

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea dam

Direction des Applications Militaires



# OFFRES DE STAGES

## 2021 - 2022



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

# 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

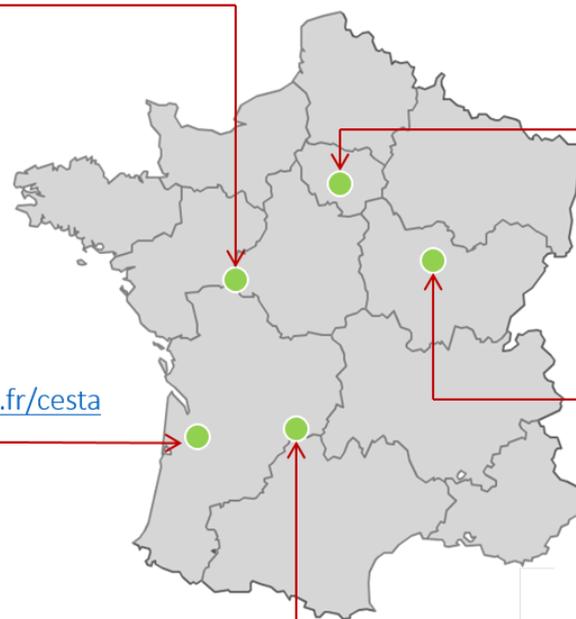
21120 Is-sur-Tille  
03.80.23.40.00

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

## GRAMAT

BP 80000  
46500 Gramat  
05.65.10.54.32

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



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

## Le centre CEA/Cesta

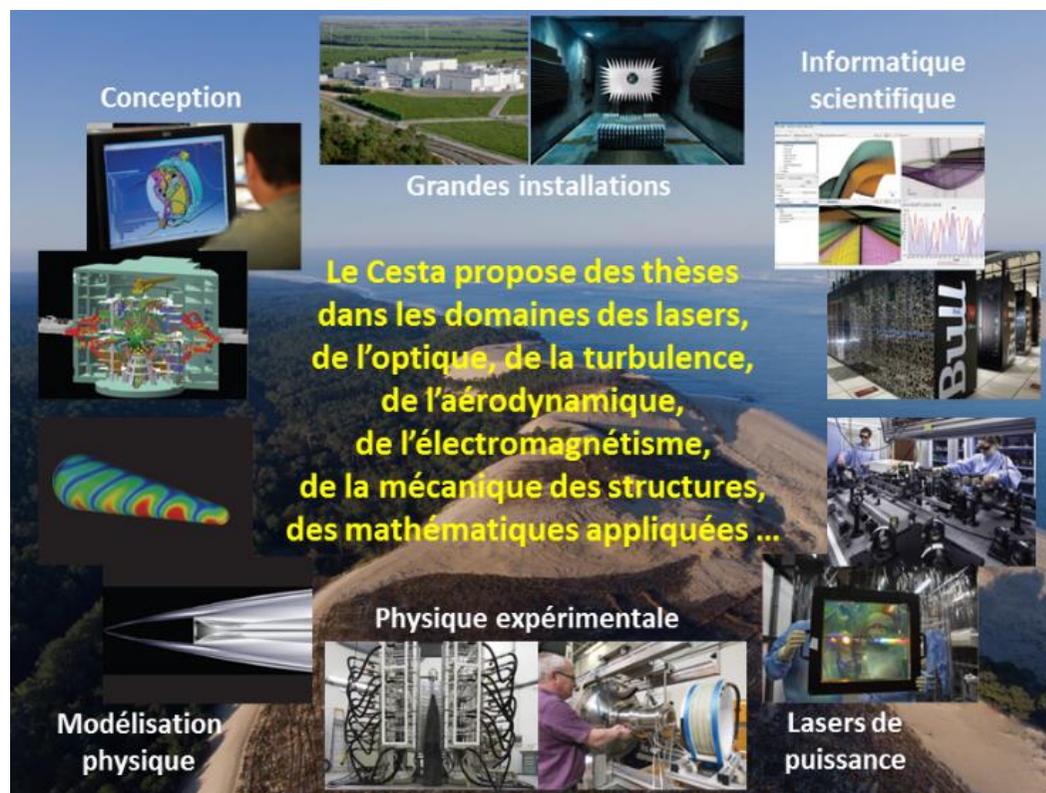
Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine

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

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

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

# 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.

<p><b>Conception et garantie des armes nucléaires, grâce au programme Simulation</b></p>  <p>© P. Stroppa/CEA</p> <p>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).</p>	<p><b>Lutte contre la prolifération et le terrorisme</b></p>  <p>© C.</p> <p>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).</p>
<p><b>Alerte auprès des autorités</b></p>  <p>© C.</p> <p>24h sur 24 et 365 jours par an, le CEA/DIF assure une mission d'alerte auprès des autorités :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ en cas d'essai nucléaire, de séisme sur le territoire national ou à l'étranger,</li><li>■ en cas de tsunami intervenant dans la zone euro-méditerranéenne (CENALT).</li></ul> <p>Il fournit aux autorités toutes les analyses et synthèses techniques associées.</p>	<p><b>Expertise scientifique et technique</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Dans l'ingénierie de grands ouvrages (construction et démantèlement),</li><li>■ Dans les sciences de la Terre (géophysique, sismologie, géochimie, physico-chimie, modélisation...),</li><li>■ En physique de la matière condensée, des plasmas, physique nucléaire,</li><li>■ En électronique (électronique résistante aux agressions).</li></ul>

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

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

# Le Centre CEA/Le Ripault

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

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

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



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

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

#### RÉPONDRE AUX ENJEUX DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

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

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

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

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

## Le CEA/Gramat

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

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

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

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

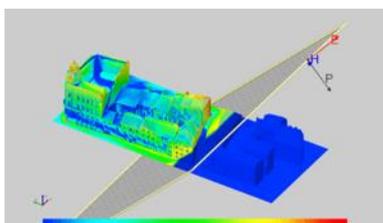
Les domaines scientifiques étudiés sont très vastes et se rapportent à de nombreuses branches de la physique théorique ou expérimentale : mécanique des fluides et des structures, comportement dynamique des matériaux, détonique (science des explosifs), thermique, électromagnétisme, électronique, interactions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



Antenne large bande pour tests électromagnétiques

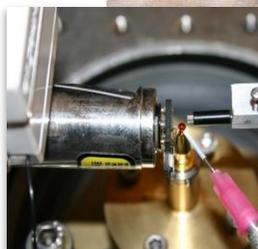


Modélisation électromagnétique d'un quartier de ville

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

# Le Centre CEA/Valduc

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



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

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

L'esprit d'équipe en action ...

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



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



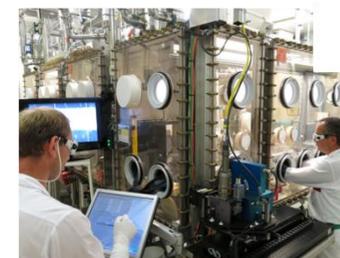
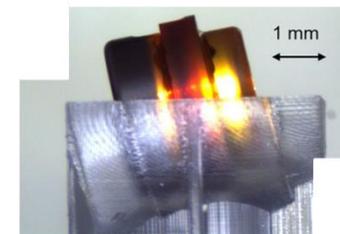
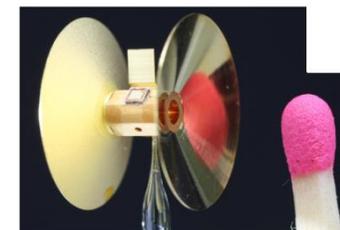
**DE GRANDES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES** conçues pour apporter un service très complet aux procédés de recherche et de fabrication qu'ils hébergent (ventilation, filtrage des atmosphères, fluides, réseaux, surveillance de la radioactivité, ...), garantissant un fonctionnement fiable et sûr. Leur fonctionnement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



**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.



**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 !



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

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

## SOMMAIRE

CHIMIE .....	9
COMPOSANTS ET EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES .....	15
ELECTROMAGNETISME, GENIE ELECTRIQUE .....	20
EXPLOITATION D'INSTALLATIONS SPECIFIQUES .....	27
INSTRUMENTATION, METROLOGIE ET CONTROLE .....	34
MANAGEMENT ET PROJET .....	54
MATERIAUX, PHYSIQUE DU SOLIDE.....	56
MATHEMATIQUES, INFORMATION SCIENTIFIQUE, LOGICIEL .....	80
MECANIQUE ET THERMIQUE.....	147
MOYENS GENERAUX ET INSTALLATIONS.....	172
NEUTRONIQUE ET PHYSIQUE DES REACTEURS .....	174
OPTIQUE ET OPTRONIQUE .....	176
PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSE, CHIMIE ET NANOSCIENCES .....	185
PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME, MOLECULE.....	187
QUALITE ET ENVIRONNEMENT.....	199
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT .....	202
SCIENCES POUR L'INGENIEUR .....	230
SECURITE DU TRAVAIL ET DES BIENS – RADIOPROTECTION .....	242
SUPPORT A LA PRODUCTION.....	244
SURETE NUCLEAIRE .....	246
SYSTEMES D'INFORMATION.....	249
THERMOHYDRAULIQUE ET MECANIQUE DES FLUIDES.....	252

**CHIMIE**

**CONTEXTE**

Les Composites à Matrice Céramique (CMC) sont des matériaux constitués d'une structure de fibres céramiques (carbone (C), carbure de silicium (SiC), oxydes, ...), apportant les propriétés mécaniques à haute température, et d'une matrice céramique, donnant la cohésion et permettant le transfert de charges. Le CEA développe ces matériaux pour des applications structurantes à haute température (boucliers thermiques, échangeurs de chaleurs, ...). L'étude proposée consiste à étudier la faisabilité de transformer des matériaux composites en C/C (obtenus par impression 3D et post-traitements) en composites (C/C-SiC) (matrice hybride en C et SiC) par imprégnation de silicium fondu et réaction (technique "RMI"), à haute température, avec le carbone ( $\text{Si} + \text{C} \rightarrow \text{SiC}$ ). Ce stage aura lieu sur le campus universitaire de Bordeaux, au Laboratoire des Composites ThermoStructuraux (LCTS).

**OBJECTIFS**

- Bibliographie
- RMI (sur pièces 100 mm x 30 mm x 3 mm)
- Caractérisations avant et après traitement (microstructurales, flexion)

**DUREE**

4 à 6 mois

**COMPETENCES REQUISES**

Matériaux, physico-chimie

**CENTRE**

Le Ripault

BP 16 – 37260 Monts

02-47-34-40-00

**CONTACTS**

stage.ripault@cea.fr

## CONTEXTE

Le centre du CEA Le Ripault, situé à 15 km de Tours, conçoit, développe et fabrique des matériaux innovants pour les composants non nucléaires des armes de la dissuasion, ainsi que pour les grandes installations du programme Simulation. Dans le cadre du développement de ces nouveaux composants (composites, céramiques), le Laboratoire souhaite développer et valider des méthodes d'analyses élémentaires sur ces nouveaux matériaux afin de les caractériser, notamment par spectrométrie en solution.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de développer les méthodes d'analyses élémentaires sur différents types de matériaux composites, céramiques afin de caractériser ces matériaux en termes d'éléments majeurs, impuretés et traces. Les matériaux devront faire l'objet de recherches bibliographiques, de définition de protocoles de minéralisations adaptés et de développement de méthodes analytiques en spectrométrie en solution (ICP AES / ICP MS). L'objectif est d'apporter une caractérisation chimique complète du matériau.

## DUREE

6 mois

## COMPETENCES REQUISES

La connaissance de la théorie et de la mise en pratique des techniques d'analyses élémentaires de type ICP AES/ICP MS est souhaitée et sera approfondie durant le stage. La connaissance en matériaux composites et céramiques est également souhaitée.

## CENTRE

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

## CONTACTS

stage.ripault@cea.fr

## CONTEXTE

Dans le cadre des opérations préparatoires au démantèlement, l'installation doit évacuer des solutions radioactives en respectant des contraintes de transport. Parmi ces contraintes, la production des gaz de radiolyse de ces solutions doit être étudiée.

## OBJECTIFS

Le stagiaire aura pour mission l'étude de la faisabilité de la mise en place d'un système d'analyse de gaz de radiolyse au sein de l'équipe exploitation. Cette étude couvre de nombreux domaines (sûreté, radioprotection, transport, criticité...), des interactions avec les spécialistes de ces domaines seront nécessaires. En complément, des missions ponctuelles, liées à l'exploitation de l'II 010, pourront être confiées au stagiaire. Le stagiaire rendra compte au tuteur et au chef du laboratoire.

Liste des tâches :

- Prise en main de l'appareillage,- Qualification de l'appareillage,
- Validation de la méthode d'analyse,
- Réalisation d'essais,- Rédaction et synthèse documentaire
- Participation à l'exploitation d'une installation nucléaire

## DUREE

4 à 6 mois

## CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

## CONTEXTE

La gestion des déchets radioactifs a pour objectif de caractériser, quantifier et traiter la radioactivité qu'ils contiennent de façon à réduire au maximum et maîtriser les conséquences, en particulier sur une grande échelle de temps, de leurs impacts sur l'homme ou son environnement. Dans ce cadre, le CEA Valduc possède deux procédés de traitement adaptés au niveaux d'activité des effluents issus des installations. Ces traitements produisent des boues qui sont immobilisées dans une matrice cimentaire afin d'être évacuées vers le centre de stockage de l'Aube.

Les performances actuelles de ces ateliers permettent de pleinement satisfaire aux exigences d'évacuation des effluents du centre. Cependant, l'émergence de nouvelles activités sur le centre de Valduc généreront de nouveaux effluents avec de nouvelles caractéristiques (nouveau radioélément, présence de complexant ou autre molécule chimique) et une augmentation des volumes à traiter dans les différents ateliers.

## OBJECTIFS

Après avoir acquis une maîtrise du fonctionnement de ces procédés, l'étudiant devra définir l'impact de ces nouveaux composés chimiques sur les performances du béton d'immobilisation de ces effluents avant leur envoi en stockage.

Pour cela, l'étudiant devra réaliser une étude bibliographique avant de mettre en place un plan d'expérience pour définir le domaine de fonctionnement de la matrice béton actuelle avec les nouvelles espèces chimiques. Afin d'anticiper une solution alternative en cas de non-respect des exigences techniques avec la formulation actuelle, une ou plusieurs autres formulations pourront être proposées et testées en définissant également un plan d'expérience, réalisant les formulations et les caractérisant pour conclure sur l'impact des évolutions.

Le travail attendu par le stagiaire consiste à :

1. Comprendre le fonctionnement des unités de traitement ;
2. Faire un bilan de la compatibilité des futurs effluents avec les spécifications d'acceptation dans les ateliers actuelles par une étude bibliographique notamment ;
3. Proposer et réaliser un plan d'expérience de compatibilité des effluents avec la formulation béton actuelle ;
4. Proposer et réaliser d'autres formulations alternatives

### DUREE

plus de 4 mois

### COMPETENCES REQUISES

Gestion des déchets nucléaires, génie des procédés, formulation béton

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

stage.valduc@cea.fr

## CONTEXTE

Le laboratoire exploite une installation industrielle de purification par résines échangeuses d'ions de solutions contenant des actinides. Afin d'optimiser le procédé, par exemple en effectuant des essais de nouvelles résines et/ou de conditions expérimentales, il est nécessaire de mettre au point un banc d'essais en boîte à gants. Celui-ci doit reproduire le circuit de purification à échelle fortement réduite afin de réaliser des manipulations de développement sans impacter le procédé.

## OBJECTIFS

Dans un premier temps, le stagiaire devra concevoir, avec l'aide d'un ingénieur du laboratoire, un circuit de purification à échelle réduite reprenant les différentes phases de fonctionnement du procédé de purification sur résine échangeuses d'ions existant : remise en milieu, fixation, lavage et élution. Le circuit devra permettre des opérations de développement : introduction de plusieurs solutions, leurs circulations en co-courant ou contre-courant... Pour répondre à cet objectif, il devra s'approprier le procédé qu'il devra miniaturiser.

Il devra ensuite assembler le dispositif hors boîte à gants et réaliser des essais de bon fonctionnement en utilisant des solutions tests sans matière nucléaire.

Ce sujet permettra au stagiaire d'approfondir ses connaissances des procédés de purification et d'être immergé dans un environnement associant la recherche et développement de pointe ainsi que les activités de production.

Le stage s'adresse à un(e) étudiant(e) d'école d'ingénieur ou de master 2. Le candidat aura des connaissances en chimie et/ou génie chimique ainsi et qu'une bonne aptitude pour l'expérimentation.

## DUREE

4 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

## CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

# COMPOSANTS ET EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES

## CONTEXTE

Dans le cadre des études menées sur les armes à énergie dirigée électromagnétique, le CEA/Gramat conçoit et évalue les performances des briques technologiques critiques pour la génération d'un champ électromagnétique d'amplitude élevée. L'antenne constitue un des éléments clés car elle détermine les caractéristiques de l'illumination (ouverture à mi-puissance, gain, rapport avant/arrière). Elle doit, de surcroît, assurer une compatibilité (géométrique, mode électromagnétique, impédance, tenue en puissance) la meilleure possible avec l'élément source.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de concevoir une antenne répondant à des spécifications particulières en terme d'illumination et compatible avec une source de forte puissance existante, qui délivre des impulsions d'amplitude électromagnétique de plusieurs centaines de MW. Outre l'atteinte d'une efficacité de rayonnement et de surface élevées, l'étude sera gouvernée par la compatibilité avec un mode électromagnétique d'alimentation singulier, spécifique à la source existante.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Compétences en conception d'antenne

### CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

### CONTACTS

[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)

### CONTEXTE

Les alimentations à découpage sont omniprésentes dans les systèmes électroniques et leur détérioration ou perturbation provoque la plupart du temps un dysfonctionnement majeur dans les systèmes hôtes. Il est donc d'un grand intérêt d'étudier la susceptibilité électromagnétique, c'est-à-dire leur sensibilité de fonctionnement vis-à-vis d'une agression électromagnétique d'intensité importante. Dans ce cadre, le CEA/Gramat a développé une alimentation à découpage générique permettant d'effectuer des études expérimentales de vulnérabilité électromagnétique. Après une première série d'expérimentations effectuées dans le cadre d'une thèse en partant de spectre de signaux d'agression inférieur à 1 GHz, une seconde série d'expérimentations au-delà de 1 GHz doit permettre d'augmenter la connaissance de la susceptibilité électromagnétique de ce type d'équipement électronique.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est alors de réaliser plusieurs types d'expérimentations à partir de signaux dont le spectre sera supérieur à 1 GHz. Des tests en agression rayonnée en champ proche seront menés pour des puissances modestes, mais permettant de mettre en évidence les composants sensibles, tant en termes de couplage que de susceptibilité. Des tests en injection conduite seront ensuite mis en œuvre sur ces composants, dans leur environnement fonctionnel, en étudiant la méthode d'injection la moins invasive possible. Ces tests seront également menés sur ces mêmes composants, mais isolés de leur environnement, afin de discriminer les susceptibilités inhérentes à l'environnement de celles intrinsèques au composant.

### DUREE

4 à 6 mois

### CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

### CONTACTS

[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)

### CONTEXTE

Les objets connectés deviennent de plus en plus présents dans notre environnement avec une part d'autonomie qui ne fera que s'accroître. Cette autonomie est directement dépendante de la fiabilité de fonctionnement de ces systèmes électroniques. Il est important de définir dès à présent la capacité de ces systèmes à assurer leurs fonctions face à des agressions électromagnétiques de tous les types.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de partir d'un système d'objets connectés très générique (exemple kit pédagogique du commerce) et d'évaluer expérimentalement sa susceptibilité électromagnétique (sa capacité à résister fonctionnellement à des agressions électromagnétiques) en présence de perturbations électromagnétiques rayonnées ou conduites. Les observables peuvent être des grandeurs physiques lorsqu'elles sont accessibles, mais aussi des observables fonctionnels qui nécessiteront une programmation des systèmes et le développement d'un outil simple de diagnostic de fonctionnement.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Connaissances en électromagnétisme (couplage et propagation);  
Programmation informatique;  
Métrologie microondes

### CENTRE

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

### CONTACTS

[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)



## Conception et réalisation d'une alimentation à découpage de puissance supérieure à 100 W

## COMPOSANTS ET EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES

### CONTEXTE

Le CEA/Gramat est le centre d'expertise du CEA DAM (Direction des Applications Militaires) dans le domaine des effets électromagnétiques sur les systèmes d'armes. Il réalise à ce titre des études de vulnérabilité de matériels soumis à des agressions électromagnétiques diverses. Ces études s'appuient sur des moyens de simulations numériques et expérimentaux uniques.

### OBJECTIFS

Dans le cadre d'études de susceptibilité des équipements électroniques, en mode conduit ou en mode rayonné, le CEA/Gramat évalue des systèmes de différentes technologies. L'objectif du stage sera de concevoir une alimentation à découpage fournissant une puissance de sortie supérieure à 100 W. Cette alimentation complètement maîtrisée sera destinée à des expérimentations de susceptibilité électromagnétique en mode conduit. Afin d'être représentative et générale, l'alimentation intégrera un étage PFC ("Power Factor Correction") et sera basée sur une topologie de type half-bridge ou flyback, adaptée à la classe de puissance visée.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Electronique de puissance, simulation analogique, électromagnétisme.

### CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

### CONTACTS

[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)

# ELECTROMAGNETISME, GENIE ELECTRIQUE

### CONTEXTE

Le cadre général du sujet est celui de la furtivité RADAR, et plus particulièrement celui de l'analyse des signaux de SER (Surface Equivalente RADAR), quantité physique traduisant la qualité d'un objet à réfléchir les ondes électromagnétiques.

Pour peu que l'objet auquel on s'intéresse ne soit pas trop grand en termes de longueurs d'ondes, sa signature RADAR est aisément calculable avec des solveurs Maxwell implantés sur des machines massivement parallèles. Outils indispensables à la conception, ces solveurs restent néanmoins très lourds à utiliser, et ne sont pas adaptés à des évaluations rapides ne nécessitant pas de précision.

Dans ce cas, une multitude d'outils sont à la disposition du concepteur : Optique géométrique, Optique Physique, Théorie Géométrique de la Diffraction... Ces appellations désignent des modes de résolution différents des équations de Maxwell, impliquant dans la plupart des cas des développements asymptotiques.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de recenser et classer ces méthodes dans un premier temps, d'en identifier les périmètres d'utilisation, puis d'en coder les plus pertinentes dans un cas d'application : l'évaluation de la signature RADAR d'un avion simplifié. En parallèle de l'étude théorique et bibliographique, le stagiaire devra s'approprier un code Matlab développé au CEA qui implémente l'Optique Physique. Après avoir identifié les extensions les plus pertinentes en termes de compromis précision/complexité de calcul, il fera évoluer l'outil pour les intégrer à la simulation. L'apport des extensions proposées sera démontré par des simulations croisées sur des cas canoniques et des objets réalistes.

Formation souhaitée : Ecole d'ingénieurs ou Master Recherche 2e année dans le domaine de l'électromagnétisme et du traitement du signal.

Connaissances requises : Compétences en électromagnétisme et traitement du signal. Compétences en programmation Matlab ou équivalent (Python, SciLab)."

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Compétences en électromagnétisme et traitement du signal.

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

### CONTEXTE

Dans le cadre des études menées sur les armes à énergie dirigée électromagnétique, le CEA/Gramat conçoit et évalue les performances des briques technologiques critiques pour la génération d'un champ électromagnétique d'amplitude élevée. Parmi les nombreuses solutions existantes pour la génération d'un signal électromagnétique (tube électronique relativiste sous-vide, état solide, electro-pyrotechnie, ...) les lignes de transmission non-linéaires concilient différents avantages (puissance, agilité en fréquence, ...). Plusieurs conceptions sont toutefois envisageable, notamment en fonction de l'élément dont les non-linéarités seront exploitées. Il s'agit d'identifier la ou les conception(s) d'intérêt, puis d'en réaliser une première évaluation des performances aux travers de simulations numériques.

### OBJECTIFS

Le stage a pour objectif d'appréhender les différentes solutions de conception de NLTL (Non Linear Transmission Line) envisageables afin d'en évaluer les avantages et inconvénients. Après avoir statué sur le type d'architecture à mettre en œuvre, le candidat cherchera à proposer une solution de conception en s'appuyant sur des travaux de simulations numériques.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

**Compétences en composants électroniques**

### CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### CONTACTS

**stage.gramat@cea.fr**



## Développement et automatisation d'un banc de caractérisation I(V) forte puissance pulsée

*ELECTROMAGNETISME,  
GENIE ELECTRIQUE*

### CONTEXTE

Le CEA/Gramat est le centre expert des effets des armes de la Direction des Applications Militaires du CEA, notamment pour les effets électromagnétiques sur les systèmes de la Défense. Il réalise à ce titre des études de vulnérabilité et de susceptibilité de systèmes soumis à des agressions électromagnétiques de tous types. Afin de réaliser les études de vulnérabilité, le centre de Gramat dispose de nombreux moyens d'essais évolutifs. Un banc de caractérisation courant tension I(V) permet d'extraire des caractéristiques I(V) des composants jusqu'à la destruction due aux forts niveaux appliqués pouvant atteindre quelques kW. La mise en œuvre de ce banc de caractérisation est nécessaire pour compléter les capacités des moyens d'expertise.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de développer et d'automatiser un banc de caractérisation forte puissance pulsée. La première partie du stage consistera à développer le banc, cela signifie que le stagiaire devra faire une recherche du matériel nécessaire pour répondre au cahier des charges et réaliser, le cas échéant, des démarches d'achat. Il sera en charge de l'assemblage du matériel (câblage, conception de carte électronique, etc) et de sa mise en service. Afin de finaliser le banc, le stagiaire devra automatiser la mesure et réaliser une interface homme-machine dans le langage de programmation qu'il estimera adéquat (Labview, Python...).

### 🕒 DUREE

**6 mois**

### 📍 CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### 🌟 CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

### CONTEXTE

La caractérisation de systèmes soumis à des agressions électromagnétiques nécessite le positionnement précis d'antennes dans la zone de test. Afin d'améliorer les processus de mesure, il est nécessaire de disposer d'un mât positionneur motorisé et piloté à distance.

### OBJECTIFS

Ce stage consiste à réaliser le contrôle commande d'un mât positionneur sur 3 axes.

#### DUREE

**2 à 3 mois**

#### CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

#### CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

### CONTEXTE

L'utilisation des micro-ondes de forte puissance nécessite de bien comprendre les mécanismes d'interaction entre les ondes électromagnétiques avec différents milieux biologiques. Aujourd'hui, si des effets thermiques sont connus et normés pour certains milieux, il n'en est pas de même pour des formes d'ondes impulsionnelles de forte puissance pouvant induire potentiellement des effets dits athermiques. Il est donc nécessaire d'étudier ces formes d'ondes et d'évaluer leurs effets pour établir des niveaux d'exposition à respecter. Le CEA/Gramat, en liaison avec le Service de Santé des Armées, étudie et conçoit des concepts d'applicateurs permettant une application contrôlée et homogène des champs électromagnétiques appliqués, en vue d'une utilisation par les biologistes pour l'évaluation des effets biologiques induits.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de mettre en œuvre les outils de simulation numérique et les moyens expérimentaux du CEA/Gramat pour concevoir un applicateur répondant à des exigences métrologiques qui permettront de maîtriser les niveaux d'exposition dans les milieux sous test. Ce dernier devra permettre d'assurer un transfert optimal de l'onde électromagnétique du générateur jusqu'au milieu, tout en contrôlant l'homogénéité du champ déposé. Ainsi, une bonne maîtrise du moyen permet de contrôler au mieux les caractéristiques du champ électromagnétique appliqués pour la détection, par les biologistes, d'éventuels effets athermiques.

### ⌚ DUREE

**6 mois**

### 📍 CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### 🌟 CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

### CONTEXTE

Le CEA/Gramat réalise des études et des développements de générateurs de haute puissance pulsée pour des applications : de caractérisation de matériaux sous sollicitations intenses, de radiographie éclair, de durcissement des systèmes militaires. Un générateur de haute puissance pulsée permet de convertir une énergie électrique accumulée lentement en une impulsion de forte puissance (supérieure au gigawatt) sur une durée de quelques dizaines à quelques centaines de nanosecondes. Son principe de fonctionnement consiste à stocker lentement de l'énergie électrique, généralement sous forme capacitive, et à la restituer rapidement à une charge via un ou plusieurs commutateurs haute tension.

### OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est de valider le fonctionnement d'un commutateur 200 kV (éclateur) développé au CEA/Gramat et d'optimiser le circuit résistif associée à ce commutateur. Après une familiarisation avec les moyens expérimentaux et les moyens numériques disponibles, le candidat établira un programme de mise au point et de validation des nouveaux composants. Sur cette base, il effectuera des études de dimensionnement et des évaluations expérimentales. Pour les simulations, il utilisera le logiciel de simulation électrique Pspice et le logiciel de simulation électromagnétique CST. Les résultats obtenus permettront de compléter le dossier de qualification de ces composants.

### DUREE

**4 à 6 mois**

### CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

# EXPLOITATION D'INSTALLATIONS SPECIFIQUES

### CONTEXTE

Une installation d'entreposage d'effluents vient d'être qualifiée. Compte tenu du caractère stratégique de cette installation, elle a été réalisée en amont des besoins du projet et doit être surveillée pendant 2 ans avant d'être mise en service.

### OBJECTIFS

Réaliser l'inventaire des équipements constitutifs de l'installation.

Etudier les manuels d'exploitation et de maintenance fournis par le concepteur.

Rechercher les données de fiabilité de ces différents équipements.

Argumenter et Valider le programme de maintenance proposé, en le confrontant à nos besoins en matière de sûreté, fiabilité et exploitation.

Proposer un programme de maintien en Conditions Opérationnelles pendant les phases de veille.

Définir le stock stratégique de maintenance.

Etablir la liste des Contrôles et Essais Périodiques de Sécurité.

#### DUREE

**4 mois**

#### CENTRE

**Valduc**

**21120 Is sur Tille**

**03-80-23-40-00**

#### CONTACTS

**stage.valduc@cea.fr**

### CONTEXTE

Pour reprendre et conditionner une solution radioactive (Nitrate de Plutonium), un nouvel équipement (IRCS) doit être conçu puis installé au sein d'une installation individuelle du CEA Valduc. Pour réaliser cette conception, un marché de maîtrise d'oeuvre a été enclenché au premier trimestre 2021. L'année 2021 sera consacrée à la rédaction des dossiers de conception de cet équipement, ainsi que son implantation au sein de l'installation. La conception sollicitera divers métiers de l'industrie nucléaire (sûreté - criticité ; génie chimique ; mécanique ; confinement et radioprotection)

### OBJECTIFS

Nous proposons au travers de ce stage de participer à la validation de la conception de l'IRCS. Le rôle principal du stagiaire sera de collecter et réaliser la synthèse de l'analyse des différents spécialistes sollicités dans le cadre la conception de l'IRCS. Le stagiaire sera également associé au suivi contractuel de la prestation de maîtrise d'oeuvre de conception. Le stagiaire aura également en charge d'associer le personnel futur exploitant du procédé afin d'optimiser l'ergonomie, la conduite et la maintenabilité des portes de travail.

### 🕒 DUREE

**5 à 6 mois**

### 📖 COMPETENCES REQUISES

**Profil généraliste**

### 📍 CENTRE

**Valduc**

**21120 Is sur Tille**

**03-80-23-40-00**

### ☀ CONTACTS

**stage.valduc@cea.fr**

### CONTEXTE

Le stagiaire évoluera au sein d'une installation en démantèlement.

### OBJECTIFS

Dans le cadre des opérations préparatoires au démantèlement d'une installation individuelle, le stagiaire déterminera une stratégie d'échantillonnage d'une cellule réacteur à l'aide de techniques géostatistiques en vue de la caractérisation radiologique du génie civil de cette dernière (murs et sols). Pour cela, il établira le cahier des charges et consultera les entreprises spécialisées dans le domaine de la géostatistique. Il suivra l'exécution de la prestation et présentera la stratégie retenue.

### DUREE

**3 à 5 mois**

### CENTRE

**Valduc**

**21120 Is sur Tille**

**03-80-23-40-00**

### CONTACTS

**stage.valduc@cea.fr**

### CONTEXTE

Le stagiaire évoluera au sein d'une installation en démantèlement.

### OBJECTIFS

Dans le cadre des opérations préparatoires au démantèlement d'installations individuelles, le stagiaire mettra en œuvre la gamma caméra Nuvision de l'entreprise Nuvia. Il devra cartographier des cellules réacteurs afin d'aider à la mise en place d'une stratégie d'échantillonnage. Les mesures réalisées serviront également de données d'entrée pour la définition de scénarios de démantèlement.

### DUREE

**3 à 5 mois**

### CENTRE

**Valduc**

**21120 Is sur Tille**

**03-80-23-40-00**

### CONTACTS

**stage.valduc@cea.fr**

### CONTEXTE

L'installation individuelle concernée exploite des procédés industriels et met en œuvre des matières nucléaires.

Comme sur toutes les installations nucléaires, les activités sont régies par un référentiel réglementaire qui doit évoluer en même temps que l'installation elle-même. Ce référentiel est décliné au travers de documents d'exploitation qui précise d'une manière appliquée les conduites à tenir en fonction du sujet concerné.

Ainsi, la production de déchets et leurs modes de gestion s'inscrit dans ce besoin d'évolution, à l'instar du classement de chaque local au titre du zonage déchets, zonage incontournable dans l'exploitation d'une installation.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est une mise à jour profonde du plan de zonage déchets de l'installation individuelle concernée. Ce plan de zonage déchets consiste en un document établi sur la base d'éléments recensés auprès des exploitants ce qui implique de nombreux contacts avec ces derniers. Ces contacts seront l'occasion de comprendre les synoptiques de production de déchets sur la base de la pleine compréhension des activités d'exploitation, de maintenance des procédés, des travaux en cours ou futurs sur l'installation (programme d'amélioration de la sûreté sécurité - PASS, reconfiguration, travaux exploitants).

Le deuxième objectif est de fournir à l'installation un outil ergonomique de gestion des fiches de zonage déchets qui constituera une base de travail pour les exploitants et les chargés d'opération.

Le stagiaire sera intégré à l'équipe sûreté de l'installation et participera à ce titre à la gestion au quotidien des activités de l'installation sous l'angle de la sûreté nucléaire.

### DUREE

**6 mois**

### CENTRE

**Valduc**

**21120 Is sur Tille**

**03-80-23-40-00**

### CONTACTS

**[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)**

## CONTEXTE

Le CEA Valduc met en œuvre un procédé de traitement de déchets organiques radioactifs au sein d'enceintes de confinement. Le traitement consiste à un séchage des déchets sous forme solide grâce à une étuve. Cet équipement étant vieillissant, un projet de renouvellement est en cours.

Le CEA Valduc propose une étude de conception sous la forme d'un « projet industriel » effectué par un groupe d'étudiants au sein de leur établissement (4ème trimestre 2021 – 1er trimestre 2022) suivi d'un stage sur site pour l'un d'eux (à partir du 2nd trimestre 2022).

## OBJECTIFS

Suite à une veille bibliographique et industrielle sur le sujet, l'étudiant :

- Prendra en compte l'environnement du procédé de séchage en enceinte de confinement et son intégration dans l'installation et valider les conclusions du projet industriel ;
- Diagnostiquera l'équipement existant pour identifier les limitations de l'opération et confirmer le choix technologique issu du projet industriel ;
- Participera aux rencontres avec des industriels du secteur en vue de l'étape de fabrication puis de tests.

### DUREE

**6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Master ou école d'ingénieur en génie des procédés.**

### CENTRE

**Valduc**

**21120 Is sur Tille**

**03-80-23-40-00**

### CONTACTS

**stage.valduc@cea.fr**

INSTRUMENTATION

METROLOGIE

CONTROLE

## CONTEXTE

Le CEA/CESTA utilise plusieurs types de diagnostics de mesure de vitesse, qu'il met en œuvre sur des essais de dynamique rapide.

Ces diagnostics ont besoin d'être étalonnés, sur un banc dédié, qui met une surface en vitesse de manière maîtrisée, et mesure avec précision cette mise en vitesse, indépendamment des diagnostics à étalonner.

## OBJECTIFS

Le stagiaire améliorera un banc de mise en vitesse existant (basé sur un verin pneumatique), et développera un dispositif optique innovant pour mesurer la mise en vitesse. Pour cela, il mettra en œuvre un système optique comprenant des lentilles, des miroirs et une caméra streak (caméra à balayage de fente).

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Ce stage peut concerner un étudiant en DUT Mesures Physiques. Des bases en optique et en géométrie sont indispensables.

Un esprit pratique (montages mécaniques) et des bases en programmation arduino sont un plus.

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

stage.cesta@cea.fr

## CONTEXTE

Le CEA/CESTA a en charge l'utilisation de moyens expérimentaux dans les domaines de la mécanique vibratoire, de la thermique, des générateurs haute tension impulsions. Pour certains de ces moyens il va être important d'établir une fonction de transfert simplifiée entre le chargement appliqué et la réponse dynamique du matériau éprouvé. Cette fonction de transfert simplifiée sera un moyen de choix du dispositif expérimental, de dimensionnement du chargement à appliquer pour répondre au besoin expérimental et constituera une aide à la décision des ingénieurs en charge de la campagne expérimentale. La fonction de transfert ainsi établie permettra également, dans certains cas, de prévoir les signaux attendus par des capteurs en fonction de leurs positions et de leurs sensibilités.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de profiter du développement d'une modélisation système (MBSE) avec en particulier une thèse en cours. Il conviendra de s'approprier ce type de modélisation, ses limites, et de mettre au point une présentation permettant aux responsables d'expériences de comprendre l'intérêt d'une telle modélisation pour leurs dispositifs expérimentaux. Dans un second temps, les dispositifs expérimentaux candidats pour cette modélisation seront définis et l'on identifiera les besoins des pilotes d'expérience (surface de réponse, déconvolution de diagnostics, traitement des signaux....). Des modèles complets seront établis pour un ou deux dispositifs expérimentaux et seront validés par les pilotes d'expérience. Le travail se terminera par l'identification des points forts et points faibles d'une modélisation système pour l'établissement de surfaces de réponse de moyens expérimentaux.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Ce stage peut concerner un étudiant en master 1 ou 2, intéressé par la modélisation et qui ait une bonne culture des techniques expérimentales.

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Le CEA/CESTA a en charge le développement et l'utilisation de générateurs impulsionnels haute tension et à hautes puissances pulsées. Ces générateurs sont utilisés pour produire des faisceaux d'électrons ou simplement comme alimentation de bancs tests pour des équipements haute tension. Les bancs test tout comme les générateurs doivent être pilotés par des systèmes de contrôle/commande adaptés aux applications visées.

## OBJECTIFS

Le stagiaire recruté devra étudier et proposer des solutions de contrôle commande adaptées aux applications visées. En lien avec les pilotes d'expérience, il validera un cahier des charges du contrôle/commande proposé et le programmera sur un système de commande conçu à partir de cartes FPGA. Enfin le stagiaire participera à l'évolution du référentiel documentaire en rédigeant des notes de validation et synthèse.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Ce stage peut concerner un BTS électrotechnique ou bien un étudiant en IUT GE2I / Mesures Physiques .

## 📍 CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.cesta@cea.fr

## CONTEXTE

Les caractérisations de diagrammes de rayonnement et de gains d'antennes sont classiquement réalisées en chambre anéchoïque par mesure de transmission au moyen d'une antenne de référence. Une méthode alternative consiste à utiliser une combinaison de plusieurs mesures de Surface Equivalente Radar de l'antenne à mesurer pour en déduire ses caractéristiques intrinsèques. A partir d'une bibliographie qu'il réalisera sur le sujet, le candidat sera chargé de mettre au point une méthode de mesure et développera les traitements des signaux associés.

## OBJECTIFS

Le stage se déroulera en plusieurs étapes :

- État de l'art sur le sujet
- Prise en main de l'instrumentations de mesure existantes dédiées
- Mise en œuvre du processus de mesure et réalisation des mesures
- Analyse et comparaison des deux méthodes de mesures sur plusieurs types d'antennes
- Mise au point des traitements des signaux associés (selon le type d'antennes)"

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📍 CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### 🌟 CONTACTS

stage.cesta@cea.fr

## CONTEXTE

La SER (Surface Equivalente Radar) quantifie le pouvoir réflecteur d'une cible illuminée en champ lointain par une onde hyperfréquence, et donc sa capacité à être détectée par un radar. On parle de SER monostatique quand le radar de réception et le radar d'émission sont localisés au même point, et de SER bistatique dans le cas contraire. Pour valider les calculs de SER de cible, des mesures sont généralement réalisées dans des bases de mesures anéchoïdisées (tapissées d'absorbants pour réduire les échos parasites), restituant le mieux possible les conditions réelles (espace libre, sans signal parasite).

## OBJECTIFS

L'objectif des travaux est de mettre au point un banc de mesure de SER bistatique déjà existant. Il comprend une instrumentation hyperfréquence, des antennes d'émission et de réception, et un support de cible.

Les travaux suivants seront à mener :

- paramétrage de l'instrumentation en fonction de la configuration de mesure (notamment distance objet - antennes), du temps de mesure, des performances recherches, .....
- proposition d'une méthode d'étalonnage, et de traitement des acquisitions
- - analyse des erreurs de positionnement et validation à partir de maquettes dont on aura calculé la réponse bistatique."

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📄 COMPETENCES REQUISES

## 📍 CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

## 🌟 CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Une des principales difficultés lors d'une mesure en chambre anéchoïque est le positionnement précis 3D de la cible sous test (mesure de SER) ou de l'antenne sous test (caractérisation d'antenne). Cette précision de positionnement est d'autant plus importante que la fréquence de mesure est élevée. Des méthodes d'alignement basées sur des mesures électromagnétiques (et certaines symétries de l'objet sous test) peuvent être utilisées mais ne s'avèrent pas suffisantes dans certains cas. Un système basé sur des caméras, et de simples marqueurs à positionner sur la cible (ou antenne) à mesurer présente de nombreux avantages comme le faible coût d'achat (comparer à des lasers de positionnement), la facilité de mise en place, la visibilité du résultat en quasi-instantanée, ...

## OBJECTIFS

Le stage consiste à étudier l'intérêt et les limitations d'un tel système de positionnement existant au sein du laboratoire. Des mesures de comparaisons pourront être faites grâce à l'utilisation d'un laser tracker. Ce stage pourra se dérouler selon les étapes suivantes :

- Mise en place du système de positionnement
- Analyse de la précision obtenue (MATLAB) selon le nombre de caméra, le type de tracker, le type de support, ...
- Type de tracker, forme, ...
- Positionnement
- Analyse et réalisation de différents supports «modulables »

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📍 CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

## 🌟 CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

### CONTEXTE

Dans un contexte opérationnel, le RADAR et la cible sont situés l'un de l'autre à plusieurs milliers de km : par conséquent le front d'onde de l'onde électromagnétique sphérique émise par le RADAR, est considéré comme plan au niveau de la cible. Cette particularité liée à la SER (définie en champ lointain) est une caractéristique compliquée à reproduire en chambre anéchoïque,. Une méthode très souvent utilisée est d'appliquer une transformation champ proche-champ lointain (TCPCL) sur les données mesurées en chambre anéchoïque par post-traitement. Le sujet de stage proposé consiste en l'analyse et l'optimisation de la TCPCL déjà existante au sein du laboratoire de mesure.

### OBJECTIFS

Le stage se déroulera en plusieurs étapes :

- État de l'art sur les différentes méthodes (et limitations) de la TCPCL
- Mise en œuvre de la méthode actuelle sur des mesures
- Propositions d'optimisation de la méthode actuelle pour répondre aux besoins
- Analyse des performances de la nouvelle méthode sur des mesures

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📍 CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### 🌟 CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Le CEA/Gramat est le centre de référence de la Défense en vulnérabilité des systèmes et des infrastructures et efficacité des armements. Le CEA/Gramat met en oeuvre plusieurs moyens expérimentaux émettant un rayonnement X. Ce rayonnement est contrôlé et mesuré en permanence par des dosimètres passifs ou actifs.

## OBJECTIFS

Le CEA/Gramat souhaite évaluer et qualifier un nouveau type de dosimètre. Le principe de la thermoluminescence est un des phénomènes utilisés pour la détection des rayonnements. Plusieurs matériaux thermoluminescents peuvent être utilisés dans cette interaction des rayonnements avec la matière. Le sujet consiste à évaluer un matériau donné, dans un premier temps par comparaison à des dosimètres existants, puis sur les sources de rayonnement X du CEA/Gramat dont la dosimétrie est parfaitement connue. Par la suite ils pourront être étalonnés sur des sources de références si leur efficacité s'avère utile sur le plan opérationnel.

