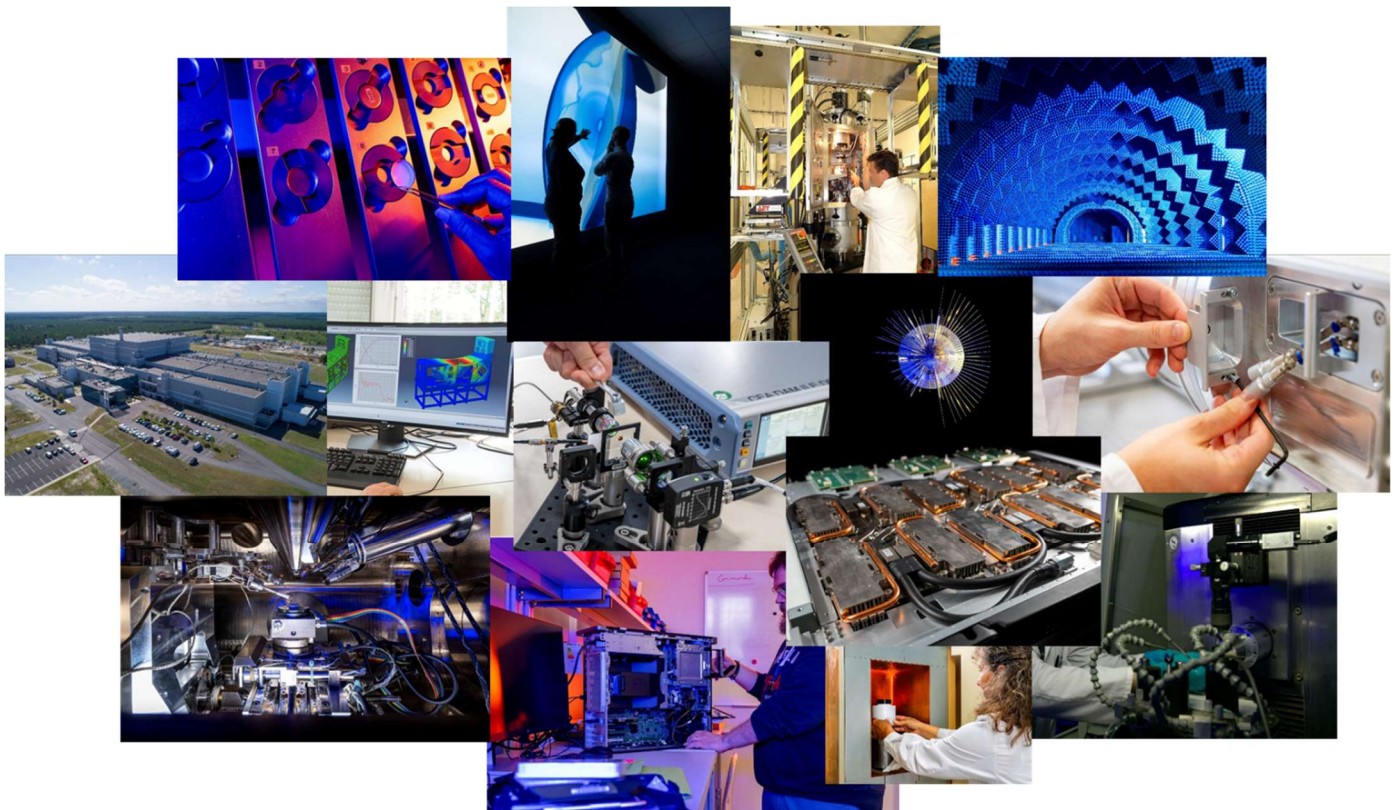




Direction des applications militaires

OFFRES de STAGES POUR L'ANNÉE 2027



Pour en savoir plus sur le CEA, la DAM et nos métiers scientifiques et techniques

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

<https://www-dam.cea.fr/>

<https://www.cea.fr/comprendre/jeunes/Pages/metiers.aspx>

Pour retrouver nos offres (et celles de tout le CEA) et postuler à celles qui vous intéressent :

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

Pour faire acte de candidature spontanée au CEA/DAM :

E-mail : stage-DAM@cea.fr

Nos labels : **Happytrainees** (CHOOSEMYCOMPANY®) qui valorise la qualité de l'expérience professionnelle telle que perçue par les stagiaires et les apprentis en poste au CEA (en 2025 : taux de recommandation : 93,4% ; note : 4,15 sur 5 ; 2026 : en cours) et **Engagement JEUNES** pour favoriser l'insertion professionnelle des stagiaires et apprentis, que ce soit au CEA ou auprès d'une des 3000 entreprises adhérentes.



Vous êtes actuellement en formation et démarrez la recherche active de votre futur stage prévu dans le cadre de votre cursus ? Ce recueil est fait pour vous ! Il recense, classé par domaine de compétences, l'ensemble des sujets de stages proposés à ce jour par les équipes de la Direction des applications militaires (DAM) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et que vous trouverez sur le portail emploi du CEA (<https://www.emploi.cea.fr/>).

Je vous invite à parcourir avec attention le recueil des sujets déjà disponibles à ce jour, que vous trouverez également sur le site Internet du CEA/DAM (<https://www-dam.cea.fr/>) et sur le portail emploi du CEA (<https://www.emploi.cea.fr/>). N'hésitez pas à postuler sur les offres qui vous intéressent ; cela vous permettra d'interagir plus directement avec le tuteur ou la tutrice du stage proposé qui vous contactera si votre CV retient son attention.

De nouveaux sujets pourront être ajoutés au fil des mois. Je vous encourage à consulter régulièrement le portail emploi du CEA dont vous trouverez l'adresse web ci-dessous pour y trouver la liste à jour des sujets proposés.

S'ENGAGER POUR LA DÉFENSE ET LA SÉCURITÉ DE LA FRANCE

Depuis plus de 60 ans, les hommes et les femmes de la DAM contribuent, par leur engagement et leur sens du service, au maintien de la capacité de dissuasion de la France en relevant chaque jour des défis scientifiques et techniques pour assurer ensemble la réalisation des programmes de défense que leur confie l'Etat.

PARTICIPER À DE GRANDS PROJETS À LA POINTE DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE

Vous aspirez à apporter votre contribution à de grandes missions de Défense et à un travail qui donne du sens ? Rejoignez-nous ! Quel que soit le domaine de compétences dans lequel vous aspirez à mettre en œuvre les enseignements que vous avez reçus et ainsi développer votre expérience professionnelle et votre employabilité, le CEA/DAM peut vous proposer des sujets de stage répondant à vos centres d'intérêt et à votre souhait de développement de compétences.

ACCÉDER À DES ÉQUIPEMENTS DE RECHERCHE AU MEILLEUR NIVEAU MONDIAL

Vous bénéficierez, pour ceux d'entre vous qui sont engagés dans des cursus scientifiques et techniques, d'un environnement de recherche exceptionnel en termes de moyens disponibles : centres de calcul (EXA1, Très Grand Centre de Calcul...) équipés de calculateurs péta ou exaflopiques et de technologies quantiques, moyens d'expérimentation au meilleur niveau mondial, qu'ils soient de taille considérable comme le Laser Mégajoule couplé au laser Pétawatt PETAL, ou de dimensions plus modestes et exploitées dans chacun des centres en fonction des thématiques scientifiques, moyens de recherche et développement de procédés en chimie qu'elle soit organique ou inorganique ou encore dans le domaine des matériaux, nucléaires ou non, moyens de caractérisation, moyens de test aux environnements...

