habituels dans les modèles (viscosité, trainée, turbulence, conduction, etc.) peuvent s'ajouter a priori sans difficulté car ils sont stabilisants.

**Objectif :**

L'objectif est de produire une maquette d'étude et de test de ce schéma augmenté des termes dissipatifs présents dans la plupart des modèles multi-fluides classiques, que ce soit sous forme Euler-Euler ou Lagrange-Euler.

**CENTRE**

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

**CONTACTS**

PERLAT Jean-Philippe  
jean-philippe.perlat@cea.fr

LLOR Antoine  
antoine.llor@cea.fr