### DUREE

3 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Interaction des rayonnements avec la matière, détection des rayonnements, instrumentation nucléaire

### CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

### CONTACTS

stage.gramat@cea.fr

## CONTEXTE

Le CEA Le Ripault (15 km de Tours) est en particulier spécialisé dans l'élaboration de revêtements par projection thermique et pneumatique. Il possède une expérience reconnue dans le domaine de la mise en forme de matériaux par projection plasma ou par projection dynamique à froid (cold spray) sur des installations de conception industrielle.

Le procédé de projection plasma est basé sur l'injection, l'accélération et la fusion de particules au sein d'un jet plasma caractérisé par des températures de l'ordre de 10 000 K en sortie de torche. L'empilement successif des particules fondues sur un substrat permet la formation d'un dépôt. Des moyens de refroidissement basés sur l'utilisation de la cryogénie sont utilisés pour réguler la température des pièces au cours de la réalisation du dépôt. Le stage consistera à mesurer les températures et les flux thermiques afin d'évaluer l'influence des paramètres du système de refroidissement cryogénique.

## OBJECTIFS

Les objectifs du stage sont les suivants :

- variation des paramètres de refroidissement,
- mesure de températures (thermocouples/pyromètres infrarouge/caméra IR),
- mesure de flux thermiques,
- corrélation des données mesurées avec les paramètres de refroidissement,
- interaction avec l'étude de modélisation en lien avec ce stage.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📍 CENTRE

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

## 🌟 CONTACTS

[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)

## CONTEXTE

Les essais mécaniques menés pour caractériser la tenue mécanique d'un matériau demandent à mesurer les courbes contrainte/déformation caractéristiques du matériau considéré. Les contraintes sont mesurées par le biais d'une cellule de force. En ce qui concerne la déformation, une des techniques possibles consiste à déposer un mouchetis contrasté à la surface de l'échantillon (par exemple : dépôt de peinture). À l'aide d'une ou plusieurs caméras, la déformation de ce mouchetis pendant l'essai est ensuite mesurée par vidéo puis analysée par corrélation d'image. Il est alors possible de remonter à la déformation globale de l'échantillon testé.

## OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est de mettre en service le matériel approvisionné par le laboratoire et de mettre en place les procédures de mesure à suivre. La prise en main et la maîtrise du logiciel de suivi par corrélation d'images (logiciel open source) est un point clé du stage proposé.

### DUREE

3 mois

### COMPETENCES REQUISES

### CENTRE

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

### CONTACTS

[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)

## CONTEXTE

Le CEA Le Ripault possède des compétences reconnues dans l'élaboration de matériaux et en caractérisation optique des matériaux. L'une de ses thématiques est la recherche de moyens de caractérisation non-destructifs sur tous types de matériaux spéculaires ou non, réflecteurs ou absorbeurs. La spectroscopie infrarouge est un de ces moyens.

## OBJECTIFS

Les matériaux peuvent être inhomogènes et il est intéressant d'estimer ces hétérogénéités. Les méthodes d'analyses destructives sont sensibles mais l'utilisation de méthodes non destructives comme l'infrarouge permet de réaliser des mesures sur des matériaux, des pièces représentatives sans avoir à prélever des échantillons et en modifier leurs propriétés pour cette opération. Nous souhaitons mettre au point un dispositif optique dans un large domaine optique (plusieurs dizaines de microns) pour couvrir une gamme complète de l'analyse infrarouge. Naturellement ce système devra gérer les matériaux spéculaires comme les matériaux diffusants et devrait à terme être insensible à la forme c'est à dire être capable d'analyser n'importe quel type de pièce. Ce moyen doit également être transportable à terme.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Mécanique, vide et optique

### CENTRE

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

### CONTACTS

[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)

## CONTEXTE

Le CEA Le Ripault possède des compétences reconnues dans l'élaboration de matériaux en couches minces par voie sol-gel et par voie PVD, et en caractérisation optique des matériaux. L'une de ses thématiques de recherche est liée aux lasers de puissance, en particulier la compréhension de l'apparition de l'endommagement des composants optiques sous flux intenses et son atténuation. L'endommagement des couches minces est un phénomène complexe dont la naissance provient d'un phénomène d'absorption par des défauts. L'origine des défauts peut provenir des défauts de la couche elle-même ou de défauts provenant de la pollution extérieure. Il paraît donc important d'estimer la provenance de ces défauts afin d'y remédier soit en supprimant la cause, soit rendant la couche moins sensible à cette pollution.

## OBJECTIFS

Les couches minces sol-gel qui sont en service sur l'installation LMJ sont des couches poreuses qui peuvent absorber des polluants qui selon leur teneur et leur nature peuvent nuire à la durée de vie des optiques et induire une augmentation des coûts de maintenance du laser. Un spectrophotomètre a été récemment équipé d'une cellule permettant soit de réaliser des mesures sous vide, soit d'introduire des polluants pour connaître l'influence de cette pollution sur la transmission optique selon son taux et son temps d'exposition. Ces premières mesures seront confrontées à des mesures en ellipsométrie sur deux moyens dont un équipé d'une cellule de porosimétrie et un second développé en interne qui permet des mesures en transmission. Le stagiaire aura pour objectif de caractériser revêtements sur ces trois appareils afin d'en sortir des corrélations et identifier les polluants les plus nuisibles avec leurs teneurs critiques. Il paraît donc important d'estimer la provenance de ces défauts afin d'y remédier soit en supprimant la cause, soit rendant la couche moins sensible à cette pollution. Le stagiaire évaluera également l'influence de l'humidité sur les variations spectrales des composants .

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Mécanique, vide et optique

## 📍 CENTRE

Le Ripault

BP 16 – 37260 Monts

02-47-34-40-00

## ☀ CONTACTS

[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)

## CONTEXTE

Le CEA Le Ripault possède des compétences reconnues dans l'élaboration de matériaux en couches minces par voie sol-gel et par voie PVD, et en caractérisation optique des matériaux. L'une de ses thématiques de recherche est liée aux lasers de puissance, en particulier la compréhension de l'apparition de l'endommagement des composants optiques sous flux intenses et son atténuation. L'endommagement des couches minces est mécanique et il est donc important de connaître les propriétés mécaniques des couches minces. Plusieurs collaborateurs universitaires nous aident dans cette démarche délicate avec des techniques comme les ultrasons laser et les ondes acoustiques de surface mais nous souhaitons améliorer notre indenteur pour disposer d'une mesure sur notre site.

## OBJECTIFS

La caractérisation d'un matériau peut être locale mais celle-ci est sujette à des inhomogénéités des matériaux étudiés et elle se fait de plus en plus par cartographie qui donne un bon aperçu de la valeur mesurée. Il en est de même pour l'indentation qui permet de déterminer le module élastique d'une couche mince. Pour cela un indentateur spécifique a été développé à partir d'un microscope et d'une platine motorisée pour permettre la réalisation de matrice d'indentation et de rayures. L'objectif est d'améliorer la précision de la mesure en modifiant remplaçant la platine et une partie des optiques pour obtenir des images de meilleure qualité. L'étudiant aura la charge d'adapter la platine à l'installation existante avec l'insertion ou la modification du programme de pilotage. Il intégrera le nouveau matériel, pointe d'indentation, caméra et optiques. Il réalisera l'étalonnage de l'imagerie et fera les premières mesures sur les matériaux en développement. Il pourra également être amené à intégrer un nouveau capteur et une platine chauffante sur l'installation.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Mécanique et optique

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)

## CONTEXTE

Parmi ses prérogatives, le laboratoire de Valduc spécialisé dans les mesures nucléaires assure la caractérisation radiologique des déchets issus des procédés du Centre de Valduc. Ces déchets sont ensuite acheminés vers les exutoires appropriés à l'extérieur du site. Le laboratoire a été sollicité pour analyser la faisabilité technique de caractérisation de déchets dont la filière d'évacuation est actuellement en phase d'étude. Ce travail a nécessité l'élaboration de nouvelles stratégies de mesures, basées sur des essais menés récemment à l'aide de détecteurs GeHp permettant l'acquisition de spectres gamma. Les résultats ainsi obtenus ont permis d'orienter les choix du Laboratoire quant aux méthodes de mesures à mettre en oeuvre pour répondre aux spécifications imposées par la filière envisagée. Le stage s'inscrit dans la continuité de ce travail et aura pour principal objectif de déployer les moyens d'application de ces méthodes de mesures nouvellement déterminées.

## OBJECTIFS

Les missions identifiées dans le cadre de ce stage sont :

- la compréhension de la problématique et la prise en main des outils nécessaires (matériels, logiciels,...)
- la poursuite des mesures in situ pour affiner les protocoles de mesures (spectrométrie gamma)
- l'analyse des spectres gamma obtenus lors des essais menés (logiciels de modélisation numériques et de traitement)
- l'étude technique sur la possibilité d'automatisation des comptages
- - la rédaction des protocoles associés

 **DUREE**  
5 à 6 mois

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

 **CONTACTS**  
[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)



## Qualification, mise en service et création du réf. documentaire d'un poste de mesure nucléaire

**INSTRUMENTATION, METROLOGIE  
ET CONTROLE**

### CONTEXTE

Le laboratoire de Valduc spécialisé dans les mesures nucléaires réalise au profit des installations du centre, la caractérisation radiologique des colis et matériaux mis en œuvre dans le cadre de projets. Ainsi, le laboratoire déploie des postes de comptage par spectrométrie gamma permettant la réalisation des mesures. Afin de mettre en service la nouvelle génération de poste en cours de réception sur le site, ces derniers doivent être qualifiés et leur utilisation documentée.

### OBJECTIFS

Nous proposons au travers de ce stage de participer à la mise en place d'un nouveau moyen ainsi que sa qualification. Le rôle principal du stagiaire sera de tester les diverses configurations de mesure offertes par ce moyen, qualifier la partie instrumentation (gamma et débit de dose) définir les plages de fonctions, les protocoles en fonction des types de déchets potentiels et rédiger la documentation associée. Le stagiaire sera en interface avec l'ingénieur en charge du projet ainsi que l'industriel ayant conçu le système. In fine, le stagiaire participera à la conception du module de formation destiné aux personnels du laboratoire ainsi qu'aux opérateurs industriels exploitants.

**DUREE**  
5 à 6 mois

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

**CONTACTS**  
stage.valduc@cea.fr

## CONTEXTE

Le Laboratoire spécialisé en contrôle dimensionnel et instrumentation du CEA Valduc a pour responsabilité, entre autre, d'expertiser des défauts présents en surface de pièce. Cette expertise consiste en l'identification de défauts grâce à des prise de vue à l'aide d'une caméra microscope et la caractérisation dimensionnelle (diamètre, profondeur) des défauts identifiés grâce à un moyen optique de grande précision. Il est demandé au laboratoire d'inspecter l'intégralité de la surface d'une pièce torique. La complexité des déplacements de la caméra et du capteur optique implique la création d'un banc motorisé selon 2 axes de rotation couplé à un logiciel de pilotage du banc.

## OBJECTIFS

Le candidat aura la charge de la conception du logiciel d'exploitation du banc. Ce logiciel développé en Visual Basic aura pour fonction de piloter les différentes platines de rotation, d'acquérir les clichés issus de la caméra microscope, de les archiver et d'identifier les défauts de la surface photographiée.

Le candidat devra également assurer la programmation de la partie caractérisation en adaptant un logiciel utilisé par le laboratoire aux besoins du banc.

"

## 🕒 DUREE

3 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

mécanique, électronique, informatique  
informatique industrielle

## 📍 CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.valduc@cea.fr

## CONTEXTE

Le Laboratoire spécialisé en contrôle dimensionnel et instrumentation du CEA Valduc a pour responsabilité, entre autre, la caractérisation d'état de surface sur des pièces dont la géométrie ne permet pas l'utilisation de moyens conventionnels comme des rugosimètres mécaniques. Pour pallier ce problème, le pôle Instrumentation du laboratoire a eu la charge du développement d'un nouveau banc de contrôle basé sur un capteur confocal à diffraction chromatique. Le déplacement du capteur est assuré par des platines de translation et de rotation. Un prototype de ce banc est en cours de fabrication et sa mise en service (intégration logicielle, réglages mécaniques et qualification) doit être opérée à sa réception.

## OBJECTIFS

Le candidat devra s'assurer que les logiciels développés en amont de la réception du banc sont opérationnels et y apporter, si besoin, des modifications afin de rendre le banc opérationnel. De plus, le candidat devra élaborer et effectuer la qualification du banc sur des pièces tests.

### DUREE

3 mois

### COMPETENCES REQUISES

mécanique, électronique, informatique  
informatique industrielle

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

stage.valduc@cea.fr

## CONTEXTE

Le laboratoire d'accueil est en charge de l'assemblage par liaisons soudées de pièces métalliques par laser Nd :YAG impulsif. Les mécanismes mis en jeu à chaque impact laser sont complexes, et leur répétabilité est essentielle pour garantir la régularité et la conformité de la profondeur de pénétration.

Avant vaporisation, l'absorption de puissance conduit à la formation d'un bain liquide dont l'épaisseur pilote la profondeur de pénétration. Après vaporisation, l'éjection de la vapeur métallique induit une pression dite « de recul » qui déforme le bain par effet piston, formant ainsi une cavité étroite et profonde appelé capillaire de soudage. La progression du capillaire tend à amincir et à repousser la couche de liquide à peine formée : la profondeur de pénétration devient de ce fait quasiment identique à celle du capillaire.

Pendant longtemps, la profondeur de pénétration était uniquement caractérisée après soudage sur la base de contrôles non destructifs, ce qui ne permettait pas l'application de mesures correctives en cas de dérive du procédé. Pour pouvoir disposer d'un moyen de contrôle in-situ, le laboratoire a mis en place un système d'interférométrie optique permettant de mesurer l'évolution temporelle de la profondeur du capillaire (système IDM). Si les résultats apparaissent satisfaisants lorsque la tête de soudage est verticale, il n'en est pas de même lorsqu'elle est inclinée. Des écarts de quelques centaines de micromètres ont été notés, aussi bien pour des liaisons homogènes en bord à bord (faiblement inclinées) que pour des liaisons hétérogènes en angle (dont l'inclinaison est significative).

## OBJECTIFS

Le stage consistera à étudier l'effet de l'inclinaison du faisceau sur la réponse de l'IDM, et de corrélérer cette dernière avec la pénétration effective mesurée par métallographie. L'analyse concernera tout d'abord la liaison entre deux plaques de TA6V bord à bord. Une extension de l'étude pourra être menée dans le cas de l'assemblage hétérogène tantale-TA6V en angle.

Le stagiaire bâtira un plan d'expérience, réalisera les essais de soudage et étudiera les géométries de zones fondues grâce à des coupes métallographiques. Il analysera les écarts entre les mesures IDM et les coupes métallographiques en s'intéressant au trajet optique potentiel du faisceau. Il identifiera des liens qualitatifs et quantitatifs entre l'inclinaison du faisceau, le positionnement du système IDM et les écarts constatés. Il proposera éventuellement des mesures correctives.

Le stagiaire sera formé au soudage laser impulsif (réglages des éléments, programmation du laser), et aux moyens de caractérisation (microscope, ...). Il devra avoir de bonnes connaissances en laser, interaction laser-matière, contrôle en ligne et techniques de métallographie. Il devra être autonome, faire preuve de méthode, avoir un esprit d'analyse et savoir rendre compte de ses résultats.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📄 COMPETENCES REQUISES

Des compétences dans le domaine du soudage par laser sont souhaitées.

## 📍 CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.valduc@cea.fr

## CONTEXTE

Dans le cadre des activités du centre, le laboratoire traite diverses matrices afin de surveiller ces installations. Afin de garantir des mesures tritium fiables via des échantillons composés de divers radionucléides, le laboratoire devra trouver des solutions en mesures direct et indirect et identifier les radionucléides.

## OBJECTIFS

Le stage a pour objectif de mettre en évidence l'influence des émetteurs gamma sur la mesure d'activité tritium dans les eaux et sur frottis.

Un protocole de préparation et mesure de l'activité du tritium, avec composante gamma, présent dans les eaux et sur frottis devra être établi.

Ce protocole sera mis en œuvre afin d'optimiser la surveillance des activités du site.

### DUREE

4 à 6 mois

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

MANAGEMENT

&

PROJET

### CONTEXTE

Le CEA/DIF conçoit, réalise et met en œuvre les Installations Nucléaires projetées. Dans le cadre d'une réalisation d'une Installation Nucléaire Neuve, un REX important de différentes installations analogues en service en France a été collecté par l'unité en charge de ces activités d'une part, et d'autre part un ensemble d'études de dérisquages ont été conduites. L'objectif du stage est de compiler, trier, hiérarchiser, ordonner l'ensemble des informations disponibles quelles que soient leur provenance (interne CEA ou externe) afin de faire une synthèse exploitable pour la durée du projet et de rédiger un document de bilan de ce retour d'expérience (REX). Les données accessibles sont enrichies au fur et à mesure de la progression du projet aujourd'hui en cours. Plus particulièrement, le périmètre de travaux concernera l'intégration dans le Génie Civil (GC) des structures et équipements mécaniques propres aux procédés nucléaires de cette installation. A terme ce travail doit pouvoir donner des règles de conception et réalisation pour des projets analogues de celui concerné par le stage. Pour ce travail le(a) stagiaire sera intégré(e) à l'équipe technique actuellement en charge des procédés et participera à la vie du projet durant sa présence, rencontrant les différents acteurs selon les métiers impliqués (GC, réseaux, ingénierie système, sûreté nucléaire, futur exploitant,...).

### OBJECTIFS

Les objectifs poursuivis durant ce stage sont :

- S'approprier le sujet et comprendre la conception de l'installation concernée (Une visite d'installation en service sera proposée selon les possibilités en vigueur au moment du stage).
- Collecter les données de REX issues des études préalables au projet.
- Collecter les données de REX issues de l'Assistance Maîtrise d'œuvre.
- Collecter les données issues des travaux de conception actuellement en cours.
- Trier, ordonner, hiérarchiser les données en proposant une méthodologie.
- Créer un répertoire REX et un document guide de celui-ci.
- Dédire et proposer des règles de bonne pratique pour la conception et réalisation d'installations analogues.
- Dédire et proposer des règles simples de dimensionnement pour des installations analogues.
- Rédiger un document de synthèse des données collectées ainsi qu'un utilitaire de recherche suivant des mots clés.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Ingénieur(e) Généraliste ou Installations Industrielles ou Mécanique type AM, INSA, UTC. Une appétence technique et des bonnes compétences de mécanique générale sont indispensables ainsi qu'une connaissance des installations industrielles avec leurs diff

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

MATERIAUX

PHYSIQUE DU SOLIDE

## CONTEXTE

Un des sujets d'étude du Centre d'Etudes Scientifiques et Techniques d'Aquitaine (CEA-CESTA) concerne l'endommagement mécanique des matériaux céramiques induit par des impacts de micro-débris ou lors d'irradiations laser. L'énergie déposée à la surface du matériau génère une onde de choc hydrodynamique pouvant engendrer des niveaux de contraintes mécaniques supérieurs au seuil de rupture du matériau. Afin de comprendre les mécanismes mis en jeu et améliorer la résistance des matériaux à ces sollicitations, une stratégie de modélisation et de caractérisation expérimentale du choc est en cours de développement. Le système Visar permet de mesurer la vitesse du choc en face arrière de la cible, qui peut être simulée avec un code hydrodynamique si le dépôt d'énergie en face avant est connu. Dans les expériences laser, une couche d'aluminium, dont l'absorption est relativement bien connue, est souvent déposée à la surface de la cible. Cette approche permet de définir le choc induit à la surface, de simuler sa propagation dans le matériau jusqu'à la face arrière, et finalement de comparer les résultats de simulation aux mesures expérimentales. Au-delà d'évaluer la résistance du matériau, cette comparaison permet de construire son équation d'état et de déterminer des constantes mécaniques. Cependant, dans certaines conditions, cette couche d'aluminium peut modifier la réponse du matériau pur et donner lieu à des conclusions erronées.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de développer une stratégie de modélisation où on s'affranchira de cette couche d'aluminium. Le dépôt d'énergie laser dans un matériau diélectrique (ZrO<sub>2</sub> ou SiO<sub>2</sub>) devra ainsi être évalué. Le stage consistera à développer un modèle pour ce dépôt d'énergie, de l'introduire dans un code hydrodynamique à une dimension d'espace, d'effectuer les simulations associées, et de comparer les résultats à des mesures expérimentales.

Le modèle de dépôt d'énergie laser sera établi sur la base d'une approche d'ores et déjà développée dans le laboratoire. L'absorption repose sur un modèle de Drude où la densité d'électrons libres et la fréquence de collision des électrons sont évaluées par des calculs quantiques. Le(La) stagiaire devra revisiter cette approche et la modifier afin de la coupler à l'hydrodynamique, qui implique notamment des variations de densité de la matière. Le(La) stagiaire introduira ensuite ce modèle d'absorption dans le code hydrodynamique via la variable thermodynamique d'énergie interne. Le code sera ensuite validé en comparant ses prédictions à des cas de référence. Sur cette base, des études seront menées. Dans un premier temps, la vitesse du choc en face arrière du matériau sera étudiée en fonction de l'énergie laser incidente. Des comparaisons au cas avec couche d'aluminium seront effectuées. Enfin, le(la) stagiaire comparera ses résultats de simulation à des mesures de vitesse obtenue avec un Visar.

### DUREE

5 mois

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Les transferts de quantité de mouvement dus à des impacts ont plusieurs applications, telles que le désorbitage de débris spatiaux ou la déflexion d'astéroïdes (défense planétaire). Les impacts considérés peuvent être dus à des chocs laser intenses ou à des projectiles matériels très rapides. Dans les deux cas, la quantité de mouvement transférée à la cible est la somme de deux termes : la première est directement liée au chargement mécanique de l'impact; la seconde est une contribution additionnelle due à la fragmentation de la cible et à l'éjection de débris rapides. Afin d'étudier l'analogie entre chocs lasers et impacts de projectiles hypervéloces, une série d'expériences a été menée sur différents matériaux dont les propriétés en fragmentation sont très différentes.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage sera de travailler à la simulation et à l'interprétation de ces expériences. Pour cela, le/la stagiaire aura à sa disposition deux codes de calculs développés au CEA : le code ESTHER qui permet de simuler l'interaction laser-matière, et le code HESIONE qui permet de simuler la propagation 2D des ondes mécaniques ainsi que l'endommagement. La contribution du plasma sera analysée par confrontation à des mesures 2D du champ de vitesse créé par l'ablation laser. La contribution des éjectas solides et liquides sera analysée à partir d'images d'ombroscopie. Selon l'analyse des résultats, le travail pourra aussi inclure des évolutions dans les outils de simulation, notamment sur la modélisation de la pression d'ablation.

## DUREE

6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Mécanique, dynamique rapide, rupture

## CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

## CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Les expériences de compression dynamique sur les grandes installations laser sont de plus en plus utilisées pour déterminer les propriétés des solides et des liquides de quelques GPa et centaines de Kelvin jusqu'à plusieurs TPa et milliers de Kelvin. Cependant, les échelles de temps caractéristiques de ces expériences, de l'ordre de la nanoseconde, ont longtemps été un frein au développement des mesures structurales directes in situ comme la diffraction X. Cette dernière technique s'avère pourtant très intéressante, car elle permet d'accéder directement aux changements structuraux ioniques dans les solides sans nécessiter de calculs complexes annexes. En particulier, ce diagnostic permet d'identifier la nature et la densité des phases solides ainsi que l'éventuel passage en phase liquide des matériaux d'intérêt, ou encore d'étudier la cinétique de leurs différentes transitions de phase.

## OBJECTIFS

Au cours des dernières années, le développement de sources X sub-nanoseconde sur les grandes installations laser, générées par l'interaction de lasers intenses avec des matériaux solides, a rendu possible le développement d'un tel diagnostic. En particulier, un nouveau diagnostic de diffraction X a été mis au point récemment sur l'installation LULI2000. Il offre désormais la possibilité d'étudier avec précision les transitions de phases de matériaux cristallins comprimés à l'aide d'un laser de puissance et soumis à de très hautes pressions, qui relèvent du domaine de la matière dense et tiède. Lors de la première étude, les changements de phase du fer très fortement choqué, matériau d'intérêt géophysique, ont été explorés afin d'acquérir des données importantes quant à la compréhension de la dynamique interne des planètes telluriques. En outre, le diagramme de phase du bismuth a été exploré avec une cinétique inédite offerte par ce type d'installation, i.e. en comprimant le matériau avec l'aide de rampes laser. L'objectif de ce stage sera d'analyser ces différentes données expérimentales afin d'encadrer la courbe de fusion du fer sous choc ainsi que de construire un nouveau diagramme de phase du bismuth, qui apparaît différent des diagrammes de phase statiques ou explorés sous choc. Ce dernier point permettrait de mettre en lumière toute l'importance d'étudier les effets cinétiques pour comprendre les processus de transition de phase.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

L'environnement spatial est constitué de particules énergétiques comme les protons ou les électrons qui produisent dans le matériau des déplacements atomiques responsables de la dégradation des propriétés électriques des composants embarqués. Dans les matériaux constituant ces composants, ces déplacements atomiques peuvent modifier leurs propriétés électroniques en introduisant des niveaux plus ou moins profonds dans leur bande interdite. Malgré le fait que ces phénomènes de déplacement aient été étudiés expérimentalement et par simulation de manière intensive ces dernières années, une compréhension claire des phénomènes physiques à l'origine de la dégradation des composants reste encore floue.

### OBJECTIFS

La simulation depuis l'échelle atomique peut alors apporter des éléments de réponse à ce type de question. En effet, elle permet dans un premier temps d'étudier la dynamique du déplacement atomique et de mesurer le rayon d'influence (la trace) de l'ion incident en utilisant la dynamique moléculaire classique. Cette dynamique ainsi que le nombre de défauts générés peuvent alors être comparés à des résultats venant de codes d'interaction nucléaire. L'utilisation de méthodes de type Monte Carlo permet aussi de simuler les changements sur des temps longs des amas de défauts générés durant la cascade. Enfin, les méthodes de type ab initio donnent ensuite accès aux changements dans la structure électronique des matériaux induits par ces défauts.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Un master 2 portant sur la simulation des matériaux, la chimie théorique et la simulation numérique.

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Dans le cadre de la fusion par confinement inertiel, certains coefficients de transport des équations de l'hydrodynamique sont très importants, comme l'interdiffusion, qui pilote le mélange entre le deutérium et la cible. Pour les déterminer avec précision, on utilise la dynamique moléculaire. Les simulations moléculaires décrivent un système à l'échelle microscopique en calculant les trajectoires de tous les atomes en interaction mutuelle. Cette approche fait partie des outils de simulation les plus précis pour étudier le comportement de la matière, comme son équation d'état. Il nous semble néanmoins que les codes actuels ne profitent pas pleinement des méthodes statistiques pour analyser les résultats obtenus. On forme le projet de construire un outil générique d'analyse de ces signaux temporels. Cet outil repose sur une analyse statistique des signaux, couplée à une approche Bayésienne. Il doit permettre de déterminer les paramètres d'un modèle analytique de manière systématique. Il doit aussi pouvoir comparer des modèles concurrents.

## OBJECTIFS

Pour contribuer au développement de ce projet, déjà amorcé (Desbiens et al, arXiv 2107.09369), le stage s'articulera autour des étapes suivantes :

- se familiariser avec un code d'étude de dynamique moléculaire, en C++ (Arché) ;
- faire l'analyse statistique des signaux temporels en testant différentes méthodes (BootStrap...);
- effectuer une calibration Bayésienne des modèles analytiques (pymc3) ;
- - proposer une stratégie pour sélectionner les meilleurs modèles (machine learning).

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Probabilités et statistique, Physique statistique, programmation

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

Lorsqu'un matériau métallique subit un choc, suite à un impact de plaques ou par mise en oeuvre d'un explosif, l'ensemble de ses propriétés microscopiques évoluent. Notre laboratoire du CEA/DAM a pour objectif de mettre en place différents modèles permettant de décrire le comportement de la matière sous choc et de les implanter dans un code hydrodynamique.

Parmi ces modèles, les équations d'état permettent de décrire le comportement volumique du matériau en satisfaisant les relations thermodynamiques. Des formulations multiphasés permettent de prendre en compte les changements de phases au sein du matériau en particulier en compression. Les phases ainsi décrites en équilibre thermodynamique peuvent comporter des zones de mélange. Cependant ces équations d'état, seules, ne permettent pas de rendre compte de la cinétique de cette transformation.

### OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est l'étude des cinétiques de changements de phases à l'aide de modèles de la littérature. Il s'agit d'implanter un modèle de cinétique de changement de phases dans un code hydrodynamique lagrangien qui implémente le schéma VNR. La bibliographie sur le sujet fait état de plusieurs schémas possibles. Il s'agira dans un premier temps d'identifier le schéma le plus adapté, puis de l'implanter et enfin de valider la modélisation finale par comparaison à des résultats expérimentaux disponibles.

Le(a) stagiaire pourra se former aux problématiques de physique des chocs et aux problématiques de modélisation des mécanismes physiques associés. Il s'agira de programmer le modèle dans un code hydrodynamique ayant des caractéristiques proches des contraintes de production. Ce stage dans un cadre à la fois académique et industriel donne l'opportunité d'acquérir des compétences scientifiques poussées en modélisation et simulation numérique.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Formation recommandée: Science des matériaux, Mécanique des milieux continus, Thermodynamique, Programmation

### CENTRE

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

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Lorsqu'un matériau métallique subit un choc, par exemple suite à un impact de plaques, il se détériore selon un processus appelé écaillage, composé d'une phase d'endommagement par nucléation, croissance et coalescence de pores suivie de la rupture macroscopique, caractérisée par l'ouverture d'une écaille. Notre laboratoire du CEA/DAM a implémenté différents modèles permettant de restituer les mécanismes mis en jeu dans des expériences de référence.

Un modèle de dégradation de la matière a récemment été proposé. Il repose sur une méthode d'enrichissement de champs proche de la XFEM (eXtended Finite Element Method), couplée à un modèle de zone cohésive. L'intérêt de ce modèle a été démontré pour restituer des résultats de référence. Cependant, il convient désormais d'améliorer la description de la physique en prenant en compte le développement de l'endommagement à l'aide de modèles bien identifiés et de les coupler aux lois cohésives.

## OBJECTIFS

L'objet du stage est d'étudier l'interaction des modèles d'endommagement avec les lois cohésives pour décrire l'écaillage.

Il s'agira d'identifier les couples modèle d'endommagement/loi cohésive les mieux adaptés pour restituer au mieux un panel d'expériences d'impact de plaques disponibles. Une fois ces couples identifiés, il faudra calibrer les paramètres de la loi cohésive en présence du modèle d'endommagement retenu. Un modèle simplifié a été implanté dans un code d'hydrodynamique monodimensionnel, écrit en Python3, qui servira de support à cette étude.

Le(a) stagiaire pourra se former aux problématiques d'endommagement et de rupture sous choc ainsi qu'à la modélisation de la matière dans le cadre de la dynamique rapide. Ce stage dans un cadre à la fois académique et industriel donne l'opportunité d'acquérir des compétences scientifiques poussées en modélisation et simulation numérique.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Connaissances en physique des matériaux, mécanique des milieux continus

Travail en équipe ; Capacité de synthèse

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## 🌟 CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Le diagramme de phase d'un solide représente pour chaque valeur de la température et de la pression la structure cristallographique la plus stable thermodynamiquement. Néanmoins, le diagramme ne contient pas d'information sur la façon dont une phase se transforme en une autre phase, c'est à dire par quels mouvement atomiques les atomes passent d'une phase à l'autre.

## OBJECTIFS

Nous proposons d'étudier ces mouvements atomiques dans un cas particulier, celui du diagramme de phase du plutonium. Celui ci est un des plus complexe du tableau périodique puisqu'il y figure 7 phases différentes en fonction de la température à pression ambiante.

La méthode de choix pour décrire la structure des solides en mécanique quantique est la méthode de la fonctionnelle de la densité (DFT). Nous proposons d'utiliser le code open source ABINIT ([www.abinit.org](http://www.abinit.org)), développé en partie au CEA pour appliquer cette méthode à la recherche de chemin.

L'unité d'accueil possède déjà une expertise dans la recherche de chemin de transition, il faudra toutefois rendre le code de calcul plus général pour traiter des mouvements atomiques plus complexes. Ce sera l'objectif de la première partie de ce stage. Cette mission nécessitera une motivation pour la programmation et l'utilisation d'outils informatiques (git, python, fortran). Une fois cette étape réalisée, l'étude proprement dite de chemin de transition pourra avoir lieu.

## DUREE

4 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Goût pour le développement et la modélisation

Niveau Bac+4 et Bac+5 et demande des connaissances en mécanique quantique, physique/chimie du solide.

## CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

La spectroscopie Raman est une méthode de mesure expérimentale largement répandue utilisant l'interaction d'un laser avec les modes de vibration d'une molécule ou d'un solide (les « phonons »). En conditions extrêmes, comme de fortes pressions, la spectroscopie Raman est parfois la seule mesure possible pour obtenir des informations sur la structure cristalline ou la composition chimique des matériaux étudiés. Dans ce contexte, la comparaison des spectres expérimentaux avec des prédictions théoriques par simulation numérique est un atout majeur.

## OBJECTIFS

Le sujet du stage est de calculer des spectres Raman pour divers matériaux par une méthode dite ab initio, c'est-à-dire à partir de la mécanique quantique, et de les comparer avec des résultats expérimentaux, venant de la littérature ou d'une équipe d'expérimentateurs du laboratoire. A partir de positions atomiques données, il est possible par simulation numérique de déduire la structure électronique et les propriétés associées, comme les modes de vibrations et les intensités Raman, données de bases pour tracer un spectre. Les structures électroniques et les spectres associés seront calculés à l'aide de procédures déjà implémentées dans le logiciel ABINIT ([www.abinit.org](http://www.abinit.org)), un programme open-source développé dans le cadre d'une collaboration internationale, dans laquelle notre laboratoire est l'un des principaux acteurs. Le code ABINIT est parfaitement adapté pour un usage sur les supercalculateurs du CEA auxquels l'étudiant(e) aura accès durant le stage. Si l'étude le requiert, il sera peut-être utile de développer des outils numériques (par exemple des scripts en langage python).

## 🕒 DUREE

3 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Le profil recherché pour ce stage est un(e) étudiant(e) en master 2, 3ème année d'école d'ingénieurs ou stage de césure. Des compétences en Physique du Solide sont indispensables. Un attrait pour la programmation informatique serait un plus.

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Établir les propriétés d'un matériau, et cela quelles que soient les températures et pressions, est un des plus grands enjeux de la physique moderne. Dans ce cadre, les calculs dits ab initio jouent un rôle important car ils permettent d'obtenir des données, même lorsqu'aucune expérience n'est réalisable dans les conditions thermodynamiques explorées. Le spectre de phonons (vibrations du réseau) est une donnée primordiale. Celui-ci permet d'obtenir ensuite de nombreuses autres grandeurs thermodynamiques (entropie, chaleur spécifique, énergie libre...). Cependant, le spectre de phonons, comme les autres grandeurs, peut être fortement affecté par la température, autrement dit par des effets dits anharmoniques.

## OBJECTIFS

La dépendance explicite du spectre de phonons vis-à-vis de la température peut aujourd'hui être obtenue au moyen de calculs de dynamique moléculaire ab initio. Ces études, bien que coûteuses en ressources de calcul, sont aujourd'hui réalisables, à la fois en raison des avancées théoriques mais aussi grâce aux efforts de développement des outils numériques. En particulier, nous disposons aujourd'hui d'un code de calcul de structure électronique ABINIT capable de profiter efficacement des capacités des supercalculateurs (Curie et TERA-1000) disponibles sur notre centre de recherche. L'objectif du stage sera d'obtenir, par calcul ab initio, différentes grandeurs thermodynamiques en température d'un matériau d'intérêt (Fe, Ti, U...).

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

La fragmentation d'enveloppes métalliques minces en expansion dynamique est gouvernée par l'activation de points faibles de la structure (associés à des défauts de la matière ou à des points de localisation de la déformation plastique) qui constituent des sites potentiels de rupture. Lorsque l'un de ces sites s'active, des fronts de relaxation des contraintes sont émis de part et d'autre et balayent des zones de l'enveloppe dans lesquelles l'activation de nouveaux sites n'est plus possible. Ce processus est étudié sur une géométrie unidimensionnelle depuis les travaux de Mott en considérant une loi de germination aléatoire et une rupture instantanée des sites actifs: cette approche permet de modéliser la vitesse de propagation des fronts de décharge et d'identifier une statistique de la taille des fragments pour un anneau en expansion dynamique. Au cours d'un travail de thèse mené au CEA/DAM, l'analyse des fronts de relaxation a par ailleurs été étendue au cas d'une rupture des sites progressive et dissipant de l'énergie.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de poursuivre l'analyse statistique pour des géométries unidimensionnelles ou bidimensionnelles. Une première thématique concernera l'écrantage sur une géométrie unidimensionnelle dans le cas d'une rupture progressive: l'évolution des sites en cours d'ouverture lorsque les fronts de décharge qu'ils émettent se rencontrent sera analysée avec soin. La prise en compte d'effets de courbure (géométrie de type anneau) pourra aussi être analysée ainsi que celle d'effets d'écroutissage. Une seconde thématique abordera la modélisation des fronts de décharge (de type « onde de sillage ») pour une géométrie bidimensionnelle de type cylindre en relèvement : on fera pour commencer l'hypothèse d'un chargement impulsif et d'une fissure unique se propageant à vitesse contrôlée. L'ensemble des travaux sur la fragmentation fait en outre l'objet d'une collaboration suivie avec le professeur H. Klocker de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne qui sera associé au suivi du stage.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Bonnes connaissances en mécanique des solides

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Un modèle de plasticité cristalline est développé depuis plusieurs années au CEA/DAM dans le formalisme des grandes transformations élasto-plastiques et implanté dans un code de calcul dédié (code Coddex utilisant le formalisme des éléments diffus). La règle d'écoulement, écrite sur chacun des systèmes de glissement de la structure cristallographique considérée, prend comme variables d'écrouissage les densités de dislocations intégrées dans un « modèle de la forêt » généralisé.

L'ajout de termes de gradient à ce modèle est envisagé afin de rendre compte des effets d'échelle (qui ne sont pas reproduits par la formulation locale actuelle) et notamment l'incidence de la taille des grains sur la réponse d'un agrégat.

Un premier travail bibliographique a été entrepris en interne sur cette thématique et le formalisme de Gurtin et co-auteurs a été retenu : celui-ci s'appuie sur le fait qu'aux gradients de glissement plastique sont associés des accumulations de dislocations de même signe (dites « dislocations géométriquement nécessaires » ou GND) qui induisent des contraintes locales ; par ailleurs, le comportement des interfaces par rapport aux flux de dislocations se traduit par des conditions de bords sur les glissements.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de s'approprier le formalisme de Gurtin et co-auteurs et le système d'équations constitutives associé. Ces équations devront ensuite être discrétisées sur la base des éléments diffus puis implantées dans le code de calcul Coddex de manière à pouvoir prendre en compte les effets de gradient dans les simulations.

Le(a) stagiaire procédera enfin à de premiers tests de validation sur des configurations simples. Un cas de figure possible est celui de monocristaux dans lesquels se développe de la localisation : l'introduction d'effets de gradients doit permettre d'identifier une échelle caractéristique du phénomène indépendante du maillage.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Solides compétences en Mécanique des Matériaux

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Les modèles de plasticité cristalline et les modèles de champs de phase constituent des éléments indispensables à la mise en œuvre d'une approche multi-échelle du comportement des matériaux métalliques. Ils ont fait l'objet de développements importants à la DAM et sont intégrés dans un code de calculs aux éléments diffus (code Coddex) bien adapté à la simulation de processus dynamiques rapides. Toutefois, la simulation en chargement quasi-statique de polycristaux à grands nombres de grains est réalisée de manière plus efficace par les codes FFT. C'est pourquoi, il est envisagé d'utiliser un tel code (AMITEX) développé à la Direction des Energies du CEA (DES) en complément du code Coddex en y incorporant progressivement la physique déjà implantée dans Coddex.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de réaliser une première prise en main du code AMITEX avec l'aide des développeurs de la DES et d'y implanter la loi de comportement multi-échelle dans un format compatible avec les entrées du code AMITEX (format UMAT). Une attention particulière sera portée au modèle de plasticité cristalline de Teodosiu (décrivant la plasticité en fonction des densités de dislocations) et aux sorties associées (densité de dislocations, texture, etc). Des calculs réalisés sur des géométries simples serviront de cas test de validation.

## DUREE

6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Bon niveau en Mécanique des Matériaux

## CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Le comportement et en particulier l'ignition des matériaux énergétiques ou explosifs fait intervenir de très nombreux mécanismes physico-chimiques au travers d'échelles temporelles et spatiales très diverses, s'étalant sur plusieurs ordres de grandeur. Par exemple, les réactions chimiques sont bien décrites à l'échelle électronique alors que la courbure d'une onde de détonation n'est accessible qu'à une échelle macroscopique. Ainsi, autant la compréhension des mécanismes élémentaires microscopiques reste accessible par des simulations atomistiques, autant la description de leurs effets à une échelle mésoscopique et macroscopique représente un enjeu de taille.

## OBJECTIFS

Le premier objectif de ce travail est d'établir un modèle de décomposition chimique mésoscopique pour le TATB à partir de simulations de dynamique moléculaire classique utilisant le potentiel ReaxFF et des méthodes non supervisées de réduction de dimensionnalité. Une étude plus poussée, en particulier en utilisant les potentiels récemment proposés à base de réseaux de neurones reste nécessaire pour améliorer la précision de ce modèle. Un autre point important, spécifique au TATB et non abordé jusqu'ici, est la prise en compte d'une composante de réactivité chimie sur des temps longs. Jusqu'à présent la signature de cette chimie lente aux temps courts (en dynamique moléculaire) n'est pas significative ; cependant elle devient importante sur des échelles de temps et d'espace associées à la décomposition du TATB. Un modèle spécifique reste à définir. L'ignition d'un explosif solide est supposée résulter de l'interaction d'une onde de choc avec les défauts présents dans le matériau, conduisant à une élévation locale de la température - d'où le terme de point chaud - où les processus thermiquement activés comme les réactions chimiques débiteront préférentiellement. Afin de modéliser précisément la croissance des points chauds dans le TATB, le modèle réactif devra être couplé au sein du code de simulation mésoscopique à un terme diffusif. Cette modélisation sera validée par des comparaisons directes avec des simulations de DM (Dynamique Moléculaire). Par ailleurs, les mécanismes de déformation du TATB et leurs effets sur les propriétés thermodynamiques ont été étudiés par P. Lafourcade au cours de sa thèse. Un modèle mésoscopique d'élasticité non linéaire couplé à des mécanismes de flambage et maclage a été développé pour modéliser le TATB.

L'objectif final est de réunir les différents ingrédients (élasticité, plasticité, diffusion, réactivité chimie) dans le but d'étudier le mécanisme de transition choc-détonation à l'échelle macroscopique, avec une description explicite des microstructures. Les résultats des simulations pourront être comparés à un modèle homogène de type JMAK.

## DUREE

6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Développement informatique en python, C/C++ ou équivalent, goût pour les sciences des matériaux et pour la physique et mécanique multi-échelles

## CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Les matériaux utilisés pour des applications aérospatiales ou aéronautiques sont soumis à des températures de plus en plus élevées et à des atmosphères agressives. De ce fait il convient de les protéger, en particulier contre l'oxydation à très haute température. Une des solutions est d'appliquer des revêtements protecteurs à leur surface. Les matériaux céramiques très réfractaires sont de bons candidats pour assurer cette fonction. Leur bonne fonctionnalité dépend de paramètres tels que la compatibilité chimique et thermo-mécanique avec le substrat, leur comportement sous atmosphère oxydante, ...

Le stage s'intéressera à la compréhension des phénomènes liés au développement de contraintes au sein de ces revêtements réalisés par projection plasma.

## OBJECTIFS

Les objectifs du stage sont les suivants :

- Synthèse bibliographique,
- Réalisation de dépôts par projection plasma,
- Caractérisation (microstructure, contraintes en cours de réalisation du dépôt),
- - Optimisation des paramètres de projection pour assurer une bonne adhérence et une tenue des dépôts durant leur utilisation.