SE FORMER ET CONSTRUIRE VOTRE PROJET PROFESSIONNEL

L'accompagnement dont vous pourrez bénéficier tout au long de votre stage au sein du CEA vous seront particulièrement utiles pour parfaire vos compétences transverses, faire murir votre projet professionnel et permettre sa réalisation concrète à l'issue de votre cursus.

ET ENSUITE ?

Les perspectives de recrutement au CEA/DAM sont toujours nombreuses, soutenues par des besoins toujours plus importants liés notamment à l'évolution des activités vers le développement et la maîtrise de techniques toujours plus pointues (IA, calcul quantique...) et à l'élargissement de la démarche de simulation à de nombreux projets. Pour être à même de réaliser, dans le respect des délais et avec le niveau de performances requis, l'ensemble des travaux nécessaires aux projets que l'Etat lui confie, le CEA/DAM s'appuie sur des hommes et des femmes de talent, recrutés parmi les viviers constitués grâce à l'accueil régulier de stagiaires, alternant(e)s, doctorant(e)s et postdoctorant(e)s.

REJOINDRE LE CEA, C'EST

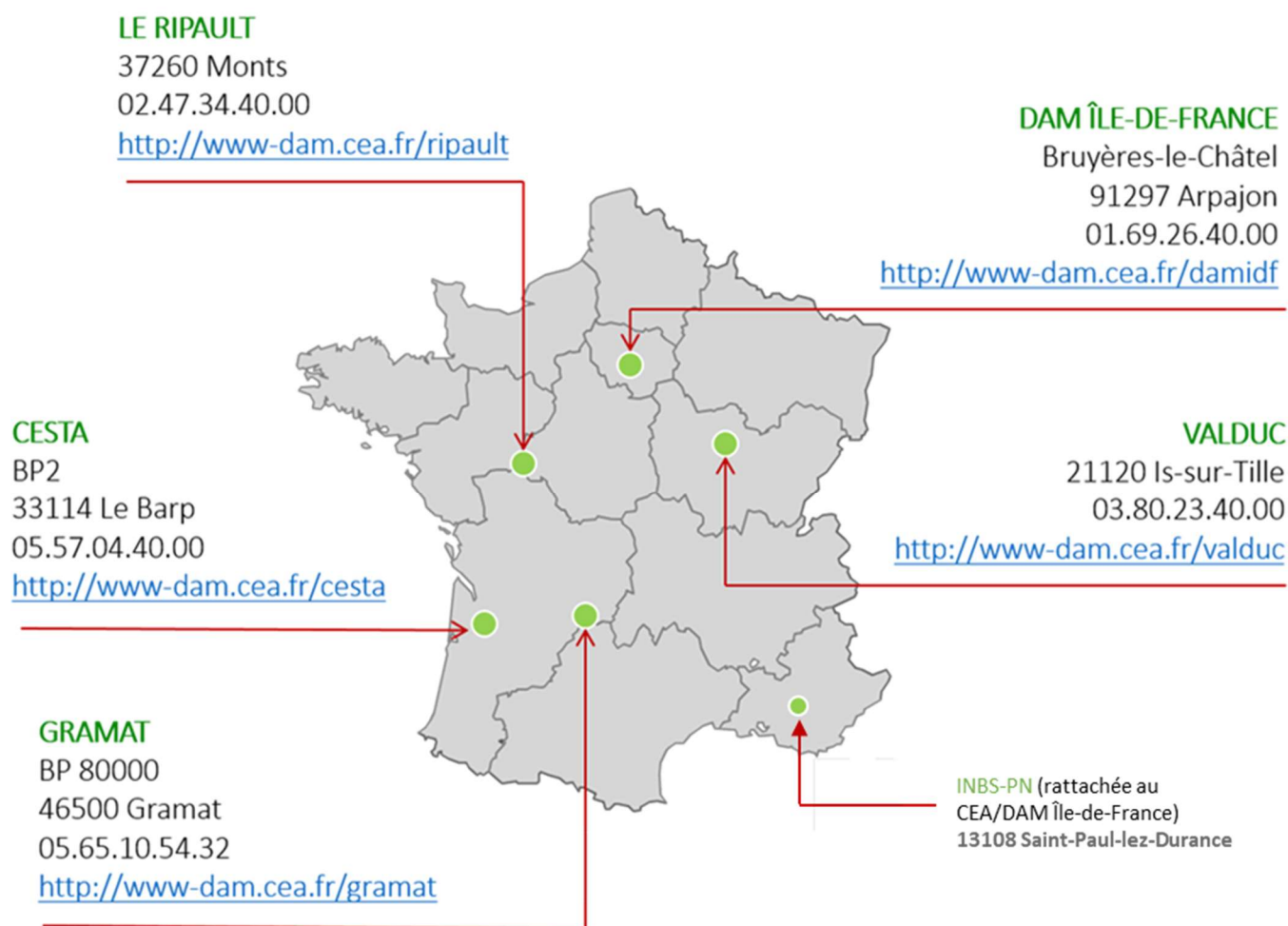
1. Rejoindre un organisme qui répond aux enjeux sociétaux pour construire le monde de demain,
2. Mener des recherches guidées par nos valeurs que sont la Curiosité, la Coopération et la Conscience des responsabilités (3C),
3. Travailler dans un organisme de recherche parmi les plus innovants au monde,
4. Être à l'origine de nombreuses premières mondiales
5. Bénéficier d'un environnement et d'une qualité de vie au travail reconnus.

Parcourez le retour d'expériences des stagiaires qui vous ont précédé(e) au CEA et venez nous rencontrer sur le stand CEA lors d'un des nombreux forums auxquels nous participerons en 2026-2027, que ce soit pour parler de nos offres et transmettre votre CV ou en savoir plus sur nos activités et nos métiers.

A très bientôt au CEA/DAM !

Laurence BONNET

Les implantations des centres du CEA / DAM



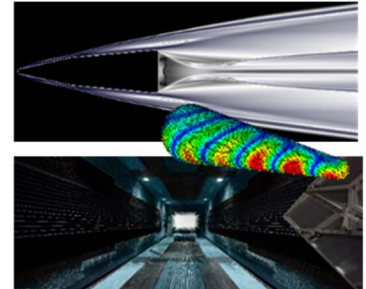
Le CEA Cesta

Centre d'études scientifiques et techniques
d'Aquitaine

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

Le CESTA est un des 5 centres de recherche et de développement technologique de la Direction des applications militaires du CEA. Il rassemble 1000 salariés sur un site de 700 hectares au cœur de la Nouvelle Aquitaine, au sud de la Gironde, entre Bordeaux et Arcachon.

Le CESTA assure la conception d'ensemble des têtes nucléaires de la force de dissuasion française à partir de **méthodes d'ingénierie collaborative intégrée**. Le CESTA est également responsable de la démonstration de fiabilité, de sûreté et de performance (tenue aux environnements, furtivité, rentrée atmosphérique), dans une démarche de simulation. Ce triptyque « modélisation/calculs/essais » s'appuie sur des **modélisations physiques de haut niveau**, des **calculateurs parmi les plus puissants au monde** et un **parc exceptionnel de moyens d'essais**.