## DUREE

4 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Le candidat devra avoir suivi une formation en Matériaux et/ou physique du solide.

Niveau d'études requis : Master ou école d'ingénieur (Bac +4 à Bac +5)

## CENTRE

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

## CONTACTS

stage.ripault@cea.fr

## CONTEXTE

Dans le cadre de ses recherches, le centre CEA du Ripault cherche à identifier des nouveaux matériaux céramiques de type oxynitrures pour des applications thermostructurales. Les conditions d'utilisation de ces céramiques sont sévères en température et nécessitent d'élaborer des matériaux répondant aux spécifications suivantes : bonne résistance au choc thermique associée à une faible conductivité thermique, un faible coefficient de dilatation et bonnes propriétés mécaniques et diélectriques.

## OBJECTIFS

Ce sujet débutera par une courbe étude bibliographique sur des matériaux d'intérêt pré-sélectionnés parmi les céramiques monolithiques à base de nitrure ou oxydes. Ces matériaux seront élaborés par mélange de poudres, mise en forme par pressage isostatique, frittage de type flash. La microstructure des matériaux sera ensuite caractérisée, de même que leurs propriétés mécaniques (ténacité), physico-chimiques et diélectriques. L'accent sera mis sur la compréhension de l'influence des paramètres d'élaboration, de la microstructure et des phases obtenues sur les propriétés finales des matériaux.

## DUREE

6 mois

## COMPETENCES REQUISES

La connaissance de la théorie et de la mise en pratique des éléments suivants est souhaitée et sera approfondie durant le stage : élaboration de céramique par métallurgie des poudres, Spark Sintering Plasma, Gas Pressure Sintering, Analyse de la microstr

## CENTRE

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

## CONTACTS

stage.ripault@cea.fr

## CONTEXTE

Dans le cadre du développement de matériaux de hautes performances tant mécanique que thermique et de faibles masses, les matériaux composites sont des candidats prometteurs. Leurs propriétés thermo-mécaniques vont fortement dépendre de leurs microstructures, qui peut être piloté en fonction des méthodes d'élaboration.

## OBJECTIFS

Le stage consistera à caractériser par diffraction des rayons X des matériaux composites ainsi que des fibres de carbone. Une attention particulière sera portée sur la préparation d'échantillon et leur influence sur la microstructure (évolution de la microstructure après un broyage mécanique / effet de l'épaisseur d'une préparation sans broyage ...). L'exploitation des diffractogrammes permettra ensuite de remonter à des informations telle que la taille des domaines cristallins (USB) dans les différentes directions cristallines. Ces analyses permettront de remonter aux tendances générales de l'évolution des matériaux en fonction des traitements subis ou des procédés de fabrication. Ces informations pourront ensuite être comparées à des observations micrographiques.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📍 CENTRE

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

## 🌟 CONTACTS

[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)

## CONTEXTE

Situé à 15 km de Tours sur la commune de Monts (37), le centre CEA Le Ripault exploité par la Direction des Applications Militaires (DAM), a en charge la conception et la fabrication d'ensembles pour le compte de la défense nationale. Il concentre tous les métiers et compétences scientifiques et techniques pour la mise au point de nouveaux matériaux, depuis leur conception (modélisation sur ordinateur, synthèse...) jusqu'à leur fabrication (mise en forme, usinage...) et leur caractérisation. Le stage se déroulera plus précisément dans l'unité en charge des matériaux, qui développe des matériaux céramiques pour différentes applications (défense, nouvelles technologie pour l'énergie). Le recrutement d'un stagiaire est souhaité pour participer à l'élaboration des cellules électrochimiques pour piles à combustible et électrolyse haute température. Dans ce cadre, des connaissances sur la mise en œuvre de couches par coulage en bande, sérigraphie et frittage seront appréciées. Le CEA le Ripault est un acteur majeur dans le développement de cellules électrochimiques utilisées dans l'électrolyse à haute température (EHT). L'EHT est la technique la plus prometteuse, pour produire avec un faible impact carbone l'énergie de demain : l'hydrogène.

## OBJECTIFS

Dans un électrolyseur haute température, une molécule d'eau se dissocie sous l'effet d'un courant électrique et d'un apport de chaleur pour former de l'hydrogène et de l'oxygène. Les cellules sont constituées de deux électrodes (l'électrode à hydrogène et l'électrode à oxygène) séparées par un électrolyte. Il est cependant nécessaire d'ajouter une couche barrière entre l'électrolyte et l'électrode à oxygène, afin de limiter la réactivité entre ces matériaux

L'objectif de ce stage est d'optimiser cette couche barrière afin d'améliorer les performances initiales et la durabilité des cellules électrochimiques. Les paramètres clé sont une faible épaisseur, et une densité élevée de cette couche. Classiquement, des matériaux de type oxyde de Cérium dopés sont utilisés. L'étude portera sur l'optimisation de la composition (nature, morphologie des poudres et aides au frittage) et les conditions de fabrication (traitement thermique et mise en forme). Les moyens disponibles pour cette étude seront un mélangeur/broyeur, une sérigraphieuse et des fours de frittage.

Les microstructures obtenues, et la qualité de la couche seront étudiées par MEB, analyse d'image... afin d'identifier les gains obtenus.

## DUREE

2 à 3 mois

## CENTRE

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

## CONTACTS

[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)

### CONTEXTE

Le stage proposé s'inscrit dans le contexte du développement d'un procédé innovant de conversion d'oxyde métallique en métal. Ce nouveau concept, plus respectueux de l'environnement, est actuellement à l'étude dans différents secteurs d'activités nécessitant la production de métaux réfractaires ou d'alliages.

Cette méthode est très attractive car elle permet en une étape de décomposer un oxyde métallique (MO<sub>2</sub>) en métal M et en dioxygène O<sub>2</sub>(g) par électrolyse à haute température (850°C) avec réduction de l'oxyde en métal M à la cathode et formation de l'oxygène à l'anode.

Une des problématiques de cette méthode concerne la formation d'oxygène O<sub>2</sub>(g) à l'anode puisque la plupart des matériaux "standards" sont consommés ou fortement dégradés durant cette opération.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage sera donc d'étudier le comportement de nouveaux matériaux de type « céramique » au cours de la réaction de dégagement de dioxygène. Différents paramètres du procédé seront évalués, comme par exemple la réactivité vis-à-vis de l'oxygène, la température, les conditions d'électrolyse, etc...

Pour répondre à cet objectif, le(la) stagiaire aura à sa disposition les dispositifs expérimentaux mettant en œuvre le procédé à l'échelle laboratoire, mais également des moyens d'analyses sur site pour la production de dioxygène (détecteur O<sub>2</sub>(g)...). En cas de dégradation des matériaux, les analyses (MEB, ICP...) seront externalisées dans un laboratoire partenaire. Un classement des performances des matériaux testés devra être proposé.

Ce stage s'adresse à un(e) étudiant(e) polyvalent(e) désireux(se) d'apprendre, d'expérimenter et de découvrir une phase de développement d'un procédé innovant, au sein d'une équipe dynamique, dans un établissement industriel.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

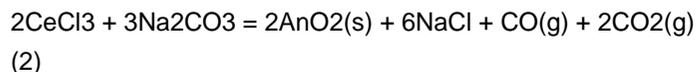
## CONTEXTE

Un procédé de traitement de produits recyclables a été développé au CEA Valduc. Il est actuellement exploité dans une installation pilote et requiert d'améliorer les connaissances des étapes élémentaires. L'une d'elle concerne la précipitation d'actinides contenus dans le solvant, un sel de chlorures fondus liquide à haute température (700-900°C). Pour les besoins de l'étude, les actinides seront simulés par du cérium.

## OBJECTIFS

Le stage proposé a pour but d'appréhender le comportement du cérium dans des solvants de chlorures fondus, et de déterminer les conditions favorisant sa précipitation sous forme d'oxydes de cérium. Plusieurs mécanismes de précipitation sont possibles suivant le réactif utilisé.

A titre d'exemple, le cérium solubilisé sous forme de chlorure de cérium  $CeCl_3$  peut précipiter sous forme de  $Ce_2O_3$  en présence de  $CaO$  (1) ou de  $CeO_2$  en présence de  $Na_2CO_3$  (2) selon :



Des moyens analytiques seront mis en œuvre pour quantifier la quantité de cérium présente dans le milieu sous forme soluble  $CeCl_3$  (méthodes électrochimiques, dosage ICP etc...) et sous forme insoluble (MEB, DRX) et ainsi déterminer les mécanismes de précipitation du cérium sous forme d'oxydes de cérium.

Les paramètres influençant les processus de précipitation comme la nature du solvant ou la température de travail pourront être évalués.

## DUREE

1 an

## CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

## CONTEXTE

Les traitements thermiques ont pour effet de modifier la microstructure des métaux et permettent ainsi d'améliorer les propriétés intrinsèques des métaux à l'instar de leurs propriétés mécaniques. Un traitement thermique est toujours développé par rapport à une microstructure de référence. Lorsque l'on s'écarte localement de cette microstructure de référence – par exemple lors d'un écroissage à froid localisé avant traitement thermique – il est nécessaire de garantir le bon impact du traitement thermique sur la microstructure.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage consiste à caractériser pour un traitement thermique donné selon une microstructure de référence et des microstructures écroies à froid l'effet d'un traitement thermique. Pour cela, le stagiaire devra caractériser l'ensemble des microstructures initiales, les microstructures finales et potentiellement des microstructures intermédiaires qui seront obtenues par des trempes à l'eau en cours de traitement thermique. Le second objectif consiste à modéliser les évolutions microstructurales observées via le logiciel Digimu (logiciel permettant de simuler la recristallisation des métaux et basé sur une modélisation de la microstructure par champs complets). Un cas de validation plus complexe sera finalement mis en place pour démontrer la robustesse de la modélisation.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

## CONTEXTE

Un essai de fatigue accéléré sur pot vibrant a été développé au cours de trois stages au CEA de Valduc. Cet essai consiste à mettre en vibration sur un mode propre une éprouvette lestée d'une masse. Cette vibration entraîne une contrainte cyclique à une fréquence de l'ordre de 1000 Hz dans l'éprouvette. Ce chargement mécanique constitue un chargement en fatigue qui va mener l'éprouvette à sa ruine en une à deux journées d'essai au lieu de plusieurs semaines d'essai sur une machine conventionnelle.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage constitue en la poursuite de ces travaux de développement afin de maîtriser au mieux les paramètres de conception (géométrie d'éprouvette, calibrage de la fréquence de résonance), les paramètres de pilotage du pot vibrant et les outils de post-traitement de l'essai (comptage des cycles, analyse des signaux). Le stagiaire pourra également développer un système hydraulique de serrage de l'éprouvette.

## DUREE

4 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Science des matériaux, mécanique

## CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)



## Simulation de la fabrication additive de pièces en TA6V4

**MATERIAUX,  
PHYSIQUE DU SOLIDE**

### CONTEXTE

Le CEA Valduc s'est lancé depuis plusieurs années dans un programme d'évaluation de nouvelles technologies relatives à la fabrication additive métallique dont celle dite de « dépôt de fil par laser ou procédé TIG ». Le matériau obtenu possède des caractéristiques particulières qui lui sont conférées par les trajets thermodynamiques singuliers (comparativement à une mise en forme conventionnelle par forgeage) issus de ces procédés novateurs.

Depuis peu l'unité en charge de ses travaux a conçu et installé une machine de fabrication additive de dépôt de fil par laser (technologie WLAM) pour des applications sur TA6V4. L'objectif de ce stage est donc de modéliser le profil thermique temporel d'une pièce de géométrie simple en TA6V4 avec la prise en compte des changements de phases liquide --> beta --> alpha. Les données simulées seront ensuite confrontées avec les résultats expérimentaux.

### OBJECTIFS

L'étudiant(e), après l'établissement de « l'état de l'art » concernant la simulation de ces procédés de fabrication additive, devra se familiariser avec Cast3M(\*), prendra en main le logiciel et proposera une mise en données qui permette de calculer des profils thermiques sur des géométries « types ». Une formation au logiciel et des échanges sont prévus avec l'équipe du CEA Saclay qui développe ce type de modélisation.

(\* le software Cast3M est un logiciel de simulation multi physique développé par le CEA (<http://www-cast3m.cea.fr>)

### DUREE

6 mois

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

MATHEMATIQUES,  
INFORMATION SCIENTIFIQUE,  
LOGICIEL

## CONTEXTE

Le Laser Mégajoule (LMJ) est une grande installation de physique actuellement en exploitation au CEA/CESTA. Elle permettra d'obtenir et d'observer la fusion thermonucléaire. De nombreux équipements en service nécessite une automatisation accrue afin d'augmenter leur niveau de performance et de fiabilité.

## OBJECTIFS

Vous avez des connaissances en Deep Learning ou Reinforcement Learning ?

Rejoignez-nous pour travailler sur la prochaine génération de traitement d'images et de robotisation sur le Laser MégaJoule. Dans le cadre de ce programme unique venez relever le défi du développement de nouvelles méthodes liées au Machine Learning. Au sein du Laboratoire chargé des équipements mécaniques, vous utiliserez différentes formes d'apprentissages (supervisés, non supervisés et auto-supervisé) et vous pourrez approfondir vos connaissances théoriques et pratiques tout en travaillant sur des objectifs concrets et motivants.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Deep Learning, reinforcement learning

## 📍 CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

## ☀ CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

### CONTEXTE

Dans le cadre de la furtivité radar, le CEA/DAM développe des codes de calcul simulant le comportement d'objets 3D complexes. L'un de ces codes utilise la méthode de résolution par équations intégrales pour les problèmes de diffraction d'ondes électromagnétiques et la couple à une méthode des éléments finis pour le traitement des éventuels matériaux non homogènes. Ce code est construit à partir de schémas numériques dont la mise en œuvre et l'efficacité sont intimement liées aux caractéristiques et à la qualité des maillages utilisés. Or, avec les besoins accrus en simulation 3D, le manque de souplesse de ces schémas dans la phase de construction de ces derniers limite rapidement les performances numériques du solveur: la conformité requise entre les mailles ainsi que leur niveau maximum de déformation locale exigé peuvent entraîner une augmentation significative de la taille du système linéaire ainsi qu'une dégradation de la qualité des résultats numériques.

### OBJECTIFS

L'idée est d'étudier une nouvelle famille de schémas numériques intitulée "méthode des éléments virtuels". Cette approche récente permet de construire une méthode classique des éléments finis sur maillages polygonaux et polyédriques généraux (ou, simplement "polytopals") tout en préservant, au niveau discret, des propriétés importantes du modèle mathématique continu associé. Bien établi pour les problèmes elliptiques (et encore peu exploré pour les problèmes d'ondes), un tel schéma présente l'avantage de nécessiter moins de degrés de liberté tout en assurant une meilleure consistance qu'une approche de discrétisation discontinue. L'objectif est ainsi de mettre en place, à partir d'un code d'éléments finis existant, ce nouveau schéma numérique pour les équations intégrales en électromagnétisme dans le domaine fréquentiel et d'analyser numériquement ses propriétés mathématiques sur des maillages non-conformes et/ou de mauvaise qualité.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Analyse numérique, programmation informatique, HPC

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Le CEA/CESTA élabore des modèles physico-numériques multi-physiques, multi-échelles et développe des codes de calcul dans les domaines de l'aérodynamique hypersonique, de l'électromagnétisme et de la dynamique rapide. Ces développements bénéficient des approches les plus modernes du génie logiciel et sont conduits dans le contexte du calcul haute performance afin de tirer le meilleur parti des supercalculateurs de la DAM.

On cherche à restituer par la simulation le transfert thermique dans des matériaux semi-transparentes. Ces matériaux sont le siège de transferts couplés rayonnement-conduction. Dans le cadre de ce stage, on utilisera deux méthodes numériques pour la simulation du transfert radiatif. La méthode des ordonnées discrètes qui permet de modéliser le transfert radiatif dans un matériau semi-transparent et la méthode Monte-Carlo. Ces méthodes sont couplées à un code de transfert thermique afin de pouvoir simuler des problèmes de thermique où les deux effets sont couplés.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage consiste à comparer deux codes de simulation numérique. Un premier permet de résoudre le couplage conduction thermique – transfert radiatif grâce à une méthode aux ordonnées discrètes. Le second permettra de coupler la même physique mais le transfert radiatif sera résolu par une méthode Monte-Carlo (MC) (cf. Poette et Valentin, Implicit Semi-Analog Monte-Carlo). Les méthodes Monte-Carlo sont des méthodes particulières ayant pour propriétés d'être peu sensibles à la dimension de l'espace de résolution et ne nécessitant que très peu d'hypothèses de modélisation. La comparaison des résultats avec des cas tests analytiques représentatifs de la physique qui nous intéresse permettra de les valider.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

### CONTEXTE

La rentrée atmosphérique est une phase délicate pour l'ensemble des véhicules arrivant de l'espace car celle-ci nécessite une connaissance précise des contraintes aérodynamiques et thermiques appliquées sur l'objet pour garantir son intégrité. Dans le contexte du design par ordinateur d'objets de rentrée, il est nécessaire de réaliser de nombreuses simulations et donc un code simple à prendre en main et rapide d'exécution est primordial. Le projet s'appuiera sur HYPERION - code d'aérodynamique hypersonique basé sur la technologie des frontières immergées - permettant de conduire des DNS et LES en 2D & 3D sans maillage « body-fitted ». HYPERION est massivement parallèle (hybride OpenMP/MPI) mais les DNS et LES requièrent des maillages très fins et donc conduisent à des calculs très coûteux inutilisables en série pour un processus de design. Une façon de réaliser des simulations plus rapides est de s'orienter vers la technologie RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) qui consiste à ne résoudre que les équations moyennées, souvent de façon implicite en temps et sur des maillages très peu raffinés donc peu chers.

### OBJECTIFS

Ce stage a pour objectif d'ajouter dans HYPERION la possibilité de résoudre les équations de la mécanique des fluides au format RANS afin d'obtenir un code de design rapide. Le stage se concentrera dans un premier temps sur l'intégration de la librairie PETSc dans HYPERION. Une deuxième étape consistera à rajouter dans les équations différentielles pré-existantes les termes supplémentaires correspondant à une modélisation de type RANS. Le travail sera conduit en 2D d'abord puis sera étendu en 3D. Une collaboration avec un ou plusieurs doctorants travaillant sur HYPERION et/ou le sujet des frontières immergées en général n'est pas à exclure.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

**Nous recherchons pour ce stage un(e) étudiant(e) en fin de 3ème année d'école d'ingénieur (ou équivalent Master 2) ayant des bases solides en simulation numérique. Une connaissance préalable des équations de la mécanique des fluides est préférable, et l'é**

### 📍 CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### 🌟 CONTACTS

stage.cesta@cea.fr

### CONTEXTE

La rentrée atmosphérique est une phase de vol délicate pour l'ensemble des véhicules arrivant de l'espace car celle-ci nécessite une connaissance précise des contraintes aérodynamiques et thermiques appliquées sur l'objet pour garantir son intégrité. Dans le contexte du design d'objets de rentrée, il est nécessaire de réaliser de nombreuses simulations pour tester de nombreuses éventualités et donc un code simple à manipuler et rapide est primordial.

Le stage s'appuiera sur un tel code, HYPERION, code d'aérodynamique 2D et 3D basé sur la technologie des frontières immergées permettant de ne pas avoir besoin de générer de maillage complexe pour l'écoulement fluide autour de l'objet de rentrée. Ce code est déjà massivement parallèle et a su faire ses preuves en termes de simulations d'écoulements autour d'objet en phase de rentrée atmosphérique.

### OBJECTIFS

Le présent stage a pour objectif d'ajouter dans HYPERION la possibilité de résoudre l'équation de la chaleur à l'intérieur de l'objet immergé afin d'en faire un code d'aérothermique. Comme le maillage interne des objets sera non-structuré, un choix ad-hoc de discrétisation de l'équation de la chaleur devra être fait. Le stage se concentrera dans un premier temps sur des simulations 2D, avec une possibilité d'étendre les travaux vers des simulations 3D aérothermiques. Une communication dans une conférence ou un journal n'est pas à exclure compte tenu de l'engouement actuel pour les simulations de rentrée.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Une connaissance préalable des équations de la mécanique des fluides et de la thermique est préférable, et l'étudiant devra se sentir une certaine affinité avec la programmation.

### 📍 CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### 🌟 CONTACTS

stage.cesta@cea.fr

## CONTEXTE

La rentrée atmosphérique est une phase de vol délicate pour l'ensemble des véhicules arrivant de l'espace car celle-ci nécessite une connaissance précise des contraintes aérodynamiques et thermiques appliquées sur l'objet pour garantir son intégrité. Dans le contexte du design d'objets de rentrée, il est nécessaire de réaliser de nombreuses simulations pour tester de nombreuses éventualités et donc un code simple à manipuler et rapide est primordial.

Le stage s'appuiera sur un tel code, Hyperion, code d'aérodynamique 2D et 3D basé sur la technologie des frontières immergées, de sorte à ne pas avoir besoin de générer de maillage complexe pour l'écoulement fluide autour de l'objet de rentrée.

Ce code est déjà massivement parallèle (MPI+OpenMP) et a su faire ses preuves en termes de simulations d'écoulements. Néanmoins, afin de réaliser des simulations performantes sur différentes plateformes HPC de plus en plus équipées d'accélérateurs de type GPU, il est important de s'intéresser aux modèles de programmation permettant la portabilité des performances. La librairie Kokkos [1] (Sandia National Laboratories) est un de ces modèles qui permet d'écrire du C++ performant (exécutable sur CPUs, GPUs) et portable (code unique) en fournissant un modèle d'abstraction du parallélisme intra-nœud.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de faire évoluer le code, pour aller progressivement vers ces modèles de programmation. Il s'agira d'effectuer le portage complet du code vers Kokkos et d'optimiser l'architecture des structures de données pour exposer un maximum de parallélisme.

Nous proposons ensuite d'explorer les frameworks tels que Legion[2] (LANL, Stanford) ou HPX[3] qui permettent l'exécution asynchrone de code à partir de graphe de tâches.

Enfin, il faudra réfléchir à l'intégration de ces bibliothèques dans le code Hyperion et les comparer par rapport à l'approche MPI+OpenMP en termes de performances et d'architecture logicielle.

## DUREE

6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Informatique scientifique, génie logiciel, C et C++

## CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

## CONTACTS

stage.cesta@cea.fr

## CONTEXTE

L'évolution constante des besoins et l'accroissement de la complexité des études requièrent l'introduction de techniques innovantes de génération et d'optimisation de maillages. Les discrétisations des domaines de calcul doivent être adaptées aux physiques traitées et permettre la représentation de caractéristiques 3D complexes. Pour obtenir ces maillages, il est nécessaire d'utiliser un certain nombre de briques logicielles : logiciel de CAO, modeler géométrique, mailleur. La communication entre les différents outils peut poser un certain nombre de difficultés et la préparation des modèles CAO et des maillages pour la simulation représente un investissement important.

## OBJECTIFS

Dans ce stage, il sera demandé de :

- Participer à l'amélioration des méthodes et des outils sur la thématique du lien CAO/Calcul, en évaluant différentes solutions logicielles, avec en particulier le modeler SHAPER issu de la plateforme SALOME
- Définir les techniques les plus adaptées pour construire des géométries, puis des maillages à partir d'informations CAO (descripteurs géométriques, fichiers de points, fichiers STEP, IGES,...)
- Evaluer l'interopérabilité entre outils afin de faciliter les échanges entre les logiciels des chaînes de simulation
- - Développer des scripts facilitant l'automatisation de tâches.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Ingénieur calcul, ingénieur généraliste, informatique scientifique, Python

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

stage.cesta@cea.fr



## Vectorisation pour l'assemblage de problèmes issus de la méthode des éléments finis de frontière

**MATHEMATIQUES,  
INFORMATION SCIENTIFIQUE,  
LOGICIEL**

### CONTEXTE

L'évolution des besoins en simulation (précision plus fine, phénomènes physiques multi-échelles, cas 3D) induisent un besoin grandissant en terme de calcul haute performance. Les codes de simulation sont amenés à s'exécuter sur des supercalculateurs de classe exaflopique, souvent équipés d'architectures manycores.

Afin de tirer parti de ces machines parallèles, les méthodes et algorithmes de simulation doivent être adaptés et implémentés de manière efficace, autant du point de vue des calculs que des aspects mémoire. En particulier, la bonne exploitation de la plupart des architectures de calcul actuelles passe par un taux de vectorisation élevé des algorithmes, surtout lorsque l'on considère des architectures avec des jeux d'instructions vectorielles de plus en plus large (Intel Knights Landing), voire des GPUs (Graphical Processing Unit).

Dans le cadre d'un de nos codes de simulation, l'emploi d'un solveur direct parallèle avec et sans méthode de compression permet de calculer efficacement les niveaux de furtivité EM d'un objet. Néanmoins, une étude dédiée à la vectorisation de la phase d'assemblage du problème linéaire permettrait une meilleure exploitation de l'ensemble des moyens de calcul de la DAM. Cette étude serait à mener pour deux versions du solveur linéaire : l'une sans compression et l'autre avec compression. Une stratégie d'exécution par lots (batching) permettrait de tirer avantage des outils de vectorisation automatique des compilateurs actuels.

### OBJECTIFS

Le stage a pour objectif de proposer et d'implémenter une solution d'exécution par lots (batching) pour une vectorisation efficace de la phase d'assemblage d'un code de simulation pour la furtivité électromagnétique avec et sans compression algébrique. Des évaluations et validations de cette solution seront réalisées sur le supercalculateur TERA1000 et Exa1 de la DAM.

 **DUREE**

**6 mois**

 **CENTRE**

**Cesta**

**BP 2 – 33114 Le Barp**

**05-57-04-40-00**

 **CONTACTS**

**stage.cesta@cea.fr**

## CONTEXTE

Lorsqu'une navette spatiale ou une capsule rentre dans les couches denses de l'atmosphère, une onde de choc se forme, provoquant une montée en température et d'importants transferts de chaleur à la paroi. Ces échauffements sont tellement élevés que le véhicule doit être protégé par une protection thermique, souvent appelée bouclier. Son dimensionnement requiert une bonne compréhension des phénomènes physiques impliqués. En particulier, il est essentiel de bien quantifier le flux de chaleur à la paroi, par simulation ou par des expériences, telles que des mesures en vol en conditions réelles ou par des essais en soufflerie en environnement contrôlé.

## OBJECTIFS

On cherche à déterminer le flux de chaleur à partir de mesures de température opérées par des thermocouples qui sont positionnés et protégés à l'intérieur des protections thermiques où l'environnement est moins critique. Dans le cadre d'un travail exploratoire, on s'intéresse en particulier au problème inverse de conduction 1D de la chaleur. Plusieurs approches ont été employées dans la littérature : méthode séquentielle de Bek, régularisation de Tikhonov, etc. On se placera dans le cadre des statistiques bayésiennes. On mettra en place une modélisation probabiliste hiérarchique du bruit de mesure (ex. aléas, erreurs systématiques), des incertitudes sur la protection thermique (ex. épaisseur, conductivité), etc. En s'appuyant sur des méthodes numériques adaptées (optimisation/intégration par Chaîne de Markov Monte Carlo), on calculera à partir de données synthétiques, inspirées de mesures effectuées lors de la rentrée de la navette spatiale européenne IXV, des estimateurs du flux temporel de chaleur et l'on quantifiera les incertitudes de reconstruction associées.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

probabilités, statistiques, informatique scientifique

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

stage.cesta@cea.fr

### CONTEXTE

Le CEA/CESTA élabore des modèles physico-numériques multi-physiques, multi-échelles et développe des codes de calcul dans les domaines de l'aérodynamique hypersonique, de l'électromagnétisme et de la dynamique rapide. Ces développements bénéficient des approches les plus modernes du génie logiciel et sont conduits dans le contexte du calcul haute performance afin de tirer le meilleur parti des supercalculateurs de la DAM.

Le développement, le déploiement et l'exploitation des chaînes de simulation font face à plusieurs enjeux, notamment l'évolution constante des machines et des systèmes d'exploitation. C'est pourquoi des architectures de virtualisation de couches matérielles et logicielles assemblées en « piles » sont de plus en plus utilisées pour la simulation sur les grands calculateurs.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est double :

- établir un état de l'art de l'utilisation de piles de virtualisation dans le domaine du calcul haute performance. Différents points seront couverts dans l'état de l'art : les solutions d'abstraction matérielle, les containers d'application, les orchestrateurs de services distribués. Les standards qui s'en dégagent seront identifiés pour chaque niveau de l'architecture.
- évaluer l'apport de l'utilisation de piles de virtualisation dans le contexte de la simulation scientifique telle quelle est pratiquée au CEA/CESTA sur le supercalculateur du CEA/DAM.

Le plan de travail prévoit la prise en main du logiciel « pcocc » (Private Cloud On a Computing Cluster) du CEA/DIF : installé sur le supercalculateur du CEA/DAM, pcocc permet aux utilisateurs de définir leurs propres environnements virtuels de calcul haute-performance au-dessus de la couche matérielle. À partir du maquettage de preuves de concept (POCs), un retour d'expérience sera attendu sur les capacités d'intégration, de facilités d'utilisation et sur la pertinence des solutions de virtualisation proposées pour la simulation scientifique au CEA/DAM.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Informatique scientifique, Python, Bash

### 📍 CENTRE

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

### 🌟 CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Dans le cadre de ses activités, le CEA/CESTA développe ses propres codes de simulations numériques pour des domaines physiques variés. Les méthodes numériques traditionnelles utilisées pour la résolution de ces problèmes physiques s'appuient sur un maillage du domaine de calcul. Or dans le cas de la simulation lagrangienne d'écoulements hydrodynamiques ou de la déformation élastoplastique de matériaux, la turbulence d'une part et les fortes contraintes de cisaillement d'autre part ont tendance à provoquer des déformations critiques des mailles qui mettent en défaut les méthodes numériques classiques. Une des solutions à ce problème est d'utiliser des méthodes qui s'affranchissent des contraintes d'un maillage. Parmi celles-ci les méthodes SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) s'appuient sur la propagation de particules qui contiennent les informations physiques du modèle que l'on cherche à résoudre. Le stage proposé se place dans le cadre de ces méthodes pour la résolution des équations de la mécanique des fluides.

## OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est d'évaluer les méthodes de résolution d'équations aux dérivées partielles particulières pour l'hydrodynamique non linéaire. Une approche progressive sera privilégiée afin d'analyser et de comprendre les subtilités de ces méthodes. Le candidat en stage abordera successivement l'équation de transport linéaire, l'équation de transport linéaire à coefficient dépendant de l'espace, et l'équation de Burgers avant d'aborder les équations d'Euler.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Les méthodes d'équations intégrales utilisées pour les problèmes de diffraction d'onde radar conduisent à la résolution d'un système linéaire dense dont la taille croît comme le carré de la fréquence. Pour les tailles de problème importantes, l'utilisation d'un solveur direct classique (type Cholesky), même parallèle, n'est plus possible, la limitation étant liée essentiellement à la capacité de stockage de la matrice pleine. L'utilisation de solveurs itératifs moins gourmands en place mémoire s'avère inadapté quand le système linéaire a un grand nombre de seconds membres et est très mal conditionné.

De nouvelles méthodes de factorisation approchées rapides, moins gourmandes en place mémoire et adaptées aux résolutions multi seconds membres, ont vu le jour ces dernières années. Elles exploitent le faible rang des blocs matriciels "extra diagonaux" correspondants aux interactions lointaines en compressant ces blocs. Une de ces méthodes, basée sur l'algèbre des H-matrices (H pour hiérarchique) et un algorithme de compression ACA (Adaptive Cross Approximation), a été implémentée dans le code d'équations intégrales surfaciques 3D en électromagnétisme du CESTA.

## OBJECTIFS

Le but de ce stage est d'étudier et implémenter une méthode de compression efficace pour les hautes fréquences. L'algorithme de compression ACA, étant une technique purement algébrique, ne répond pas à ce critère. Il faudra donc mettre en œuvre une autre méthode de compression, la méthode Hybrid Cross Approximation, qui est une méthode hybride entre la méthode ACA et des outils d'interpolation polynomiale, dans sa version directionnelle.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Analyse numérique, éléments finis

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

### CONTEXTE

Dans le cadre de ses activités dans le domaine de la furtivité radar, le CEA/CESTA développe des codes de calcul simulant le comportement électromagnétique d'objets 3D complexes. L'un de ces codes utilise une méthode d'éléments finis pour la résolution d'équations intégrales surfaciques. Selon la nature des matériaux (conducteur, diélectrique, impédant, fils minces ... ) et du type de résolution différentes formulations variationnelles ont été étudiées et développées. Ces formulations souffrent à très basse-fréquence d'un problème de stabilité numérique connu sous le nom de "low frequency breakdown". De nombreux remèdes existent et sont proposés régulièrement dans la littérature.

### OBJECTIFS

Il s'agit d'introduire dans un code d'étude 3D une nouvelle formulation intégrale de type courant-charge pour des objets conducteur parfait et de mettre en évidence à basse-fréquence l'apport de ce type de formulation par rapport aux formulations classiques n'utilisant que le courant comme inconnue.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Analyse numérique, éléments finis, équations intégrales

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Les simulations numériques HPC (High Performance Computing) peuvent produire des quantités de données importantes.

Les maillages traités peuvent souvent être trop volumineux pour être traités par une seule machine.

De plus, certaines méthodes numériques comme les éléments finis d'ordre élevés produisent des données qui ne sont pas directement représentables par les outils classiques (Paraview, Visit, ...)

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de développer un prototype permettant de générer efficacement des représentations graphiques de données issues d'un code utilisant la méthode des éléments spectraux. On utilisera la méthode du RayTracing afin de pouvoir paralléliser sur deux niveaux :

- une parallélisation utilisant MPI, pour permettre de lire des parties de maillages distribuées sur plusieurs machines,
- une parallélisation locale par OpenMP permettant de paralléliser le calcul des rayons.

L'outil n'aura pas d'interface graphique, mais doit être scriptable et paramétrable en langage Python.

La partie rendu visuel, même simple doit pouvoir :

- définir une palette de couleur pour afficher un champ (Vitesse, pression, ...),
- être capable de calculer l'intersection d'un rayon et d'une isosurface,
- gérer des opérations booléennes simples (intersection avec un plan de coupe ou une quadratique),
- appliquer une texture sur une surface (pour la visualisation d'une topographie par exemple),
- - gérer de manière simple la génération de plusieurs vues successives en déplaçant la caméra."

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Connaissance du C++ indispensable, ainsi qu'une bonne maîtrise de quelques outils mathématiques dont l'algèbre linéaire (projection, transformation dans l'espace), les coniques, les fonctions implicites. Facultatif : Algorithmique : arbres (BSP, Kd-tree)

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon  
01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Suite à une explosion, l'interaction de l'onde de souffle avec des obstacles conduit à un front d'onde de forme complexe, rendant difficile voire impossible une estimation a priori des effets. Dans ce contexte, le CEA DAM développe depuis plusieurs années deux voies d'expertise. La première est basée sur la simulation numérique instationnaire et tridimensionnelle des équations d'Euler. La seconde voie, qui est l'objet du présent travail, est basée sur une adaptation d'un modèle simplifié décrivant avec une bonne approximation l'évolution de la surface de choc incident. La dimension du problème est ainsi réduite (passage du cas Euler 3D/5 équations au 2D/2 équations) et des méthodes numériques rapides de type Fast-Marching ou Lagrangiennes ont été mises au point par notre équipe. Cette approche, très prometteuse, est originale par la place centrale qu'elle occuperait dans une chaîne d'aide à la prise de décisions en cas de risque d'explosion notamment.

## OBJECTIFS

Le CEA/DAM développe depuis de nombreuses années une expertise dans le domaine de la sécurité pyrotechnique au travers d'études expérimentales, du développement de codes de simulation HPC et de la mise au point de modèles de calcul rapides simplifiés. Dans cette optique, un modèle eulérien basé sur l'approche Geometrical Shock Dynamics de Whitham a été mis au point et des algorithmes d'intégration efficaces proposés. La finalisation du modèle nécessite des évolutions sur des aspects de modélisation, d'analyse numérique et d'informatique. L'accent sera mis sur ces différents points en fonction du profil de l'étudiant(e). D'un point de vue modélisation, le modèle actuel permet de calculer le saut de pression du choc incident mais pas le choc réfléchi. La première étape du travail consistera ainsi à étendre le modèle à la prise en compte de ces ondes réfléchies. La difficulté réside dans le caractère anisotrope de l'équation eikonale, qui met en défaut les méthodes classiques de Fast-Marching. Un algorithme spécifique sera à construire, sur la base de travaux initiés au laboratoire. D'un point de vue informatique, le traitement de cas 3D d'envergure nécessite une parallélisation du code, rendue non triviale du fait du principe de causalité utilisé par la méthode de Fast-Marching. Une publication récente sur le sujet sera étudiée. Le code résultant sera validé par comparaison aux expériences et simulations Euler connues, puis appliqué à des cas de complexité croissante.

Ce travail pourra faire l'objet d'une publication dans une revue de rang A. Il laisse une grande place à la créativité tout en gardant une finalité appliquée.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Ecole d'ingénieur ou Master abordant le calcul scientifique, les mathématiques appliquées ou la mécanique des fluides.

## 📍 CENTRE

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

## 🌟 CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Un grand nombre de données, issues de différents domaines (neurosciences, réseaux sociaux, ...) se prête à une représentation à l'aide de graphes. Le graphe est un objet mathématique constitué d'un ensemble de nœuds qui peuvent représenter toutes sortes d'abstractions (un capteur au sein d'un système de détection, un atome dans une molécule, ...) et d'un ensemble d'arêtes entre deux nœuds représentant une relation entre eux. Ces arêtes peuvent se voir attribuer un poids qui peut représenter une probabilité par exemple. La représentation d'un graphe consiste à lui associer un vecteur dans un espace de dimension élevée (on parle de plongement), opération qui peut faire appel à des algorithmes de machine learning (ML).

Les premiers travaux dans le domaine du Graph ML ont vu le jour il y a cinq années environ, avec la généralisation des réseaux de neurones convolutifs (CNN) aux graphes. Au lieu d'opérer sur les pixels d'une image, la convolution prend en compte pour chaque nœud un voisinage défini par les nœuds directement reliés par une arête. On distingue aujourd'hui divers types de GNNs (Graph Attention Network, Multigraph Transformer, ...). Dès lors que des données vectorielles sont associées aux nœuds du graphe, se pose la question du traitement des signaux sur graphe. Il s'agit d'un domaine récent qui connaît une forte progression en raison du succès des outils classiques de traitement du signal et du champ des applications qu'ouvre ce domaine (réseaux fonctionnels du cerveau, nuages de points 3D couleur, ...).

## OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est d'adapter des architectures de GNNs en (1) ajoutant des effets de propagation en temps fini au sein du graphe et (2) en tirant parti des propriétés des signaux sur graphe. Les délais peuvent être modélisés via un modèle de propagation qui représente la façon dont « circule » l'information à l'échelle du graphe. Les validations seront réalisées à partir des données du Système de surveillance international (SSI), qui est un exemple de graphe à l'échelle du globe. Le SSI permet de disposer de nombreuses données sismiques, acoustiques et hydroacoustiques. Les événements détectés (séismes, éruptions, explosions, ...) sont répertoriés dans des bulletins automatiques et accompagnés de métadonnées qui renseignent sur certaines caractéristiques des signaux.

Le Graph ML est depuis deux années un thème de recherche particulièrement actif, dont les applications se multiplient. Ainsi, depuis septembre 2020, la fonction de Google Maps qui fournit une estimation de l'heure d'arrivée à l'issue d'un trajet fait appel au Graph ML. Ce stage de M2 s'intègre dans un projet plus vaste au CEA DAM, en collaboration avec l'ENS Paris-Saclay, dont l'objectif est de développer des méthodes de ML pour traiter des données collectées à l'échelle du globe.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Compétences dans le domaine des réseaux de neurones.

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

La simulation de phénomènes physiques 3D par le calcul haute performance (HPC) génère une grande quantité de résultats. Habituellement, ces résultats prennent la forme de champs tridimensionnels enregistrés à des instants successifs. Pour visualiser ces champs, il existe des outils classiques, parallélisés et performants (par exemple, Paraview ou Tecplot) largement utilisés pour le calcul scientifique.

Cependant, ces logiciels classiques restent des outils de post-traitement scientifiques qui offrent des possibilités d'animations 3D limitées. Par exemple, les fonctionnalités de composition d'images, de texturage, de gestion de la caméra ou encore de montage vidéo sont très sommaires ou inexistantes sur ces logiciels. De plus, le rendu est souvent insatisfaisant.

Il existe d'autre part des logiciels d'animation 3D dédiés (Blender, 3ds Max) extrêmement complets et largement utilisés par l'industrie cinématographique et les concepteurs de jeux vidéo. Cependant, ces logiciels ne peuvent pas lire directement les résultats des calculs HPC.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de développer des outils de conversion permettant la mise en forme des résultats HPC pour leur exploitation par un logiciel d'animation 3D. Cette mise en forme n'est pas triviale : elle implique un ré-échantillonnage, et éventuellement une re-paramétrisation des résultats.

Enfin, les outils de conversion seront utilisés pour la réalisation d'un film illustrant un calcul HPC particulier.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Des connaissances en simulation numérique ou en mécanique des fluides serait un plus.

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Dans le cadre du programme simulation du CEA/DAM, l'expérimentation laser constitue un outil de validation des modèles physiques et des codes numériques. Des expérimentations d'interaction laser-plasma sont donc effectuées sur différentes installations, notamment sur le Laser Mégajoule (LMJ) à Bordeaux.

Plusieurs diagnostics sont utilisés pour étudier les différents phénomènes physiques lors de ces expérimentations.

Le dépouillement et le traitement des signaux issus de ces diagnostics sont des étapes importantes de l'expérimentation. Des outils opérationnels sont développés en langage Python pour exploiter les mesures réalisées sur les différentes installations ; ces outils sont destinés à être utilisés par un ensemble d'utilisateurs.

## OBJECTIFS

Au cours de son stage, l'étudiant(e) aura pour mission de développer une nouvelle version d'un logiciel de traitement de signaux. La version actuelle du logiciel est aujourd'hui très utilisée dans notre laboratoire, mais sa structure nécessite d'être adaptée, notamment pour améliorer sa pérennité.

Le(a) stagiaire partira d'un cahier des charges définissant la structure générale que devra prendre le logiciel et les fonctionnalités qui devront être reprises ou ajoutées par rapport à la version actuelle. Il(elle) développera une maquette du logiciel pour évaluer la validité des choix proposés.

L'étudiant(e) sera en interface avec une équipe de maître d'œuvre d'expérimentation utilisateurs du logiciel et un à deux développeurs de logiciels de traitements de signaux et d'images.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Les expériences réalisées sur l'installation de radiographie éclair EPURE de Valduc nécessitent le développement et l'amélioration constante de nombreux outils informatiques. Ces outils concernent aussi bien les phases de préparation des expériences (dimensionnement et définition d'objets de la chaîne radiographique), que le traitement des données issues de ces expériences (caractérisation de la chaîne et traitement des images).

Le laboratoire d'accueil, en charge du développement de ces outils, s'inscrit actuellement dans une démarche de modernisation des logiciels développés, avec pour objectif une mise en production opérationnelle pour la nouvelle phase de l'installation EPURE, fin 2022. La jouvence des outils informatiques passe par une refonte partielle de l'architecture logicielle, le passage de l'ensemble des codes dans le langage Python, la mise en place de nouvelles interfaces graphiques ainsi que la mise à jour des méthodes de traitements d'images pour disposer d'algorithmes plus performants.

## OBJECTIFS

Dans ce contexte, le laboratoire propose un stage de 5 à 6 mois. L'objectif du stage sera de contribuer au développement logiciel d'applications et d'interfaces graphiques associées, visant à traiter les images issues de nos détecteurs. Le(a) stagiaire sera amené(e) à mettre en place et utiliser des techniques de recalage et de restauration d'images, afin d'améliorer le rapport signal sur bruit et de supprimer les artefacts présents dans les images brutes expérimentales. Des méthodes basées sur l'intelligence artificielle pourront être mises en place pour certaines étapes du traitement.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

La simulation numérique est devenue un outil indispensable en recherche et développement en créant un pont entre la théorie et l'expérience. Elle s'appuie sur des codes de calcul, composés de paramètres d'entrée, capables de décrire et de prédire des systèmes physiques complexes. Profitant des moyens de calcul actuels, les maillages utilisés sont de plus en plus détaillés au prix cependant d'un temps de calcul de plus en plus conséquent. Les études d'incertitudes d'une sortie d'un code requièrent de nombreuses simulations en différents points d'intérêt des paramètres d'entrée, rendant irréalisable ce type d'étude avec des maillages trop précis. Il devient alors indispensable de construire un modèle de substitution de la sortie du code (un métamodèle) construit à partir d'un nombre limité de simulations.

### OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est de construire un métamodèle de la sortie d'un maillage très détaillé afin de pouvoir la prédire (avec une barre d'erreur) en différents points d'intérêt, en utilisant exclusivement des résultats obtenus avec des maillages plus grossiers. La méthode GCI (Grid Convergence Index), basée sur l'extrapolation de Richardson, est une approche classique d'analyse numérique permettant de donner une barre d'erreur sur la sortie d'un maillage convergé uniquement en un point d'intérêt donné. L'approche doit alors être déroulée en chaque point d'intérêt. La méthode que nous cherchons à mettre en œuvre dans ce stage est basée sur une approche bayésienne, dans laquelle la sortie du code de calcul, à différents maillages, est modélisée par un processus gaussien. La fonction de covariance du processus Gaussien tient alors compte des paramètres d'entrée et de la taille des mailles. Contrairement aux méthodes issues de l'analyse numérique, cette approche n'impose pas que tous les maillages soient explorés en chaque point d'intérêt. De plus, elle permet aisément une quantification de l'incertitude associée à chaque prédiction.

Dans un premier temps, le(a) stagiaire aura pour objectif de se familiariser avec la régression par processus Gaussien. Une attention particulière sera ensuite faite sur les fonctions de covariance non stationnaires (pour la taille de maille). Dans un second temps, cette approche sera implémentée, en se basant sur des outils déjà établis et sera éprouvée sur plusieurs cas tests, voir sur un cas d'application.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

Le CEA, acteur majeur en matière de recherche et d'innovation, possède une forte expertise dans le calcul haute performance (HPC). Dans ce contexte, le CEA/DAM développe des codes de calculs capables de simuler des systèmes complexes dans un environnement de calcul massivement parallèle. Pour répondre aux besoins de ses programmes, le CEA/DAM a développé des applications permettant de simuler des radiographies éclair. L'installation de recherche EPURE utilise la radiographie éclair pour diagnostiquer des expériences d'hydrodynamiques qui permettent de garantir la fiabilité et la sûreté des armes nucléaires. Les simulations de radiographies sont utilisées pour préparer les futures expérimentations de l'installation EPURE et sont ensuite validées par les radiographies expérimentales. Un projet d'évaluation de techniques de parallélisation modernes est en cours pour cette activité de radiographie. L'utilisation de GPUs, de processeurs massivement multi-cœurs dans un environnement hautement distribué à plusieurs nœuds de calcul est ciblée, tout comme l'utilisation de solutions ou langages facilitant les développements avec la performance la plus portable possible.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est d'étudier et d'implémenter une simulation MonteCarlo du transport de photons sur le supercalculateur INTI du CEA/DAM. Cette simulation produira une radiographie d'un objet à partir d'une source de photons. Grâce à la parallélisation massive, il sera possible de faire une étude de convergence des algorithmes utilisés (radiographie des directs, diffusés). Les développements auront lieu dans une instance Gitlab privée du CEA/DAM et se dérouleront suivant une méthodologie agile de type SCRUM. L'approche de travail sera incrémentale et modulaire. Un travail de bibliographie sur les algorithmes ainsi qu'une prise en main des technologies de parallélisation seront nécessaires. Des évaluations de performances auront lieu aussi bien sur GPU que sur les nombreux accélérateurs et processeurs disponibles au CEA/DAM (Intel/AMD/ARM). Ces travaux auront vocation à être reversés dans des applications de recherche et production internes, et potentiellement valorisés par des publications académiques.

### DUREE

5 à 6 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

Dans le cadre de la simulation numérique des expériences de FCI (Fusion par Confinement Inertiel), le CEA mène des études prospectives visant à enrichir la modélisation de certains phénomènes physiques dans ses codes de calcul. L'un de ces phénomènes, qui fait l'objet de ce stage, est l'interpénétration de plasmas. A cet effet, le modèle « MIM » (pour Multifluid Interpenetration Mix model, voir [1]) se distingue par le fait qu'il peut restituer fidèlement plusieurs régimes de mélange, comme l'interdiffusion, l'interpénétration et même le « dé-mélange ». Son utilisation paraît séduisante, mais sa mise en œuvre au sein d'un code fluide est délicate, car le schéma de discrétisation doit pouvoir capturer la limite d'interdiffusion. De tels schémas ont déjà été décrits dans la littérature, mais ils ne s'appliquent pas au contexte lagrangien du fluide moyen qui nous intéresse ici.

### OBJECTIFS

Faisant suite à des résultats récents obtenus en 1D, l'objectif de ce stage est d'étudier la faisabilité d'une implémentation du modèle MIM en 2D lorsque le mélange est décrit en coordonnées lagrangiennes avec un unique maillage qui suit le mouvement du fluide moyen. Après s'être approprié le modèle MIM, ses formes équivalentes et ses propriétés, le(a) stagiaire construira, développera en C++, et testera, une extension 2D du schéma 1D. Il(elle) pourra, si nécessaire, simplifier le traitement de certains régimes par des considérations de modélisation. Enfin, il(elle) rédigera un mémoire de synthèse de l'étude.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Formation recommandée : dernière année d'école d'ingénieur généraliste et/ou Master 2 en Mathématiques Appliquées (EDP, méthodes numériques).

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Utilisées notamment en physique de la FCI (Fusion par Confinement Inertiel), les équations cinétiques modélisent le transport de particules physiques (photons, neutrons, électrons, etc.) et leurs interactions avec le milieu matériel environnant. Dans leur forme générale 3D instationnaire, ces équations intégro-différentielles régissent l'évolution d'une fonction de distribution décrivant le nombre des particules qui, à un instant donné (1 scalaire), occupent une certaine position (1 vecteur 3D) et se déplacent avec une certaine vitesse (1 vecteur 3D). La discrétisation directe de ce problème de dimension 7 conduirait à des simulations irréalisables en termes de coût CPU et d'occupation mémoire. Cette difficulté de fond peut cependant être levée avec, par exemple, l'utilisation d'une méthode déterministe de type « SN » où les directions des particules sont projetées sur une base composée d'une centaine de directions discrètes. Cela permet d'obtenir un problème de dimension 5, dont la résolution numérique devient atteignable à condition de porter les efforts sur une programmation optimisée et massivement parallèle sur supercalculateur.

## OBJECTIFS

Dans ce contexte, le CEA a développé et validé un nouveau schéma numérique de transport déterministe dont une spécificité est de ramener l'essentiel du calcul à des opérations algébriques élémentaires de produits « matrice x vecteur ». Ce schéma prometteur a été reporté dans un code C++ basé sur la plateforme massivement parallèle Arcane, qui intègre désormais des possibilités d'accélération par GPU (processeur graphique). Les objectifs de ce stage d'informatique sont d'optimiser les performances parallèles de ce code C++ existant, et de réaliser les développements nécessaires pour que le nouveau schéma soit porté et performant sur GPU. Pour mener à bien ces missions, le(a) stagiaire sera formé(e) et co-encadré(e) par des spécialistes de profils complémentaires (math. appliquées et informatique), et disposera d'un accès à un supercalculateur.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Formation recommandée : dernière année d'école d'ingénieur et/ou Master 2 en Informatique (développement de code, parallélisme, cartes graphiques). Des connaissances en simulation numérique (math. appliquées) seraient appréciées.

## 📍 CENTRE

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

## 🌟 CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Profitant de l'accroissement des puissances de calculs disponibles et de progrès importants en modélisation des phénomènes physiques, la simulation numérique s'impose actuellement comme un outil majeur pour la conception, l'optimisation et la certification de systèmes de plus en plus complexes. Pour remplir ces missions, la simulation numérique se doit d'être prédictive, c'est-à-dire d'être capable de prédire tout en associant une confiance à cette prédiction, le comportement d'un système innovant dans des conditions originales, sans avoir recourt à l'expérience.

## OBJECTIFS

Une simulation, représentant un système physique complexe, relie la ou les sortie(s) du modèle en fonction de ses entrées (relation causale). De nombreux modèles impliquent beaucoup de paramètres autrement dit un grand nombre d'entrées. Afin de réduire la complexité, une première approche peut être d'essayer de diminuer ce nombre en ne gardant que les entrées qui sont les plus influentes sur la sortie.

Ce stage a pour objectif d'étudier un outil de réduction de dimension bien particulier : les Actives Subspaces, dont l'estimation repose sur des calculs de gradients. Pour le cas des sorties vectorielles qui nous intéressent, des extensions de ces actives sous-espaces ont été proposées.

Les actives sous-espaces peuvent être vues comme une première étape de réduction de dimension avant l'apprentissage d'un modèle de machine learning (Sparse polynomials, krigeage, tensor, polynomials).

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Les données produites massivement par les super-calculateurs du CEA-DAM, issues de la simulation numérique, permettent de construire des modèles de réseaux de neurones, qui ensuite peuvent être utilisés dans un contexte de simulation (comme accélérateur, ou pour coupler des physiques différentes) ou dans un contexte expérimental (inférence de données). Ces dernières années, de nombreux modèles ont ainsi été construits, sur des données variées (spectres, images, signaux temporels), dans des problèmes variés (calcul d'opacités pour l'interaction rayonnement-matière, de coefficients de diffusion pour les électrons de la magnétosphère, modélisation de la turbulence et images radiographiques pour la Fusion par Confinement Inertiel), avec des architectures de réseaux de neurones variées (convolutionnels, auto-encodeurs, hybrides).

## OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est, pour chacun des problèmes cités, partant des données et du modèle construit, de faire l'état de l'art des méthodes les plus adaptées, et d'améliorer les architectures existantes.

### ⌚ DUREE

6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ✳️ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Dans le contexte des simulations de Fusion par Confinement Inertiel, les équations du transfert radiatif modélisent les interactions entre matière et rayonnement. Moyennant quelques approximations semi-discrètes en temps, on peut ramener ce modèle non-linéaire à une équation de transport intégral linéaire, constituant un prototype pertinent dans la mesure où le problème mathématique reste de grande dimension (temps, espace et direction angulaire) et qu'il restitue certains régimes comme la limite « free streaming » (advection libre) ou la limite diffusion. Pour résoudre numériquement ce type de problème, on peut avoir recours aux méthodes déterministes ou aux méthodes stochastiques. Le choix d'une méthode plutôt qu'une autre dépend du compromis souhaité entre la précision sur certains diagnostics et le temps de calcul. Le cadre général dans lequel s'inscrit ce stage est celui d'un calcul instationnaire couplé à des physiques multiples : c'est donc une méthode Monte-Carlo directe qui a été retenue. La méthode dite adjointe est quant à elle privilégiée lorsque la solution doit être déterminée en un faible nombre de points.

## OBJECTIFS

Ce stage propose de mettre en application la méthode adjointe dans un cadre instationnaire en étudiant notamment les conséquences des hypothèses sur la condition initiale de chaque itération en temps. L'étudiant(e) se familiarisera d'abord avec les méthodes particulières et les estimateurs Monte-Carlo dans un cadre stationnaire à travers la réalisation d'un code d'étude et sa vérification sur des tests connus. Puis, après un état de l'art sur l'utilisation de la méthode adjointe dans le cadre du transfert radiatif instationnaire, il(elle) réalisera et testera un solveur instationnaire basé sur la méthode adjointe.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Formation recommandée :  
mathématiques appliquées avec  
compétences en développement de  
code.

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

La Direction des applications militaires du CEA (DAM) met en œuvre des méthodes numériques pour ses 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, couplages multiples à d'autres physiques et maillages importants nécessitant des ordinateurs massivement parallèles. Pour répondre à ces besoins, la DAM développe depuis plusieurs années des méthodes utilisant le formalisme dit ALE dans lequel le maillage évolue dans le temps selon des règles spécifiées par l'utilisateur de manière à capturer au mieux les particularités de l'écoulement. Dans l'approche historique utilisée à la DAM, une ou plusieurs étapes d'évolution lagrangienne (où le maillage suit la matière) sont suivies d'un remaillage avec une projection sur un maillage régularisé. La phase lagrangienne utilise un schéma "saute-mouton" d'ordre deux modifié afin d'obtenir une conservation exacte de l'énergie totale. La phase de remaillage consiste en une projection par intersections exactes avec interpolations TVD à l'ordre deux.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est à la fois de développer le couplage du schéma numérique hydrodynamique avec une contrainte de type élasto-plastique et d'étudier les possibilités de modifier l'étape de projection pour la rendre plus robuste. Seront plus particulièrement étudiés les éléments suivants :

- 1) l'ajout d'une contrainte de type élasto-plastique dans le schéma conservatif mais aussi dans le schéma non-conservatif historique afin d'obtenir des résultats de comparaisons
- 2) la modification de l'étape de projection afin d'obtenir une synchronisation avec les pas de temps du calculs.

Les développements seront codés dans une maquette C++ en 1D et une extension au 2D est prévue si le temps le permet.

## DUREE

4 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Savoir appliquer les principes de résolution des EDP, connaître les bases de la mécanique des fluides, de la mécanique des milieux continus et de l'élasto-plasticité et avoir un niveau d'anglais suffisant pour lire et comprendre des articles scientifique.

## CENTRE

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

## CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

La dynamique moléculaire classique (DM) est une méthode de simulation travaillant à l'échelle atomique mais permettant de prendre un nombre d'atomes suffisant pour que ses résultats puissent être comparés aux simulations des codes macroscopiques. Cette méthode permet notamment d'étudier avec une richesse de détails inégalée le comportement de la matière sous sollicitations extrêmes. Par exemple, il est envisageable aujourd'hui de simuler précisément un phénomène aussi complexe que celui de la création de micro-jets générés par le passage d'un choc sur une surface métallique. L'évolution des calculateurs, et en particulier l'avènement de TERA-1000, ouvre de nouvelles perspectives en terme de capacité de simulation. Mais, elle a aussi rendu nécessaire la création d'un nouveau code HPC appelé ExaStamp. Ce nouveau code est beaucoup plus complexe, du point de vue informatique, que le code de l'ancienne génération. Ecrit en C++, il utilise trois niveaux de parallélisation : MPI, pour les communications entre nœuds, OpenMP, pour la parallélisation à mémoire partagée, et enfin la vectorisation, pour une exploitation optimale du calculateur.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de développer une version hybride (CPUs + GPUs), d'une des méthodes numériques utilisées pour calculer l'interaction des atomes entre eux. Il existe de nombreuses méthodes de description des interactions entre atomes comme par exemple la méthode de l'atome entouré ou « Embedded Atom Model » (EAM) dans laquelle l'énergie potentielle est obtenue comme la somme des énergies requises pour placer les atomes individuels dans le matériau.

Le(a) stagiaire devra réaliser une version GPU du potentiel (via Cuda), tester son exécution en mode pure GPU (jusqu'à 4 GPUs en simultané), puis développer une version hybride, qui devra traiter l'ordonnancement des tâches sur GPUs et CPUs ainsi que les mouvements de données entre ces derniers.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Dynamique Moléculaire Classique

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@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 atteints ( $>1E15$  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 donc été mises en place pour tenter d'améliorer la propagation du faisceau. 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. Les points chauds vont ainsi naître, se déplacer au cours du temps avant de s'éteindre. Nous avons développé un outil de détection (DSPEC) qui permet de détecter individuellement chaque point chaud et de déterminer sa longueur  $L_{pc}$ . Pour prédire le développement de certaines instabilités, il serait intéressant d'accéder à la longueur effective  $L_{eff}=L_{pc}*(1-vz/c)$  (où  $vz$  est la composante de la vitesse du point chaud dans la direction de propagation et où  $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide) de chaque point chaud.

## OBJECTIFS

Le but du stage proposé est ainsi de mettre au point un ou des outils permettant de calculer la longueur effective de chaque point chaud afin d'accéder à une distribution statistique de cette grandeur au sein de la tache focale. Pour cela, il sera nécessaire de pouvoir suivre au cours du temps chaque point chaud afin de pouvoir évaluer sa vitesse longitudinale.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Traitement d'image, traitement de signal, optique.

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr



## Développement d'un archivage des métadonnées liées à l'exécution d'algorithmes de Machine Learning

**MATHEMATIQUES,  
INFORMATION SCIENTIFIQUE,  
LOGICIEL**

### CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière d'ingénierie de la donnée dans un environnement de calcul haute performance.

Lors d'une phase d'apprentissage automatique, il est nécessaire de réaliser plusieurs exécutions de différents algorithmes de Machine Learning (ML) pour leur optimisation. L'archivage du contexte d'exécution et des résultats est actuellement réalisé manuellement par le biais de fichiers de configuration intégrés au lancement d'un apprentissage.

### OBJECTIFS

L'objectif est de développer une solution dédiée à l'automatisation de la gestion des runs : placement automatique des résultats dans différents répertoires, gestion des métadonnées liées aux runs (données d'entrée utilisées, transformations réalisées sur les données, algorithme utilisé et paramètres associés, etc.).

### DUREE

3 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Autonomie, Rédaction, Capacité d'adaptation, Esprit d'initiative

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière d'ingénierie de la donnée dans un environnement de calcul haute performance.

L'exécution d'un calcul parallèle dans un environnement HPC nécessite la réservation de ressources (processeurs, mémoire...). L'évaluation des ressources nécessaires dépend de plusieurs paramètres difficiles à quantifier. L'objectif est de guider l'utilisateur dans cette décision.

## OBJECTIFS

L'objectif est d'analyser les données issues d'exécutions de différents jobs et d'appliquer une méthode de Machine Learning (ML) afin de prédire les ressources les plus adaptées à l'exécution de futurs jobs.

## DUREE

5 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Autonomie, Rédaction, Capacité d'adaptation, Esprit d'initiative

## CENTRE

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

## CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

L'unité d'accueil du CEA DAM Ile-de-France regroupe des ingénieurs-chercheurs, doctorants et post-docs dont la mission principale est de développer et de fournir des logiciels scientifiques pour le Calcul Haute Performance dans le cadre du programme Simulation du CEA-DAM.

### OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est la mise au point d'un schéma de type Volumes Finis en dimension 2 sur un maillage quelconque pour un système hyperbolique de lois de conservation approchant l'équation de transport des photons. Cette approximation, appelée modèle PN, est pour la variable vitesse basée sur un développement tronqué à l'ordre N de la solution sur la base des harmoniques sphériques et N est le nombre de sous familles d'harmoniques sphériques choisies. Le schéma sera du type Volumes Finis avec un solveur de Riemann défini aux sommets du maillage. Un tel schéma permet d'être "Asymptotic-Preserving" (AP), c'est-à-dire permet de capturer sur maillage grossier et quelconque la limite de diffusion de systèmes de lois de conservation avec terme source raide.

Pour P1 l'étude du schéma a déjà été faite. Il s'agit donc d'étendre cette méthode pour les valeurs de  $N > 1$ .

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Dans le domaine du calcul haute performances, les architectures de supercalculateurs évoluent pour intégrer des composants spécifiques de traitement. Ainsi, les dernières générations de machines reposent sur des accélérateurs graphiques (GPU) pour réduire le temps d'exécution de certaines parties de code calculatoires. Cette tendance se poursuit avec le développement d'accélérateur de type quantique (QPU) permettant ainsi de déporter des bouts de code sur un processeur quantique. Mais ce paradigme de programmation requiert : (i) une étude précise sur les algorithmes qui se prêtent bien à une telle accélération et, (ii) une modification en profondeur de leurs implémentations. Ceci concerne les algorithmes contenus dans les applications et/ou dans la pile logicielle d'un supercalculateur classique.

## OBJECTIFS

Ce stage propose ainsi d'évaluer la possibilité d'améliorer le code généré par un compilateur sur une architecture classique (CPU) grâce à l'utilisation d'un accélérateur quantique. Dans ce cadre, la première étape consiste à étudier certaines transformations de compilation guidant les performances de la générations de codes (sélection d'instructions, allocation de registres, manipulation des boucles, ...). Grâce à cette étude, il sera alors possible de convertir certains algorithmes candidats dans une programmation logique quantique. Les expérimentations pourront alors se dérouler, pour la partie quantique, sur une machine Atos QLM disponible au CEA/DAM.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📍 CENTRE

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

## 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Avec des besoins en simulation numérique grandissants, les supercalculateurs sont en constante évolution. On assiste à une augmentation significative du nombre d'unités d'exécution par nœud de calcul, allant ainsi vers des architectures dites massivement parallèles. Les accélérateurs de calculs de type GPU sont également utilisés afin d'augmenter la puissance de calcul des machines actuelles, réduisant au passage leur empreinte énergétique. Avec la cohabitation de deux architectures distinctes au sein d'un même nœud, on parle alors d'architecture de calculateur hétérogène. Cependant, la programmation efficace de tels systèmes est difficile. Plusieurs modèles de programmation ont émergé, mais aucune des solutions proposées ne s'est vraiment imposée comme un standard pour ce type de machines.

Afin de voir le potentiel de ces technologies et leur utilisation dans des codes de calculs conséquents, leurs évaluations sur une mini-application type est nécessaire. Dans ce cadre, nous proposons de transposer la mini application TeaLeaf (<https://github.com/UoB-HPC/TeaLeaf>) dans le contexte d'Alien, une plateforme d'intégration de solveurs linéaires permettant d'utiliser différentes technologies de méthodes de résolution.

## OBJECTIFS

Etudier et comprendre la mini-application de conduction thermique non linéaire TeaLeaf.

Implanter cette mini application à l'aide d'Alien.

Comparer les différentes bibliothèques disponibles dans Alien, sur différentes architectures. Egalement comparer à la version native de TeaLeaf pour certains solveurs communs avec Alien.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Programmation C++, MPI, notions de mathématique appliquées.

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Avec des besoins en simulation numérique grandissants, les supercalculateurs sont en constante évolution. On assiste à une augmentation significative du nombre d'unités d'exécution par nœud de calcul, allant ainsi vers des architectures dites massivement parallèles. Les accélérateurs de calculs de type GPU sont également utilisés afin d'augmenter la puissance de calcul des machines actuelles, réduisant au passage leur empreinte énergétique. Avec la cohabitation de deux architectures distinctes au sein d'un même nœud, on parle alors d'architecture de calculateur hétérogène.

Cependant, la programmation efficace de tels systèmes est difficile. Plusieurs modèles de programmation ont émergé, mais aucune des solutions proposées ne s'est vraiment imposées comme un standard pour ce type de machines.

## OBJECTIFS

Etudier le fonctionnement du chargement dynamique de bibliothèque sous linux

Proposer une solution d'encapsulation à base de dlmopen ou libcapsule. La tester sur des exemples simples

Etendre cette solution au système de greffons d'Alien. Le but est de pouvoir utiliser dynamiquement deux versions différentes d'une même bibliothèque, avec pour chaque des dépendances propres.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Programmation système, C, C++, Linux

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Avec des besoins en simulation numérique grandissants, les supercalculateurs sont en constante évolution. On assiste à une augmentation significative du nombre d'unités d'exécution par nœud de calcul, allant ainsi vers des architectures dites massivement parallèles. Les accélérateurs de calculs de type GPU sont également utilisés afin d'augmenter la puissance de calcul des machines actuelles, réduisant au passage leur empreinte énergétique. Avec la cohabitation de deux architectures distinctes au sein d'un même nœud, on parle alors d'architecture de calculateur hétérogène. Cependant, la programmation efficace de tels systèmes est difficile. Plusieurs modèles de programmation ont émergé, mais aucune des solutions proposées ne s'est vraiment imposée comme un standard pour ce type de machines. Afin de voir le potentiel de ces technologies et leur utilisation dans des codes de calculs conséquents leurs évaluations sur une mini application type est nécessaire.

Dans ce cadre une mini application de transport Monte Carlo a été développée avec différentes technologies dont Rust. Le stage consiste à s'approprier et à améliorer cette mini-application.

## OBJECTIFS

S'approprier la mini application Rust, en faisant des relevés de performances, en particulier celles concernant le passage à l'échelle.

Etudier et proposer un modèle de parallélisation mémoire partagée par tâches.

Implanter une version parallèle de l'algorithme par tâches.

Implanter une version parallèle utilisant des communications explicites (canaux de communication Rust).

Etudier l'extension des communications explicites à l'utilisation d'une bibliothèque de communication en mémoire distribuée comme MPI.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Rust, programmation parallèle, C

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement de calcul haute performance.

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données (dizaines de péta-octets) à des débits extrêmes (centaines de giga-octets par seconde).

Afin de concevoir la prochaine génération de plateformes de stockage, le CEA souhaite étudier la performance du noyau Linux pour la gestion de périphériques de stockage (avec MDADM).

### OBJECTIFS

L'objectif est de réaliser une étude détaillée de la performance pour les accès à des périphériques RAID gérés par le noyau Linux (via MDADM), en fonction du paramétrage de celui-ci (type de RAID, paramètres spécifiques...).

Le(a) stagiaire produira une synthèse des performances obtenues selon les paramètres utilisés.

#### DUREE

3 à 4 mois

#### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

#### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

Dans le cadre du projet européen IO-SEA[1], visant à concevoir le centre de données des prochaines générations de super-calculateurs, la gestion des entrées-sorties est une problématique critique. De multiples facteurs peuvent nécessiter un déplacement de données au sein d'une infrastructure de stockage: création de nouvelles données, migrations pour un archivage (vers des stockages capacitifs) ou lors d'une utilisation de données (vers des stockages performants).

[1] <https://iosea-project.eu/>

### OBJECTIFS

Le stage a pour but le développement d'une solution permettant de stocker l'ensemble des mouvements de données ayant eu lieu dans le système, ainsi que leur date, leur raison, le volume de données transférées, l'instigateur du transfert, etc. Cette solution doit offrir une interface pour interroger ces informations.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Autonomie, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, rédaction, anglais

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Dans le cadre du projet européen IO-SEA[1], visant à concevoir le centre de données des prochaines générations de super-calculateurs, la gestion des entrées-sorties est une problématique critique.

[1] <https://iosea-project.eu/>

## OBJECTIFS

Le stage aura pour but le développement d'une solution permettant de collecter des événements relatifs aux données (création, modification, mouvement, suppression), et de distribuer ces événements aux composants qui coordonnent le placement de données à l'échelle du système. Le système doit garantir de délivrer tous les événements reçus y compris en cas de panne. L'ensemble s'exécute dans un environnement distribué.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Autonomie, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, rédaction, anglais

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

RobinHood Policy Engine[1] est un outil open-source développé par le CEA pour gérer les placements de données dans une hiérarchie de stockage à l'aide de politiques configurables. Pour cela, et par souci d'optimisation, il réplique l'ensemble des méta-données du système de fichiers dans une base de données. La durée de cette opération dépend principalement du nombre d'éléments contenus dans le système de fichiers. Cette opération peut prendre plusieurs heures voire plusieurs jours sur les systèmes de stockage du CEA.

[1] <https://github.com/cea-hpc/librobinhood>

## OBJECTIFS

L'objectif est de développer un backend pour la bibliothèque RobinHood, permettant de scanner un système de fichiers de façon parallèle, pour réduire son temps d'exécution. Nous prévoyons d'utiliser la bibliothèque mpiFileUtils[2] à cet effet.

[2] <https://github.com/hpc/mpifileutils>

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Autonomie, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, rédaction, anglais

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement de calcul haute performance.

OGSSim[1] est un outil open-source de simulation de larges systèmes de stockage hétérogènes. Il permet de simuler des larges traces de requêtes (> 10<sup>6</sup> accès) sur des systèmes composés de milliers d'entités de stockage pouvant être de différentes technologies : HDD, SSD, NVRAM...

[1] <https://github.com/liparad-storage/ogssim2>

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de concevoir un environnement de tests de non-régression pour l'outil OGSSim.

### DUREE

3 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Autonomie, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, rédaction, anglais

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

La programmation des supercalculateurs composés de nombreux nœuds de calcul impose l'utilisation de modèle de programmation à mémoire distribuée telle que Message Passing Interface (MPI). Parmi les modèles de communications proposées par MPI, les communications collectives permettent d'appliquer facilement un schéma complexe de communications entre plusieurs processus MPI. Ces schémas de communications peuvent être implémentés avec plusieurs algorithmes différents, montrant différents niveaux d'efficacité selon les cas d'utilisation.

Aujourd'hui, l'implémentation MPI de production utilisée sur les calculateurs du CEA est une version de OpenMPI fournie par Atos/BULL. Le support exécutif MPC (<https://mpc.hpcframework.com>), développé au CEA, propose une implémentation MPI qui lui est propre. Le support des communications collectives de MPC offre déjà différents algorithmes selon les cas d'exécution. Cependant, il existe d'autres algorithmes, présentés dans des articles de recherche, ou présent dans d'autres implémentations MPI telles que OpenMPI, ayant un intérêt à être implémenté dans MPC.

Dans ce stage, nous nous proposons d'étudier l'état de l'art ainsi que les sources d'OpenMPI pour identifier les algorithmes de collectives manquant à MPC, puis de les implémenter.

### OBJECTIFS

Dans un premier temps, le(a) stagiaire devra se familiariser avec les implémentations MPI utilisées au CEA, et étudier les différents algorithmes de communications collectives utilisées dans ces implémentations.

Ensuite, il(elle) devra identifier ces implémentations les algorithmes manquant dans MPC, puis proposer une implémentation de ces collectives. Il sera également possible d'étudier l'état de l'art afin de trouver d'autres algorithmes ayant un intérêt pour les machines actuelles et futures du CEA.

 **DUREE**

**3 mois**

 **COMPETENCES REQUISES**

**Programmation C**

 **CENTRE**

**DAM - Île-de-France**

**Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon**

**01-69-26-40-00**

 **CONTACTS**

**[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)**

**CONTEXTE**

La programmation des supercalculateurs composés de nombreux nœuds de calcul impose l'utilisation de modèle de programmation à mémoire distribuée telle que Message Passing Interface (MPI). Parmi les modèles de communications proposées par MPI, les communications collectives permettent d'appliquer facilement un schéma complexe de communications entre plusieurs processus MPI. Ces schémas de communications peuvent être implémentés avec plusieurs algorithmes différents, montrant différents niveaux d'efficacité selon les cas d'utilisation. Le support exécutif MPC (<https://mpc.hpccframework.com>), développé au CEA, propose une implémentation MPI qui lui est propre. Le support des communications collectives de MPC offre déjà différents algorithmes selon les cas d'exécution. Des travaux récents ont permis d'intégrer à MPC des algorithmes dit « topologiques » pour les opérations collectives. Ces algorithmes topologiques tiennent compte de placement des processus MPI et de la topologie matérielle sous-jacente pour établir un schéma de communication adapté. Cependant, à ce jour, la topologie matérielle détectée dans MPC ne concerne que la topologie matérielle au sein d'un nœud de calcul. Les informations concernant la topologie du réseau et la position des différents nœuds de calcul utilisés lors d'une exécution ne sont pas prises en compte.

Dans ce stage, nous souhaitons implémenter dans MPC une méthodologie pour récolter et intégrer les informations concernant la topologie réseau, et utiliser ces informations dans l'implémentation des algorithmes hiérarchiques.

**OBJECTIFS**

Dans un premier temps, le(a) stagiaire devra se familiariser avec la bibliothèque MPC, et plus particulièrement son implémentation des algorithmes de collectives dit « topologiques ».

Ensuite, il(elle) réalisera un état de l'art pour identifier les solutions possibles pour détecter la topologie réseau (utilisation de la bibliothèque « netloc », utiliser les informations fournies par PMI, ...). Un prototype de récupération des informations sur la topologie réseau sera implémenté.

Enfin, les informations relatives à la topologie réseau devront être intégrées à l'implémentation des algorithmes topologiques de MPC.

**DUREE**

6 mois

**COMPETENCES REQUISES**

Programmation C, théorie et algorithmie des graphes

**CENTRE**

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

**CONTACTS**

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Les schémas numériques sur maillages cartésiens constituent "un monde à part" dans la palette de schémas utilisés en Mécanique des Fluides et/ou Mécanique des Milieux Continus : ceux-ci peuvent être particulièrement précis, sans nécessiter un nombre important d'opérations par maille et par cycle (calculs peu coûteux de volumes, surfaces, etc). Sur des superordinateurs de classe multi-pétaflopique, les simulations les plus "lourdes" menées avec des processeurs généralistes sont actuellement de l'ordre de 60 milliards de mailles 3D pour 64 000 coeurs de calcul. La bûte se situe non pas sur la capacité de calcul des processeurs (CPU) mais sur les communications entre processeurs distribués sur un (très) grand nombre de noeuds de calcul. Avec des modèles courants de programmation parallèle -- de type décomposition en sous-domaines avec mise à jour de mailles "fantômes" -- de l'ordre de 70% du temps CPU peut alors être passé en attente de communication. Un tel constat incite à travailler sur de nouveaux mécanismes de communication entre sous-domaines avant d'envisager toute accélération GPGPU pour ce type de solveur.

## OBJECTIFS

On se propose d'examiner lors de ce stage un mécanisme de recouvrement des phases de communication par du calcul avec une approche naturellement adaptée aux maillages cartésiens : en début de cycle de calcul, pour chaque sous-domaine, le traitement des mailles intérieures ne nécessitant pas d'accéder aux mailles fantômes sera lancé, immédiatement suivi d'une phase de communications asynchrones de mise à jour des mailles fantômes, les mailles non traitées étant prises en compte à l'issue de la phase de communication. Les évaluations se feront sur deux solveurs représentatifs 1D/2D, l'un explicite de type Volume Finis en hydrodynamique/dynamique des gaz, l'autre implicite sur l'équation de la chaleur avec méthode itérative de Newton-Raphson et algorithme de Gradient Conjugué. Le solveur hydrodynamique pourra ensuite faire l'objet d'une accélération GPGPU sur chaque noeud de calcul pour dégager de grandes tendances vis-à-vis des superordinateurs à venir (latence des communications, bande passante, taille des sous-domaines selon la mémoire GPU disponible, etc). Les développements 1D puis 2D seront menés en C/C++ avec une bibliothèque de communication MPI sur une "mini-app" spécifiquement développée lors du stage.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Analyse Numérique et Mécanique des Fluides/Mécanique des Milieux Continus. Fort intérêt pour le calcul scientifique et le Calcul Haute Performance.

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

L'opérateur de diffusion intervient dans un nombre considérable de modèles physiques s'appuyant sur la résolution de systèmes d'équations aux dérivées partielles. En se restreignant à la physique des plasmas, on peut citer entre autre : la conduction thermique, la conduction radiative, la turbulence, la magnéto-hydrodynamique, ...

Etre en mesure de discrétiser de manière précise et robuste cet opérateur est donc un enjeu crucial pour la simulation numérique des phénomènes suscités, et de bien d'autres.

En dynamique des fluides, les méthodes ALE (Arbitraire Lagrange Euler) sont couramment utilisées pour calculer la dynamique des écoulements : elles bénéficient, d'une part, d'un remarquable ratio précision sur nombre d'éléments de discrétisation, et d'autre part elles permettent de préserver les interfaces inter-matériaux. En contrepartie, elles engendrent des mailles de formes quelconques. L'opérateur de diffusion discrétisé sur ce maillage doit donc être adapté à cette contrainte, ainsi qu'au faible nombre d'éléments de discrétisation.

En conséquence, l'objectif de ce travail est de proposer une discrétisation robuste et précise de cet opérateur sur maillages quelconques.

### OBJECTIFS

Il s'agit de faire une étude approfondie d'un schéma obtenu pour la diffusion isotrope en 2D dans les deux références suivantes : "C. Buet, B. Després, and E. Franck, Design of asymptotic preserving finite volume schemes for the hyperbolic heat equation on unstructured meshes, Numer. Math. 122 (2012), no. 2, 227-278, DOI 10.1007/s00211-012-0457-9. MR2969268", et "C. Buet, B. Després, and E. Franck, An asymptotic preserving scheme with the maximum principle for the M1 model on distorted meshes, C. R. Math. Acad. Sci. Paris 350 (2012), no. 11-12, 633-638, DOI 10.1016/j.crma.2012.07.002. MR2956157".

Dans le premier article il est démontré la convergence du schéma de diffusion, dans sa version linéaire, dans le cas de l'équation de la chaleur et dans le second article est obtenue une extension non linéaire et positive de ce schéma.

Le travail se fera dans la plateforme PUGS du CEA/DAM/DIF, et concernera l'extension de ces schémas aux cas de la diffusion anisotrope ou avec un coefficient de diffusion variable voire discontinu. Pourra être aussi envisagée l'extension en 3D.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Ce stage fait principalement appel à des connaissances en méthodes numériques pour la résolution d'EDP et plus particulièrement sur la résolution numérique d'équations paraboliques, ainsi qu'à une pratique du langage C/C++.

### CENTRE

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

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Le modèle de l'élasticité linéaire permet de prédire le comportement des matériaux soumis à un chargement, dans la limite des faibles déformations. Il est généralement résolu par des méthodes éléments-finis [Oñate, 2013]. La méthode DDFV (Discrete Duality Finite Volume, [Hermeline, 2000, Hermeline, 2003, Hermeline, 2007]) s'est avérée bien adaptée à la résolution d'équations aux dérivées partielles provenant de domaines très variés de la physique sur des maillages quelconques.

Elle a été appliquée avec succès à des problèmes d'élasticité linéaire stationnaires [Martin, 2012].

Le CEA s'intéresse à la réponse des structures à des sollicitations instationnaires (acoustique, chocs,...). Dans ce cadre, nous souhaitons étudier la faisabilité d'un solveur pour ce problème, basé sur la méthode DDFV pour la discrétisation en espace.

## OBJECTIFS

Après avoir pris connaissance de la méthode DDFV, le(a) stagiaire proposera une solution pour l'intégration temporelle. Il(elle) analysera les propriétés mathématiques de la méthode numérique ainsi construite. Il(elle) la mettra en oeuvre (en dimension deux dans un premier temps) dans le cadre d'un logiciel nouveau de calcul parallèle en C++ (PUGS). Il(elle) proposera ensuite des extensions de cette méthode, par exemple au 3D.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Ce stage fait principalement appel à des connaissances en méthodes numériques pour la résolution d'EDP et plus particulièrement sur la résolution numérique d'équations paraboliques, ainsi qu'à une pratique du langage C/C++.

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr



## Développement d'une API Python pour l'apprentissage par renforcement en maillage 2D et 3D

**MATHEMATIQUES,  
INFORMATION SCIENTIFIQUE,  
LOGICIEL**

### CONTEXTE

L'unité d'accueil du CEA DAM Ile-de-France regroupe des ingénieurs-chercheurs, doctorants et post-docs dont la mission principale est de développer et de fournir des logiciels scientifiques pour le Calcul Haute Performance dans le cadre du programme Simulation du CEA-DAM.

### OBJECTIFS

Nous nous intéressons dans ce sujet à la génération de maillages hexaédriques structurés par blocs pour la simulation numérique. Ses maillages, qui ont de très bonnes propriétés pour certains codes de simulation, ont le défaut majeur de ne pas pouvoir être générés automatiquement. Malgré les efforts de nombreuses équipes de recherche, ce problème reste ouvert et les solutions industrielles reposent sur l'utilisation de logiciels interactifs. Dans ce cadre, la création du maillage est aujourd'hui un enjeu majeur pour la simulation numérique puisque qu'elle peut nécessiter plusieurs semaines à un ingénieur averti tandis que les codes de simulations, eux totalement automatiques traitent de plus en plus vite des problèmes complexes à l'aide du calcul haute performance. Face à ce défi, nous proposons d'aborder la génération de tels maillages à l'aide de techniques issues de l'IA, en l'occurrence des systèmes multi-agents reposant sur l'apprentissage par renforcement. Notre objectif est d'entraîner des agents autonomes à créer des maillages en utilisant les opérations de géométrie et maillage disponibles dans les outils interactifs que nous développons. Le stage proposé s'inscrit dans ce contexte et a pour but de développer une API Python interfacée avec nos outils de maillage et qui permettra à des agents logiciels d'effectuer des séries d'opérations cohérentes de maillage. Cette API devra fournir non seulement des opérations de maillage et de manipulation géométrique mais aussi proposer un cadre unifié pour l'entraînement par renforcement d'un ou plusieurs agents dans ce domaine.

Le travail sera réalisé au sein d'une équipe de plusieurs ingénieurs-chercheurs et en collaboration étroite avec un doctorant travaillant sur le sujet.

### DUREE

4 à 6 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

L'unité d'accueil du CEA DAM Ile-de-France regroupe des ingénieurs-chercheurs, doctorants et post-docs dont la mission principale est de développer et de fournir des logiciels scientifiques pour le Calcul Haute Performance dans le cadre du programme Simulation du CEA-DAM. Afin de permettre l'utilisation de méthodes d'apprentissage profond pour la génération de maillage en simulation numérique, le sujet de stage porte sur la génération procédurale de données labellisées pour le maillage structuré par blocs.

## OBJECTIFS

Le maillage hexaédrique structuré par blocs est aujourd'hui un enjeu important pour la simulation numérique. Alors que les performances toujours accrues des architectures matérielles pour le Calcul Haute Performance permettent de réaliser des simulations physiques de plus en plus complexe, la génération de ce maillage est toujours semi-automatique et peut nécessiter plusieurs semaines de temps ingénieur.

Après avoir étudié et proposé de nombreuses techniques pour générer ces maillages, nous démarrons un nouveau projet qui reposera en partie sur l'utilisation de l'apprentissage profond. Une des premières briques dont nous devons disposer est une quantité importante de données pour entraîner différents réseaux de neurones.

Le stage proposé s'inscrit dans ce contexte et a pour but de développer un ensemble de données de type (modèle géométrique, structure de blocs). Pour générer ces données, nous proposons de suivre une approche procédurale basée sur la définition d'un système de règles de réécriture, où des prédicats créeront des géométries simples (portion de sphère, de cylindres, des boîtes, cônes, etc.) munies de la structure de blocs associées, et des règles plus avancées permettront des opérations telles que des extrusions, des créations de trous, des collages. A chaque fois le résultat d'une règle sera un couple (géométrie, blocs) valide.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📍 CENTRE

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

## 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement HPC.

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données (dizaines de Péta-octets) à des débits extrêmes (de 1 Téra-octet par seconde). Pour stocker ces données de manière robuste et performante, le CEA développe un logiciel open-source de stockage de données parallèle et distribué : PHOBOS[1]. Ce logiciel vise notamment à gérer une grande variété de technologies de stockage, telles que les disques, bandes, SSD, NVMe, NVRAM, stockage objet...

[1] <https://github.com/cea-hpc/phobos>

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est d'intégrer la gestion des checksums au sein des composants de stockage des données du logiciel PHOBOS. Le calcul et la sauvegarde des checksums des données stockées permettent de contrôler leur intégrité tout au long de leur cycle de vie.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Programmation en C, programmation système et réseaux

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement HPC.

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données (dizaines de Péta-octets) à des débits extrêmes (de 1 Téra-octet par seconde). Pour stocker ces données de manière robuste et performante, le CEA développe un logiciel open-source de stockage de données parallèle et distribué : PHOBOS[1]. Ce logiciel vise notamment à gérer une grande variété de technologies de stockage, telles que les disques, bandes, SSD, NVMe, NVRAM, stockage objet...

[1] <https://github.com/cea-hpc/phobos>

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est de développer un composant logiciel dans PHOBOS implémentant une nouvelle politique d'écriture des données à stocker conforme aux stratégies d'Erasure Coding. Ces stratégies permettent d'assurer un bon niveau de fiabilisation des données stockées tout en économisant la place occupée par les replica calculés.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Programmation en C, programmation système et réseaux

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement de calcul haute performance.

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données (dizaines de péta-octets) à des débits extrêmes (centaines de giga-octets par seconde). Pour stocker ces données de manière robuste et performante, le CEA développe un logiciel de stockage de données open-source, parallèle et distribué : Phobos [1].

Ce logiciel vise notamment à gérer une grande variété de technologies de stockage, telles que les disques, bandes, SSD, NVMe, NVRAM, stockage objet...

[1] <https://github.com/cea-hpc/phobos>

## OBJECTIFS

L'objectif du stage est d'intégrer de nouvelles technologies de stockage dans le logiciel Phobos pour préparer les nouvelles générations de supercalculateurs.

Cette intégration sera effectuée en développant une couche d'abstraction offrant une même interface d'accès quelle que soit la technologie sous-jacente.

Il s'agira notamment d'intégrer des technologies de stockage telles que : CEPH (libRADOS [2]), disques SMR...

[2] <https://docs.ceph.com/en/latest/rados/api/librados-intro/>

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Programmation en C, programmation système et réseaux

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement HPC.

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données (dizaines de Péta-octets) à des débits extrêmes (de 1 Téra-octet par seconde). Pour stocker ces données de manière robuste et performante, le CEA développe un logiciel open-source de stockage de données parallèle et distribué : PHOBOS[1]. Ce logiciel vise notamment à gérer une grande variété de technologies de stockage, telles que les disques, bandes, SSD, NVMe, NVRAM, stockage objet...

[1] <https://github.com/cea-hpc/phobos>

## OBJECTIFS

Un système de stockage de données n'est pas infaillible et peut être amené à subir des défaillances, qu'elles soient matérielles ou logicielles. Dans le cas de PHOBOS, cette défaillance implique que la base de données recueillant les informations liées au stockage des données est perdue, et qu'il faut donc la reconstruire. Cette reconstruction peut s'effectuer à partir des méta-données écrites sur les bandes valides, indiquant entre autre leur taille, leur place dans le fichier d'origine, la manière dont les données ont été écrites, etc.

Les objectifs du stage sont les suivants :

- Prise en main de l'outil PHOBOS ;
- Développement d'un mécanisme de (re)construction de la base de données à partir d'une, puis plusieurs, bandes de données saines ;
- Prise en charge de bandes de données corrompues ;
- Implémentation d'un mécanisme de vérification de corruption des bandes"

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Programmation en C, programmation système et réseaux

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement HPC.

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données (dizaines de Péta-octets) à des débits extrêmes (de 1 Téra-octet par seconde). Pour stocker ces données de manière robuste et performante, le CEA développe un logiciel open-source de stockage de données parallèle et distribué : PHOBOS[1]. Ce logiciel vise notamment à gérer une grande variété de technologies de stockage, telles que les disques, bandes, SSD, NVMe, NVRAM, stockage objet...

[1] <https://github.com/cea-hpc/phobos>

## OBJECTIFS

PHOBOS génère pour chaque bloc de données un ensemble de méta-données étendues. Elles permettant au logiciel de déterminer, dans le cas où il ne posséderait pas l'information, de quelle manière elles ont été écrites. Le système de stockage n'est pas figé, et de nouvelles bandes peuvent y être ajoutées. Actuellement, les bandes ajoutées sont considérées vierges puis formatées par PHOBOS. Mais nous pourrions supposer l'ajout de bandes utilisées. Ce deuxième cas nécessiterait de parcourir le système de fichiers présent sur la bande et d'intégrer à PHOBOS l'ensemble des données, fichier par fichier.

Les objectifs du stage sont les suivants :

- Prise en main de l'outil PHOBOS ;
- Ecriture d'un script permettant l'intégration d'une arborescence de type POSIX dans PHOBOS ;
- Implémentation du mécanisme d'importation d'une bande avec système de fichiers POSIX, consistant en la lecture de la bande, puis l'intégration des fichiers présents dans la bande.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Programmation en C, programmation système et réseaux

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Les méthodes Monte-Carlo constituent une famille de méthodes numériques pour la résolution d'équations aux dérivées partielles utilisant le tirage de nombres aléatoires. Au CEA, nous nous intéressons depuis de nombreuses années à l'utilisation de ces méthodes pour la simulation du transport de particules (équation de Boltzmann). Par exemple, la méthode IMC [1], bien que très efficace, est connue pour être très coûteuse dans les milieux fortement collisionnels. Dans ces milieux, le modèle de transport peut être approché correctement par un modèle de diffusion. Cette propriété peut être utilisée comme technique d'accélération en résolvant directement, dans les milieux collisionnels, un modèle de diffusion généralement moins coûteux. Plusieurs choix sont possibles quant à la résolution du modèle de diffusion (déterministes, Monte-Carlo).

## OBJECTIFS

Dans le cadre de ce stage, nous souhaitons étudier une approche, proposée dans [3] et [4], où le modèle de diffusion est résolu par une méthode Monte-Carlo DDMC. L'objectif est d'analyser cette méthode et d'étudier le couplage avec les méthodes Monte-Carlo usuelles ([1], [2]) dans des configurations mêlant régimes transport et diffusion. Le candidat implémentera le schéma dans un code d'étude 2D (C/C++) afin d'en mesurer l'efficacité.

### Références

- [1] J.A. Fleck et J.D. Cummings, An Implicit Monte Carlo Scheme for Calculating Time and Frequency Dependent Nonlinear Radiation Transport, *Journal of Computational Physics*, 1971.
- [2] T. Urbatsch, J. Morel et J. Gulick, Monte Carlo Solution of a Spatially Discrete Transport Equation. Part I : Transport, 1999.
- [3] T. Urbatsch, J. Morel et J. Gulick, Monte Carlo Solution of a Spatially Discrete Transport Equation. Part II : Diffusion and Transport/Diffusion, 1999.
- [4] J.D. Densmore, T.J. Urbatsch, T.M. Evans et M.W. Buksas, Discrete Diffusion Monte Carlo for Grey Implicit Monte Carlo Simulations, 2005.

### DUREE

4 à 6 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Les codes de calculs doivent de plus en plus exploiter efficacement des machines d'architectures très différentes. Ainsi, il est nécessaire pour un solveur linéaire de pouvoir s'exécuter efficacement sur nœuds de CPUs comme GPUs. Dans le cas des solveurs linéaires creux, les structures de données choisies pour stocker les matrices et les vecteurs sont cruciales pour l'obtention des meilleures performances.

Il existe ainsi plusieurs formats de stockage de matrices creuses, comme Compressed Row Storage (CSR), Ellpack, .... De nombreuses études ont été conduites pour identifier leur adéquation aux architectures machine, le plus souvent dans le cadre du calcul de produits matrice-vecteur.

## OBJECTIFS

Etudier les formats de stockage utilisés en algèbre linéaire creuse. Identifier les caractéristiques principales en fonction des machines et de l'utilisation

Implanter les formats sélectionnés en fonction de leur adéquation aux architectures cibles (clusters, CPU, GPUs) dans la bibliothèque open-source Alien

Mesurer les performances et proposer des optimisations en fonction des cas tests.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Programmation C++, GPU, MPI,  
Optimisations : vectorisation et multi-threading

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement de calcul haute performance.

Les supercalculateurs du CEA utilisent plusieurs types de systèmes de stockage de données (systèmes de fichiers, stockage objet...). Dans ce contexte, chaque programme/outil doit prendre en compte le type de système utilisé pour s'y adapter. Cela demande un important effort pour les développeurs logiciels.

## OBJECTIFS

L'objectif est de mettre en place une surcouche générique pour l'accès aux données afin de masquer les spécificités des différentes interfaces. Le(a) stagiaire devra proposer une maquette et un prototype selon les contraintes techniques imposées par l'environnement de calcul haute performance du CEA (systèmes de fichiers Lustre, OpenStack Swift, scalabilité, maintenabilité, montée en charge, etc.).

## 🕒 DUREE

3 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Une première approche d'infrastructures distribuées serait un plus.

Autonomie, capacité d'adaptation, créativité, esprit d'initiative, flexibilité.

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement de calcul haute performance.

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données (dizaines de péta-octets) à des débits extrêmes (centaines de giga-octets par seconde). L'infrastructure de stockage est ainsi composée de plusieurs milliers de disques durs. Ce grand nombre de périphériques complexifie leur surveillance, et augmente les probabilités de pannes.

## OBJECTIFS

L'objectif général est de permettre d'anticiper les pannes de périphériques de stockage (disques durs, disques SSD...) en analysant un ensemble de métriques relatives aux accès disques, ainsi que d'éventuelles traces d'anomalies.

A l'issue du stage, l'étudiant(e) proposera un tableau de bord logiciel (qui pourra intégrer des éléments de machine learning) afin d'aider l'équipe d'exploitation à identifier les disques susceptibles de tomber en panne, et ainsi pouvoir anticiper le réapprovisionnement de ceux-ci.

## DUREE

4 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Autonomie, rédaction, anglais, capacité d'adaptation, créativité, esprit d'initiative, flexibilité.

Une première approche d'algorithme de détections d'anomalies serait un plus.

## CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

R&D du laboratoire en matière de stockage massif de données en environnement de calcul haute performance.

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données (dizaines de péta-octets) à des débits extrêmes (centaines de giga-octets par seconde). La surveillance de ces systèmes nécessite la surveillance d'un grand nombre d'indicateurs sur des dizaines de milliers de composants.

## OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est de proposer une solution technique en vue du renouvellement de l'infrastructure de monitoring et de télémétrie des centres de calcul du CEA. Le(a) stagiaire devra proposer une maquette et un prototype en prenant en compte les contraintes techniques de l'environnement HPC du CEA : scalabilité, maintenabilité, montée en charge etc.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Une première approche des environnements de monitoring et des infrastructures distribuées serait un plus.

Autonomie, capacité d'adaptation, créativité, esprit d'initiative, flexibilité.

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

Les architectures des supercalculateurs sont en perpétuelle évolution. Les nouvelles générations de machines intègrent des nœuds de calculs avec des architectures de processeurs intégrant de plus en plus de cœurs.

Les approches classiques de type Fork-Join (e.g., parallélisme de boucles) sont généralement utilisés au niveau du nœud de calculs, en mémoire partagée. Cependant, ces modèles ne sont pas adaptés pour générer suffisamment de parallélisme pour plusieurs dizaines de cœurs par nœud. Le modèle de programmation parallèle par tâches a donc été introduit. Une tâche représente un ensemble d'instructions, qui peut dépendre d'une ou plusieurs autres tâches. Naturellement asynchrone, adapté aux architectures hétérogènes : ce modèle de programmation présente de nombreux avantages pour la programmation des machines exascales.

Supporté depuis OpenMP 3.0, les outils de profiling pour ce modèle de programmation font défaut. OMPT permet aux développeurs d'application de concevoir leurs propres outils sans être invasif dans OpenMP. A chaque évènement rencontré, des informations peuvent être récupérées sous forme de callback liée à un évènement et sauvegarder par un outil tiers.

### OBJECTIFS

Plusieurs indicateurs de performances peuvent être analysés lors de l'exécution d'une application suivant le modèle de programmation par tâches :

- Graphe de dépendances,
- Analyse du chemin critique, Ordre de création et d'exécution des tâches,
- Overhead de gestion de tâches selon la granularité,
- Etc.

Ces métriques permettent d'analyser plus finement les performances obtenues d'une application parallèle. L'objectif de ce stage est de réaliser un outil OMPT pour visualiser toutes ces métriques de performances relatives aux tâches avec dépendances.

### DUREE

3 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Les architectures spécialisées des nouveaux supercalculateurs (accélérateur, carte graphique...) offrent des progrès significatifs en terme de performance de calcul et de consommation énergétique. Néanmoins, programmer ces architectures de façon performante tout en gardant des algorithmes applicatifs maintenables, reste un défi à relever.

Pour tenter d'y parvenir, le CEA-DAM travaille sur plusieurs sujets et plus particulièrement, le Domain Specific Language (DSL) NabLab. (<https://github.com/cea-hpc/NabLab.git>). Ce DSL permet à un scientifique (mathématicien, physicien) de se concentrer sur ses formules métier en écrivant les équations avec un langage dédié. L'optimisation Informatique visant à obtenir les meilleures performances sur les machines cibles est directement gérée par le langage et l'infrastructure associée, de façon transparente à l'utilisateur.

En plus du DSL, Nablab est fourni avec un environnement de développement qui lui est associé. Cet environnement permet d'écrire un code de simulation numérique en langage NabLab en profitant de toutes les commodités apportées par un IDE (éditeur textuel dédié au langage, complétion, coloration syntaxique, détection d'erreur, proposition de corrections, évaluation interactive du périmètre des variables ainsi que de leur type, débogueur, etc.)

Aujourd'hui, Nablab peut générer du code pour des modèles de programmation parallèle à mémoire partagée comme OpenMP, mais ne supporte pas directement la génération de code utilisant un modèle de programmation distribuée, tel que MPI. Le stage consiste à étudier la possibilité et à réaliser une première version d'un « back-end » MPI dans Nablab.

## OBJECTIFS

Dans un premier temps, le(a) stagiaire devra prendre en main l'environnement d'exécution des machines de calcul du CEA, DAM et analyser les performances du code généré pour les exemples fournis. Ensuite, le travail consistera à améliorer les performances du code généré par NabLab afin d'accroître le potentiel de parallélisation des applications. Notamment, l'intégration d'un modèle de programmation parallèle à mémoire distribuée à base de passage de message avec MPI sera étudiée pour améliorer l'utilisation des supercalculateurs par le code généré. La construction des messages et des communications nécessaires se basera alors sur les informations obtenues dans la représentation intermédiaire (i.e. les dépendances) de NabLab afin de générer le code associé. Avec ce premier support MPI, il sera alors possible d'étudier les opportunités d'optimisation possible pour l'utilisation de MPC, support exécutif offrant une implémentation MPI et OpenMP, développé au CEA (<https://mpc.hpcframework.com>).

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Programmation C/C++ avancée ,  
Java/Xtext

## 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

La simulation numérique est désormais utilisée de manière systématique pour évaluer le couplage d'une impulsion électromagnétique. Elle est ainsi amenée à modéliser des systèmes de propriétés de plus en plus complexes. La nature impulsionnelle du phénomène simulé requiert un logiciel temporel, mais les propriétés des objets simulés sont généralement connus dans le domaine fréquentiel. La transposition de ces informations dans une simulation temporelle est donc au coeur des méthodes numériques développées au CEA/Gramat.

## OBJECTIFS

Evaluer la méthode dite de "Vector Fitting" sur les formes fréquentielles habituellement utilisées au CEA/Gramat.

Si satisfaisante, l'implémenter en Fortran 90 dans le logiciel Gorf3D. Cette implémentation sera générique et modulaire, comme elle pourra être appelée de manière multiple dans cet outil de 250 000 lignes de code.

### DUREE

Au moins 3 mois

### CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

### CONTACTS

[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)

## CONTEXTE

L'étude de résistance des infrastructures et des véhicules aux agressions par une gerbe d'éclats est un des sujets de recherche du CEA/Gramat. Une plateforme numérique met en œuvre des algorithmes dits de lancer de rayon (RAY TRACING) sur des maillages. Ces algorithmes sont au cœur de codes de simulation permettant d'évaluer la vulnérabilité d'équipements agressés par une munition. Aussi, de nombreux calculs de lancers de rayon doivent être effectués sur des maillages assez complexes. De tels calculs doivent être effectués le plus rapidement possible, d'où l'importance d'une optimisation de la sélection des mailles utiles. Le stagiaire aura pour mission de chercher et d'évaluer des techniques visant à accélérer les calculs d'intersection d'une droite avec un maillage en éléments finis (mailles surfaciques ou volumiques) sans altérer la précision de calcul des points d'intersection. Des techniques telles que KD-Tree ou OC-Tree pourraient par exemple être comparées en terme de performances avec celles actuellement implantées dans les codes de simulation du centre.

## OBJECTIFS

Lors du stage, le candidat retenu s'attachera d'abord à mener une étude bibliographique sur les techniques d'optimisation et calcul d'intersections. Dans un second temps, le stagiaire implémentera dans une maquette numérique en langage Python les algorithmes actuellement mis en œuvre dans un code de simulation et en évaluera les performances sur une gerbe d'éclats et un maillage de référence. Enfin, le stagiaire développera d'autres versions de cette maquette en mettant en œuvre d'autres techniques d'optimisation. Il en dressera ensuite le tableau des temps de calcul par technique, avec toutes autres observations d'intérêt comme, par exemple, la place mémoire pour optimiser le maillage avant l'opération de lancer de rayon.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Géométrie, mathématiques appliquées, informatique

## 📍 CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

## ☀ CONTACTS

stage.gramat@cea.fr

## CONTEXTE

Afin d'étudier des phénomènes de déformation de la matière soumise à des chocs extrêmes ou à une densification importante, le CEA mène des études et des développements sur des accélérateurs de particules permettant de réaliser des radiographies à l'aide d'un rayonnement X intense. Afin de construire et d'optimiser le fonctionnement de ces machines de radiographie, des simulations numériques sont effectuées à l'aide de différents codes de calculs sur les supercalculateurs du CEA.

## OBJECTIFS

Les objectifs de ce stage sont de contribuer au développement des nouveaux codes en cours de développement (en C++), d'améliorer l'ergonomie des codes développés ainsi que des outils de post-traitement (en PYTHON). Pour cela le candidat contribuera à :

- Modéliser des machines de radiographie et optimiser le fonctionnement des codes de calculs.
- Développer une interface graphique permettant de préparer les simulations et de visualiser les résultats.
- Exploiter les résultats à l'aide de techniques de data science.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📍 CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

### ☀ CONTACTS

[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)

## CONTEXTE

Développement et intégration d'une application VBA permettant d'assister le responsable déchets de FMA (Faible et Moyenne Activité) lors de la conception de fûts. Chaque année l'installation génère une grande quantité de déchets radioactifs de faible et moyenne activité. Ces déchets sont ensuite conditionnés en fûts puis envoyés vers les différents exutoires de l'Andra. Il existe de nombreux exutoires pour les déchets de FMA, chacune imposant leurs contraintes en fonction des propriétés du déchets. L'objectif est de développer une application prenant en compte toutes ces contraintes et permettant d'indiquer au responsable déchets vers quel exutoire sera orienté chaque sac de déchets. Cette application permettra de composer les fûts et éditera un ensemble de documents de synthèse et de suivis.

## OBJECTIFS

Les étapes du projet :

- Observation des différentes manip informatiques lors de la conception d'un fût
- Compréhension des spécifications techniques exigées par les exutoires (principalement l'Andra ) et définit par le centre de Valduc
- Analyse des outils informatiques déjà en place
- Rédaction d'un algorithme présentant le fonctionnement global de l'application
- Codage et mise en forme d'un outil informatique avec VBA sur Excel ou Access
- Tests et validation de l'application avec le responsable déchets
- Rédaction d'un document permettant de vérifier périodiquement le bon fonctionnement de l'application
- Rédaction d'un mode opératoire permettant aux opérateurs d'être formé à l'utilisation de cette application.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📍 CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## 🌟 CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

## CONTEXTE

En perpétuelle évolution scientifique et technologique, le monde est régi par les sciences du Data Mining et du Big Data. Les données d'une grande variété de domaines sont collectées et analysées sous forme de signaux en fonction du temps, aussi nommés time series. L'analyse de ces time series est en général réalisée grâce aux experts des domaines en question. Aujourd'hui, l'importance d'analyser les time series est primordiale et grandissante. Cependant, cette tâche est de plus en plus difficile : diverses time series émergent rapidement, et l'expertise humaine est trop souvent dépassée par le temps et l'énorme quantité de données. Dans ces cas-là, seule une infime partie est exploitée. A l'ère de la surveillance en continu, faire l'apprentissage des time series en dynamique et reconnaître les liens entre elles sont un réel défi pour la communauté scientifique. Notre objectif est d'enrichir l'analyse de time series massives par des moyens d'apprentissages intelligents, automatiques et dynamiques. Une telle œuvre dans un milieu industriel et innovant tel que le CEA serait très largement applicable et permettrait l'avancée scientifique de nombreux domaines physiques.

## OBJECTIFS

Les procédés de feature extraction, motif discovery et clustering sont des sujets indispensables au Data Mining, autant pour la recherche fondamentale que pour la recherche appliquée. S'il existe dans la littérature des états de l'art sur ces procédés, aucun d'entre eux n'apporte une vision globale et actuelle des méthodes d'analyses de time series multivariées, massives et dynamiques. L'étudiant réalisera l'état de l'art des méthodes (idéalement non supervisées) d'analyses de times series (traitement du signal, machine learning, deep learning) sous une forme qui sera à définir aux prémices de son stage, en concertation avec ses encadrants. Ce travail de rédaction et d'implémentation sous Python prendra en compte les éventuelles étapes de pre-processing et les méthodes d'évaluation. L'idée est de rassembler et catégoriser les méthodes existantes afin de mieux les comprendre et de pouvoir les appliquer intuitivement et rapidement sur n'importe quelles données non-labellisées. Le dataset mis à disposition portera sur le suivi en continu du rayonnement gamma par une balise de surveillance de l'environnement et des données météorologiques.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Traitement du signal, machine/deep learning, programmation (principalement Python), pattern recognition.

### CENTRE

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

### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

### CONTEXTE

Le stage proposé portera sur le développement et la mise en place d'une macro word en visual basic permettant la rédaction automatique de rapports de mesure pour des activités du laboratoire.

Pour cela, le stagiaire sera intégré à une équipe d'ingénieurs-techniciens au sein du laboratoire concerné.

### OBJECTIFS

Le sujet de stage consiste à développer une interface logiciel qui devra être ergonomique et suffisamment simple d'utilisation pour être flexible à la pluralité des mesures effectuées.

Le candidat s'appuiera sur les formalismes des compte-rendus de mesure existants et sur les échanges qu'il devra avoir avec les utilisateurs pour définir au mieux les fonctionnalités et l'interface Homme Machine (IHM) de son logiciel.

### DUREE

3 mois

### COMPETENCES REQUISES

### CENTRE

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

### CONTACTS

stage.ripault@cea.fr

MECANIQUE

&

THERMIQUE

### CONTEXTE

Le Laser Mégajoule (LMJ) est une grande installation de physique actuellement en exploitation au CEA/CESTA. Elle permettra d'obtenir et d'observer la fusion thermonucléaire. De nombreux systèmes mécaniques sont amenés à être installés et à évoluer. Les niveaux de contraintes de ces sous-ensembles sont complexes (nucléaire, électromagnétisme, vide, sécurité, etc.).

### OBJECTIFS

Encadré par des ingénieurs expérimentés, vous pourrez vous confronter à différentes missions, telles que :

- l'analyse de problèmes mécaniques,
- la proposition de solutions adaptées,
- l'utilisation de la CAO,
- le dimensionnement de pièces mécaniques,
- l'écriture de cahiers des charges,
- le suivi de réalisations,
- l'intégration sur site.

### DUREE

**3 à 6 mois**

### CENTRE

**Cesta**

**BP 2 – 33114 Le Barp**

**05-57-04-40-00**

### CONTACTS

**[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)**

### CONTEXTE

Le CEA/CESTA élabore des modèles physico-numériques multi-physiques, multi-échelles et développe des codes de calcul dans les domaines de l'aérodynamique hypersonique, de l'électromagnétisme et de la dynamique rapide. Ces développements bénéficient des approches les plus modernes du génie logiciel et sont conduits dans le contexte du calcul haute performance afin de tirer le meilleur parti des supercalculateurs de la DAM. La compréhension des phénomènes physiques modélisés exige des outils avancés d'analyse de résultats. Au cours de ce stage, le stagiaire travaillera sur un code de dynamique rapide 1D permettant de simuler le comportement de matériaux sous des sollicitations sévères (impacts, chocs lasers, dépôts d'énergie ...)

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de modéliser le comportement, et plus particulièrement l'endommagement, de l'aluminium Al6061T6 dans le code 1D. Un premier travail bibliographique permettra de faire un état des lieux des modèles d'endommagement déjà existants, notamment en dynamique. Suite à cette étude, l'implémentation d'un (ou de plusieurs) modèle sera réalisée dans le code. La validation du modèle d'endommagement reposera sur la confrontation des simulations aux résultats des essais réalisés sur le matériau.

### DUREE

**6 mois**

### CENTRE

**Cesta**

**BP 2 – 33114 Le Barp**

**05-57-04-40-00**

### CONTACTS

**[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)**

### CONTEXTE

Le CEA/CESTA a en charge le développement et l'utilisation de générateurs impulsions haute tension et à hautes puissances pulsées. Ces générateurs sont utilisés pour produire des faisceaux d'électrons ou simplement comme alimentation de bancs tests pour des équipements haute tension. Ces moyens, quasiment uniques en Europe par leurs capacités et leurs dimensions, nécessitent des évolutions mécaniques ou électriques, voire l'entretien du moyen ou banc de commande. Une équipe d'ingénieurs et de techniciens du laboratoire est chargée de de ces opérations.

### OBJECTIFS

Le stagiaire recruté participera aux travaux d'évolution et de maintenance sur les générateurs du laboratoire. Il consolidera l'équipe déjà en place et participera aux actions de démontage, entretien et remontage sous la supervision de techniciens expérimentés. Il pourra s'agir de travaux d'évolution, d'entretien, mécaniques et/ou électriques suivant les compétences et les souhaits d'évolution du stagiaire. Les habilitations nécessaires lui seront proposées afin de mener à bien ces opérations dans le respect des règles de sécurité du travail. Pendant ce stage, le stagiaire pourra participer au déroulement d'expériences uniques qui sont réalisées grâce à ces générateurs.

### DUREE

**4 à 6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Ce stage peut concerner un BTS Mécanique, électrotechnique ou bien un étudiant en IUT GE2I qui souhaiterait se familiariser avec les opérations de montage, entretien, remontage. Ce stage pourrait également faire partie d'un cursus de formation en alternance.**

### CENTRE

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

### CONTACTS

**stage.cesta@cea.fr**

### CONTEXTE

Dans de nombreuses études en dynamique rapide, l'aluminium sert de matériau de référence. Cependant, il subsiste un domaine thermodynamique dans lequel les propriétés de ce matériau restent mal connues : c'est le domaine plasma dense et tiède (Warm Dense Matter ou WDM), auquel les expériences ne donnent souvent accès que par des mesures indirectes. Ainsi, le CEA réalise des expériences permettant un dépôt d'énergie bref et intense avec des laser et des faisceaux d'électrons. Ce dépôt d'énergie engendre des ondes de choc et un transfert de quantité de mouvement qui sont liés à la zone WDM de l'équation d'état. Pour analyser ces expériences, la simulation numérique est extrêmement utile et le CEA dispose de plusieurs codes permettant de coupler des dépôts d'énergie et leurs effets hydrodynamiques.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage sera de participer à la simulation et à l'interprétation de ces expériences. Dans la première partie de ce travail, le/la stagiaire étudiera différents modèles d'équations d'état proposés dans la littérature, ainsi que la façon de les assembler entre eux sous une forme utilisable dans les codes hydrodynamiques du CEA. Dans la deuxième, il s'agira d'utiliser les simulations hydrodynamiques pour comprendre quelles zones de l'équation d'état affectent de manière prépondérante les mesures de choc et de quantité de mouvement. Ainsi, le/la stagiaire pourra mettre en évidence les avantages respectifs des dépôts laser et électrons pour l'étude des équations d'état.

### DUREE

**6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Mécanique, dynamique rapide, thermodynamique**

### CENTRE

**Cesta**

**BP 2 – 33114 Le Barp**

**05-57-04-40-00**

### CONTACTS

**[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)**



## Modélisation de l'intrusivité d'une mesure thermique dans un matériau à changement de phase

MECANIQUE ET THERMIQUE

### CONTEXTE

Lors de la rentrée dans l'atmosphère à très grande vitesse d'un objet une énergie importante est transmise aux matériaux. Une partie de cette énergie est dissipée par l'intermédiaire de réactions chimiques en surface et au sein du matériau de protection thermique (ablation et pyrolyse).

Les environnements obtenus en vol lors d'une rentrée ne sont que partiellement jouable au sol. Dans une démarche de validation de modèle, des essais représentatifs d'une partie des phénomènes physiques sont réalisés et instrumentés. Cette instrumentation est généralement intrusive et génère ses propres écarts vis-à-vis du matériau en conditions réelles.

### OBJECTIFS

Le sujet de ce stage est dans un premier temps de mettre en place une méthode qui permette d'obtenir une comparaison calcul-mesure permettant de valider les champs thermiques calculés par rapport à des essais de validation des modèles en tenant compte de l'intrusivité des moyens de mesures. Dans un second temps, une étude sur les paramètres d'influence sera menée afin d'orienter des choix d'instrumentation pour les campagnes d'essais futures.

### 🕒 DUREE

**6 mois**

### 📖 COMPETENCES REQUISES

**Mesures physiques, transferts thermiques, matériaux**

### 📍 CENTRE

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

### ☀ CONTACTS

**stage.cesta@cea.fr**

## CONTEXTE

Au CEA, le CEA/DAM-Île de France a notamment pour mission des études de conception de bâtiments nucléaires et également de modifications de bâtiments existants. La ventilation de ces bâtiments revêt une importance particulière du fait de son action vis-à-vis de la sécurité des salariés et de la protection de l'environnement. Afin d'atteindre les performances requises par la ventilation tout en réduisant les délais et les coûts d'études aérauliques des bâtiments complexes, les ingénieurs recourent de plus en plus à des codes de calculs. En phase études, ces outils de modélisation aérauliques, permettent de tester différents choix de conception (aussi bien pour des projets de nouvelles installations que pour des modifications d'installations existantes).

## OBJECTIFS

Pour ses modélisations aérauliques, l'unité en charge de l'Ingénierie des Installations utilise entre autres le logiciel SYLVIA (Système de Logiciels pour l'étude de la Ventilation de l'Incendie et de l'Aérocontamination). Comme tout logiciel de modélisation, la pertinence des résultats obtenus dépend des données d'entrée et de la maîtrise du fonctionnement de l'outil par l'utilisateur.

A partir de modélisations existantes, l'objectif du stage consiste à déterminer si des simplifications au niveau des données d'entrée (débits, pressions, caractéristiques géométriques des réseaux, etc.) ont un impact sur la pertinence des résultats obtenus. Le(a) stagiaire devra donc proposer et tester des simplifications (réduction du nombre de données d'entrée) et comparer les résultats avec ceux du modèle complet.

En fonction des conclusions de cette étude, le(a) stagiaire pourra être amené(e) à développer des scripts (JavaScript) permettant de générer des modèles de réseaux de ventilation à partir d'un nombre minimal de données d'entrée. L'étudiant(e) devra produire un rapport de stage décrivant tous les tests effectués, les résultats obtenus. Ce rapport devra intégrer les recommandations et les conclusions issues de ces tests.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

**Etudiant(e) en 2<sup>de</sup> année de cycle ingénieur ou en Master 1 : formation Génie Climatique et/ou Mécanique des Fluides. Le(a) stagiaire doit être intéressé(e) par les études d'ingénierie sur des projets de construction de bâtiments complexes.**

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

**stage.dif@cea.fr**



## Implantation d'une loi de comportement de plasticité cristalline pour l'écroutissage des métaux CFC

MECANIQUE ET THERMIQUE

### CONTEXTE

Nous disposons d'un module de comportement pour décrire la plasticité des métaux CFC dans un code d'éléments finis. Ce module utilise les densités de dislocations comme variables internes et prend en compte les réactions entre dislocations. Les dislocations sont, en effet, le plus souvent à l'origine de la plasticité et leur réactions gouvernent le durcissement. La formulation des lois de comportement que nous utilisons est simplifiée et suppose une activation symétrique des systèmes de glissement.

### OBJECTIFS

Le stage consiste à implanter un modèle plus complet pour prendre en compte une plus large gamme de chargements. Cela nécessite de suivre la densité de dislocations créées par réactions (jonctions) entre dislocations.

 DUREE

**6 mois**

 COMPETENCES REQUISES

**Goût pour le codage et les développements numériques.**

 CENTRE

**DAM - Île-de-France**

**Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon**

**01-69-26-40-00**

 CONTACTS

**stage.dif@cea.fr**

### CONTEXTE

Le CEA dispose de calculateurs scientifiques Haute performance de classe mondiale permettant notamment la modélisation avec une grande précision de phénomènes rapides telle que les ondes de souffle. Ces simulations requérant des ressources informatiques importantes nécessitent d'être correctement dimensionnées. Ces dimensionnements ou définition sont souvent réalisés à partir de méthodes semi- analytiques.

### OBJECTIFS

L'objet de ce stage est de développer une solution de dimensionnement rapide, basée sur la méthode des singularités aérodynamiques, et validée par des calculs hautes performances.

La méthode des singularités aérodynamiques est une méthode qui approxime de manière satisfaisante le comportement du souffle pour les basses vitesses. La stratégie envisagée consiste à valider cette modélisation par partie. Le déroulement du projet sera progressif, commençant par un calcul de vent simple, puis en complexifiant jusqu'au calcul d'explosion avec de multiple réflexions et pied de Mach.

### DUREE

**4 à 6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Aérodynamique, calcul de souffle, onde des chocs**

### CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

## CONTEXTE

Le CEA dispose de calculateurs scientifiques Haute performance de classe mondiale lui permettant de disposer d'une expertise dans l'analyse de grandes quantités de données ( Big DATA).

## OBJECTIFS

L'objet de ce stage est de participer au développement d'un outil de traitement de données performant, didactique et accessible aux non initiés au traitement Big Data. L'outil basé sur l'environnement Eclipse E4 RCP, permet à l'utilisateur de spécifier ses besoins via une grammaire développée avec le langage Xtext . Une fois ses besoins spécifiés, un ensemble de fonctionnalités y répondant lui est proposé de manière dynamique ( EX:graphique, gestion de base de données, calcul parallèle à la volée ou sur cluster). Les actions attendus sont des développements portant sur l'IHM et sur les procédures de calcul à la volée ou en cluster.

## DUREE

**4 à 6 mois**

## COMPETENCES REQUISES

**Java, stream, parallele, DSL, RCP**

## CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

## CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

### CONTEXTE

Le stage proposé entre dans le cadre des missions du CEA-Gramat en Défense Conventionnelle et en Sécurité anti-terroriste, visant à évaluer la vulnérabilité d'infrastructures aux effets d'une explosion.

Les effets d'une explosion sur une infrastructure en béton armé sont d'abord localisés sur les éléments les plus proches de la source, mais peuvent éventuellement s'étendre à la structure globale. En effet, si celle-ci n'a pas la capacité à supporter l'endommagement local, elle subit alors une succession de défaillances structurales appelée « progressive collapse ».

Le scénario d'étude de « progressive collapse » le plus répandu, car le plus critique, est celui de la perte d'un poteau porteur dans un immeuble élancé à ossature poteaux-poutres-planchers.

Des essais à échelle réduite simulant la perte du poteau central d'assemblages poteaux-poutres ont été réalisés dans le cadre d'une collaboration entre le CEA-Gramat, le laboratoire LEM3 de l'Université de Lorraine et le laboratoire 3SR de l'Université Grenoble-Alpes.

Des simulations numériques de ces essais ont également été réalisées en utilisant des modèles en éléments finis détaillés. Néanmoins, les modèles mis en œuvre ne sont pas adaptés à la représentation d'un bâtiment complet. L'enjeu numérique consiste désormais à se doter de modèles structuraux plus simples.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de proposer une modélisation en éléments finis simplifiée d'assemblages poteaux-poutres en béton armé, dont la réponse à la perte à un poteau central a été caractérisée expérimentalement. Les modèles simplifiés envisagés se limiteront à une représentation 1D des poutres et poteaux, reliés à leurs jonctions par des macro-éléments spécifiques assurant les transferts de forces et subissant les plus grandes rotations et déformations.

### DUREE

**6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Mécanique des structures, comportement des matériaux, éléments finis**

### CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

### CONTEXTE

Des lanceurs à gaz et des générateurs électriques sont utilisés au CEA Gramat afin d'effectuer la caractérisation de matériaux sous sollicitations dynamiques de type choc ou rampe de compression. Les jauges rubis sont actuellement en cours de développement afin de compléter la mesure de vitesse par interférométrie laser par une mesure de contrainte.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de poursuivre les développements effectués lors d'une thèse de doctorat afin d'optimiser le diagnostic de mesure de contrainte par jauge rubis sur générateur électrique. Il s'agit d'une part de comprendre les phénomènes induisant la génération d'un bruit perturbant la mesure, et d'autre part d'explorer les pistes permettant d'améliorer la résolution temporelle du diagnostic. Ces travaux s'appuieront principalement sur une recherche bibliographique, l'analyse d'essais passés et la conception d'expériences dédiées. Il est également envisagé de porter ce type de diagnostic sur lanceur à gaz. Il s'agit ici de proposer des solutions d'implantation compatible avec la chambre d'expérience.

### DUREE

**6 mois**

### CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

### CONTEXTE

Des lanceurs à gaz sont utilisés au CEA Gramat afin d'effectuer la caractérisation de matériaux sous sollicitations dynamiques, principalement en réalisant des impacts de plaques. Les gammes de vitesses considérées vont de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres par seconde, en faisant varier le type de projectiles et/ou le type de gaz propulsif.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est la réalisation d'une modélisation du lanceur en se concentrant sur la phase de mise en vitesse du projectile avant impact sur la cible. Il est donc nécessaire de prendre en compte l'interaction entre le gaz propulsif et le projectile afin d'identifier les phénomènes physiques primordiaux. Ces simulations doivent permettre à terme de définir un outil analytico-empirique utile au dimensionnement précis des essais sur lanceur. Une étude bibliographique sera menée sur les différentes approches de modélisation pour traiter le couplage Fluide-Structure afin de se limiter à l'évaluation des approches les plus pertinentes. Le code commercial LS-DYNA est pressenti pour modéliser le fonctionnement du lanceur à gaz. La validation du modèle s'appuiera sur les résultats d'essais disponibles notamment dans les limites des gammes de vitesse du lanceur ou dans des cas d'utilisation particuliers. Enfin une étude paramétrique sera menée afin de définir l'outils analytico-empirique de dimensionnement des essais et pour proposer des perspectives d'optimisation du lanceur ou de sa mise en œuvre.

### DUREE

**6 mois**

### CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

### CONTEXTE

La résistance des infrastructures et des véhicules aux effets d'une gerbe d'éclats issue de la fragmentation d'un corps de bombe est un sujet de recherche majeur du CEA/Gramat. La plateforme de simulation Pléiades met en œuvre des algorithmes permettant d'évaluer les effets de souffle et des éclats sur une cible par suite de la mise en détonation d'une charge militaire conventionnelle à proximité de celle-ci. Les travaux proposés s'inscrivent dans une démarche d'amélioration continue de la précision des outils de simulation. Le stagiaire développera un module de simulation analytique de la fragmentation de corps de bombe, depuis la définition de la géométrie jusqu'au calcul de la répartition en masse, en vitesse et en angle des éclats. Ses travaux devront l'amener à proposer une extension des capacités du code technico-opérationnel Pléiades.

### OBJECTIFS

Lors du stage, le candidat retenu s'attachera d'abord à mener une étude bibliographique sur les modèles de fragmentation analytiques et empiriques applicables aux corps de bombe. Il dressera ensuite un état des lieux des différents paradigmes de simulation possibles et les comparera avec comme objectif de minimiser au maximum le biais statistique tout en satisfaisant les contraintes liées aux mesurandes. Enfin, une comparaison avancée avec la base de données expérimentales permettra d'affiner la modélisation, au moyen par exemple de la statistique bayésienne.

### 🕒 DUREE

**4 à 6 mois**

### 📁 COMPETENCES REQUISES

**Informatique scientifique (langage de programmation Python requis, à défaut Java)**

### 📍 CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### ☀ CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

### CONTEXTE

La vulnérabilité des infrastructures et des véhicules aux effets d'une gerbe d'éclats est un sujet de recherche majeur du CEA/Gramat. La plateforme de simulation Pléiades met en œuvre des algorithmes permettant d'évaluer les effets de souffle et des éclats sur une cible par suite de la mise en détonation d'une charge militaire conventionnelle à proximité de celle-ci. Les travaux proposés s'inscrivent dans une démarche d'amélioration continue de la précision des outils de simulation. Le stagiaire exploitera une base de données expérimentales d'impacts de projectiles métalliques sur des cibles métalliques minces. Il aura pour mission d'affiner la modélisation analytique permettant de restituer ces essais, tout en tenant compte des incertitudes associées, notamment au moyen de la statistique bayésienne. Le cas complexe des cibles multi-épaisseurs sera aussi abordé. Ses travaux devront l'amener à proposer une extension des capacités du code technico-opérationnel Pléiades pour la simulation de l'effet d'impacts sur les cibles métalliques, d'éclats issus de la fragmentation d'enveloppes de charges militaires.

### OBJECTIFS

Lors du stage, le candidat retenu s'attachera d'abord à mener une étude bibliographique sur les modèles de perforation analytiques et empiriques applicables aux fragments et aux balles. Il établira un comparatif unitaire des divers modèles en termes de vitesse limite balistique et de vitesse post perforation, et identifiera les limites d'applicabilité en termes de matériaux projectile et cible de vitesse d'impact (module et direction). Le stagiaire sera amené à étudier par la simulation l'effet d'impacts, sur des cibles métalliques, d'éclats issus de la fragmentation d'enveloppes de charges militaires. Pour cela, il utilisera le code technico-opérationnel Pléiades. Puis, il exploitera une base de données expérimentales qui lui permettra d'affiner la modélisation, notamment grâce à une approche statistique, et d'augmenter le nombre de matériaux disponibles pour la simulation. Le cas complexe des cibles multicouches pourra aussi être abordé en fonction de l'avancement du stage.

### DUREE

**4 à 6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Informatique scientifique (langage de programmation Python)**

### CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

## CONTEXTE

La résistance des infrastructures aux agressions par explosif est un des sujets de recherche du CEA/Gramat. Dans ce cadre, il s'emploie à améliorer la modélisation numérique des effets des explosifs. La présence d'un tunnel ou d'une conduite va guider l'onde de choc issue d'une détonation et soutenir le niveau de surpression. Les caractéristiques de l'onde se propageant ainsi dans une infrastructure sont nécessaires pour en déterminer les effets. Le stagiaire aura pour mission de développer un modèle de propagation d'une onde de choc dans des tunnels en s'appuyant sur les données de la littérature et des outils de simulation numérique.

## OBJECTIFS

Lors du stage, le candidat retenu s'attachera dans un 1er temps à mener une étude bibliographique sur les modèles disponibles pour représenter le phénomène de propagation du souffle dans les tunnels. Dans un second temps, en se basant sur un plan d'expériences défini par ses soins, il utilisera les codes de dynamique rapide. Ces simulations numériques devront restituer le comportement de l'onde dans plusieurs configurations. Les résultats ainsi obtenus permettront de créer un modèle restituant les caractéristiques de l'onde se propageant dans un tunnel. Enfin, le stagiaire sera en charge de créer un outil, en langage Python, dédié à l'étude de ce phénomène. Le code fourni devra permettre d'étudier plusieurs configurations de tunnels de façon rapide. La modélisation retenue sera confrontée à des données expérimentales issues de la littérature afin d'en déterminer le niveau de fidélité.

## 🕒 DUREE

**4 à 6 mois**

## 📖 COMPETENCES REQUISES

**Mécanique des fluides, informatique, simulation numérique**

## 📍 CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

## ☀ CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

## CONTEXTE

Le CEA Gramat dispose de résultats d'essais expérimentaux sur des structures en béton ou en béton armé soumises à une sollicitation dynamique. A l'échelle du matériau, comme de la structure, des simulations numériques sont réalisées au moyen du code commercial Abaqus et en utilisant le modèle utilisateur PRM qui permet de décrire le comportement du béton. Le CEA Gramat a besoin de constituer une base de données de non-régression afin de pouvoir visualiser les résultats expérimentaux de référence, de parcourir les précédents résultats de simulation numérique, et de vérifier de manière automatique qu'un changement de version du code, ou qu'une modification du modèle utilisateur, ne change pas les résultats obtenus au-delà de critères d'acceptabilité sur indicateurs d'intérêts prédéfinis.

## OBJECTIFS

A partir d'un catalogue d'essais expérimentaux et numériques, les objectifs du stage sont d'automatiser le post-traitement des données et la mise en place des tests de non-régression, mais aussi d'initier la construction de la base de données. Les outils développés en langage Python devront être modulaires et tenteront d'être le plus générique possible, afin de faciliter leur évolution et leur maintenance à l'avenir.

### DUREE

**3 à 4 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**La connaissance d'Abaqus, des approches éléments finis et de la mécanique des structures est un plus mais n'est pas requise.**

### CENTRE

**Gramat**

**BP 80200 – 46500 Gramat**

**05-65-10-54-32**

### CONTACTS

**[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)**

## CONTEXTE

L'unité en charge du contrôle et de la conformité des produits au CEA Le Ripault (15 km de Tours) est en charge des contrôles et du suivi qualité des produits fabriqués sur le site et approvisionnés. De ce fait, elle est en interface avec l'ensemble des unités fabricantes de l'unité en charge des matériaux. Les responsabilités du laboratoire concernent le contrôle dimensionnel, la métrologie des moyens de mesure et le contrôle qualité des réalisations. De plus, il est en charge d'études de Fiabilité et de Sécurité.

## OBJECTIFS

Le candidat sera amené à travailler avec l'équipe des techniciens assurance qualité du laboratoire ainsi qu'avec les responsables techniques des différents procédés mis en oeuvre. Il contribuera au suivi qualité des opérations de réalisations effectuées au sein de l'unité d'accueil et plus particulièrement à assurer le suivi qualité d'outillages en provenance d'entreprises sous-contractantes.