Le CESTA dispose de la **plus grande installation laser d'Europe, LMJ/PETAL** (Laser MégaJoule/PETawatt Aquitaine Laser), instrument de recherche **unique** qui permet d'étudier la matière dans des conditions extrêmes de température et de pression, représentatives du fonctionnement des armes nucléaires et du cœur des étoiles. Pour cela, le CESTA accueille une **expertise reconnue mondialement, en conception laser, en technologie des composants optiques, en informatique industrielle...**

Une politique scientifique dynamique

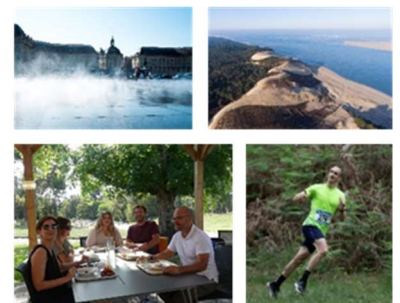
Pour mener à bien les missions dont il a la responsabilité et anticiper les évolutions nécessaires aux programmes futurs, le CESTA développe une politique scientifique dynamique et ambitieuse. Elle a donné naissance à un réseau collaboratif avec de multiples partenariats académiques et industriels qui permet notamment de former de nombreux étudiants dans un cadre stimulant, sur des sujets variés, à la pointe de la technique.

Thématiques métiers

Simulation, Expérimentations, Optique, Dynamique, Contrôle, Conception, Méthodes, Aérodynamique, Electromagnétisme, Modélisation, Optoélectronique, Sûreté, Sécurité, Nucléaire, Exploitation, Laser, Installations

Le CESTA, une qualité de vie au TOP !

- Réseau de bus CEA, accès gares, covoiturage
- Restauration sur place
- Possibilité de télétravail
- Service de Conciergerie (courrier, pressing, panier du marché...)
- Associations culturelles et sportives
- Salle de sport et parcours santé



Stagiaires, alternants, doctorants, post-doctorants, en rejoignant le CESTA, vous bénéficierez de conditions idéales pour exprimer vos compétences et développer vos talents !

Le CEA/DAM Île-de-France

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

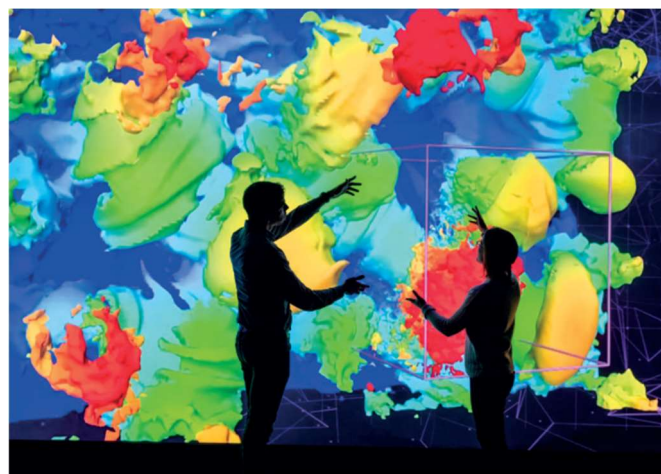
Le centre CEA/DAM Île-de-France est un des cinq centres de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA. Ses 2 000 salariés – ingénieurs, chercheurs, techniciens, doctorants, partenaires... - sont mobilisés sur des missions au cœur de la dissuasion nucléaire française, ont en charge la surveillance de risques nationaux (terrorisme, séisme et tsunamis...) et du respect des traités internationaux, ou encore l'ingénierie de grandes installations pour la Défense. Le centre accueille également le Très Grand Centre de calcul du CEA, campus des savoir-faire en Calcul Haute Performance en France, et qui héberge les supercalculateurs de classe mondiale.

À proximité immédiate du complexe scientifique du plateau de Saclay, le CEA/DAM Île-de-France est en interaction directe avec l'Université Paris-Saclay et l'Institut Polytechnique de Paris. Ses équipes proposent des thèses, stages ou alternances 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 ou encore de la géophysique.

LES MISSIONS

AU CŒUR DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

1. La conception des armes nucléaires françaises, et la garantie de leur fiabilité et de leur sûreté, en s'appuyant sur le programme simulation.
2. L'alerte auprès des autorités, 24h sur 24 et 365 jours par an, en cas d'essai nucléaire étranger, de séisme sur le territoire national et de séisme majeur à l'étranger, ainsi que de tsunami survenant dans la zone euro-méditerranéenne.
3. La maîtrise d'œuvre d'ingénierie et l'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la **construction et le démantèlement d'ouvrages complexes**.
4. La **lutte contre la prolifération et le terrorisme nucléaire** en contribuant au respect du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICE) et du Traité de non-prolifération (TNP).



Simulation

DES RESSOURCES INÉGALÉES

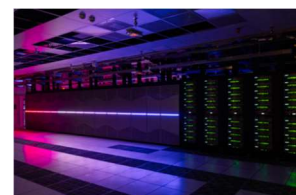
Le centre CEA DAM Île-de-France est aujourd'hui reconnu comme un leader européen en calcul numérique haute performance et en calcul intensif.



Supercalculateur Joliot-Curie
du Très grand centre de calcul



Il exploite le Très grand centre de calcul du CEA (TGCC), ouvert à la communauté académique et industrielle. Le TGCC est l'un des composants du technopôle Teratec, premier espace français – et l'un des plus grands d'Europe – entièrement consacré à la simulation et au calcul haute performance.



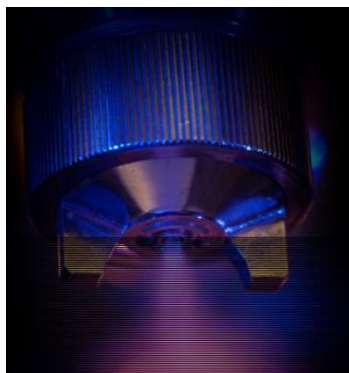
Le CEA Le Ripault

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



Un pôle de compétences unique pour l'étude et la conception de matériaux performants et innovants

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 :



1. Ingénierie moléculaire & Synthèse
2. Microstructures & Comportements
3. Conception & Calculs
4. Prototypage & Métrologie
5. Fabrication & Traitement de surface
6. 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

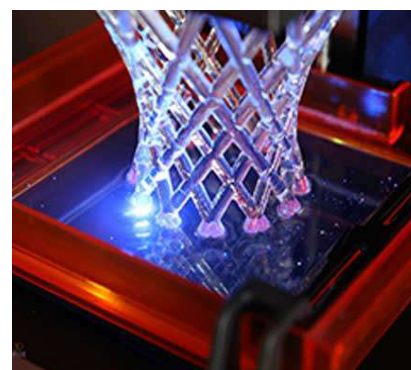
SURVEILLER, ANALYSER ET INTERVENIR POUR LA SÉCURITÉ

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 d'excellence 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.



Une plateforme d'innovation est à disposition des salariés pour y mener des projets transversaux autour de la qualité de vie au travail, de la sobriété énergétique et de l'industrie du futur...



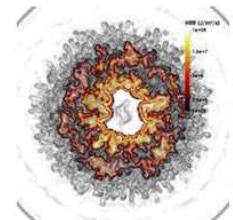
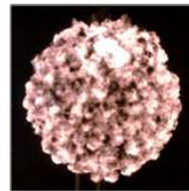
Le CEA Gramat

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

Gramat, la recherche au service de la Défense nationale

Situé dans la région Occitanie - Pyrénées Méditerranée, le site de Gramat du CEA compte environ 280 salariés et s'étend sur plus de 300 hectares. Ses activités sont organisées autour de trois domaines d'applications : Dissuasion - Défense conventionnelle et 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. A ce titre, il étudie notamment la vulnérabilité et la protection des installations vitales civiles et militaires de la nation.

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...



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

Douceur de vivre

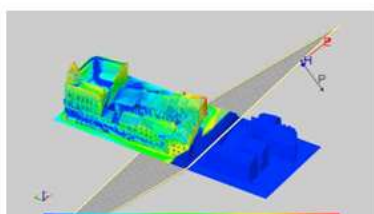
Le CEA Gramat est au cœur du Parc naturel régional des Causses du Quercy, situé entre Rocamadour et Padirac dans le Lot. Côté nature, des paysages typiques du Lot sont d'une grande diversité. Côté loisirs, randonnées, canoë sur la Dordogne, sport, culture, festivals... des activités pour tous les goûts. Côté transport, le centre CEA Gramat est situé entre Brive (aéroport et gare) et Toulouse (aéroport). Côté papilles, le célèbre Rocamadour, le foie gras ou la truffe sont les produits phares du Lot. Sur le centre CEA Gramat, une conciergerie et une Association locale vous proposent divers services et activités culturelles, sportives et musicales.



Un rayonnement régional attractif

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

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



Simulation électromagnétique d'un quartier de ville



Chambre Anéchoïque

Le CEA Valduc

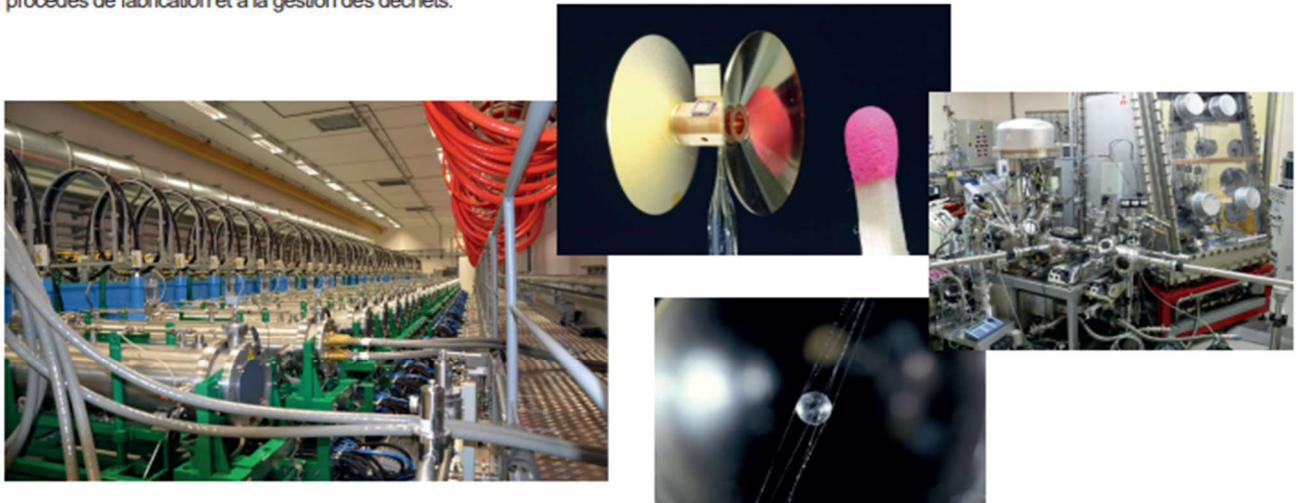
Site Web : <https://www-dam.cea.fr/valduc>

Valduc , un site de production unique !

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 en évolution constante. 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 l'installation radiographique franco-britannique Epure, dans laquelle sont réalisées des expériences hydrodynamiques.



Valduc, un cadre de vie exceptionnel !



L'existence d'une structure collaborative ouverte à tous contributeurs sur le centre permet le brassage d'idées au service de projets innovants dans un état d'esprit type Fab-Lab.

Un environnement épanouissant aux portes du Parc Régional de Bourgogne et à 45 mn de Dijon offre aux salariés des conditions de vie particulièrement agréables.

La qualité de vie au travail à Valduc, c'est aussi profiter des structures sportives, participer à des événements festifs (Tour du Centre, Fête de la Musique, Vœux, ...), bénéficier de services et d'offres (bibliothèque, spectacle, séjours sportifs, vacances...) grâce aux associations culturelles et sportives du centre.

Valduc, un attracteur de jeunes talents !

Au-delà des moyens classiques, Valduc mène de nombreux développements pour intégrer les dernières évolutions dans des domaines très variés* dans lesquels les jeunes en apprentissage ou en stage pourront se former et exprimer tout leur talent. Des sujets de thèse et de post-doctorat sont aussi proposés dans le cadre de collaborations étroites que le centre établit notamment avec l'Université de Bourgogne Franche Comté, l'Université de Toulouse, de Nancy, mais également en partenariat avec de nombreuses écoles (ESIREM, ENSAM, ENSMM, Mines de Nancy...).

* Physico-Chimie- Matériaux- Chimie organique et inorganique- Sûreté nucléaire - Soudage laser - Usinage d'ultraprécision - Fonderie - Mécanique- Microtechnologie - Calcul de structure - Bureau d'étude - Génie des procédés - Exploitation et maintenance de procédés chimiques - Mesures physiques - Radioprotection - Contrôle non destructif, dimensionnel - Maintenance électrotechnique & automatisme- Robotique et mécatronique - Infrastructures chauffage et fluides - Systèmes de vidéo contrôle - Supervision - Cybersécurité - Informatique- Ventilation nucléaire- Cryogénie



Valduc, se donner rendez-vous !

Intégrer le CEA Valduc, c'est avoir la perspective d'une carrière diversifiée dans des métiers de pointe ; c'est aussi donner un sens à son action, en contribuant à une mission au service de l'intérêt général.

Rendez-vous sur le site <http://www-dam.cea.fr/valduc> pour en savoir plus ou contactez-nous recrutement.valduc@cea.fr ou au 03 80 23 42 01 pour convenir d'un rendez-vous

LISTE DES DOMAINES DE COMPÉTENCES POUR LES STAGES **PROPOSÉS POUR L'ANNÉE 2027**

1.	ADMINISTRATION D'ENTREPRISE ET COMMUNICATION	Page 13
2.	CHIMIE	Page 15
3.	COMPOSANTS ET ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES	Page 25
4.	ELECTROMAGNÉTISME, GÉNIE ÉLECTRIQUE	Page 29
5.	EXPLOITATION D'INSTALLATIONS SPÉCIFIQUES	Page 35
6.	INSTRUMENTATION, MÉTROLOGIE ET CONTRÔLE	Page 39
7.	MANAGEMENT ET PROJET	Page 49
8.	MATÉRIAUX, PHYSIQUE DU SOLIDE	Page 53
9.	MATHÉMATIQUES, INFORMATION SCIENTIFIQUE, LOGICIEL	Page 87
10.	MÉCANIQUE ET THERMIQUE	Page 137
11.	MOYENS GÉNÉRAUX ET INSTALLATIONS	Page 167
12.	NEUTRONIQUE ET PHYSIQUE DES RÉACTEURS	Page 171
13.	OPTIQUE ET OPTRONIQUE	Page 173
14.	PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSÉ, CHIMIE ET NANOSCIENCES	Page 179
15.	PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME, MOLÉCULE	Page 181
16.	QUALITÉ ET ENVIRONNEMENT	Page 203
17.	SCIENCES DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT	Page 205
18.	SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR	Page 213
19.	SÉCURITE DU TRAVAIL, DES BIENS ET RADIOPROTECTION	Page 219
20.	SUPPORT À LA PRODUCTION	Page 221
21.	SÛRETÉ NUCLÉAIRE	Page 225
22.	THERMOHYDRAULIQUE ET MÉCANIQUE DES FLUIDES	Page 229

Retrouvez le retour d'expérience de nos stagiaires en page 237

ADMINISTRATION D'ENTREPRISE ET COMMUNICATION

CONTEXTE : Le sujet de stage concerne la mise en œuvre de la communication interne d'une unité du centre de Valduc en charge de toutes les activités de soutien (achat, finances, santé, sécurité, RH, logistique, etc.).