Plus précisément, le candidat assurera : la mise en oeuvre de recette, la rédaction des livrets qualité ou de fiches qualité. Il participera aux points réguliers qualité de fabrication. Il pourra également contribuer à la rédaction d'un catalogue de défauts acceptables.

Le candidat pourra être amené à effectuer des mesures dimensionnelles en lien avec les objets dont il assure le suivi qualité.

## DUREE

**6 mois**

## COMPETENCES REQUISES

**Lecture de plans, tolérancement**

## CENTRE

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

## CONTACTS

**stage.ripault@cea.fr**

### CONTEXTE

Le CEA Le Ripault (15 km de Tours) est en particulier spécialisé dans l'élaboration de revêtements par projection thermique et pneumatique. Il possède une expérience reconnue dans le domaine de la mise en forme de matériaux par projection plasma ou par projection dynamique à froid (cold spray) sur des installations de conception industrielle.

Le procédé de projection plasma est basé sur l'injection, l'accélération et la fusion de particules au sein d'un jet plasma caractérisé par des températures de l'ordre de 10 000 K en sortie de torche. L'empilement successif des particules fondues sur un substrat permet la formation d'un dépôt. Des moyens de refroidissement basés sur l'utilisation de la cryogénie sont utilisés pour réguler la température des pièces au cours de la réalisation du dépôt.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de modéliser des écoulements plasma à partir des paramètres de fonctionnement des torches de nouvelle génération et d'appréhender le comportement de particules métalliques ou céramiques injectées dans ces écoulements.

Le but final est de connaître l'état thermocinétique de ces particules à l'impact en fonction des paramètres macroscopiques de fonctionnement des torches générant l'écoulement. De plus, on cherchera à déterminer à partir de l'analyse des flux transmis au substrat une loi analytique de ces flux.

### DUREE

**6 mois**

### CENTRE

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

### CONTACTS

**[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)**

### CONTEXTE

Dans le cadre de la prise en compte des procédés de fabrication sur les performances thermomécaniques des objets et matériaux de la Direction des Applications Militaires, la simulation numérique prend une part de plus en plus importante. Depuis quelques années, le bureau d'études et calculs développe des modèles numériques pour évaluer l'influence de différents procédés de fabrication et plus particulièrement des procédés d'ajout de matière (fabrication additive) et d'enlèvement de matière (usinage).

### OBJECTIFS

Evaluation de la suite logicielle Simufact (HEXAGON/MSC Software) pour la modélisation d'un procédé de fabrication additive (projection plasma).

- prise en main du logiciel (formation spécifique envisagée) ;
- identification des données matériaux et procédé nécessaires ;
- réalisation de la mise en données et lancement de premiers calculs sur géométries simples (éprouvettes planes, cylindrique) ;
- comparaison avec des essais réels : collaboration avec le laboratoire en charge de la mise en oeuvre du procédé ;
- étude exploratoire sur les possibilités de modélisation appliquées à une phase d'usinage.

Rédaction d'une note d'évaluation : possibilités/limitations de la suite logicielle ; performances; comparatif calcul/expérience ; perspective.

### 🕒 DUREE

**6 mois**

### 📖 COMPETENCES REQUISES

**Notion en pilotage de robot ou machine d'usinage (CN).**

### 📍 CENTRE

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

### ☀ CONTACTS

**stage.ripault@cea.fr**

### CONTEXTE

Dans le contexte du développement d'une filière hydrogène pour la transition énergétique, le CEA Le Ripault, situé à 15 km au sud de Tours (Indre et Loire), conçoit, fabrique et teste des réservoirs d'hydrogène hyperbare embarqués sur des véhicules automobiles. Au bureau d'études, la conception est menée en phase avec les évolutions des besoins industriels, des réglementations applicables et des procédés de fabrication. Le comportement des réservoirs sous sollicitation thermomécanique (résistance à l'éclatement, aux accidents ou à des agressions, cycles de remplissage - vidange) est calculé par la méthode des éléments finis avec le logiciel Abaqus.

Dans la conception de ces réservoirs, on sait d'expérience qu'une liaison collée entre deux pièces s'avère souvent un « maillon faible ». La microstructure du collage (dépendante des constituants et du procédé de fabrication) est complexe à caractériser, la modélisation passe souvent par des astuces numériques un peu éloignées de la réalité, et on manque fréquemment de données expérimentales fiables (seuils de rupture de la colle) pour alimenter les calculs et aider l'interprétation des résultats. Finalement, il s'avère délicat pour l'ingénieur(e) mécanicien(ne) de garantir le comportement de la liaison collée dans le temps.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de monter en compétence sur les collages entre pièces et de mieux prédire leur comportement, en particulier pour les réservoirs d'hydrogène à liaison collée entre embase en alliage d'aluminium et liner en polymère thermoplastique. D'autres cas d'applications, en rapport avec les missions principales du Ripault, sont envisageables.

### DUREE

**6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Esprit pratique et soigneux pour la réalisation et la caractérisation des collages.**

### CENTRE

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

### CONTACTS

**[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)**

#### CONTEXTE

Ce stage s'insère dans le contexte du développement, par le bureau d'études et calculs du Ripault, d'une structure mécanique constituée de plusieurs éléments structurants. Le dimensionnement, l'optimisation et la garantie fonctionnelle de cet ensemble mécanique nécessite le recours à des calculs thermomécaniques.

Le candidat évoluera dans une équipe d'une quinzaine de personnes. Il sera encadré par un Ingénieur calcul confirmé maîtrisant les outils de simulation.

#### OBJECTIFS

Au cours de ce stage, le candidat aura deux missions principales:

- Etudier le comportement d'un élastomère compressible en s'appuyant sur la littérature existante, des essais thermomécaniques et en réalisant des simulations numériques ;
- Modéliser les contraintes résiduelles de différentes pièces mécaniques lors du process de mise en oeuvre et d'assemblage de structures polymères et composites.

#### 🕒 DUREE

**6 mois**

#### 📖 COMPETENCES REQUISES

**Connaissance du logiciel aux éléments finis ABAQUS**

#### 📍 CENTRE

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

#### ☀ CONTACTS

**stage.ripault@cea.fr**

### CONTEXTE

Une installation nucléaire va être prochainement mise en service. Elle met en oeuvre un conteneur de transfert de matière nucléaire. Les premiers essais mettent en évidence la possibilité d'en optimiser la conception

### OBJECTIFS

Rédaction de la spécification Technique des besoins.

Amélioration de la stabilité du conteneur Primaire.

Définition d'un outillage d'assemblage du conteneur permettant de simplifier la réalisation des pièces élémentaires.

Définition d'un assemblage d'ouverture fermeture du conteneur primaire.

Modification du dispositif de centrage.

Définition d'un gabarit de contrôle de la géométrie des conteneurs primaires."

### DUREE

**4 à 6 mois**

### CENTRE

**Valduc**

**21120 Is sur Tille**

**03-80-23-40-00**

### CONTACTS

**[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)**

## CONTEXTE

Une installation nucléaire va être prochainement mise en service. Elle met en oeuvre un conteneur de transfert de matière nucléaire. Les premiers essais ont mis en évidence des possibilités d'amélioration. Comme les essais de chute ont déjà été réalisés, il faut démontrer analytiquement que la reconception ne remet pas en cause sa qualification vis à vis de la tenue mécanique ou de l'étanchéité.

## OBJECTIFS

Rédaction de la spécification Technique des besoins.

Interprétation du rapport d'essais de chute.

Evaluation de l'effet des évolutions de définition.

Calcul des marges résiduelles.

Proposition de nouveaux essais de chute.

Définition des observations associées et des critères de succès.

Réalisation sur site d'un essai et dépouillement.

### DUREE

**4 à 6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Compte tenu de l'absence de moyens de calcul dans le laboratoire, le savoir faire analytique est à privilégier.**

### CENTRE

**Valduc**

**21120 Is sur Tille**

**03-80-23-40-00**

### CONTACTS

**stage.valduc@cea.fr**



## Simulation numérique 3D pour l'estimation de la déformation d'une pièce sous contrainte

MECANIQUE ET THERMIQUE

### CONTEXTE

Dans le cadre de la conception et du dimensionnement de structures assemblées et précontraintes, le DRFN souhaite être en mesure de prédire la déformation de pièces sollicitées mécaniquement. Cette démarche s'inscrit dans le cadre du processus de validation de la corrélation essai/calcul. L'enjeu est notamment de réaliser des calculs 3D afin de prendre en compte des singularités géométriques des pièces (ex : filetages/taraudages) qui peuvent impacter au premier ordre les résultats des simulations.

Selon l'état d'avancement du projet, le sujet peut aussi comporter une phase de conception mécanique et d'expérimentation qui aurait pour but de concevoir, faire fabriquer et assembler une structure sur laquelle différents contrôles et diagnostics seraient mis en place dans le but de confronter les résultats avec les prédictions calculs.

### OBJECTIFS

L'objectif est dans un premier temps d'élaborer un modèle 3D via l'utilisation des logiciels CatiaV5 et Abaqus.

Ensuite, le candidat pourra réaliser les calculs afin de prédire les résultats mais également de les comparer avec ceux issus de calculs menés sur des modèles 2D.

Enfin, la confrontation de ces résultats à ceux obtenus sur une structure réelle permettra d'estimer l'apport du modèle 3D par rapport au 2D.

#### COMPETENCES REQUISES

**Simulation numérique, calculs par éléments finis, génie mécanique, comportement des matériaux, conception mécanique.**

#### CENTRE

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

#### CONTACTS

**[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)**

MOYENS GENERAUX

&

INSTALLATIONS



## Amélioration du référentiel transport des marchandises dangereuses du centre de Valduc

### MOYENS GENERAUX ET INSTALLATIONS

#### CONTEXTE

Au sein de l'Équipe en charge du transport et sous l'encadrement du Chef de Laboratoire, le candidat sera amené à acquérir les principales connaissances relatives au transport par voie routière des marchandises dangereuses, en particulier radioactives. Il s'assurera que le référentiel est bien à jour en analysant les documents existants à partir du système qualité du CEA. En complément il contribuera à la définition d'un processus de déclinaison des autorisations de transports, permettant de garantir que les acteurs du transport interne ont une vision exhaustive des exigences applicables.

#### OBJECTIFS

L'objectif premier est de contribuer aux actions définies par le CEA notamment au travers des échanges avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire de Défense.

En fonction de l'évolution du stagiaire, le sujet pourra être agrémenté par l'établissement de modes opératoires simplifiés ou de check-list, destinés aux acteurs du transport, ce qui suppose des échanges sur le terrain.

L'objectif en second serait de décliner avec suffisamment de précision un processus transport avec toutes ses interfaces associées (Formation locale de Sécurité, Service de Protection contre les Rayonnements, Installations Nucléaires) et d'en décliner une Convention d'Interface multiple.

#### DUREE

4 à 6 mois

#### COMPETENCES REQUISES

- 1- Transports marchandises dangereuses
- 2- Sûreté nucléaire

#### CENTRE

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

#### CONTACTS

stage.valduc@cea.fr

NEUTRONIQUE

&

PHYSIQUE DES REACTEURS

### CONTEXTE

La maîtrise de la sous-criticité dans les installations nucléaires mettant en œuvre de la matière fissile passe par la production de démonstrations de sûreté-criticité. Elles s'appuient sur la fourniture de résultats de coefficients de multiplication neutronique par l'intermédiaire de codes de calculs. Certains de ces codes utilisent la méthode Monte Carlo, en simulant le transport des neutrons dans la matière.

Les procédés métallurgiques (fonderie, usinage, mise en forme...) mis en œuvre pour les programmes sont à l'origine de modifications de la géométrie de la matière fissile. Par exemple, la découpe d'une pièce génère des sous-produits, et l'impact sur la gestion du risque de criticité est du premier ordre.

L'ensemble de ces activités doivent faire l'objet de démonstrations de la sous-criticité précises, qui sont soumises à l'approbation de l'autorité de sûreté.

### OBJECTIFS

Dans ce cadre, le/la stagiaire devra quantifier l'impact du fractionnement de la matière sur le coefficient de multiplication neutronique. La méthodologie de conduite d'une étude de sûreté-criticité sera appliquée en s'appuyant sur des codes de calcul Monte-Carlo. La confrontation à des résultats existants obtenus par d'autres moyens de calculs permettra d'assurer la robustesse des résultats de l'étude.

Enfin, l'application sur des cas concrets sera réalisée afin de justifier la sous-criticité de certains procédés métallurgiques mis en œuvre.

### DUREE

**6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

### CENTRE

**Valduc**

**21120 Is sur Tille**

**03-80-23-40-00**

### CONTACTS

**[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)**

# OPTIQUE & OPTRONIQUE

## CONTEXTE

Le Laser Mégajoule (LMJ) est une grande installation de physique actuellement en exploitation au CEA/CESTA. Elle permettra d'obtenir et d'observer la fusion thermonucléaire. Le Laser Mégajoule (LMJ) est constitué de plusieurs milliers de composants optiques de grandes dimensions (typiquement 400 x 400 mm). Ces composants, de grande dimension et de qualité optique exceptionnelle, sont issus de procédés de fabrication en limite d'un savoir-faire accessible uniquement chez quelques industriels dans le monde.

L'unité d'accueil du stage a la charge d'être le garant des performances de ces composants équipants les chaînes laser. Il s'appuie pour cela sur un parc de moyens de métrologie unique en Europe en capacité de vérifier la conformité des caractéristiques optiques exigées sur les composants laser du LMJ.

## OBJECTIFS

Au milieu d'une équipe de spécialistes du domaine de la caractérisation optique, vous travaillerez en laboratoire, sur des moyens expérimentaux exceptionnels. Votre objectif sera d'adapter et d'améliorer les capacités de ces moyens.

Vous serez ainsi amenés à échanger et collaborer avec les techniciens et les ingénieurs du laboratoire, ainsi qu'avec diverses équipes internes du CEA.

### DUREE

3 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

### CONTEXTE

Le CEA CESTA (Centre d'Etudes Scientifiques et Techniques d'Aquitaine) a en charge l'exploitation du Laser Mégajoule (LMJ), installation laser de puissance localisée dans la région Bordelaise. Les caractéristiques intrinsèques des faisceaux laser et des rayons X émis lors d'une expérience sont mesurées à partir de divers capteurs spécifiques, dont les fonctions de transfert doivent être parfaitement connues.

Des bancs de métrologie ont été mis au point dans le domaine visible et X afin de répondre à ce besoin et garantir le maintien dans le temps de la performance des mesures.

### OBJECTIFS

Vous avez de solides connaissances dans le domaine de l'optique instrumentale et le développement de bancs de mesure vous attire ?

Venez rejoindre le Laboratoire en charge de l'ingénierie de la mesure pour un stage dont l'objectif est l'amélioration de nos bancs de métrologie afin de les doter de fonctionnalités supplémentaires.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Métrologie, Traitement de signal

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Le Laser Mégajoule (LMJ) est une grande installation de physique actuellement en exploitation au CEA/CESTA. Elle permettra d'obtenir et d'observer la fusion thermonucléaire. Le Laser Mégajoule (LMJ) comportera plusieurs milliers de composants optiques de grande dimension (typiquement 400 x 400 mm). Ces optiques de grande dimension et de qualité optique exceptionnelle doivent être capables de soutenir des flux laser élevés. Leur tenue au flux est en rapport avec la sophistication des procédés de fabrication développés. Le Laboratoire en charge des technologies des optiques du CESTA a la charge de l'approvisionnement et de l'amélioration des performances de ces composants optiques.

## OBJECTIFS

Au milieu d'une équipe de spécialistes du domaine, vous travaillerez sur des moyens expérimentaux de laboratoire et de métrologie optique exceptionnels dans le but d'améliorer la durée de vie et les performances optiques des composants laser du LMJ. Vous serez amenés à collaborer avec diverses équipes internes CEA mais également externes (académiques et industriels).

## DUREE

3 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

## CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

## CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Les très grands lasers de puissance comme le Laser Mégajoule (LMJ) ou PETAL sont constitués d'un système laser appelé "pilote" chargé de créer et mettre en forme des impulsions qui sont ensuite amplifiées pour atteindre une énergie de l'ordre de la dizaine de kilojoules. Le pilote, composé d'une source et d'un pré-amplificateur, a un rôle primordial car c'est à son niveau que toutes les caractéristiques du faisceau laser sont produites. Dans l'unité en charge des technologies laser au sein du CEA/CESTA en charge des pilotes LMJ et PETAL vous participerez au développement des nouvelles sources laser ainsi qu'aux transferts technologiques vers les équipes d'exploitants. Vous serez amenés à concevoir des sous-ensembles et redéfinir leurs fonctions associées. De plus, vous suivrez la réalisation des prototypes industriels fonctionnels et participerez à leur qualification. Il s'agit d'un travail d'ingénierie en optique et optroélectronique au sein d'une organisation en projets.

## OBJECTIFS

Dans l'unité en charge des technologies laser au sein du CEA/CESTA en charge des pilotes LMJ et PETAL vous participerez au développement des nouvelles sources laser ainsi qu'aux transferts technologiques vers les équipes d'exploitants. Vous serez amenés à concevoir des sous-ensembles et redéfinir leurs fonctions associées. De plus, vous suivrez la réalisation des prototypes industriels fonctionnels et participerez à leur qualification. Il s'agit d'un travail d'ingénierie en optique et optroélectronique au sein d'une organisation en projets.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Laser, Fibres optiques, Optronique

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Les très grands lasers de puissance comme le Laser Mégajoule (LMJ) ou PETAL sont constitués d'un système laser appelé "pilote" chargé de créer et mettre en forme des impulsions qui sont ensuite amplifiées pour atteindre une énergie de l'ordre de la dizaine de kilojoules. Le pilote a un rôle primordial car c'est à son niveau que toutes les caractéristiques du faisceau laser sont produites. L'unité en charge des technologies laser au sein du CEA/CESTA développe différentes briques technologiques novatrices (amplificateurs ytterbium de forte énergie, sources semi-conducteur, fibres à réseaux de Bragg, amplificateurs paramétriques optiques, systèmes fibrés de correction de phase) en vue d'être intégrées dans les "pilotes" de nouvelle génération.

## OBJECTIFS

Le sujet de stage proposé consiste à participer aux travaux expérimentaux et/ou numériques de développement de ces briques technologiques dans l'objectif de mettre au point des systèmes exploitables dans le contexte exigeant des grands lasers de puissance.

Ce sujet permettra au candidat de mettre à profit ou d'élargir ses compétences en laser, fibres optiques, optique non linéaire, mises en forme et caractérisation d'impulsions.

Les développements seront menés dans le cadre du laboratoire de recherche conventionné SyLFE qui regroupe l'équipe du CEA/CESTA et l'équipe Photonique du laboratoire PhLAM/IRCICA (université de Lille)."

## DUREE

4 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Laser, Fibres optiques, Optique non-linéaire

## CENTRE

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

## CONTACTS

stage.cesta@cea.fr



## Evaluation des performances du lissage optique du Laser Mégajoule avec Anti-Brillouin

OPTIQUE ET OPTRONIQUE

### 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 atteints ( $>1E15$  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 donc été mises en place pour tenter d'améliorer la propagation du faisceau. 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 placée en bout de chaîne qui va répartir l'énergie laser en une multitude de grains de lumière appelés points chauds. Sur le LMJ, la brisure de cohérence temporelle s'effectue grâce à deux modulateurs de phase sinusoïdaux (désignés par les termes « anti-Brillouin » et « lissage »). Le rôle premier du modulateur « Anti-Brillouin » est de limiter les effets néfastes de la rétrodiffusion Brillouin dans les optiques de fin de chaîne. Jusqu'à présent, seul le modulateur « lissage » était pris en compte dans les études sur les performances du lissage optique car c'est lui qui crée la plus grande partie de l'élargissement spectral. Néanmoins, cette approximation n'apparaît pas aujourd'hui suffisamment justifiée. Elle ne permet en particulier pas de modéliser des phénomènes dus à la différence de fréquence entre les deux modulateurs.

### OBJECTIFS

Le but du stage proposé est de réaliser des études numériques pour évaluer l'influence de la prise en compte du modulateur anti-Brillouin grâce à de nombreux outils de diagnostics et à deux codes numériques de notre laboratoire. Le premier est le code de « champ total » LMJ\_FOC qui permet de calculer le champ électromagnétique arrivant dans le vide dans les configurations lasers de type LMJ. Le second est le code PARAX qui résout la propagation d'un faisceau laser lissé dans un plasma sous-critique de fusion inertielle. Ces deux codes ont été utilisés depuis plusieurs années et ont donné lieu à de nombreuses publications.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Optique, laser, physique des plasmas

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Le CEA Gramat développe des systèmes optoélectroniques ultra-rapides pour mesurer des grandeurs physiques. Le diagnostic concerné pour ce stage est un vélocimètre ultra-rapide utilisant un discriminateur fibré. Ce système est basé sur le principe de l'effet Doppler et permet de mesurer sans contact des vitesses de déplacement de surface libre ou de choc de plusieurs km/s. La visée laser se fait avec un collimateur ou un focaliseur connecté à une fibre optique monomode. Ce nouveau système est différent de la Vélocimètre Hétérodyne (VH) et sera utilisé dans cette étude comme diagnostic de référence. Le but de ce stage est de le caractériser en laboratoire, notamment afin d'obtenir les courbes d'étalonnages. Enfin, ce nouveau système sera mis en œuvre sur des campagnes de mesures comparatives avec les systèmes classiques.

## OBJECTIFS

Une première partie de ce travail consistera à assimiler le fonctionnement du système à étudier et du système de référence, ainsi que son outil d'exploitation. La deuxième partie de ce travail consistera à obtenir en laboratoire laser les courbes d'étalonnages. Le banc de tests pourra être adapté suivant les besoins. La dernière partie sera consacrée à la validation expérimentale et l'exploitation des résultats. Un premier outil de traitement du signal devra être généré avec une première étude sur les incertitudes de mesure. Le candidat confrontera ses résultats expérimentaux à ceux obtenus avec le système de référence.

Au vu des conclusions, le rapport de stage fera également apparaître les évolutions à réaliser et les différentes perspectives envisagées. De bons résultats générés durant ce stage pourraient être inclus dans un article scientifique dont le stagiaire serait de fait co-auteur.

"

### DUREE

4 à 6 mois

### CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

### CONTACTS

[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)

## CONTEXTE

L'amorçage par laser de matériaux énergétiques est une alternative intéressante à l'amorçage électrique habituellement utilisé. D'un point de vue de la sécurité, cela permet de s'affranchir des risques liés aux décharges électriques et électrostatiques puisqu'aucun conducteur n'est au contact du détonateur. D'autre part, cela permet également d'éloigner la source d'énergie initiatrice à plusieurs dizaines de mètres du détonateur contre quelques mètres pour l'amorçage électrique.

Un détonateur optique est en cours de développement au laboratoire. Son principe de fonctionnement repose sur l'utilisation d'un laser impulsionnel nanoseconde qui, focalisé sur un dépôt multicouche déposé sur une fenêtre de verre, permet de générer un projectile d'aluminium dont l'impact va faire détoner un chargement d'explosif pulvérulent. Le détonateur est opérationnel mais l'ensemble des éléments doivent être optimisés et les phénomènes physiques maîtrisés afin de garantir la meilleure fiabilité au système.

## OBJECTIFS

Parmi les différents éléments constituant le détonateur, il s'agira à l'occasion de ce stage, d'optimiser la composition des dépôts multicouche afin de générer un projectile offrant les performances permettant de dépasser le plus largement possible le seuil d'amorçage de l'explosif. En particulier, on cherchera à déterminer l'épaisseur optimale de la couche d'aluminium.

Le stage comportera une partie expérimentale importante incluant la mise en œuvre du détonateur ainsi que l'utilisation de diagnostics optiques de pointe tels que la vélocimétrie hétérodyne pour mesurer la vitesse des projectiles.

Les travaux expérimentaux seront associés à des simulations à l'aide d'un code de calcul 1D d'interaction laser-matière qui permet de déterminer la vitesse des projectiles en fonction de nombreux paramètres. Suivant l'avancée des travaux, des simulations hydrodynamiques pourront être effectuées afin d'étudier des effets 2D tels que l'influence du diamètre du projectile.

Ce stage pourra se poursuivre par une thèse dont l'objectif sera d'optimiser l'ensemble du dispositif d'amorçage optique.

## DUREE

6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Compétences souhaitées dans certains des domaines suivants : optique, lasers, interaction laser-matière, chocs, détonique... Aspects expérimentaux et simulations.

## CENTRE

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

## CONTACTS

[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)

# PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSE

## CHIMIE & NANOSCIENCES

## 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 offrent une aide inestimable à l'exploration d'un vaste espace physico-chimique disponible. Certains composés magnétiques, aussi appelés isolants de Mott, présentent une corrélation électronique remarquable caractérisée par une transition brutale de leur conduction électronique, affectant sensiblement leur employabilité. L'effet de cette transition sur les autres propriétés élastiques, magnétiques et leur couplage est un vaste sujet de recherche très actif et pour lequel aucun consensus sur les mécanismes à l'œuvre n'émerge encore.

## OBJECTIFS

Le travail de stage portera sur l'utilisation de la théorie de la fonctionnelle de la densité électronique pour traiter des oxydes magnétiques corrélés à l'aide de codes numériques haute performance développés au CEA. On s'attachera en particulier à déterminer l'intensité de l'interaction élastique, magnétique et du couplage dans ces composés afin de donner une image cohérente des mécanismes à l'œuvre. Une collaboration étroite avec d'autres équipes du CEA engagées sur cette thématique est envisagée.

## DUREE

3 à 5 mois

## COMPETENCES REQUISES

Il est demandé au candidat une forte motivation et un vif intérêt pour la théorie et le calcul, ainsi que pour les travaux interdisciplinaires entre physique et science des matériaux. Une expérience antérieure en environnement Linux et en programmation es

## CENTRE

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

## CONTACTS

stage.ripault@cea.fr

PHYSIQUE DU NOYAU,

ATOME,

MOLECULE

## CONTEXTE

L'installation EPURE située sur le centre de Valduc près de Dijon permet de faire des études hydrodynamiques. Elle utilise un accélérateur impulsif d'électrons qui va émettre une forte bouffée de rayonnement x pour radiographier un objet soumis à de fortes pressions.

L'installation sera complétée prochainement de deux nouvelles sources X dont une à base d'un même accélérateur.

La qualité des images obtenues repose beaucoup sur la capacité de maîtriser le comportement du faisceau d'électrons au moment où il est focalisé sur la cible de conversion électrons/X.

Au sein du CEA-CESTA, à côté de Bordeaux, ces études et développement sont réalisées à l'aide de code de simulation.

## OBJECTIFS

L'objet du stage consistera à contribuer à améliorer/ développer les outils de simulation du transport du faisceau dans une perspective de diminution de la taille du faisceau lors de la focalisation finale.

Le stagiaire sera en interface avec les utilisateurs d'EPURE et assurera l'aide et le "SAV" de ces outils

Ce travail s'appuiera sur de la bibliographie, des codes de transport existants et le retour des utilisateurs d'EPURE.

Le stagiaire s'occupera également de l'interface entre les utilisateurs et le sous-traitants de l'interface de dynamique de faisceau. Le stage se déroulera au CEA/CESTA à proximité de Bordeaux.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Physique relativiste,  
Electromagnétismes,  
Programmation (C++, python)  
Utilisation de code de simulation

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

### CONTEXTE

La simulation des plasmas s'effectue au moyen d'une hiérarchie de modèles qui reposent, sans exception, sur des hypothèses physiques limitant leurs domaines de validité. Dans les modèles hydrodynamiques, indispensables à la simulation des grandes échelles, l'hypothèse de faible déviation à l'équilibre thermodynamique local impose que les temps de relaxation des phénomènes microscopiques soient très inférieurs aux temps caractéristiques d'évolution de la dynamique macroscopique. Il est acté que cette hypothèse est en défaut dans le phénomène de collision de plasmas (i.e. lors de la rencontre de deux amas de plasmas, chacun initialement à l'équilibre thermodynamique) pour un domaine de paramètres intersectant les conditions typiques des plasmas de Fusion par Confinement Inertiel (FCI). Dans le but de pouvoir modéliser correctement la collision de plasmas dans les codes hydrodynamiques, il est nécessaire d'appréhender la dynamique complexe de ce phénomène à un niveau plus élémentaire et recourir à minima à une description cinétique.

### OBJECTIFS

Comprendre et quantifier l'influence de la dynamique électronique et des champs moyens dans le phénomène de collision de plasmas. L'aspect non-linéaire et hautement hors-équilibre de ce phénomène impose l'utilisation de l'outil numérique pour cette étude. On utilisera un code de type Particle-In-Cell (PIC), permettant la description cinétique des plasmas en modélisant explicitement les espèces ioniques et électroniques, ainsi que les champs électriques associés. En étudiant des situations physiques simples (collision de deux amas en mouvement d'ensemble relatif, détente de parois se faisant face, milieux homogènes en mouvements relatifs, etc...) il s'agira de déterminer comment s'effectue le couplage de l'espèce électronique avec les différents amas ioniques. Pour cela, il faudra réaliser la mise en œuvre d'expériences numériques permettant d'étudier les mécanismes physiques sous-jacents.

Parmi les questions ouvertes auxquelles on pourra s'intéresser : 1) mécanismes non-collisionnels induits par les champs moyens et la composante électronique ; 2) validité de l'approximation de Born-Oppenheimer sur la composante électronique ; 3) rôle de l'aspect multi-vitesse sur le "flux de chaleur électronique" ; 4) influence de la relaxation collisionnelle par l'utilisation d'opérateurs collisions appropriés ; 5) influence de l'état de charge moyen des amas d'ions."

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

Dans les expériences de fusion par confinement inertiel (FCI) en attaque indirecte comme menées sur le Laser Mégajoule (LMJ) en France et le « National Ignition Facility » aux Etats-Unis, des faisceaux laser intenses se propagent dans un plasma sur de longues distances. De nombreux phénomènes résultent de cette interaction laser/plasma tels que la rétrodiffusion des lasers due aux instabilités « Raman » et « Brillouin » qui vont conduire à une perte importante de l'énergie laser incidente. Dans le cas de la diffusion Raman où l'onde électromagnétique incidente se couple avec une onde plasma électronique, une génération d'électrons de grandes énergies va intervenir. Ces électrons supra-thermiques vont potentiellement avoir un impact sur la dynamique de l'implosion de la cible par un effet de préchauffage et ne sont pas pris en compte actuellement dans les modélisations fluides. Un modèle ayant été récemment développé pour décrire le transport de ces électrons, il reste à quantifier les caractéristiques de la source de ces derniers. L'objectif de ce stage est de caractériser par des simulations « Particle-in-cell » (PIC) les mécanismes générant ces électrons dans des configurations de complexités croissantes, de géométrie 1D à 2D et avec des profils lasers réalistes de type faisceaux lissés spatialement, présentant une structure particulière sur le profil d'intensité de l'onde électromagnétique.

### OBJECTIFS

Dans le cas de la diffusion Raman stimulé où une onde électromagnétique incidente se couple avec une onde plasma électronique, une génération d'électrons dit supra-thermiques va avoir un impact sur l'implosion de la cible par un effet de préchauffage, et ils ne sont pas pris en compte dans les modélisations fluides. L'objectif de ce stage est de caractériser par des simulations « Particle-in-cell » les mécanismes générant ces électrons de hautes énergies dans des configurations de complexités croissantes, de géométrie 1D à 2D et avec des profils lasers réalistes de type faisceaux lissés spatialement. Au cours du stage le(a) candidat(e) se familiarisera avec le sujet en étudiant les différentes instabilités conduisant à des électrons supra-thermique en FCI, puis il(elle) cherchera par l'intermédiaire des simulations cinétiques à décrire les distributions énergétiques et angulaires de ces électrons.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Physique des plasmas lasers et mécanismes de génération des électrons suprathermique

Bibliographie

Code cinétique « particle-in-cell »

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Dans le contexte de la fusion par confinement inertiel comme sur le Laser Mégajoule (LMJ) en France et le « National Ignition Facility » aux Etats-Unis, on utilise le schéma dit d'attaque indirecte. Dans ce dernier de nombreux faisceaux lasers vont se propager à travers quelques millimètres de plasma. Ainsi, la bonne connaissance des plasmas créés par lasers est essentielle à la compréhension des expériences qui ont lieu sur ces lasers énergétiques. La compréhension de toutes expériences lasers de hautes densités d'énergie nécessite la connaissance de la température électronique de ces plasmas générés par des lasers intenses. La modélisation de ce chauffage électronique est actuellement faite par une approche fluide des plasmas, ce qui reste limité dès que de forts gradients de température parfois comparables au libre parcours moyen des particules transportant la chaleur apparaissent. L'approximation hydrodynamique devient alors fautive et une approche cinétique est nécessaire pour calculer le transport de chaleur et la prise en compte des champs magnétiques.

Le code cinétique OSHUN modélisant l'évolution de la fonction de distribution électronique couplée aux équations de Maxwell en 1D/2D, peut être utilisé dans ce contexte.

## OBJECTIFS

La compréhension de toutes expériences lasers de hautes densités d'énergie nécessite la connaissance de la température électronique de ces plasmas générés par des lasers intenses.

La modélisation de ce chauffage électronique est actuellement faite par une approche fluide des plasmas, ce qui reste limité dès que de forts gradients de température parfois comparables au libre parcours moyen des particules transportant la chaleur apparaissent. L'approximation hydrodynamique devient fautive et une approche cinétique est nécessaire.

L'objectif du stage sera donc de prendre en main le code cinétique OSHUN modélisant l'évolution de la fonction de distribution électronique couplée aux équations de Maxwell en 1D/2D et par des comparaisons avec des résultats de simulations de référence faites avec un code "Particle-in-cell" (PIC) de valider cet outil. Au cours du stage, différents cas tests seront étudiés en plasma magnétisé ou non, et pourront être aussi comparés aux résultats de simulations hydrodynamiques.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Physique des plasmas lasers et modélisation du transport électronique  
Bibliographie  
Code Fokker-Planck électronique

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Une connaissance approfondie du comportement des défauts ponctuels est primordiale pour comprendre et contrôler les effets d'irradiation dans les matériaux. Les méthodes de calculs dites ab initio jouent un rôle important dans cette compréhension, car, contrairement à un travail expérimental, elles permettent d'étudier différents mécanismes élémentaires de façon indépendante. L'étude de ces défauts ponctuels, leurs migrations et leurs modes de vibrations, font appel à différentes méthodes de calculs, toutes déjà implémentées dans le code open-source ABINIT ([www.abinit.org](http://www.abinit.org)) parfaitement adapté pour un usage sur les supercalculateurs du CEA et auxquels l'étudiant(e) aura accès durant le stage. Le code ABINIT est développé dans le cadre d'une collaboration internationale, dans laquelle notre laboratoire est l'un des principaux acteurs. L'étude requiert également l'utilisation d'outils numériques (scripts en langage python) que le(a) stagiaire pourra être amené(e) à améliorer et développer.

## OBJECTIFS

L'objectif du stage sera d'obtenir, par calcul ab initio, différentes grandeurs permettant le calcul de coefficients de diffusion en température pour plusieurs défauts ponctuels dans un matériau d'intérêt. Le stage débutera par la prise en main des différentes méthodes de calcul : calcul d'énergie de défaut, calcul de chemin de transition et de spectres de phonons. Puis dans une seconde partie, le calcul de plusieurs grandeurs thermodynamiques nécessaires au calcul d'un coefficient de diffusion.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Développement d'outils numériques (python, fortran) ; Formation en Physique du Solide ; Programmation informatique

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

L'évolution d'un plasma soumis à un champ magnétique est susceptible de faire apparaître des cavités dites diamagnétiques, régions au sein desquelles le champ magnétique est plus faible que le champ initial. Ce phénomène peut se produire par exemple lors de la détente d'un plasma au travers des lignes de champ magnétique. Les courants électriques induits dans le milieu génèrent alors un champ magnétique qui tend à s'opposer au champ magnétique appliqué.

Dans les années 80 et 90, des expériences exo-atmosphériques de largage de Barium ont été menées aux Etats-Unis pour comprendre l'évolution d'un plasma soumis au champ magnétique terrestre. Une cavité diamagnétique d'environ 200 km de rayon a été observée, avec formation de structurations spatiales de la densité de plasma appelées striations.

A cette même époque, des expériences plasma-laser ont montré des résultats similaires avec création de cavités diamagnétiques suivie d'instabilités variées. Ces instabilités s'initient à petite longueur d'onde et évoluent pour former des stries de plus grandes longueurs par des effets nonlinéaires de coalescence. Plus récemment, de nouvelles expériences plasma-laser se sont concentrées sur d'autres régimes de croissance de cavité, notamment liés à la présence d'ions rapides dont la vitesse est supérieure à la vitesse d'Alfvén.

Les comparaisons simulations-expériences sont nombreuses et multiples dans leurs approches. On recense dans la littérature des simulations utilisant des modélisations fluide, hybride et particulaire, chacune permettant de décrire différents régimes et différents types d'instabilité en fonction du domaine de longueurs d'onde étudié. En utilisant l'approche fluide magnétohydrodynamique MHD, il a été montré que la création d'une cavité peut être reproduite avec un modèle MHD idéale mais qu'un modèle MHD-Hall est nécessaire, dans certains cas, pour faire apparaître des instabilités de type striations.

### OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est de simuler l'évolution d'une cavité diamagnétique accompagnée de l'apparition de striations, dans les conditions les plus proches possibles des expériences issues de la littérature. Pour cela, on effectuera une recherche bibliographique sur les conditions expérimentales et de simulation dans lesquelles les cavités diamagnétiques sont créées. On s'appuiera ensuite sur le code de calcul du CEA/DAM qui résout les équations de la magnétohydrodynamique idéale et non-idéale pour réaliser des simulations.

### DUREE

**6 mois**

### CENTRE

**DAM - Île-de-France**

**Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon**

**01-69-26-40-00**

### CONTACTS

**stage.dif@cea.fr**

## CONTEXTE

L'ionosphère terrestre est un milieu partiellement ionisé et magnétisé, situé entre 80 et 2000 km d'altitude, déterminé par une dynamique complexe. Les effets du flux solaire, radiatif ou particulaire, des champs électriques, des vents de neutres ou encore de la gravité perturbent le milieu et peuvent déclencher des instabilités. La conséquence est une structuration du plasma à des échelles spatiales très variées. Les fluctuations de densité qui en résultent sont susceptibles d'affecter la propagation des ondes électromagnétiques basse fréquence (ondes radio) mais également haute fréquence, ce qui devient critique pour les systèmes de navigation par satellite.

Parmi les instabilités qui entrent en jeu, on retiendra l'instabilité de Rayleigh-Taylor généralisée. Si l'instabilité de Rayleigh-Taylor classique est liée au gradient de pression entre deux fluides de densités différentes sous l'action de la gravité, l'instabilité de Rayleigh-Taylor généralisée comprend des termes supplémentaires, issus des forces électromagnétiques et de friction notamment.

Les « Equatorial Plasma Bubble » (EPB) sont des bulles de plasma de faible densité, d'environ une dizaine ou centaine de kilomètres de diamètre, qui apparaissent près de l'équateur et dont l'origine pourrait être liée à l'instabilité de Rayleigh-Taylor généralisée. Ces EPB, qui s'élèvent dans l'ionosphère, sont observées par des radars à diffusion incohérente et donnent naissance à des « Equatorial spread F ». Actuellement, l'évolution de ces bulles et leurs interactions dans l'ionosphère ne sont pas totalement comprises. Des études analytiques, dans les régimes linéaire et non-linéaire, existent, ainsi que des codes de calcul basés sur des modèles très différents, comme le modèle de striation, le modèle dynamo, et le modèle complet de la magnétohydrodynamique, mais ne reproduisent qu'une partie des phénomènes.

## OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est d'avancer sur la compréhension des mécanismes qui régissent l'évolution des EPB dans l'ionosphère. Pour cela, on s'appuiera sur les codes du CEA/DAM : un code de calcul qui résout les équations de la magnétohydrodynamique (MHD) d'un plasma ionosphérique et un code de calcul qui résout le modèle striation ou dynamo, approche simplifiée du système MHD. Les résultats obtenus pourront être comparés à ceux issus d'une approche analytique.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Lorsqu'une étoile explose en supernova (SN), elle génère une onde de souffle (cas particulier d'une onde de choc) sphérique qui s'expand dans le milieu environnant. Cet évènement astrophysique assez bien compris est décrit par la théorie de Sedov et de Taylor élaborée vers 1950. Elle donne la variation temporelle du rayon et de la vitesse de l'onde en fonction de l'énergie  $E$  dégagée par la SN. Cette théorie a le mérite d'être très simple, mais c'est aussi son handicap car elle ne prend pas en compte certains aspects qui peuvent devenir essentiels dans certaines phases de l'évolution de l'onde de souffle. Ainsi, par exemple, pour la nébuleuse du Crabe (SN observée en 1054 par les Chinois et toujours détectable grâce aux grands télescopes), on soupçonne le champ magnétique régnant dans le milieu interstellaire d'avoir un effet sur la dynamique de l'onde.

Afin de mieux comprendre ce phénomène, des expériences tentant de le reproduire sont menées dans divers laboratoires à l'aide de grands lasers en ajoutant un champ magnétique externe  $B$  [1]. Cette nouvelle approche s'appelle « l'astrophysique de laboratoire » et, parallèlement au volet expérimental, elle comporte des simulations numériques afin de restituer les résultats expérimentaux et de valider certaines hypothèses théoriques. C'est ce point qui constitue l'objet du stage. En effet, supposant deux expériences effectuées, l'une à une énergie  $E_1$  et un champ magnétique  $B_1$ , l'autre à  $E_2$  avec un champ  $B_2$ , nous avons récemment établi des lois théoriques (appelées lois d'échelle) reliant les expériences. L'objectif de ce travail est de tester ces lois grâce à des simulations numériques. Une thèse est en cours et plusieurs stages de 6 mois ont déjà eu lieu.

## OBJECTIFS

Au cours du stage, le(a) stagiaire aura pour mission de tester les lois d'échelles analytiques (dédites dans une situation idéale) par des simulations numériques réalistes qui seront effectuées avec un code de magnéto-hydrodynamique (MHD) appelé CLOVIS. Typiquement, l'étudiant(e) effectuera une simulation de référence pour une énergie  $E_0$  avec un champ magnétique  $B_0$ . Il (elle) réalisera ensuite plusieurs simulations pour différentes valeurs du couple énergie-champ  $(E_i, B_i)$ . A partir de ses résultats numériques, il(elle) étudiera l'applicabilité des lois d'échelles : il(elle) examinera la possibilité de déduire les résultats pour  $(E_i, B_i)$  à partir de ceux obtenus pour le couple  $(E_0, B_0)$ .

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Physique, simulations numériques

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

L'accélération faisceau-plasma est l'une des techniques envisagées pour générer des faisceaux de particules très énergétiques et venir concurrencer à long terme les grands accélérateurs conventionnels. Son principal avantage repose sur les grands champs accélérateurs qu'elle permet de générer – de typiquement 2 ordres de grandeur supérieurs aux accélérateurs conventionnels – ce qui permet de réduire d'autant la taille des accélérateurs. L'accélération faisceau-plasma se produit lorsqu'un premier faisceau de particules déjà accéléré est focalisé et se propage dans un plasma peu dense issu d'un gaz ionisé. Les champs propres de ce faisceau mettent en mouvement les électrons du plasma, ce qui génère une onde plasma dans le sillage du faisceau, cette onde de sillage étant caractérisée par des champs électriques accélérateurs de très grandes amplitudes. L'injection d'un second faisceau d'électrons ou de positrons dans cette onde de sillage permet d'accélérer très fortement ce dernier. De nombreuses interrogations théoriques et expérimentales nous imposent de recourir à des simulations pour mieux comprendre et optimiser ces accélérateurs. La dynamique des deux faisceaux et du plasma ne peut être simulé qu'à l'aide d'un code « Particle-In-Cell » (PIC), qui modélise le couplage entre les champs électromagnétiques et les particules chargées qui sont décrites de manière cinétique.