En s'appuyant sur le cadre général fixé par l'unité de communication du centre, qui définit la politique globale, et en relai de ses équipes, le/la stagiaire aura pour mission de contribuer à valoriser les activités des unités de cette unité, de favoriser les échanges internes et de participer au partage de compétences.

OBJECTIFS : Le(la) candidat(e) aura pour rôle de :

- challenger les différentes unités sur leurs faits marquants et les valoriser
- réaliser des circuits de visites pour les points d'intérêt
- préparer différents supports de communication (présentations, intranet, animations)
- organiser directement ou en relai certaines manifestations
- contribuer aux parcours de formation internes par la réalisation ou la mise en forme de supports pédagogiques.

Positionné(e) en véritable interface entre toutes les équipes de cette unité, son échelon central et l'unité communication du centre, le(la) candidat(e) devra faire preuve d'un fort sens de la communication, d'autonomie et devra savoir rendre compte. En tant que professionnel de la communication, le(la) candidat(e) devra maîtriser différents outils et faire preuve d'initiative et de créativité pour donner envie aux équipes, contribuer à donner du sens aux activités et développer le lien entre les différents métiers.

Ce stage peut se poursuivre dans le cadre d'une alternance.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+3

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Suite ADOBE PRO

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

LATAPIE Elodie
E-mail : elodie.latapie@cea.fr

CHIMIE

CONTEXTE : Les matériaux énergétiques sont caractérisés par leur capacité à libérer une quantité d'énergie importante en un temps très court lors d'une réaction chimique. Parmi eux se trouvent les compositions pyrotechniques, les explosifs et les propergols à usage civil ou militaire.

Ces dernières années, le broyage haute-énergie s'est imposé comme une méthode d'élaboration de choix de ces matériaux. En effet, il a été démontré que cette technique permet d'élaborer des poudres d'aluminium 2D très réactives. L'ajustement de certains paramètres de broyage (taille des billes, agent de contrôle, durée de broyage) permet de moduler les propriétés de surface, la texture ou la microstructure de ces nanopétales en fonction des applications visées. Récemment, plusieurs équipes américaines ont montré que le broyage était également une technique de choix pour élaborer des composites à base d'aluminium présentant des caractéristiques de réactivité accrue et comparable à des systèmes organiques.

OBJECTIFS : Le but de ce stage est de transposer notre technique ayant fait ses preuves sur l'aluminium des composites Al/CuO afin d'élaborer de nouveaux nanocomposites 2D pouvant permettre des réactions nanosecondes. Ces nouveaux matériaux seront ensuite caractérisés au moyen d'un spectromètre rapide UV-Visible en développement, afin de valider le choix des composants optiques en testant ses capacités spectrales et temporelles face à ces réactions ultrarapides.

Dans un premier temps et afin de se familiariser avec les différentes techniques expérimentales, des poudres d'aluminium 2D seront élaborées suivant le protocole maîtrisé au CInaM. Elles seront ensuite caractérisées par microscopie électronique à balayage, analyses thermiques, adsorption de gaz, diffraction des rayons X. Dans un second temps, des composites Al/CuO seront élaborés en adaptant les protocoles publiés dans la littérature ; puis ils seront caractérisés en suivant la même méthodologie. Enfin, les poudres seront testées au CEA de Gramat ou à l'Institut Icare à Orléans pour connaître les différentes phases de combustion, et les températures et les émissivités associées en fonction du temps.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+3

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Chimie, Chimie des procédés, analyses physico-chimiques

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Broyage par billes

Chimie

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

LEFRANÇOIS Alexandre
E-mail : alexandre.lefrancois@cea.fr

CONTEXTE : L'utilisation de matériaux explosifs à des fins de terrorisme représente une menace pour les populations civiles. Dans ce contexte, il est donc nécessaire de détecter cette menace. Une manière de réaliser cette détection de façon rapide et non intrusive est l'exploitation des vapeurs de ces matériaux. Afin de mieux détecter ces composés, il est nécessaire de comprendre comment ceux-ci génèrent des vapeurs.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est d'étudier la génération de vapeurs de matériaux énergétiques d'intérêt. Pour ce faire, les matériaux seront confinés dans des enceintes de différents formats et les vapeurs générées seront analysées en fonction du temps par chromatographie en phase gazeuse. La finalité est double : la mesure de la concentration des vapeurs générées (métrologie) et la compréhension de la cinétique de génération des vapeurs.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Chromatographie en phase gazeuse

Chimie

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

BUREAU Valentin
E-mail : valentin.bureau2@cea.fr

CONTEXTE : L'utilisation de matériaux énergétiques à des fins de terrorisme représente une menace pour les populations civiles. Dans ce contexte, il est donc nécessaire de détecter cette menace. Une manière de réaliser cette détection de façon rapide et non intrusive est l'exploitation des vapeurs de ces matériaux. La fluorescence est une méthode particulièrement étudiée pour détecter des composés par changement des propriétés. Notamment, lorsque les vapeurs d'un matériau d'intérêt entrent en contact avec un capteur fluorescence, les propriétés d'émission de celui-ci vont être modifiées, indiquant la présence du composé d'intérêt.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est d'identifier des matériaux fluorescents dont les propriétés d'émission changent en présence de composés d'intérêt. Il s'agira ensuite d'étudier leurs propriétés de fluorescence afin d'optimiser leur réponse. L'impact de leur mise en œuvre sera également étudié. La réactivité des matériaux fluorescents en présence de composés potentiellement interférents sera caractérisée. Enfin, la limite de détection de ces matériaux sera identifiée.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Spectromètre

Chimie

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

BUREAU Valentin
E-mail : valentin.bureau2@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre des activités de recyclage de matériaux nucléaires, le CEA Valduc utilise de nombreuses pièces en céramiques dans des procédés mettant en œuvre des sels fondus. Ces milieux, particulièrement corrosifs à haute température, peuvent conduire à une dégradation importante des matériaux. Le but de ce sujet sera d'améliorer la compréhension des phénomènes chimiques responsables de la corrosion de plusieurs matériaux céramiques dans deux systèmes de sels de chlorures fondus (CaCl_2 et NaCl-KCl). Il sera nécessaire d'évaluer l'impact sur la corrosion de différentes compositions et microstructures de la céramique. L'impact du procédé de fabrication des céramiques sur leur durabilité chimique, notamment la fabrication additive, devra également être étudié afin d'évaluer le potentiel des nouvelles méthodes de fabrication des céramiques.

OBJECTIFS : L'étudiant(e), dans la continuité des travaux et études déjà réalisés, aura à piloter les actions nécessaires pour réaliser :

- les tests de durabilité chimique de divers matériaux céramiques soumis à des milieux corrosifs à haute température de type sels fondus,
- le suivi et la réalisation des essais sur des pièces issues de procédés de fabrication innovants comme l'impression 3D céramique,
- la mise en œuvre des techniques d'électrochimie analytique, associées aux techniques de caractérisations microstructurales (MEB, DRX) et aux techniques d'analyses élémentaires (ICP-AES/MS).

Ce sujet permettra à l'étudiant(e) d'approfondir ses connaissances théoriques et scientifiques, immergé(e) dans un environnement associant la recherche et le développement ainsi que les activités de production.

Le stage s'adresse à un(e) étudiant(e) souhaitant préparer un master ou un diplôme d'ingénieur en chimie/matériaux. Le(la) candidat(e) doit avoir les connaissances de base en matériaux et caractérisation (MEB, DRX, Analyses élémentaires...). Ce sujet s'adresse à un(e) étudiant(e) polyvalent désireux(se) d'apprendre et de découvrir le métier d'ingénieur R&D, immergé(e) au sein d'une équipe dynamique, dans un établissement industriel.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Chimie ; matériaux ; céramiques ; sels fondus

Chimie

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

DALGER Thomas
E-mail : thomas.dalger@cea.fr
ANGLADE Anouck
E-mail : anouck.anglade@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Valduc exploite plusieurs procédés de recyclage de matière nucléaire pour les besoins de la dissuasion française. Une de ces voies de retraitement est effectuée par pyrochimie, en milieu de sels de chlorures fondus, à haute température. A l'issue du procédé, des sels contenant encore une part significative des éléments d'intérêts sont entreposés sur site, en attente d'une solution de retraitement. Un procédé a été développé dans les années 1990, qui permet d'une part de stabiliser la matière nucléaire et d'autre part de pouvoir récupérer et valoriser cette matière. Ce procédé est séparé en deux étapes. Une première étape d'oxydation permet de stabiliser la matière sous sa forme oxyde, plus stable que les composés métalliques, chlorés ou oxychlorés (An métal, AnCl_x, AnOCl). Une seconde étape de distillation permet de retirer les ultimes traces de chlorures et d'obtenir un oxyde, compatible des voies de recyclage par un procédé hydrométallurgique.

OBJECTIFS : Le sujet proposé ici vise à développer une alternative à cette étape de distillation afin de séparer les chlorures des oxydes.

Dans une première phase, le travail va consister à préparer des composés modèles en utilisant un ou des analogues chimiques à la matière nucléaire, comme le cérium. Les oxydes seront préparés à partir de mélanges de sels de chlorures (NaCl-KCl-CeCl₃) avec des ajouts maîtrisés de Na₂CO₃. Après décantation, l'oxyde de cérium est précipité mais il contient encore une proportion non négligeable de chlorures.

La seconde phase de ce travail consistera à mettre au point un protocole de déchloruration par lavage chimique, en définissant les paramètres expérimentaux optimaux permettant dans un premier temps de solubiliser les chlorures sans solubiliser l'oxyde précipité. Une fois les oxydes séparés des chlorures, il s'agira ensuite de faire précipiter les chlorures séparément, afin de ne pas générer d'effluents chlorés. L'étudiant(e) pourra s'appuyer sur des techniques de caractérisations de matériaux et d'analyse chimique (MEB et Spectrophotométrie UV-Visible) ainsi que des méthodes de suivi des gaz produits (par Spectroscopie IR ou Micro GC).

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Chimie ; sels fondus ; matériaux

Chimie

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

DALGER Thomas
E-mail : thomas.dalger@cea.fr

CONTEXTE : Des matériaux plastiques sont utilisés pour le conditionnement de produits contenant des radioéléments. Ceux-ci peuvent subir des dégradations par thermolyse. Ces réactions doivent être prises en compte lors de l'étude de situations incidentelles où la température au niveau des emballages peut être élevée. Pour disposer de données plus fiables et représentatives de nos conditionnements, nous proposons l'étude des gaz produits au moyen d'une micro-chromatographie (Micro-GC) en phase gazeuse. L'objectif est de disposer, à la fin du stage, d'un ensemble de données sur les gaz produits, susceptible d'être utilisé lors d'analyse de sûreté.

OBJECTIFS : Avec une orientation très expérimentale, il comporte plusieurs grandes phases. Dans un premier temps, il faudra réaliser une étude bibliographique sur la thermolyse de plastique et prendre en main l'appareil de micro-CG. Une phase préparatoire aux mesures permettra la mise en place de la caractérisation des plastiques qui seront étudiés (composition, propriétés physico-chimiques...), ainsi que la mise au point d'un protocole de mesure permettant la quantification de gaz issu de la thermolyse. Enfin, les mesures seront réalisées au moyen des équipements disponibles au laboratoire : cellule de mesure ajustable en température, micro-GC...

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

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+2/+3

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Chimiste ayant des compétences dans un ou plusieurs de ces domaines : physico-chimie, analyse par chromatographie en phase gaz, matériaux polymères.

Le(la) candidat(e) devra être organisé(e), autonome, posséder des capacités rédactionnelles et savoir rendre compte. La rigueur et la capacité à intégrer et à mettre en application des règles strictes de sûreté-sécurité sont indispensables.

Chimie

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

FAURE Sébastien
E-mail : Sebastien.Faure@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre des activités de recyclage des matières nucléaires, le CEA Valduc met en œuvre des procédés de recyclage des actinides. La dissolution des oxydes d'actinides est une étape primordiale de leur retraitement puisqu'elle permet leur mise en solution en vue de leur purification. Cependant, certains oxydes d'actinides sont réfractaires à la dissolution et nécessitent des conditions particulières de traitement. Le but de ce sujet est de participer à la compréhension des phénomènes en jeu lors de la dissolution d'oxydes en milieu nitrique à l'aide d'oxyde de cérium en tant qu'analogue chimique des actinides d'intérêts. Une attention particulière sera portée à la surface de contact entre l'oxyde et le milieu de dissolution, notamment via des opérations de broyage, de tamisage et de caractérisation des oxydes précurseurs.

OBJECTIFS : L'étudiant(e) sera en charge :

- de la préparation (broyage/tamisage) des échantillons d'oxydes synthétisés ;
- de la caractérisation des échantillons d'oxydes de cérium synthétisés (caractérisation structurales et microstructurales, notamment DRX, BET, MEB) avant l'étude paramétrique de la dissolution en milieu nitrique ;
- de la mise en place de l'étude paramétrique de la dissolution des oxydes en milieu nitrique (mise au point du plan d'expérience, choix des paramètres et mise en œuvre de la dissolution) et de la mesure des cinétiques de dissolution
- du traitement des données expérimentales dans le but de déterminer les constantes cinétiques de la dissolution.