## OBJECTIFS

Bien que notre code PIC CALDER soit efficacement parallélisé et tourne sur plusieurs milliers de cœurs de manière routinière, les simulations PIC d'accélération faisceau-plasma, surtout lorsqu'elles sont 3D, nécessitent toujours des calculs très longs. Afin d'accélérer considérablement le calcul, il sera demandé de développer et d'implémenter un modèle quasi-statique dans CALDER. L'hypothèse quasi-statique repose sur la capacité à découpler les évolutions rapides de l'onde plasma, et lentes des faisceaux de particules relativistes. Après la compréhension des implications et limitations physiques et mathématiques de cette hypothèse, le(a) stagiaire devra implémenter le modèle quasi-statique dans la version 2D de CALDER, puis le valider et tester les limites de ce modèle. Selon la durée du stage, ce travail pourra être étendu à la géométrie 3D et l'étudiant(e) pourra travailler sur l'optimisation du parallélisme du code lorsque le modèle quasi-statique est utilisé.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

De nombreuses expériences ayant pour objectif de mieux comprendre le comportement de la matière dans des régimes extrêmes et sur des échelles de temps très courtes (en physique des plasmas, physique du solide, physique atomique, etc.) nécessitent de recourir à des sources de rayonnement X pour radiographier l'objet étudié, ou réaliser une spectroscopie dans le domaine X. L'obtention d'une source X ponctuelle (avec une taille proche de 10 microns de diamètre) une durée très courte (proche de la picoseconde) est nécessaire pour les applications nécessitant une très bonne résolution temporelle et spatiale. L'interaction d'un laser d'ultra haute intensité (UHI) avec une cible de petite taille permet de générer de telles sources : le laser ionise la cible grâce à ses forts champs qui accélèrent ensuite les électrons ionisés dans la cible. Ceux-ci émettent alors du rayonnement X via différent processus : collisionnel (Bremsstrahlung) ou atomiques (e.g. émission de raie  $K\alpha$ ). La courte durée des lasers UHI assure d'obtenir une courte durée d'émission. La forme et la taille de la cible permettent de limiter l'extension de la zone émissive. Si le principe de base de ces sources est compris, il est à ce jour difficile d'estimer avec précision les propriétés ou le rendement qu'on peut attendre de ces sources sur de nouvelles installations lasers.

### OBJECTIFS

Le but du travail demandé sera de simuler ces sources avec le code CALDER, qui est un code de type Particle-In-Cell (PIC) et d'en améliorer la compréhension. Ce code permet de simuler l'interaction d'un laser UHI avec un plasma. Il est développé en interne et il est utilisé sur les supercalculateurs du CEA. Le(a) stagiaire aura pour mission de modéliser des expériences récentes ou prochaines servant à développer ces sources X. CALDER sera aussi interfacé avec un code de type Monte Carlo comme GEANT4 afin de mieux calculé le rayonnement  $K\alpha$  émis. A partir de ces simulations, le(a) stagiaire cherchera à comprendre les effets physiques prépondérants qui entrent en jeu dans ces sources et à proposer des modèles physiques simplifiés pour les décrire. La compréhension nouvelle de ces sources permettra de proposer des améliorations au design des cibles.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

L'installation Laser Megajoule (LMJ) permet de produire des plasmas ayant des températures supérieures au million de degrés, ainsi que des pressions pouvant atteindre plusieurs millions d'atmosphères. Ces plasmas sont produits dans le cadre d'expériences pour la Fusion par Confinement Inertiel (FCI), ou pour des mesures d'astrophysique de laboratoire.

Pour réaliser ces expériences, des cibles de taille millimétrique sont fabriquées. Elles peuvent être relativement simples ou constituées de nombreux éléments. Une ou plusieurs parties de la cible sont ensuite irradiées directement par les lasers ou par une source de rayonnement X intense. Ces irradiations peuvent produire un choc qui va se propager à l'intérieur du matériau. Si certaines conditions sont réunies, ce choc produira une fragmentation du milieu. Ce fragment peut avoir une vitesse de plusieurs km/s, et peut endommager les équipements indispensables ou bon déroulement des campagnes expérimentales, tel que les diagnostics de mesure ou les optiques laser.

C'est pourquoi, des études en amont sont réalisées afin de déterminer quelles sont les sources potentielles génératrices de fragments. La conception des cibles est alors revue, soit en orientant les éléments différemment, soit en changeant la nature et/ou l'épaisseur du matériau, soit en définissant un par-éclat adapté.

Les études de génération de fragment sont réalisées à l'aide du code de simulation ESTHER. C'est un code hydrodynamique monodimensionnel, simulant l'interaction laser-matière ou rayonnement X-matière, les transitions de phase solide-liquide-plasma, ainsi que la dynamique de fragmentation.

### OBJECTIFS

Le but du stage est de constituer des abaques qui serviront à guider la définition des composants d'une cible utilisée lors d'expériences réalisées sur les installations lasers. La méthodologie utilisée pour produire les abaques sera détaillée dans un rapport.

Le stage sera décomposé en quatre phases :

- 1- compréhension de la physique mise en jeu,
- 2- prise en main du logiciel de simulation,
- 3- mise en place d'outils permettant de générer les abaques,
- 4- écriture du rapport et présentation des résultats.

En fonction des plannings expérimentaux, une participation à la définition/réalisation d'une campagne sera envisagée.

### DUREE

4 à 6 mois

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

# QUALITE & ENVIRONNEMENT

### CONTEXTE

Le CEA DAM Ile-de-France dispose d'un accélérateur électrostatique Tandem 7 MV, de type Van de Graaff, permettant d'accélérer des ions. Cette installation de 1964 possède un historique avec une documentation papier à organiser intégralement.

En effet, la documentation de cet accélérateur comprend des plans, des notices de fonctionnement, des cahiers d'expérience, etc... à réorganiser afin que cette dernière soit utile pour l'exploitation de l'installation.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de regarder l'ensemble de ces documents, leurs contenus et de sélectionner les documents à conserver en collaboration avec l'équipe. Pour les documents à conserver, le(a) stagiaire devra proposer par sa méthodologie, une organisation d'archivage pour ensuite le réaliser physiquement.

Ce stage s'adresse à un(e) étudiant(e) en licence professionnelle métiers de l'information : archives, médiation et patrimoine.

#### DUREE

2 mois

#### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

#### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Situé à 15 km de Tours, le centre du CEA Le Ripault concentre tous les métiers et compétences scientifiques et techniques pour la mise au point de nouveaux matériaux, depuis leur développement (conception, synthèse, sécurité et fiabilité d'emploi) jusqu'à leur industrialisation (procédés de mise en œuvre et intégration système). Cette expertise, de l'amont à l'aval, développée au service de la Défense, trouve de nombreuses applications dans le domaine civil, profitant aussi bien à de grands industriels qu'à des PME.

## OBJECTIFS

Le CEA Le Ripault recherche un stagiaire en qualité et management de projets.

Dans le cadre de la mise en œuvre du système de management au sein de l'unité en charge des explosifs, vous aiderez à la mise en place d'indicateurs pertinents et efficaces tant au niveau des projets techniques, de la qualité, de la sécurité et du management. Vous serez également amené à être force de proposition dans le suivi des actions liées au système de management (techniques, QSE, ...).

Le stagiaire sera rattaché à l'échelon central de l'unité et apportera un soutien aux différents services dans la mise en place de leurs indicateurs plus fins. Il sera amené à piloter, animer et participer à différentes réunions de travail.

### DUREE

**6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Le candidat devra être motivé, avoir le sens du relationnel. Il devra faire preuve d'initiatives, de rigueur et d'autonomie tout au long de son stage.**

### CENTRE

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

### CONTACTS

**[stage.ripault@cea.fr](mailto:stage.ripault@cea.fr)**

SCIENCE DE LA TERRE  
&  
DE L'ENVIRONNEMENT

## CONTEXTE

L'atoll de Mururoa se déforme et est affecté par des événements microsismiques. La localisation hypocentrale de ces séismes et relâchements de contraintes nucléés dans la couronne est associée à de fortes incertitudes et biais. Par ailleurs, la base d'événements sismiques gagnerait à être enrichie par un travail de recherche systématique d'événements par template matching. La méconnaissance que nous avons du modèle de vitesse local affecte nécessairement la qualité des localisations. Une quantification de l'influence de ce modèle sur les localisations hypocentrales est nécessaire pour associer des pondérations aux différents modèles interprétatifs de l'activité sismique. Deux modèles de vitesse sont d'ores et déjà disponibles, le modèle de vitesse 1D pris en compte dans le « workflow » géophysique, et un second plus récent déduit de la nature des roches. Un troisième modèle est en cours de construction sur la base de mesures effectuées sur des échantillons prélevés en forage.

## OBJECTIFS

Ce stage aura pour objectif la caractérisation de la sismicité enregistrée et des incertitudes de l'ensemble des paramètres associés. Le travail comprendra une étude de sensibilité reliant localisation, algorithme de localisation et modèle de vitesse. Il sera complété par un travail de détermination de templates pour enrichir le catalogue et tenter une classification d'événements en fonction de leur nature.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Travail sous environnement linux;  
connaissances en sismologie.

### CENTRE

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

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

La présence de structures complexes au voisinage de la source sismique influence fortement la forme du champ d'onde sismique (Rodgers et al., 2010), ainsi leur prise en compte est nécessaire dans une procédure d'inversion de source. Simuler l'effet de ces structures complexes est numériquement coûteux et ne peut simplement pas être réalisé sur des grands domaines lorsque les observables disponibles sont à distance télésismique. Pour répondre à cette problématique, des approches hybrides, dite de décomposition de domaine ont été développées.

Cette thématique prend sa place dans la mission de surveillance des essais nucléaires, à laquelle participe le CEA DAM pour le compte des autorités nationales, et en mettant son expertise au service de l'Organisation du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (OTICE).

### OBJECTIFS

Parmi les outils de simulation du champ d'onde sismique dédié à la caractérisation de la source sismique, le CEA DAM a développé une méthode de décomposition de domaine basée sur les miroirs à renversement temporel (Masson et al., 2014). Elle permet l'utilisation d'un solveur numérique (type méthode éléments finis) au voisinage de la source pour simuler le champ d'onde en milieu complexe, et l'utilisation de méthodes légères (type modes propres) sur le reste de la propagation pour porter le champ d'onde à distance télésismique.

Le séisme Nuweiba, Mw 7.3, qui a eu lieu dans le Golfe d'Aqaba en 1995, présente le double intérêt d'être un événement de forte intensité pour lequel on dispose d'observables de bonne qualité à distance télésismique, et d'être localisé dans un système de bassins pull-apart présentant une géologie complexe ainsi qu'une topographie/bathymétrie accidentée (Ribot et al., 2021). Ces propriétés en font un cas d'application idéal pour une approche hybride de type décomposition de domaine, dans un contexte de caractérisation de la source.

L'étudiant(e) aura pour objectif de consolider la méthode, de l'appliquer à la configuration du Golfe d'Aqaba et d'analyser les résultats obtenus.

### ⌚ DUREE

6 mois

### 📁 COMPETENCES REQUISES

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ✉ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

Le CEA/DAM réalise des missions de surveillance des essais nucléaires (à travers le monde) et de l'activité sismique (France, Europe), en s'appuyant sur un réseau dense de capteurs sismologiques. Cette contribution est prise en charge par le Centre National de Données et repose en particulier sur l'analyse des données de formes d'ondes sismiques afin de détecter, localiser et caractériser tout événement d'intérêt. Dans le cadre de cette mission, le Centre National de Données a développé des algorithmes automatiques de détection des événements sismiques afin de prévenir 7/7j 24/24h les équipes d'astreinte en cas d'alerte. Ces outils opérationnels font appel à une panoplie de méthodes de traitement du signal adaptées aux caractéristiques des stations de mesures : Les méthodes classiques basées sur la mesure des variations énergétiques du signal, les analyses de polarisation utilisant les enregistrements tridimensionnels du champ d'ondes sismiques, les techniques d'antenne appliquées aux mini-réseaux sismiques, et plus récemment, les méthodes de reconnaissance des formes d'ondes par mesure de similarité (ou template matching).

### OBJECTIFS

Quelle que soit la méthode mise en oeuvre, l'objectif de l'algorithme de détection consiste à séparer les ondes sismiques d'intérêt du bruit de fond microsismique ambiant. Le bruit résulte de l'activité d'une multitude de sources, cohérentes ou incohérentes, dues à des phénomènes naturels (houle océanique, surf noise, phénomènes météorologiques, ...) ou anthropiques (activité industrielle, circulation automobile, ...). Le niveau de bruit peut varier fortement d'un capteur sismique à un autre en fonction de sa localisation et de l'infrastructure de la station de mesure. Le stage consiste à étudier la complexité du bruit de fond sismique enregistré par le mini-réseau du LSBB (Laboratoire Sismique à Bas Bruit), en identifiant les sources de bruit cohérent transitoires ou permanentes, et à proposer une méthode de suppression du bruit. Les méthodes basées sur l'analyse en composantes principales (méthode ACP) des enregistrements de N stations localisées à faible distance seront privilégiées, et appliquées sur des périodes de temps longues (plusieurs mois). L'apport de la méthode sur les performances des algorithmes de détection utilisés au Centre National de Données (notamment les traitements d'antenne) sera ensuite évalué.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

Dans le contexte tectonique français, continental stable avec une sismicité modérée, notre connaissance des failles et l'estimation des paramètres d'activité sismique est très limitée et entachée de nombreuses incertitudes épistémiques. Du fait de ces incertitudes, plusieurs modèles sismotectoniques à la géodynamique très différente coexistent dans la littérature pour tenter d'expliquer l'activité des systèmes de failles du sud-est de la France. Le modèle dit de « tectonique global » fait appel à un moteur tectonique de raccourcissement entre les plaques Afrique et Europe, et s'oppose à un modèle dit d'« effondrement gravitaire » alpin dans lequel la couverture sédimentaire glisse sur les pentes du socle. Certains des paramètres de ces deux modèles, dont l'épaisseur sismogène, ont une influence importante sur la magnitude maximale des événements sismiques attendus et/ou sur le temps de retour des forts séismes. Ils ont donc de fortes implications sur l'estimation de l'aléa sismique et ses incertitudes pour la région Provence - Alpes - Côte d'Azur, où sont localisés deux centres CEA.

### OBJECTIFS

Des études précédentes ont synthétisé et compilé les données bibliographiques afin de proposer une estimation des paramètres - vitesses de glissement, épaisseur sismogène, type de mécanisme - d'un certain nombre de failles métropolitaines. Des magnitudes maximales et temps de retour des forts séismes ont également été proposés pour les failles du sud-est de la France, qui sont actuellement les plus documentées, en faisant des hypothèses minimisantes ou maximisantes dépendant du moteur de la déformation considéré.

L'objectif du stage proposé sera donc d'en évaluer les implications quant à l'aléa sismique probabiliste par failles. Les courbes et spectres d'aléa obtenus permettront d'analyser l'impact de ces modèles et de leurs incertitudes sur le niveau d'aléa en différents sites de la région et pour différentes périodes de retour. Nous quantifierons plus particulièrement les différences spatiales engendrées par les modèles extrêmes considérés, en termes d'aléa, afin de discuter de la part des processus moteurs sur le taux d'activité sismique des structures tectoniques.

### ⌚ DUREE

4 à 6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ✉ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)



### CONTEXTE

Les activités probabilistes sont devenues très visibles pour les études d'aléa et sont de plus en plus discutées dans les groupes de travail mondiaux sur les risques tsunamis (PTHA – Probabilistic Tsunami Hazard Assessment).

Le CEA DAM a récemment développé une approche probabiliste générale pour les tsunamis d'origine sismique afin d'évaluer le risque tsunami le long des côtes méditerranéennes françaises. La méthodologie probabiliste proposée inclut une analyse de sensibilité. L'impact du tsunami sur le littoral est modélisé avec précision en utilisant des grilles topo-bathymétriques à haute résolution. Développée sur le site test de la région de Cannes, l'approche peut maintenant facilement être transposée à d'autres sites côtiers de la Méditerranée occidentale.

### OBJECTIFS

L'objectif principal de ce stage sera d'appliquer cette approche probabiliste à deux nouvelles zones littorales distantes (par exemple Antibes - Nice et Argelès/mer - St Cyprien) et discuter comment les résultats permettraient d'améliorer les normes d'élaboration des cartes d'inondation. La première tâche du(e) stagiaire sera de prendre en main dans ce contexte le code de modélisation de tsunami du CEA qui fonctionne sur des calculateurs multi-processeurs ainsi que la toolbox permettant l'analyse PTHA (scripts python). La manipulation des données topo-bathymétriques (construction de grilles, interpolations, ...) représente également une part non négligeable du travail.

En fonction de l'avancée des travaux, un second objectif serait d'étudier l'influence de la prise en compte d'une distribution hétérogène du glissement cosismique sur un petit jeu de données.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📁 COMPETENCES REQUISES

Travail sous environnement linux;  
connaissances en géophysique;  
notions d'analyse probabiliste

### 📍 CENTRE

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

### 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

Parallèlement aux activités du CENALT liées aux tsunamis d'origine sismique, l'amélioration des connaissances dans le domaine des tsunamis d'origine gravitaire représente un axe de recherche aux enjeux importants. En effet, la France métropolitaine est également sujette au risque tsunami gravitaire comme le rappelle l'évènement de Nice en 1979. D'autre part, de nombreux tsunamis récents, consécutifs à de forts séismes sous-marins, ont été accentués par le déclenchement d'instabilités gravitaires tsunamigènes (Mer Ligure, 1887 ; Papouasie, 1998 ; Haïti, 2010 ; Java, 2012).

### OBJECTIFS

L'objectif principal du stage sera de construire une base de données de modélisations de tsunamis d'origine gravitaire sur la région très instrumentée au large de Nice, afin d'évaluer l'impact potentiel en termes d'inondation de tels phénomènes.

La 1ère tâche du stagiaire sera de constituer, en collaboration avec Ifremer, un jeu de scénarios de glissements source représentatifs de l'aléa gravitaire sur la zone, à partir des travaux de Leynaud et Sultan (2010) et Sultan et al. (2020). Une attention particulière sera portée à la caractérisation de chaque source potentielle (volume, densité et viscosité des sédiments, angle de friction). La 2nde tâche du stagiaire sera de prendre en main le code de modélisation de tsunami d'origine gravitaire du CEA afin de réaliser les simulations depuis la source gravitaire définie précédemment, jusqu'à l'impact côtier. En fonction de l'avancée des travaux, un second objectif serait de concevoir un outil permettant d'afficher le temps d'arrivée et la hauteur d'impact en s'appuyant sur une base de données pondérée de ce jeu de scénarios de tsunamis.

A terme, on vise à distinguer et à identifier les tsunamis induits par des glissements de terrain consécutifs à des séismes, à les localiser et à évaluer l'ordre de grandeur du volume mis en mouvement.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Travail sous environnement linux;  
connaissances en géophysique

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

La caractérisation des sources sismiques par le biais du tenseur des moments qui leur est associé, nécessite de comparer les données réellement enregistrées suite à un événement, avec des données synthétiques calculées dans un modèle de Terre donné. Pratiquement, la détermination de ces données synthétiques est réalisée en suivant deux voies antithétiques, leur choix étant intimement lié au temps de restitution que l'on se fixe : pour un calcul rapide via une méthode modale, la structure de la Terre est simplifiée ; a contrario, la prise en compte du caractère tridimensionnel de notre planète et des effets propagatifs associés, requiert l'emploi de méthodes numériques complètes, dont le coût-calcul peut être prohibitif.

### OBJECTIFS

Le but poursuivi lors de ce stage, est d'explorer la pertinence d'une voie alternative pour le calcul de sismogrammes synthétiques : les méthodes membranaires. Ces dernières sont adaptées à la description de la propagation d'ondes de surface, le formalisme les décrivant provenant d'une écriture astucieuse des équations du mouvement sous l'hypothèse WKB (milieux lentement variables). Elles sont adaptées à la propagation dans des milieux hétérogènes, incorporent naturellement les phénomènes de type fréquence finie. La rapidité des calculs associés provient d'une réduction de dimensionnalité (2D et non 3D, d'où leur nom).

Lors de ce stage, une étude bibliographique permettra à l'étudiant(e) de se familiariser avec les équations de l'élastodynamique, et leur résolution dans un formalisme modal (structure stratifiée puis lentement variable). Dans un second temps, il s'agira d'implémenter l'algorithme de résolution sur les super-calculateurs du CEA, de manière à appréhender le coût-calcul nécessaire à la synthèse de sismogrammes synthétiques dans une Terre 3D ; une étude de validation est attendue, par comparaison avec des résultats analytiques ou obtenus grâce à des méthodes numériques complètes. Cette étape permettra à l'étudiant(e) de faire le lien entre formalisme mathématique et sa mise en forme algorithmique, de même qu'il(elle) sera confronté(e) aux problématiques de partage des tâches sur plusieurs unités de calcul (parallélisme). A terme, en fonction du succès obtenu lors de ce travail préliminaire, une extension naturelle sera d'inclure à l'algorithme de base la prise en compte de termes sources quelconques (problème non-local), la mise à disposition des outils aux ingénieurs-chercheurs dont le travail est de nature opérationnelle, ainsi que l'ajout de termes asymptotiques d'ordre supérieur afin d'élargir le domaine de validité de la méthode. Deux applications pourront être également envisagées, dans la poursuite de ce stage : la quantification d'incertitudes, autorisée par le faible coût calcul de la méthode ; et la localisation de sources sismiques par le biais du renversement temporel des champs d'ondes enregistrés."

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

Dans le cadre de ses missions d'alerte aux tsunamis, le CEA DAM développe des codes de simulation résolvant les équations de la mécanique des fluides dans des approximations de type Shallow-Water ou Boussinesq. Les développements se sont portés ces dernières années sur la modélisation physique au sein d'un nouveau code de recherche, au détriment de l'optimisation informatique. Cette optimisation est pourtant essentielle afin de réaliser des études en temps limité pour mener par exemple des analyses de sensibilité, ou pour envisager de remplacer les codes opérationnels actuels.

La difficulté liée à l'optimisation des codes pour des physiciens est la nécessité d'apprendre de nouveaux langages informatiques complexes pour le portage sur de nouveaux processeurs (KNL par exemple) ou sur des architectures à bases de GPU. Afin de lever cette difficulté, des langages intermédiaires, dits DSL pour Domain Specific Language, ont été mis au point par la communauté scientifique, dans le but de séparer les parties modélisation physique/algorithmes/exécution informatique. Le CEA a ainsi une expérience autour d'une maquette informatique sur maillage structurée, nommée SWAN, portée sous DSL NabLab. De son côté, l'ENS Paris-Saclay a l'expérience du code Volna, porté sous DSL OP2 en non-structuré. Ce stage de M2 s'intègre dans le cadre d'une collaboration avec l'ENS Paris-Saclay au sein du LRC MESO.

### OBJECTIFS

L'objectif de ce stage sera de continuer les travaux initiés au CEA DAM sur le sujet, en mettant au point une maquette plus avancée, intégrant des aspects multigrilles, voire Boussinesq (modèle implicite), et d'évaluer les capacités de différents DSL (NabLab, OPS, OP2, ...) à réaliser « simplement » le code. Les performances seront comparées sur diverses architectures informatiques (CPU, GPU) disponibles au CEA/DAM ou au TGCC.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Travail sous environnement linux;  
compétence en informatique

### 📍 CENTRE

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

### ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

De nombreux tsunamis, consécutifs ou non à des séismes, ont été générés par le déclenchement d'effondrements de terrain sous-marins. C'est le cas de plusieurs tsunamis historiques (Nice, 1564, 1979; Mer Ligure, 1887 ; Papouasie, 1998 ; Java, 2012; Polynésie 1979) ayant impacté plusieurs kilomètres de côtes proches. La simulation numérique de ces phénomènes repose généralement sur les équations Shallow Water et les équations de couche mince pour modéliser respectivement les vagues et l'effondrement de terrain. Récemment, le CEA/DAM-Île de France a testé le code 3D OpenFoam qui résout les équations 3D de Navier-Stokes pour les deux milieux.

## OBJECTIFS

L'objectif principal de ce stage sera d'appliquer le code OpenFoam pour simuler des effondrements potentiels ou passés en Polynésie française. La premier travail du(e) la stagiaire sera de prendre en main le code OpenFoam qui fonctionne sur des calculateurs multiprocesseurs ainsi que la manipulation des données topo-bathymétriques (construction de grilles, interpolations, ...). La tâche principale sera d'évaluer l'influence de la résolution et de définir le niveau de maillage nécessaire à la modélisation 3D.

En fonction de l'avancée des travaux, un second objectif sera de comparer les résultats issus d'un code 2D à ceux d'OpenFoam.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Travail sous environnement linux; connaissances en géophysique et en mécanique des Fluides; Simulation numérique.

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr



### CONTEXTE

Le CEA/DAM-île de France a la mission de surveillance des essais nucléaires, pour le compte des autorités nationales, et en mettant son expertise au service de l'Organisation du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (OTICE). Cette contribution est prise en charge par le Centre National de Données (CND) et repose en particulier sur l'analyse des données de formes d'ondes sismiques, hydro-acoustiques et infrasons afin de détecter, localiser et caractériser tout événement d'intérêt.

### OBJECTIFS

Dans le cadre de sa mission de surveillance des essais nucléaires, le Centre National de Données a développé des algorithmes automatiques de détection et de localisation des événements sismiques se basant principalement sur le traitement des composantes verticales des capteurs sismiques, à l'aide de technique d'antenne. La présence systématique d'une station 3 composantes au coeur des mini-réseaux verticaux, ainsi que le déploiement récent de plusieurs mini-réseaux multi-composantes, ont entraîné le développement de méthodes permettant l'exploitation tri-dimensionnelle du signal, afin de mieux caractériser les différentes ondes constituant le champ d'ondes sismiques et donc des sources qui les ont engendrées. Pour aller plus loin dans cette exploitation tri-dimensionnelle du signal, le stage consistera à étudier et quantifier l'apport de méthodes de Deep-Machine Learning (ou réseaux de neurones) en complément des techniques de traitement d'antenne, pour la mesure automatique des temps d'arrivée et l'identification des phases sismiques.

Ce stage se fera en parallèle des travaux déjà initiés dans le cadre d'un contrat post-doctoral sur la détection d'événements sismiques et la détermination de la nature de la source à l'aide de méthodes de Machine Learning.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ✉ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)



## Système de notification d'éruptions volcaniques champ lointain à partir d'enregistrements infrason

SCIENCE DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

### CONTEXTE

Le CEA/DAM exploite en routine les données du SSI (Système de Surveillance International) mis en place dans le cadre de la vérification du TICE (Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires). Pour répondre à sa mission de surveillance, des méthodes de détection et de simulation de la propagation dans une atmosphère réaliste sont développées afin de localiser précisément et caractériser finement les sources d'infrason. Avec la densification des réseaux d'observation infrason, la mise en place de traitements systématiques des enregistrements continus permet de constituer des bases de données de référence pour discriminer dans le bruit de fond des événements d'intérêt. L'analyse de ces événements démontre le potentiel du réseau infrason du SSI, complété par des stations nationales, pour surveiller à grandes distances certains risques naturels comme les éruptions volcaniques. Dans ce contexte, de nouvelles recommandations émergent du système international IAVW (International Airways Volcano Watch) mis en place par l'ICAO (International Civil Aviation Organization) pour développer des systèmes acoustiques permettant d'améliorer les états initiaux des modèles de dispersion de cendres, en particulier lorsque la couverture nuageuse nuit à l'analyse des images satellitaires.

### OBJECTIFS

Dans le cadre du projet européen ARISE (Atmospheric dynamics Research InfraStructure in Europe, <http://arise-project.eu>), le système prototype VIS (Volcanic Information System) de notification d'éruptions en champ lointain a été développé. Une évaluation des performances de ce système a été réalisée sur des archives d'enregistrements infrason contenant la signature de séquences éruptives bien documentées. Le système VIS a démontré son efficacité pour reconstruire la chronologie et estimer l'intensité des éruptions à plusieurs centaines de kilomètres de volcans actifs. L'objectif de ce stage est de réaliser un démonstrateur du VIS dans des zones géographiques placées sous la responsabilité du VAAC (Volcanic Ash Advisory Centre) de Toulouse. Les performances du démonstrateur seront évaluées en termes de capacités de détection et de fausses alarmes sur des données archivées, mais aussi dans un mode de fonctionnement continu et temps-réel. Les résultats des notifications seront archivés et synthétisés dans une page web pouvant être exportée.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Intérêt pour l'informatique, l'analyse et traitement des données géophysique. Aptitude à travailler en équipe. Niveau d'anglais (lu/écrit) correct souhaité. Expérience requise en programmation (Python, Java, C++, webservice...).

### 📍 CENTRE

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

### 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)



## Apport d'un réseau dense infrason pour l'étude de phénomènes sismo-acoustiques à l'échelle régionale

SCIENCE DE LA TERRE ET DE  
L'ENVIRONNEMENT

### CONTEXTE

Le CEA/DAM exploite en routine les données du SSI (Système de Surveillance International) mis en place dans le cadre de la vérification du TICE (Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires). Pour répondre à sa mission de surveillance, des méthodes de détection et de simulation de la propagation dans une atmosphère réaliste sont développées afin de localiser précisément et caractériser finement les sources d'infrason. L'évaluation de méthodes de détection et d'estimation des paramètres de front d'onde, à partir d'enregistrements sur des zones densément instrumentées par des capteurs acoustiques, est un sujet d'intérêt depuis plusieurs années. L'émergence de nouveaux capteurs infrason et sismiques peu coûteux rend possible leur déploiement à des échelles régionale et continentale pour permettre la détection de sources plus faibles en énergie. Le CEA DAM a développé des prototypes de capteurs performants permettant une rupture technologique par rapport aux stations infrasons traditionnelles. En s'appuyant sur les données d'une campagne expérimentale pilote autour de l'Observatoire Haute-Provence, les performances de différents algorithmes de détection-estimation doivent être quantifiées dans l'objectif d'améliorer les méthodes opérationnelles de surveillance.

### OBJECTIFS

Contrairement aux stations du SSI dont la distance inter-capteurs est de plusieurs centaines de mètres, ces nouveaux capteurs sont utilisés pour densifier l'instrumentation des sites de mesure. Le déploiement de nappes de capteurs permet d'augmenter la cohérence des signaux et d'accéder à des fréquences plus élevées. Afin d'évaluer plus avant ces nouveaux systèmes de mesure et les méthodes de traitement associées, les données d'une campagne de prospection autour de l'Observatoire Haute-Provence durant l'hiver 2020-2021 ont été analysées. Plusieurs sites d'intérêt ont été identifiés en raison des faibles niveaux de bruit et des recommandations sur des configurations optimales de stations en termes de géométrie et de nombre de capteurs ont été faites. L'objectif de ce stage est d'exploiter des données d'une nouvelle campagne de mesure menée sur plusieurs mois durant l'hiver 2021-2022 pour évaluer : (i) l'efficacité des algorithmes d'estimation et de détection sur des signaux issus de sources identifiées, (ii) la précision des localisations d'évènements sismiques et acoustiques (séisme naturel, tir de carrière...), (iii) l'apport de ce dispositif pour détecter et localiser des évènements anthropiques et naturels sur le territoire français.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Intérêt pour la géophysique, l'analyse et traitement des données. Aptitude à travailler en équipe. Niveau d'anglais (lu/écrit) correct souhaité. Expérience requise en programmation (Python, Matlab,...).

### 📍 CENTRE

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

### 🌟 CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

La surveillance des anciens sites d'expérimentation a été confiée au CEA/DAM-île de France. En complément d'un dispositif instrumental opérationnel assurant un suivi continu des déformations en temps réel, des réseaux pérennes de repères planimétriques et de nivellement font l'objet de levés périodiques depuis une vingtaine d'années. Ils permettent de suivre, à plus long terme, les déformations en surface et leur évolution temporelle.

La prochaine campagne de mesures sur site, qui aura lieu en novembre 2021, permettra d'acquérir des données de planimétrie et de nivellement, ainsi qu'un levé de fracturation. Ces mesures compléteront la série temporelle de données disponibles.

Les mesures topographiques ont montré jusqu'à présent un net ralentissement des déformations. L'exploitation des nouvelles données permettra non seulement de confirmer ou préciser cette tendance, mais aussi d'estimer les déformations actuelles. Les résultats attendus constituent par conséquent un enjeu majeur pour la surveillance des anciens sites. Ils contribueront notamment à la réflexion qui sera menée sur les futurs moyens de surveillance.

### OBJECTIFS

L'objectif principal du stage est d'intégrer les mesures topographiques qui seront acquises à l'automne 2021 aux données issues des campagnes précédentes et d'exploiter l'ensemble du jeu de données. Ainsi, le(a) stagiaire évaluera les mouvements actuels et leur répartition spatiale. Il(elle) poursuivra également l'estimation de l'évolution temporelle des déformations en prolongeant la série de mesures avec les données nouvellement acquises. Cette analyse sera effectuée pour les données de planimétrie, de nivellement et de fracturation.

Le second objectif du stage est la comparaison des résultats issus des mesures topographiques avec les données instrumentales du système opérationnel de surveillance, en particulier celles des stations GPS permanentes.

Le(a) stagiaire présentera les différents résultats sous forme graphique et les intégrera au logiciel QGIS afin que l'historique des déformations puisse être visualisé dans un environnement géoréférencé.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Connaissances en géophysique

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)



## Analyse de mesures géophysiques pour la surveillance géomécanique des anciens sites

SCIENCE DE LA TERRE ET DE  
L'ENVIRONNEMENT

### CONTEXTE

La surveillance des anciens sites d'expérimentation a été confiée au CEA/DAM-île de France. Le suivi géomécanique, dédié aux déformations instantanées et à plus long terme, s'appuie sur différents types de capteurs implantés en surface et en profondeur. Les mesures géophysiques sont acquises sur site, puis sont transmises en temps réel et analysées au DASE où elles sont stockées en base de données. De nombreuses données multi-instrumentales continues documentent ainsi les déformations. Ce dispositif opérationnel (acquisition, transmission et traitement) assure le déclenchement d'une alerte en cas de mouvements rapides conséquents et, plus globalement, la détection et l'analyse des signaux enregistrés à différentes échelles de temps.

### OBJECTIFS

Le stage contribuera tout d'abord à l'évolution des outils opérationnels de surveillance (en partie développés sous Python) pour la visualisation et l'analyse des données. Des améliorations seront proposées pour les outils déjà en place et de nouveaux pourront être développés pour faciliter et optimiser le suivi géomécanique.

Par ailleurs, une étude conjointe des différents types de signaux enregistrés sera menée dans l'objectif de caractériser leurs variations temporelles et de proposer des interprétations en termes de déformations géologiques du site à court et à plus long termes.

Le(a) stagiaire interagira avec une équipe pluridisciplinaire (sismologues, géologues, géophysiciens et informaticiens).

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Connaissances en géophysique

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

La représentation d'une source sismique ponctuelle sous la forme d'un tenseur des moments sismiques est particulièrement pertinente pour les études visant à déterminer les caractéristiques d'une source par inversion de données sismiques, à cause de la dépendance linéaire du sismogramme aux éléments du tenseur des moments.

Les approches classiques présentent des limitations, notamment sur la paramétrisation du tenseur des moments, qu'il s'agit d'aborder afin d'obtenir des solutions mieux contraintes.

Cette thématique prend sa place dans la mission de surveillance des essais nucléaires à laquelle participe le CEA DAM pour le compte des autorités nationales, et en mettant son expertise au service de l'Organisation du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (OTICE).

### OBJECTIFS

Les méthodes opérationnelles d'inversion du tenseur des moments sismiques actuellement utilisées au Centre National de Données (CND) reposent sur deux approches. D'une part une optimisation locale via une paramétrisation simplifiée du tenseur des moments, et d'autre part, une optimisation globale sur une paramétrisation non-uniforme du tenseur des moments.

Des développements récents (e.g. Tape & Tape, 2012) ont introduit une nouvelle représentation uniforme du tenseur des moments, permettant de lever les biais d'échantillonnage des méthodes classiques.

L'étudiant(e) aura pour objectif d'implémenter cette nouvelle paramétrisation dans les outils opérationnels du CND, de l'appliquer à une série d'événements et d'en analyser les résultats comparativement aux approches antérieures.

En fonction de l'avancée des travaux, le sujet pourra être étendu sur un volet quantification d'incertitudes sur les résultats d'inversion du tenseur des moments.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

Le CEA/DAM-Île de France de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA a développé une grande expertise en matière de suivi des événements sismiques, de détection des radionucléides, de mesure des phénomènes atmosphériques et de conception des capteurs et réseaux associés. Dans ce cadre, l'unité en charge des études géophysiques et des aléas participe à l'amélioration des connaissances géophysiques afin de réaliser des études d'expertise pour les centres CEA et quantifier l'aléa sismique. Cette expertise en aléa sismique repose sur la maîtrise des différents paramètres d'entrée pour le calcul de l'aléa. La connaissance des caractéristiques géophysiques du sous-sol, que ce soit sous les stations sismologiques, enregistrant les trains d'ondes sismiques, ou sous les différents centres du CEA est d'un intérêt très fort dans le cadre de cette évaluation de l'aléa sismique.

### OBJECTIFS

Plusieurs missions de reconnaissances géophysiques sont menées chaque année afin de caractériser les stations des réseaux sismologiques nationaux (CEA, RESIF et RAP) ainsi que différentes zones d'intérêt telles que des centres CEA. Ces missions reposent sur le déploiement de capteurs sismologiques afin d'effectuer des mesures passives en réseau de type AVA (Ambiant Vibration Array) ainsi que des mesures actives MASW (Multi-Analysis Surface Wave). De ces mesures, il est possible d'extraire des courbes de dispersion des ondes de surface en fonction de la fréquence en suivant les méthodes FK (frequency-wavenumber) et d'autocorrélation MSPAC. Une inversion conjointe de ces courbes de dispersion, à l'aide du logiciel Geopsy, permet in fine de retrouver le profil de vitesse des ondes S sous le site d'intérêt pour le calcul de l'aléa sismique. Dans le cadre de ce stage, l'étudiant(e) aura à traiter les données déjà acquises, afin d'extraire les profils de vitesse Vs sur différents sites. Il pourra participer à des missions d'acquisition sur le terrain le cas échéant, et pourra proposer des évolutions de la procédure de traitement.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### 🌟 CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)



### CONTEXTE

Le Centre National d'Alerte aux Tsunamis (CENALT) au CEA/DAM a pour mission de diffuser des messages d'alerte en cas de fort séisme pouvant générer un tsunami dans sa zone de surveillance (Nord-Est Atlantique et Méditerranée). Dans le cadre de sa mission, l'exploitation opérationnelle des réseaux sismiques et marégraphiques permet au CENALT de détecter séismes et tsunamis. Le traitement des données doit permettre aux opérateurs et aux chercheurs du Centre d'alerte de caractériser le phénomène observé et d'expertiser les effets de variation du niveau de la mer.

### OBJECTIFS

Le(a) stagiaire devra s'approprier un outil de traitement de données marégraphiques adapté lors d'un stage précédent et lui apporter des améliorations et options supplémentaires comme par exemple l'analyse de signaux provenant de bouées en plus des marégraphes. Par ailleurs, il faudra développer une IHM qui permettra à l'utilisateur de l'outil d'avoir une interface conviviale et simple.

### 🕒 DUREE

3 mois

### 📁 COMPETENCES REQUISES

Linux, Windows

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

Les éclairs émettent des flashes optiques et radios. Ils sont observés depuis l'espace par différents instruments depuis une vingtaine d'années. Les signaux photométriques d'éclairs font apparaître des caractéristiques (durée, amplitude, variation avec la longueur d'onde) induites par la diffusion de la lumière par le nuage d'orage. Une thèse réalisée au Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA), en partenariat avec le CEA/DAM et le CNES, qui sera achevée au début de 2022 porte sur la sensibilité du signal reçu depuis l'espace en tenant compte des caractéristiques de l'éclair et des propriétés des différentes particules constituant le nuage (hydrométéores).

## OBJECTIFS

L'objectif du stage sera de sélectionner des mesures photométriques réalisées par l'instrument ASIM à bord de la station spatiale internationale lorsque celle-ci a survolé la France. On s'intéressera aux orages français car nous avons à disposition des mesures radar précises donnant les caractéristiques de ces nuages. On utilisera également les mesures de Météorage pour localiser précisément la décharge électrique dans le nuage. Les développements réalisés dans la thèse susmentionnée seront utilisés pour interpréter les mesures d'ASIM.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Traitement du signal, traitement de l'image, transfert radiatif, physique de l'atmosphère

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

### CONTEXTE

Les éclairs émettent des flashes optiques et radios ainsi que le tonnerre. Ces différents observables sont utilisés pour caractériser ces phénomènes météorologiques. On peut reconstruire le canal de la foudre en trois dimensions à partir de la corrélation croisée de mesures acoustiques réalisées avec plusieurs microphones. Cette technologie a été testée et validée, lors de deux thèses au CEA/DAM, sur des réseaux disposés en triangle de 30 à 50 m de côté. La localisation de l'éclair en trois dimensions à partir des mesures acoustiques a été comparée avec la reconstruction 3D effectuée avec des mesures électromagnétiques, a priori plus précises. Elle confirme et complète ces mesures électromagnétiques. Néanmoins, la précision de ces reconstructions acoustiques reste posée.

### OBJECTIFS

Des mesures avec deux réseaux de 24 capteurs disposés en nappe, c'est-à-dire selon une grille de 5 m entre les capteurs, ont été réalisées en 2019 alors que deux orages se sont produits à grande proximité des nappes. Ces mesures doivent permettre de répondre à la question de la détermination de la précision de la reconstruction 3D des éclairs. Cette reconstruction 3D peut être effectuée avec tous les capteurs de la nappe, ou seulement avec un sous-ensemble d'entre eux (pour former des triangles de différentes dimensions ou orientations). On évaluera ainsi l'apport de ce type de réseau dense pour l'étude des éclairs. On pourra également tester si la technologie des capteurs (microbaromètre ou microphone) limite la performance de reconstruction car les deux réseaux, qui étaient imbriqués, disposaient de ces deux types de capteurs.

Enfin, en fonction de l'avancement du stage et des résultats obtenus, différents logiciels de traitement de données pour effectuer la localisation pourront être utilisés.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📁 COMPETENCES REQUISES

Traitement du signal

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)



## Utilisation d'un modèle d'émission infrason de la houle océanique pour caractériser l'atmosphère

SCIENCES DU CLIMAT ET DE  
L'ENVIRONNEMENT

### CONTEXTE

Le CEA/DAM-Île de France de la Direction des Applications Militaires du CEA (CEA/DAM) est spécialisé dans la mesure des phénomènes atmosphériques, le suivi d'événements sismiques, la détection de radionucléides, et la conception des capteurs et réseaux associés. Fort de cette expertise, le CEA/DAM participe à la lutte contre la prolifération nucléaire en mettant son expertise au service de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) et de l'Organisation du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (OTICE). Dans ce contexte, l'unité exploite en routine les données infrason du Système de Surveillance International (SSI) mis en place dans le cadre de la vérification du TICE. L'expertise de l'unité en la matière repose sur une connaissance fine de la moyenne atmosphère (MA) et de sa dynamique, les infrasons se propageant sur de longues distances dans des guides d'onde formés par la MA. Exploité dans un mode de fonctionnement continu, le réseau du SSI constitue un système novateur pour la mesure de la dynamique de la MA.

### OBJECTIFS

La houle océanique émet des infrasons (appelés microbaroms) avec des périodes de l'ordre de 5 secondes qui sont détectés sur l'ensemble du réseau du SSI. La propagation des infrasons est fortement impactée par les états de la moyenne atmosphère. Ainsi, une bonne connaissance du terme source permet de déterminer la bonne représentation de ces états au sein des modèles atmosphériques utilisés dans les simulations de propagation. Les microbaroms se présentent donc comme un moyen de sondage de l'atmosphère et de diagnostic des modèles atmosphériques à l'échelle du globe. Un modèle de houle a récemment été développé au CEA et permet d'envisager un tel exercice. L'objectif de ce stage est d'utiliser le modèle afin de simuler des détections infrason en station pour les comparer aux observations du SSI et des réseaux nationaux. Il s'agit de démontrer la possibilité d'utiliser les écarts entre, d'un côté, les paramètres mesurés en station infrason et, de l'autre, leur simulation, pour diagnostiquer l'état de l'atmosphère sans être biaisé par les choix de paramètres du modèle utilisé (source/propagation). En particulier il s'agira d'évaluer l'apport de la mise à jour d'un modèle d'atténuation tabulé pour la détermination de l'état de l'atmosphère à partir des signaux reçus. Des cas d'études pourront être privilégiés sur la base de précédents résultats. Les observables infrason à simuler pourront être discutées afin de proposer une approche viable permettant d'évaluer la performance du modèle d'atmosphère. L'objectif du stage est d'ouvrir la voie à un exercice d'assimilation de données infrason dans le cadre d'une thèse, pour l'amélioration des modèles de prévision numérique du temps.