Les données issues de cette étude devront être mises en perspective avec les travaux rapportés dans la littérature scientifique ainsi que les activités de recherche menées au laboratoire.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Des compétences en chimie des matériaux et chimie en solution sont attendues, ainsi qu'une rigueur expérimentale. De plus, il est attendu du(de la) stagiaire les qualités suivantes : autonomie, rigueur, sens de l'organisation, sens du relationnel et capacité à rendre compte. Ce sujet permettra au(à la) stagiaire d'approfondir ses connaissances théoriques et scientifiques, immergé dans un environnement associant la recherche et développement ainsi que les activités de production.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

HAUTECOUCOURE Anna
E-mail : anna.hautecouverture@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 en métal et en dioxygène par électrolyse à haute température (850°C). Une des problématiques de cette méthode concerne la formation de dioxygène 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 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... En cas de dégradation des matériaux, les analyses ou les caractérisations des matériaux seront réalisées (MEB, ICP...). 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.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

Chimie

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

LEMOINE Olivier
E-mail : olivier.lemoine@cea.fr

COMPOSANTS ET ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES

CONTEXTE : Parmi ses activités, le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives) est chargé de la conception et la qualification d'équipements électroniques pour un déploiement auprès de moyens expérimentaux ou vers des systèmes embarqués. Ces électroniques peuvent être soumises à différents environnements (température, vibrations, chocs, radiations ...).

Le travail proposé est une étude prospective dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA) embarquée. Il s'adresse à un(e) étudiant(e) de fin de cycle ingénieur ou bac+5. L'encadrement sera assuré dans l'environnement d'un laboratoire d'études et de développements composé d'ingénieurs, techniciens et stagiaires.

Le lieu de travail du(de la) stagiaire, au sein du laboratoire, sera situé sur le centre du CEA/DAM Île-de-France à Bruyères-le-Châtel (Essonne). Des échanges avec d'autres équipes du CEA spécialisées dans le développement de l'IA (logiciel et matériel) sont initiés et seront à poursuivre durant le stage.

OBJECTIFS : Le sujet proposé est orienté vers la reconnaissance d'images de ciels étoilés. Il se décompose en deux parties :

- La première partie sera consacrée à la prise en main d'une chaîne logicielle dédiée à l'IA et développée en partenariat au niveau national. Cette étape intégrera en particulier, une bibliographie, le choix et l'intégration d'un noyau de neurones, le développement d'un apprentissage à partir d'une base de données, la prise en compte de contraintes environnementales (perturbations) et la validation de l'application selon des critères définis.

- La deuxième partie sera le transfert et le test du logiciel vers une cible matérielle afin de rendre le système compatible avec des équipements embarqués. L'objectif est, d'une part, de participer aux échanges avec les différents acteurs reconnus dans le domaine du développement de l'IA, et, d'autre part, de proposer un démonstrateur embarqué opérationnel (logiciel et matériel) avec une analyse de performances.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Réseaux de neurones, électronique numérique, programmation Python

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

BRISSET Christophe
E-mail : christophe.brisset@cea.fr

CONTEXTE : Situé sur le site de Bruyères-le-Châtel (91), le CEA DAM développe des composants de commutation Haute Tension. Ces composants sont intégrés dans un système électronique complexe. Ils doivent respecter des spécifications opérationnelles de performances électriques, de performances temporelles, d'encombrement, de fiabilité et de durée de vie.

Le CEA DAM a conçu un banc de test dédié à la caractérisation des mécanismes de déclenchement de ces composants sous différentes configurations électriques incluant différents types de diagnostics optiques et électriques.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de mettre en œuvre le banc de test qui permettra d'analyser les phénomènes physiques, de réaliser des expériences depuis leurs définitions jusqu'aux analyses des résultats.

Les étapes correspondantes sont définies comme suit :

- Réaliser une analyse de l'état de l'art sur la génération d'arcs électriques dans un environnement à pression maîtrisée afin de comprendre les bases des mécanismes physiques (renforcement de champ électrique, matériaux, génération d'arcs électriques).
- Générer des plans d'expériences selon les maquettes déjà réalisées.
- Paramétrer le banc de test et les diagnostics correspondants.
- Mettre en œuvre l'expérience, acquérir les données nécessaires puis les analyser.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Préparation d'un diplôme d'ingénieur et/ou Master 2 en physique des particules

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, CST Studio

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

HENOT Vincent
E-mail : vincent.henot2@cea.fr
REMY Laurent
E-mail : laurent.remy@cea.fr

CONTEXTE : L'unité d'accueil caractérise des composants en utilisant des instruments de métrologie. Ces composants peuvent être également soumis à des contraintes supplémentaires (température, stress électriques, vieillissement accéléré, radiations, etc.) via des instruments pilotés dédiés. Afin de simplifier et automatiser l'enchaînement des différentes opérations, un logiciel de pilotage a été développé sous LabVIEW. Cet outil a été utilisé pendant de nombreuses années. Récemment, afin de simplifier la maintenance et l'évolution des fonctionnalités de ce logiciel de pilotage, un nouvel outil a été développé sous Python afin de piloter trois instruments majeurs du laboratoire. Les utilisateurs sont satisfaits du nouvel outil et aimeraient que les possibilités soient étendues afin de pouvoir piloter d'autres instruments de caractérisation.

OBJECTIFS : L'objectif est de compléter l'outil en ajoutant de nouveaux instruments à piloter : Keithley 4200, Keithley SMU 2600, HP4155, Keysight B1500A, etc. Les compétences nécessaires sont une bonne connaissance de la programmation sous Python, une bonne autonomie, des notions du fonctionnement de composants électroniques et une bonne capacité rédactionnelle de documents. L'étudiant(e) sera accueilli(e) au sein du laboratoire sur le site du CEA de Bruyères-Le-Châtel (30 km au sud Paris, dont l'accès est desservi à partir de nombreux points parisiens par un réseau de transport d'entreprise gratuit).

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Autonomie, rédaction, fonctionnement composants électroniques

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Programmation Python

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

LAMBERT Damien
E-mail : damien.lambert@cea.fr
LOSQUIN Arthur
E-mail : arthur.losquin@cea.fr

ÉLECTROMAGNÉTISME GÉNIE ÉLECTRIQUE

CONTEXTE : Le CEA-CESTA développe des codes de calcul pour résoudre des problèmes de diffraction d'ondes électromagnétiques par des objets 3D complexes (réalistes) et de grande taille radioélectrique.

Parmi les codes développés, le CESTA dispose d'un code à vocation généraliste qui intègre des fonctionnalités permettant de simuler les caractéristiques d'antennes, en rayonnement et en excitation modale, par exemple coaxiale.

Des développements récents ont introduit dans le code des éléments finis surfaciques courbes, permettant de réduire la taille du système linéaire à résoudre, sans compromettre la précision du résultat, à condition que les utilisateurs disposent d'un mode opératoire et de règles de mise en données validées.

OBJECTIFS : L'objectif prioritaire est de fournir aux utilisateurs des règles simples et claires d'utilisation des éléments finis plans et éléments finis courbes pour les ports modaux. Ces travaux se feront en plusieurs temps :

- mise en place d'un cas test de référence et de critères de validation
- analyse du workflow de simulation et identification des étapes à sécuriser par l'établissement de règles voire d'automatisation de ces règles.