### 🕒 DUREE

5 à 6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Le candidat doit avoir un intérêt pour la géophysique et le travail à la frontière de plusieurs disciplines (physique de l'atmosphère, acoustique, mathématiques appliquées, traitement de données). Il doit être capable de se confronter à un large jeu de do

### 📍 CENTRE

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

### 🌟 CONTACTS

stage.dif@cea.fr



## Déterminer des critères de qualité des magnitudes et profondeurs des bulletins sismiques LDG

SCIENCES DU CLIMAT ET DE  
L'ENVIRONNEMENT

### CONTEXTE

Le CEA/DAM-Île de France de la Direction des Applications Militaires du CEA (CEA/DAM) est chargé de la mission de surveillance sismique du territoire français en diffusant des alertes vers les autorités et ses partenaires et également de la production d'un bulletin sismologique pour le territoire métropolitain. Pour remplir ses missions, le DASE se repose sur un réseau de stations géophysiques et sur ses capacités de traitement mises en œuvre par des analystes et des sismologues.

### OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est d'évaluer la qualité du calcul des magnitudes et des profondeurs du bulletin LDG (Laboratoire de Détection et Géophysique du CEA/DAM-Île de France) sur la période 2010-2020. Ce bulletin doit compléter le bulletin SIHEX qui couvre déjà la période précédente, avant 2010. Il s'agira dans un premier temps d'évaluer la stabilité du calcul des magnitudes et profondeurs des séismes en étudiant leur variation en fonction du choix des stations.

Concernant les magnitudes, on étudiera la dispersion de la magnitude aux stations afin d'évaluer l'influence de la distance épacentrale et de la loi d'atténuation utilisée. On identifiera les stations qui nécessitent une correction statique et si ces corrections statiques dépendent ou non de la distance épacentrale et de la région.

Le dernier volet du stage pourra consister à proposer des outils graphiques à destination des analystes de l'unité permettant de rapidement identifier les événements et magnitudes qui sont mal contraintes afin de les réviser plus rapidement. Le but est de continuer à améliorer les processus de production du bulletin sismologique LDG.

Les résultats de ce stage pourront être appliqués à d'autres bulletins établis au sein de l'unité.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📁 COMPETENCES REQUISES

**Informatique: Environnement Linux, bases de données (SQL), traitement du signal**

**Géosciences: sources sismiques, propagation des ondes, localisation, atténuation**

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### 🌟 CONTACTS

stage.dif@cea.fr



## Evaluer l'impact du réseau sismique sur le calcul de la profondeur des événements en champ proche

SCIENCES DU CLIMAT ET DE  
L'ENVIRONNEMENT

### CONTEXTE

Le CEA/DAM-Île de France de la Direction des Applications Militaires du CEA (CEA/DAM) est chargé de la mission de surveillance sismique du territoire français en diffusant des alertes vers les autorités et ses partenaires et également de la production d'un bulletin sismologique pour le territoire métropolitain. Pour remplir ses missions, l'unité en charge de cette activité se repose sur un réseau de stations géophysiques et sur ses capacités de traitement mises en œuvre par des analystes et des sismologues.

### OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est d'évaluer l'impact de la géométrie d'un réseau sismique sur la qualité de localisation et d'estimation de la profondeur d'événements en champ proche.

Il s'agira également de comparer la capacité de détection selon la géométrie du réseau et en fonction de la variation de bruit de fond.

Ce travail d'évaluation sera effectué sur un ensemble de signaux réels constitués d'enregistrements sur plusieurs années sur un réseau de faible ouverture géométrique.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

**Informatique: Environnement Linux, bases de données (SQL), traitement du signal**

**Géosciences: sources sismiques, propagation des ondes, localisation, atténuation**

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### 🌟 CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Le Centre National d'Alerte aux Tsunamis (CENALT) au CEA/DAM a pour mission de diffuser des messages d'alerte en cas de fort séisme pouvant générer un tsunami dans sa zone de surveillance (Nord-Est Atlantique et Méditerranée). Dans le cadre de sa mission, l'exploitation opérationnelle des réseaux sismiques et marégraphiques permet au CENALT de détecter séismes et tsunamis. Pour que la chaîne d'alerte soit efficace, des exercices internes et externes (nationaux et internationaux) sont régulièrement effectués de façon à tester les procédures, à vérifier le bon fonctionnement des systèmes et à former le personnel des différentes parties prenantes de l'alerte. Par ailleurs, le Centre d'alerte assure une mission de vulgarisation de ses activités auprès du public (site web, conférences, ...).

## OBJECTIFS

Les objectifs de ce stage seront de participer aux actions d'évaluation des procédures mises en place au CENALT, de développer un environnement de test et d'exercice et de promouvoir les supports d'information et de prévention vers le public. En particulier il s'agira :

- de proposer et créer un ensemble de supports de communication pour l'information et la prévention des risques sismiques et marégraphiques
- de mettre en place une plateforme de rejeu des événements sismiques ou marégraphiques passés à partir de la base des événements du CENALT. Cela permettra aux opérateurs de se former sur des cas spécifiques en simulant un déroulé en temps réel de l'arrivée des signaux et de leur traitement. Le résultat de ce travail sera valorisé à travers des procédures et implémenté dans un wiki opérationnel.
- de finaliser un film de présentation et vulgarisation du déroulement d'une alerte au CENALT.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Windows

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)



## Analyse 3D du champ d'onde sismique généré lors d'une expérience de sismologie active.

SCIENCES DU CLIMAT ET DE  
L'ENVIRONNEMENT

### CONTEXTE

Le CEA/DAM-Île de France de la Direction des Applications Militaires du CEA (CEA/DAM) (<http://www-dase.cea.fr>) de la Direction des applications militaires du CEA a développé une grande expertise en matière de détection, analyse et caractérisation des sources du mouvement sismique, de mesure des phénomènes atmosphériques et de conception des capteurs et réseaux associés.

Dans le cadre d'un partenariat avec le Laboratoire Souterrain Bas Bruit (LSBB - <https://lsbb.cnrs.fr/>), plusieurs antennes de capteurs sismiques 3 composantes ont été déployées sur le site du LSBB lors de différentes expériences de sismologies actives et passives. Fin 2020, l'expérience PREMISES 2, a rassemblé plus de 300 capteurs sismiques répartis jusqu'à une profondeur de 500 m afin d'avoir une image tridimensionnelle du champ d'ondes sismiques généré par plusieurs sources.

### OBJECTIFS

Ce stage consistera à effectuer une analyse systématique des signaux enregistrés lors de ces expériences afin d'appréhender les effets sur le champs d'ondes sismiques de la structure de la source, ou des hétérogénéités géologiques et topographiques locales. Dans un premier temps, plusieurs traitements seront effectués sur les données couplant analyse en antenne, méthode fréquentielle stochastique pour la séparation de source (MLE: Maximum Likelihood Estimation), décomposition temps-fréquence et étude de polarisation. En s'appuyant sur la base de résultats de cette analyse, l'objectif de cette étape sera d'évaluer la capacité de ces différentes approches à séparer les différentes contributions locales au signal sismique, en localisant et identifiant de possibles points diffractant ou sources secondaires liés à l'hétérogénéité du milieu de propagation. Le(a) stagiaire pourra comparer ses résultats et affiner son analyse avec ceux obtenus à l'aide de simulations numériques du champ d'ondes sismiques, établies à partir d'un modèle géologique 3D haute résolution du site de Rustrel. Enfin, un travail de recherche et développement sera mené afin d'améliorer les performances et la complémentarité de ces approches en vue d'une caractérisation haute résolution du mouvement sismique. Le(a) stagiaire aura à sa disposition différents outils d'analyse en antenne et de traitement du signal sismique développés récemment par le CEA (Labonne et al. 2016) et ses partenaires (LSBB, Paris Tech). Il(elle) devra par ailleurs être capable de les modifier et d'en développer de nouveaux. Le(a) stagiaire pourra être amené(e) à participer à des expériences complémentaires sur le terrain.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Ecole d'ingénieur ou Master en cours abordant au moins deux des thématiques suivantes: Physique des ondes, Traitement du signal, mécanique des milieux continus, géophysique et/ou sismologie. Un fort intérêt pour le calcul scientifique et le traitement du

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

### CONTEXTE

Dans le cadre de ses missions de surveillance et d'analyse de l'environnement, le CEA/DAM-Île de France de la Direction des Applications Militaires du CEA (CEA/DAM) poursuit depuis de nombreuses années des travaux de recherche et de développement sur de nouvelles approches de caractérisation du signal sismique permettant notamment d'en extraire une description fine de la source et de la propagation à l'intérieur de la Terre.

Récemment, plusieurs études théoriques ont souligné l'intérêt pour l'analyse du mouvement sismique d'avoir accès à une mesure du gradient spatial du champ d'ondes et notamment des composantes associées au mouvement de rotation et/ou de déformation. Le déploiement d'antennes sismiques de haute qualité permet d'accéder à des mesures approchées du gradient sismique. En permettant d'accéder simultanément au champ de déplacement et à son gradient spatial, ce nouveau type de mesure sismique a montré sa capacité à fournir une information suffisante pour identifier la vitesse et la direction de propagation des ondes, ou pour améliorer l'inversion du mécanisme à la source.

### OBJECTIFS

En s'appuyant sur les résultats de plusieurs études préliminaires (Sèbe et al 2017, R. Rusch 2020), l'objet de ce travail sera tout d'abord, d'évaluer la capacité des différentes antennes disponibles sur le site du LSBB (Laboratoire Souterrain Bas Bruit) à fournir une mesure de précision du champ de rotation et de déformation sismiques que ce soit sur le bruit de fond ou sur le signal d'événements d'intérêt. Dans un second temps, ces mesures de rotation et de déformation seront analysées quant à leur capacité d'amélioration des méthodes de localisation de source et d'identification des phases sismiques. Le(a) stagiaire aura pour mission de développer des algorithmes adaptés à l'exploitation de ce nouveau type de mesure et d'en comparer les résultats avec des approches classiques de type « beamforming ». Il(elle) aura aussi à sa disposition les données de plusieurs antennes : une antenne tridimensionnelle composée de 11 sismomètres large bande ainsi que les données d'antennes denses déployées en 2020 durant l'expérience de sismologie active PREMISE2. Le(a) stagiaire pourra être amené(e) à participer à des expériences complémentaires sur le terrain.

### 🕒 DUREE

6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Ecole d'ingénieur ou Master en cours abordant au moins deux des thématiques suivantes: Physique des ondes, Traitement du signal, mécanique des milieux continus, géophysique et/ou sismologie. Un fort intérêt pour le calcul scientifique et le traitement du

### 📍 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr



## Développement du SIG appliqué aux données d'études de sols pour les projets d'installations du CEA

SCIENCES DU CLIMAT ET DE  
L'ENVIRONNEMENT

### CONTEXTE

Au CEA, le centre DAM-Île de France a pour mission des études de projets d'installations nouvelles et la conception d'ouvrages. La multiplicité de ces projets d'installations requiert un nombre croissant d'études de sols sur les différents sites d'implantation des centres CEA. En conséquence de quoi, de nombreuses données géotechniques, géologiques, géophysiques, topographiques sont ainsi acquises sur les différents projets aux travers de marchés.

D'autres données (géoscientifiques au sens large) peuvent également être obtenues lors d'études spécifiques (analyse et surveillance environnementale notamment, recherche appliquée).

### OBJECTIFS

Le(a) stagiaire aura pour objectif de poursuivre le travail initié pour rassembler et exploiter les données d'études de sols existantes via un Système d'Information Géographique (Q-GIS) et de l'intégrer dans les besoins utilisateurs des différents métiers du DP2I.

Un travail d'inventaire critique a été réalisé sur un centre pilote CEA. L'objectif du stage est de poursuivre l'approvisionnement de ce SIG avec l'ajout de données supplémentaires, y lier les données sources, et appliquer/développer des opérateurs de traitement (interpolation, iso-surfaces, profils, ...) pour dériver des produits cartographiques utiles aux géotechniciens, géophysiciens, géologues, voire ingénieurs du BIM (Building Information Modeling).

En fonction du développement de ce SIG, il pourra être envisagé un travail de réflexion et recommandation sur la mise en place d'une solution de partage pour les utilisateurs. L'organisation de son contenu et les applications qui seront développées visent à être appliquées aux données des autres centres.

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📖 COMPETENCES REQUISES

Géomatique, SIG, géologie, géotechnique, géophysique, BIM. Etudiant(e) en 3ème année d'école d'ingénieur ou master 2 en géomatique idéalement dans le domaine des sciences de la terre/géotechnique. En complément, vous possédez des notions sur le BIM dans I

### 📍 CENTRE

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

### ☀ CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Le réchauffement climatique engendre des évènements climatiques extrêmes de plus en plus nombreux qui peuvent avoir un impact sur les dispositions à prendre par le Centre de Valduc pour en limiter les conséquences.

## OBJECTIFS

- Evaluer les tendances des paramètres mesurés depuis 20 ans à la station météorologique du Centre de Valduc.
- Déterminer les occurrences et les amplitudes des évènements climatiques extrêmes, en les comparant aux données régionales.
- Evaluer les conséquences potentielles de ces évènements climatiques extrêmes sur le fonctionnement du Centre.
- Déterminer des seuils d'alerte permettant la mise en vigilance des installations du Centre.

### DUREE

4 mois

### COMPETENCES REQUISES

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

# SCIENCES POUR L'INGENIEUR

### CONTEXTE

Lors de la conception de nouvelles installations nucléaires en béton armé, il est souvent nécessaire de réaliser des structures de grandes dimensions sans joint de fractionnement. De plus, pour justifier la stabilité d'ensemble des installations en cas de séismes, et notamment l'absence de risque de glissement, il est généralement nécessaire de disposer d'un bon frottement à l'interface entre le sol et le radier.

Ces dispositions contribuent, peu après l'exécution des installations, à l'apparition de contraintes de traction dans les radiers en s'opposant à la propension naturelle du béton à effectuer son retrait. Contrer ce phénomène nécessite l'ajout de barres d'armatures voire parfois l'épaississement de la structure. Cela complexifie la construction, augmente le coût total de l'ouvrage et pénalise le bilan carbone de l'opération.

### OBJECTIFS

Ce Stage se déroulera sur le Centre du CEA-Cadarache en région PACA. Son objectif sera de proposer des pistes permettant de limiter les effets du retrait dans les structures pour lesquelles il induit un surcroît d'armatures.

Ces préconisations pourront concerner :

- les phases de conception (amélioration des paramètres du sol au contact du radier, ou choix des caractéristiques des bétons employés par exemple)
- les phases d'exécution (cure, séquençage des bétonnages, conditions climatiques pendant et après le coulage par exemple)

Pour chacune des pistes proposées, le stagiaire devra évaluer les gains potentiels dégagés au niveau des quantités d'armatures à mettre en œuvre."

### 🕒 DUREE

4 à 6 mois

### 📍 CENTRE

Cadarache

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

**CONTEXTE**

Qu'il s'agisse d'incendies, d'inondations, de chutes de charges, d'impacts quelconques ou d'explosions externes voire internes, les scénarii étudiés pour concevoir les installations nucléaires sont établis dans l'objectif de rendre l'ouvrage structurellement robuste. La prise en compte d'agressions de plus en plus contraignantes lors de la conception de nouvelles installations nucléaires a un impact direct sur leur dimensionnement. Afin de maîtriser l'impact de ces événements, des logiciels de calculs d'éléments finis permettent la modélisation et la simulation d'une structure quelconque soumise à diverses contraintes.

**OBJECTIFS**

Dans le cadre de ces travaux de stage, un intérêt sera porté au phénomène des explosions externes, des pressions engendrées par celles-ci et plus particulièrement à l'impact de l'effet de masquage par une structure de type charpente métallique sur la propagation du front d'onde. Dans une démarche numérique se plaçant dans un contexte de projet, une modélisation complète par analyse temporelle sera développée. L'action de l'explosion sera représentée par une surpression aérienne incidente de forme triangulaire et à front raide sur chacune des parois de l'ouvrage exposé.

Les simulations d'explosion seront réalisées en régime dynamique, intégrant les non-linéarités comportementales et géométriques du modèle afin de tenir compte des grands déplacements, des déformations plastiques, des lois de comportement matériaux, et des interactions entre fluides et structures. L'ampleur des non-linéarités et la brièveté du phénomène imposent le choix d'une méthode de calcul aux éléments finis en formulation explicite, intégrant un solveur lagrangien (calcul de structures) et un solveur eulérien (calculs fluidiques), ainsi qu'un algorithme de couplage entre les deux (interaction fluide/structure). Les calculs seront réalisés avec LS-DYNA, particulièrement adapté à l'étude en dynamique rapide des interactions fluide/structure. Une analyse de sensibilité sur la propagation de l'onde d'explosion sera in fine menée pour étudier la corrélation entre les caractéristiques géométriques et mécanique de la structure métallique masquant l'ouvrage de génie civil et la pression incidente sur ce dernier.

**DUREE****4 à 6 mois****COMPETENCES REQUISES****Dynamique des structures, béton armé****CENTRE****DAM - Île-de-France****Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon****01-69-26-40-00****CONTACTS****stage.dif@cea.fr**

### CONTEXTE

Dans les installations nucléaires, l'effet de la chute d'avion sur la structure génie civil peut avoir des conséquences majeures en termes de sûreté. Les effets de ce type de chargement sont complexes à appréhender compte tenu de la multiplicité des paramètres à prendre en compte (géométrie, caractéristique des matériaux constituant la cible et le projectile, vitesse du projectile au moment de l'impact, etc...).

Au fil du temps, diverses approches de calcul simplifiées ont été développées dont certaines sont toujours employées actuellement. Toutefois, l'essor des capacités de calculs numériques appliqués à la résolution de problèmes dynamiques permet désormais d'appréhender les effets de la chute d'avion sur les structures en béton armé avec une précision significativement accrue.

### OBJECTIFS

Dans le cadre de ces travaux de stage, l'objectif sera de comparer et analyser les résultats obtenus avec différentes méthodes de calcul pour l'étude des conséquences mécaniques des chutes d'avion sur les structures de génie civil de type installations nucléaires. Dans une démarche numérique se plaçant dans un contexte de projet, une modélisation complète par analyse temporelle sera développée. L'action d'impact sera représentée par un effort équivalent. Le(a) stagiaire aura pour mission de corrélérer les résultats obtenus en termes de conséquences mécaniques sur le génie civil et de dimensionnement au juste besoin de ce dernier en fonction de la géométrie de la cible. Les simulations d'impact seront réalisées en régime dynamique, intégrant les non-linéarités comportementales et géométriques du modèle afin de tenir compte des grands déplacements, des déformations plastiques, des lois de comportement matériaux. L'ampleur des non-linéarités et la brièveté du phénomène imposent le choix d'une méthode de calcul aux éléments finis en formulation explicite, intégrant un solveur lagrangien (calcul de structures). Les calculs seront réalisés avec LS-DYNA, particulièrement adapté à l'étude en dynamique rapide des chocs et impacts. Les conclusions tirées de cette étude comparative serviront notamment à identifier au travers d'abaques le dimensionnement au juste besoin des structures de génie civil en vue de préconiser au mieux la conception des ouvrages au cas par cas pour chaque projet.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Béton armé, dynamique des structures

### CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

### CONTACTS

stage.dif@cea.fr

## CONTEXTE

Le CEA Le Ripault réalise des essais abusifs sur batteries lithium-ion destinées principalement à l'industrie automobile, maritime ou à l'aérospatiale. Ces essais consistent à exercer des agressions électriques, thermiques ou mécaniques pour tester le comportement et quantifier la réactivité des batteries, et donc leur degré de sécurité.

## OBJECTIFS

Dans ce cadre, le laboratoire souhaite améliorer la caractérisation des particules éjectées et des gaz incandescents émis lors de l'emballage thermique d'une cellule (batterie petite dimension). A l'aide de caméras rapides, de jeux de miroirs et de grilles, le stagiaire aura pour mission de quantifier les vitesses des particules et d'évaluer la forme des flammes. Cette visualisation sera couplée à des mesures de capteurs de flux et de thermocouples.

## 🕒 DUREE

3 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Mesures physiques

## 📍 CENTRE

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

## ☀ CONTACTS

stage.ripault@cea.fr

## CONTEXTE

Une installation nucléaire va être prochainement mise en service. Elle met en oeuvre un robot capable d'identifier, prendre et déplacer un colis de matière nucléaire. L'analyse de sûreté met en évidence la nécessité de renforcer la surveillance de sa trajectoire.

Le sujet porte sur l'étude et le maquettage de solutions indépendantes du système existant afin de contrôler les trajectoires.

## OBJECTIFS

Rédaction de la spécification Technique des besoins.

Proposition de solutions de limitation de la hauteur de manutention du colis.

Démonstration associée.

Propositions de différentes technologies.

Prise en compte des différentes étapes et configurations (départ, arrivée, transport, mesure...).

Programme d'essais associé.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📍 CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.valduc@cea.fr

## CONTEXTE

Une installation nucléaire va être prochainement mise en service. Elle met en oeuvre un robot capable d'identifier, prendre et déplacer un colis de matière nucléaire. Les essais en cours mettent en évidence la possibilité d'optimiser sa conception.

Lors de maintenance, les trajectoires du robot peuvent être modifiées. Cette modification, réalisée par un technicien, consiste en l'apprentissage et l'enregistrement des coordonnées de trajectoires. Le sujet porte sur l'automatisation de l'apprentissage des trajectoires afin d'optimiser le temps de maintenance.

Pour cela, le stagiaire devra étudier et évaluer différentes technologies afin de recréer les trajectoires permettant le déplacement du colis dans les tolérances acceptables.

## OBJECTIFS

Rédaction de la spécification Technique des besoins.

Proposition de solutions d'automatisation et d'amélioration de la précision d'accostage de l'organe de préhension sur le colis.

Propositions de différentes technologies.

Prise en compte des différentes étapes et configurations (départ, arrivée, transport, mesure...).

Programme d'essais associé.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📍 CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## ☀ CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

#### CONTEXTE

Les systèmes mécaniques ont souvent des comportements non linéaires induits par des contacts, du frottement, des matériaux constitutifs au comportement également non linéaire. De plus, ces systèmes comportent souvent un nombre de pièces important. La réponse de ces structures à des sollicitations de type vibratoire ou choc est difficile à obtenir pour l'ensemble des sollicitations qu'elles peuvent subir en service. Le plus difficile à obtenir reste la réponse transitoire de par sa complexité, que ce soit en simulation numérique (pour une question de temps) ou expérimentalement (pour une question de temps et de faisabilité). Il est également très compliqué d'évaluer la sensibilité de la réponse aux paramètres apportant de l'incertitude comme le chargement mécanique, la réalisation de la structure ou le modèle en lui-même.

#### OBJECTIFS

Le CEA met en œuvre de nouvelles méthodes pour réduire le temps de calcul et pour adapter au mieux les campagnes expérimentales, ces dernières étant utilisées pour alimenter et vérifier les calculs et simulations. Celles-ci doivent donc être suffisamment fournies sans que cela n'en devienne irréalisable.

L'étude qui est proposée s'intéresse à un système complexe aujourd'hui étudié de deux façons différentes : dans un premier temps une représentation par un système Masse, Ressort, Amortisseur à quatre degrés de liberté et, dans un second temps, par un modèle d'éléments finis. Ce dernier est plus riche que le précédent mais est aussi bien plus coûteux en temps de calcul.

Le système peut être soumis à différentes sollicitations caractérisées principalement par une fréquence et une amplitude. L'objectif est de rechercher les chargements mécaniques donnant lieu à des contacts et des chocs. L'étude portera ensuite sur le couplage entre les pièces, les conditions de contact ainsi que les frottements et leur impact sur la réponse du système global.

#### DUREE

6 mois

#### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

#### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

## CONTEXTE

La Direction des applications militaires (DAM) du CEA, a pour mission de concevoir, fabriquer, maintenir en condition opérationnelle, puis démanteler les têtes nucléaires qui équipent les forces nucléaires aéroportée et océanique françaises.

L'installation de physique expérimentale Epure, grand instrument partagé par le Royaume-Uni et la France, mise en service opérationnel en octobre 2014, permet de mettre en œuvre des essais et des expériences de laboratoire utilisant la radiographie éclair.

## OBJECTIFS

Au sein de cette installation, l'unité mixte franco-britannique d'Exploitation du Rayonnement X utilise un réseau de localisation topométrique constitué de sphères réparties dans plusieurs pièces et permettant de positionner et d'orienter un laser de poursuite dans toute l'installation. Ce réseau est habituellement utilisé en matérialisant plusieurs repères locaux, chacun caractéristique d'un secteur géographique.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Maîtrise de l'anglais technique

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

## CONTEXTE

La Direction des applications militaires (DAM) du CEA, a pour mission de concevoir, fabriquer, maintenir en condition opérationnelle, puis démanteler les têtes nucléaires qui équipent les forces nucléaires aéroportée et océanique françaises.

L'installation de physique expérimentale Epure, grand instrument partagé par le Royaume-Uni et la France, mise en service opérationnel en octobre 2014, permet de mettre en œuvre des essais et des expériences de laboratoire utilisant la radiographie éclair.

## OBJECTIFS

Au sein de cette installation, l'unité mixte franco-britannique d'Exploitation du Rayonnement X utilise des pièces lourdes et doit les positionner avec grande précision dans un environnement contraint.

Le stagiaire analysera les contraintes d'accès et d'emploi pour définir des outillages d'assistance ergonomique au montage, réglage, démontage et rangement de ces assemblages.

Le stagiaire travaillera directement avec l'équipe en charge de l'exploitation de ces outillages et participera soit à leur fabrication (additive) ou approvisionnement à l'extérieur.

## 🕒 DUREE

6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Maîtrise de l'anglais technique

## 📍 CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## ☀ CONTACTS

stage.valduc@cea.fr



## Modélisation d'une chaîne de dosimétrie sur une source X par générateur HT sur diode X

SCIENCES POUR L'INGENIEUR

### CONTEXTE

La Direction des applications militaires (DAM) du CEA, a pour mission de concevoir, fabriquer, maintenir en condition opérationnelle, puis démanteler les têtes nucléaires qui équipent les forces nucléaires aéroportée et océanique françaises.

L'installation de physique expérimentale Epure, grand instrument partagé par le Royaume-Uni et la France, mise en service opérationnel en octobre 2014, permet de mettre en œuvre des essais et des expériences de laboratoire utilisant la radiographie éclair.

Le principe de la radiographie éclair repose sur l'étude de l'absorption par les matériaux traversés d'un rayonnement X très pénétrant (plusieurs MeV), très bref (environ 60 ns) et très intense (plusieurs Gray). La génération de ce rayonnement X est assurée par un accélérateur à induction, dont le faisceau d'électrons de très haute intensité (plusieurs kA) interagit avec une cible de matériau lourd (Z élevé) produisant des photons X par rayonnement de freinage.

Ces sources et les nombreux éléments présents dans la cellule expérimentale induisent de multiples sources secondaires, X et n.

### OBJECTIFS

Au sein de l'installation Epure, l'unité mixte franco-britannique d'Exploitation du Rayonnement X a en charge l'évaluation de l'ambiance et l'optimisation progressive de celle-ci au regard de la qualité des images expérimentales obtenues.

Au sein de l'unité ERX, le stagiaire modélisera une source X intense (diode X) et des structures mécaniques la collimatant, ainsi que des détecteurs actifs sous flux permettant de la caractériser. L'objectif est d'affiner la compréhension de la réponse de ces détecteurs dosimétriques.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Maîtrise de l'anglais technique

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

stage.valduc@cea.fr

#### CONTEXTE

La Direction des applications militaires (DAM) du CEA, a pour mission de concevoir, fabriquer, maintenir en condition opérationnelle, puis démanteler les têtes nucléaires qui équipent les forces nucléaires aéroportée et océanique françaises.

L'installation de physique expérimentale Epure, grand instrument partagé par le Royaume-Uni et la France, mise en service opérationnel en octobre 2014, permet de mettre en œuvre des essais et des expériences de laboratoire utilisant la radiographie éclair.

Le principe de la radiographie éclair repose sur l'étude de l'absorption par les matériaux traversés d'un rayonnement X très pénétrant (plusieurs MeV), très bref (environ 60 ns) et très intense (plusieurs Gray). La génération de ce rayonnement X est assurée par un accélérateur à induction, dont le faisceau d'électrons de très haute intensité (plusieurs kA) interagit avec une cible de matériau lourd (Z élevé) produisant des photons X par rayonnement de freinage.

Ces sources et les nombreux éléments présents dans la cellule expérimentale induisent de multiples sources secondaires, X et n.

#### OBJECTIFS

Au sein de l'installation Epure, l'unité mixte franco-britannique d'Exploitation du Rayonnement X a en charge l'évaluation de l'ambiance et l'optimisation progressive de celle-ci au regard de la qualité des images expérimentales obtenues.

Au sein de l'unité ERX, le stagiaire modélisera 2 sources X intenses (freinage de faisceaux d'électrons monochromatiques) et les structures mécaniques les collimatant, ainsi qu'un détecteur actif sous flux. L'objectif est d'affiner la compréhension de la réponse de ces détecteurs dosimétriques en environnement multisources.

#### DUREE

6 mois

#### COMPETENCES REQUISES

Maîtrise de l'anglais technique

#### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

#### CONTACTS

stage.valduc@cea.fr

# SECURITE DU TRAVAIL & DES BIENS RADIOPROTECTION

### CONTEXTE

Evaluation du risque d'exposition aux extrémités par l'uranium et définition des dispositions associées de radioprotection à mettre en œuvre au sein d'une installation nucléaire.

### OBJECTIFS

Identifier le risque d'exposition aux rayonnements ionisants lié à la manipulation sur uranium. Quantifier (calcul + mesure) le niveau d'exposition. Analyser les résultats sur la base de la réglementation en vigueur. Définir les dispositions de radioprotection, réglementaires et opérationnelles, à mettre en place au vu des conclusions.

### DUREE

6 mois

### COMPETENCES REQUISES

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

stage.valduc@cea.fr

# SUPPORT A LA PRODUCTION

### CONTEXTE

Le Centre de VALDUC a notamment pour mission de gérer les déchets nucléaires alpha et les toxiques générés par l'ensemble des activités du centre, à assurer dans certains cas leur traitement, leur entreposage et leur évacuation via les filières existantes. Il assure également la coordination des transports de matières radioactives ou dangereuses sur le centre ou sur voie publique dans le respect de la réglementation. Pour mener à bien ses missions, l'unité en charge de ces activités exploite un certain nombre d'Installations Individuelles qui nécessitent un suivi quotidien au titre du maintien en condition opérationnelle.

### OBJECTIFS

Sur l'année, 2000 opérations de maintenance sont réalisées dans ce cadre. Parmi celles-ci, certaines découlent directement du référentiel de l'installation et doivent être réalisées selon un calendrier strict. A partir d'un outil de GMAO standard (CARL), le sujet du stage consiste à basculer du système actuel de suivi des opérations de maintenance vers un système plus robuste et moderne.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Métiers de la maintenance

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

# SURETE NUCLEAIRE

## CONTEXTE

Le Centre de VALDUC a notamment pour mission de gérer les déchets nucléaires alpha et les toxiques générés par l'ensemble des activités du centre, à assurer dans certains cas leur traitement, leur entreposage et leur évacuation via les filières existantes. Il assure également la coordination des transports de matières radioactives ou dangereuses sur le centre ou sur voie publique dans le respect de la réglementation.

Pour mener à bien ses missions, l'unité en charge de ces activités exploite un certain nombre d'Installations Individuelles dans le respect des exigences de sûreté indiquées dans un contrat passé avec l'Autorité de Sûreté : le référentiel de sûreté de l'Installation.

## OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est, suite à un bilan terrain du respect du référentiel de l'installation, d'apporter des solutions d'amélioration de l'organisation mise en place. Il s'agit notamment de :

1- proposer une mise à jour des outils de suivi sûreté (demandes d'autorisation, contrôles de 1er niveau, suivis d'actions,...) afin de poursuivre leur évolution vers des circuits informatiques de validation et/ou des outils de suivi plus intuitifs,

2- conduire des contrôles de 1er niveau afin de vérifier sur le terrain le respect du référentiel. Mise en place d'un programme de contrôle puis rédaction des Fiches d'Amélioration et suivi des Plans d'Actions,

3- participer à la mise à jour des documents d'exploitation et/ou du référentiel en fonction des actions d'amélioration retenues.

Intégré à une équipe "sûreté nucléaire d'Installation", le candidat retenu aura en outre de nombreuses opportunités de participer à l'analyse des demandes d'autorisation faites au Chef d'Installation, à la rédaction des demandes d'autorisation faites au Directeur du Centre ou aux Autorités de Sûreté Nucléaire nécessitant des qualités rédactionnelles et d'analyse.

## DUREE

4 à 6 mois

## CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

## CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

## CONTEXTE

L'unité en charge du transport de matières au CEA/Valduc a pour vocation de garantir à la Direction du centre le respect des règles de transport de marchandises dangereuses, en interne centre et sur la voie publique. Au sein de ce même Service, le pôle emballage de transport, composé de 3 personnes, a pour vocation de s'assurer de l'adéquation des besoins d'emballages avec les autorisations d'utiliser ces emballages en interne centre, le cas échéant d'élaborer les démonstrations de sûreté nécessaire à l'obtention des autorisations de transport interne sur le site de VALDUC, voir de concevoir, et mettre en œuvre selon le besoin, un nouvel emballage de transport, ainsi que les autorisations associées.

## OBJECTIFS

Au sein du pôle emballage de transport, le candidat participera en relation avec l'Ingénieur Sureté Nucléaire Transport à l'élaboration de ces démonstrations de sûreté nécessaires à l'obtention des autorisations. L'objectif de ce stage, fonction des capacités du candidat, de son intérêt pour les divers sujets et de la durée de son stage consiste en :

- 1- L'élaboration de démonstrations types pour la radiolyse, la thermolyse et le confinement des matières au sein du colis.
- 2- L'élaboration de démonstrations de tenue mécanique aux conditions normales et accidentelles de transport.
- 3- La participation à la mise à jour de certains documents opérationnels découlant des démonstrations.
- 4- La conduite de contrôles de 1er niveau afin de vérifier sur le terrain le respect du référentiel. Programme de contrôle à mettre en place puis Fiches d'Amélioration et Plans d'Actions.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

- 1- Sûreté nucléaire
- 2- Maîtrise des risques – Sécurité

### CENTRE

Valduc

21120 Is sur Tille

03-80-23-40-00

### CONTACTS

[stage.valduc@cea.fr](mailto:stage.valduc@cea.fr)

# SYSTEMES D'INFORMATION

## CONTEXTE

Le Laser Mégajoule (LMJ) est une grande installation de physique actuellement en exploitation au CEA/CESTA. Elle permet d'étudier, à toute petite échelle, le comportement de la matière dans des conditions extrêmes de température et de pression. Le LMJ est dimensionné pour délivrer sur une cible de quelques millimètres, en quelques milliardièmes de seconde, une énergie lumineuse supérieure à un million de joules.

Le CEA a développé plusieurs outils d'exploitation permettant de simuler le comportement de l'installation, d'analyser les résultats, de suivre l'évolution de facteurs critiques et d'interagir avec les systèmes de gestion de configuration et de maintenance de l'installation. Au cours de ce stage, vous serez amené à intervenir sur l'un de ces outils, que ce soit sur les aspects interfaces logicielles ou humaines (Python, WebServices, HTML, CSS, Angular), sur les logiciels de simulation de l'installation, sur les fonctionnalités métier (laser, alignement, synchronisation) ou sur le stockage massif des données (BDD SQL et NoSQL).

## OBJECTIFS

Vous suivez une formation ingénieur/master avec une composante informatique et scientifique et vous avez des connaissances sur un des domaines cités précédemment ? Venez rejoindre l'unité en charge du Commande-Contrôle des lasers de Puissance au CEA/CESTA pour y faire un stage. Vous serez amené à travailler au sein d'un laboratoire constitué d'ingénieurs/chercheurs maîtrisant ces technologies sur lesquelles vous pourrez vous appuyer pour développer vos connaissances.

### DUREE

4 à 6 mois

### COMPETENCES REQUISES

Automatisme, Contrôle-Commande, Ingénierie web et multimédia, Langages informatiques

### CENTRE

Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

05-57-04-40-00

### CONTACTS

[stage.cesta@cea.fr](mailto:stage.cesta@cea.fr)

## CONTEXTE

Le CEA/DAM a engagé une démarche d'homologation de tous ses systèmes industriels. Le CEA/Gramat dans le contexte d'homologation de ses propres systèmes industriels propose ce stage destiné à simplifier certaines tâches dans la constitution des dossiers d'homologation, afin de faciliter le travail de suivi et la fourniture de rapports.

## OBJECTIFS

Le contenu du stage consiste en l'automatisation de tâches liées à la constitution du dossier d'homologation et au suivi des actions. Le dossier d'homologation se compose d'une fiche d'information regroupant toutes les informations sur le système, d'un questionnaire (questions basées sur les mesures détaillées de l'ANSSI), d'un plan d'actions (issu de ce questionnaire à partir de réponses non conformes dans ce dernier) et finalement d'une étude de risque. Les développements informatiques confiés au stagiaire s'orientent vers :

1. Un outil de recueil et de suivi des actions cyber :

- Import des actions depuis les plans d'actions des systèmes industriels dans une base

- Automatisation de la génération de rapports d'avancement

- Avec possibilité de filtrage et d'extraction selon divers critères (année d'homologation, type de réponse non conforme du questionnaire, système industriel, responsable technique du système industriel, taux d'avancement, date d'échéance de l'action...).

2. Un outil d'aide au remplissage des fiches d'information et des questionnaires : à partir de questions simples posées à l'utilisateur, cet outil guiderait l'utilisateur et lui permettrait de remplir plus facilement les fiches d'information et les questionnaires.

Durant la première partie du stage, le stagiaire prendra connaissance du processus de l'homologation en place au CEA de Gramat. Ensuite et selon la durée du stage, le premier outil puis le deuxième seront développés.

## DUREE

4 à 6 mois

## COMPETENCES REQUISES

Informatique, cybersécurité.

Tkinter pour les IHM, Visual Basic pour les extractions depuis les documents de la suite Office

## CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

## CONTACTS

[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)

THERMOHYDRAULIQUE

&

MECANIQUE DS FLUIDES



## Influence de l'évolution de surface d'une protection thermique sur un écoulement hypersonique

**THERMOHYDRAULIQUE ET  
MECANIQUE DES FLUIDES**

### CONTEXTE

Lors de la rentrée dans l'atmosphère à très grande vitesse d'un objet (naturel ou artificiel), la dissipation de l'énergie cinétique par frottement de l'air, provoque un échauffement intense de l'écoulement ainsi que de la paroi de l'objet. Cette paroi se dégrade par suite du phénomène d'ablation, la matière étant consommée chimiquement. Ceci se modélise par couplage d'un calcul d'écoulement avec réactions chimiques avec une modélisation de la surface réactive du matériau.

Des structures géométriques tridimensionnelles régulières en forme de creusements (gouges) sont susceptibles d'apparaître dès que l'écoulement devient turbulent. Ces structures vont modifier l'ensemble de l'écoulement ainsi que l'échauffement de la paroi.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est de simuler l'influence de ces gouges à l'aide d'un code de calcul résolvant les équations d'Euler. Il s'agit de prendre en compte la déformation du maillage 3D qui va permettre de simuler la formation des gouges. Un méta-modèle permettra de paramétrer la géométrie des gouges et de simuler leurs évolutions au cours de la rentrée atmosphérique.

### DUREE

**6 mois**

### COMPETENCES REQUISES

**Aérodynamique, mécanique des fluides, méthodes numériques, maillage**

### CENTRE

**Cesta**

**BP 2 – 33114 Le Barp**

**05-57-04-40-00**

### CONTACTS

**stage.cesta@cea.fr**

## CONTEXTE

La fusion par confinement inertiel (FCI) vise à produire de l'énergie à partir de réactions nucléaires de fusion d'éléments légers. Une voie possible pour obtenir les hautes densités et températures nécessaires au déclenchement de ces réactions, consiste à imploser un micro-ballon, rempli d'un mélange fusible, au moyen d'un rayonnement intense. Ce rayonnement provoque une vaporisation violente – ablation – de l'enveloppe du micro-ballon conduisant à l'implosion de celui-ci. La maîtrise des instabilités hydrodynamiques d'ablation est un élément critique pour parvenir au déclenchement des réactions de fusion et pour la réussite de la FCI. La durée limitée de l'implosion du micro-ballon met en exergue la nécessité d'identifier les instabilités susceptibles de dominer l'écoulement aux temps courts. Une telle identification peut être menée de manière systématique grâce aux méthodes de l'analyse de stabilité non-modale (cf. Schmid, Ann. Rev. Fluid Mech. 2007). Pour ce stage de master, on se focalise sur la recherche de perturbations optimales pour des écoulements instationnaires auto-semblables d'ablation de type FCI.

## OBJECTIFS

Du fait du caractère instationnaire de l'écoulement étudié, la recherche de perturbations optimales est effectuée à l'aide d'une méthode de type direct-adjoint conduisant à la résolution d'un problème d'optimisation sous contrainte. Ce problème dépend de la fonctionnelle objectif considérée et plusieurs choix sont envisageables pour des écoulements d'ablation : énergie(s), déformations, ... Pour ce stage, on se propose d'étudier d'autres fonctionnelles objectif que celles déjà utilisées. Il s'agira de mettre en œuvre ces nouvelles fonctionnelles dans un code numérique (pseudo-spectral multi-domaine) de stabilité hydrodynamique existant, écrit en FORTRAN 90, dédié à l'étude d'écoulements auto-semblables d'ablation. Les résultats de perturbations optimales ainsi obtenus seront comparés aux résultats déjà acquis.

## 🕒 DUREE

**6 mois**

## 📖 COMPETENCES REQUISES

**Fortran 90**

## 📍 CENTRE

**DAM - Île-de-France**

**Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon**

**01-69-26-40-00**

## ☀ CONTACTS

**[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)**

## CONTEXTE

Les écoulements turbulents rencontrés dans les applications de type FCI (fusion par confinement inertiel) intéressant le CEA proviennent d'instabilités d'interface comme celle de type Rayleigh-Taylor. Il est alors nécessaire de modéliser la phase de transition à la turbulence afin de renseigner les conditions initiales des modèles RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes). Ceux-ci permettent de capturer la dynamique des zones de mélange pleinement développées. Cette approche est rendue nécessaire du fait que les simulations numériques directes (DNS) sont trop coûteuses pour être utilisées de manière courante dans le dimensionnement des expériences FCI

## OBJECTIFS

Dans ce stage, on souhaite proposer une approche Machine learning (ML) pour initialiser les modèles RANS en utilisant les bases de données provenant de DNS ou bien de modèles spectraux de type EDQNM (Eddy Damped Quasi Normal Markovian). Ce stage s'inscrit dans le cadre d'une thèse au CEA visant à améliorer des fermetures des modèles RANS par une approche ML.

## 🕒 DUREE

4 à 6 mois

## 📖 COMPETENCES REQUISES

Formation mécanique des fluides

## 🏠 CENTRE

DAM - Île-de-France

Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

01-69-26-40-00

## ☀ CONTACTS

[stage.dif@cea.fr](mailto:stage.dif@cea.fr)

## CONTEXTE

La modification d'un bâtiment abritant un lanceur (canon utilisé pour des expérimentations), est envisagée. Cependant, la topologie extérieure au bâtiment ne pouvant être modifiée, il est identifié un risque que le flux de gaz issu de la casemate abritant le canon se réfléchisse sur un merlon en terre à l'arrière du bâtiment et vienne endommager une porte. Pour se prémunir de ce risque, l'idée est de concevoir un déflecteur permettant d'orienter les ondes de réflexions au-dessus du bâtiment afin de limiter leur effet destructeur. L'objet du stage est d'analyser cette faisabilité, notamment par simulations de l'écoulement issu de la casemate avec le code AVBP développé par le CERFACS.

## OBJECTIFS

L'objectif de ce stage est dans un premier temps de prendre en main le code de calcul AVBP du CERFACS et de faire une simulation de la configuration actuelle pour caractériser l'onde de surpression et mieux comprendre les phénomènes de réflexion. Une fois la configuration de référence caractérisée, une solution de protection sera proposée et optimisée sur la base de nouvelles simulations.

### DUREE

6 mois

### CENTRE

Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

05-65-10-54-32

### CONTACTS

[stage.gramat@cea.fr](mailto:stage.gramat@cea.fr)