Dans un second temps, un workflow spécifique pourra être analysé pour permettre de simplifier au maximum l'expérience utilisateur en intégrant dans le code de calcul la complexité de mise en données. Dans ce cas, la création du guide d'onde et du port modal sera faite directement par le code de calcul.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Maillage, scripts Python

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Méthodes numériques, éléments finis, électromagnétisme

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

NOSAL Samuel
E-mail : samuel.nosal@cea.fr
BARAY Matthias
E-mail : matthias.baray@cea.fr

CONTEXTE : L'installation ELSA (Electrons, Lasers, Source X et Applications) du CEA DAM est principalement constituée d'un accélérateur linéaire d'électrons de 30 MeV. La génération des électrons se fait par une photo-cathode illuminée par un laser. Ils sont ensuite injectés dans une succession de cavités radiofréquences où règnent des champs magnétiques très élevés créés par des ondes de haute fréquence. La fréquence de résonance des cavités doit être ajustée finement pour permettre le bon fonctionnement de l'accélérateur. Ce réglage est effectué à l'aide d'un piston commandé par un moteur qui va agir directement sur le volume de la cavité et donc la fréquence de résonance de celle-ci. Un système d'asservissement électronique a été développé au laboratoire pour contrôler la position des pistons.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est d'améliorer le système d'asservissement des pistons de façon à automatiser le réglage de la fréquence de résonance des cavités. Ce système, développé il y a plusieurs années, montre aujourd'hui des limites en termes de fiabilité et de précision, justifiant sa refonte complète. Un nouveau système est donc actuellement en développement avec un industriel. Le premier prototype devrait être reçu d'ici septembre 2026. Les missions de l'étudiant.e incluront :

- L'étude de l'équipement existant et l'analyse fonctionnelle du besoin ;
- La prise en main du nouveau boîtier et les premiers tests pour vérifier son bon fonctionnement ;
- Le développement de l'algorithme d'asservissement des pistons.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Elève Ingénieur ou Master, M1/M2 / Bac+4/Bac+5. Des bonnes connaissances et compétences en électronique analogique et numérique, notamment radiofréquence sont conseillées.

La maîtrise de logiciels comme Matlab et/ou Python pour le contrôle-commande de systèmes est un avantage, mais n'est pas indispensable. Les méthodes d'intelligence artificielle pourront être explorées.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Electronique, RF, Modélisation numérique, Informatique.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

COLLET Martin
E-mail : martin.collet@cea.fr
CHAUCHAT Anne-Sophie
E-mail : anne-sophie.chauchat@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA exploite deux accélérateurs d'électrons de l'ordre de 20 MeV. L'installation ELSA (Electrons, Lasers, Source X et Applications) dispose d'un photo-injecteur 2 MV basse fréquence piloté par laser à 144 MHz, tandis qu'EPURE repose sur l'utilisation d'un injecteur basé sur un générateur électrique de Marx. Il est envisagé à moyen terme d'étudier de nouveaux injecteurs pour ces installations, qui pourraient être placés parallèlement aux lignes actuelles. L'injection des particules dans les lignes accélératrices serait alors faite à l'aide de systèmes magnétiques "d'aiguillage" de faisceaux.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de réaliser une étude numérique complète de ces systèmes d'aiguillage, et notamment d'évaluer l'impact sur les aberrations chromatiques et géométriques du faisceau de particules dans deux cas très différents : pour ELSA, le cas des faisceaux de très faible émittance (équivalent à l'étendue géométrique en optique) ; pour EPURE, le cas des faisceaux de très fort courant et de forte émittance.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Master Grands Instruments, SupOptique.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Physique des accélérateurs, Optique.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

LE FLANCHEC Vincent
E-mail : vincent.le-flanchec@cea.fr
CHAUCHAT Anne-Sophie
E-mail : anne-sophie.chauchat@cea.fr

CONTEXTE : Dans un environnement de plus en plus menacé par les agressions électromagnétiques intentionnelles, la protection des équipements électroniques sensibles est devenue une priorité majeure.

Le CEA Gramat est le centre d'expertise du CEA DAM (Direction des Applications Militaires) dans le domaine des effets électromagnétiques des armes. A ce titre, il réalise d'une part des études de vulnérabilité de matériels soumis à des agressions électromagnétiques diverses, et d'autre part des études sur les technologies potentielles pour la conception de sources électromagnétiques. En collaboration avec ses partenaires, il développe également des solutions innovantes pour assurer la sécurité des systèmes électroniques critiques. Dans ce cadre, les Surfaces Intelligentes Reconfigurables (SIR) émergent comme une technologie prometteuse pour la protection contre ce type de menace.

OBJECTIFS : La/le stagiaire intégrera une équipe pluridisciplinaire travaillant pour la protection des équipements électroniques dans le but de réaliser plusieurs missions en fonction du niveau du (de la) candidat(e).

Dans un premier temps, la/le stagiaire réalisera un état de l'art offrant une revue exhaustive des technologies existantes et des solutions de protection de type SIR. Cette revue sera agrémentée d'une analyse des performances et des limites de cette technologie dans différents contextes d'application.

Puis, dans un deuxième temps, la/le stagiaire contribuera à la conception de nouvelles architectures de SIR adaptées aux besoins spécifiques de protection. Pour cela, l'utilisation d'outils de modélisation et de simulation permettra d'évaluer les performances des solutions proposées.

Dans un troisième temps, un développement de la solution retenue, suivi d'une participation à la mise en place d'une plateforme expérimentale pour des mesures dans des conditions réalistes permettront au stagiaire de se familiariser avec des équipements scientifiques et des moyens uniques au CEA Gramat. A la suite, l'analyse des données expérimentales et des résultats de simulation permettront de tirer des conclusions sur l'efficacité de la solution retenue.

Enfin, le/la stagiaire rédigera un rapport technique détaillant les résultats obtenus et les recommandations pour les améliorations futures.

Profil recherché :

Étudiant(e) en dernière année de master ou en école d'ingénieur spécialisé(e) en électronique, électromagnétisme ou un domaine connexe.

Perspectives :

Ce stage offre une opportunité unique de contribuer à un projet de recherche innovant et d'acquérir des compétences avancées dans le domaine de la protection des équipements électroniques contre les agressions électromagnétiques. De plus, il peut déboucher sur une thèse en fonction du niveau du (de la) candidat(e).

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Connaissances solides en électronique, en électromagnétisme et en modélisation.

Expérience pratique en conception de circuits électroniques et en utilisation d'outils de simulation.

Capacité à travailler en équipe et à communiquer efficacement.

Rigueur, autonomie et esprit d'analyse.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Simulateurs électromagnétiques (ex. CST), électroniques (ex. ADS)

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

Tél : 05-65-10-54-32

Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

DALL'OMO Christophe

E-mail : christophe.dall-omo@cea.fr

CONTEXTE : Développement d'une lentille diélectrique réalisée par fabrication additive afin d'améliorer la focalisation du champ électromagnétique d'une antenne millimétrique (jusqu'à 67 GHz) pour des applications de caractérisation de matériaux électromagnétiques en espace libre.

OBJECTIFS : La caractérisation électromagnétique de matériaux aux fréquences millimétriques constitue un enjeu majeur pour de nombreuses applications industrielles et scientifiques. Afin d'améliorer les performances des bancs de mesure en espace libre, l'utilisation de lentilles diélectriques permet de concentrer l'énergie électromagnétique sur la zone d'intérêt et ainsi d'augmenter la précision des mesures.

L'objectif de ce stage est de concevoir, optimiser et valider expérimentalement une lentille diélectrique fonctionnant jusqu'à 67 GHz et compatible avec les technologies de fabrication additive.

Le(la) stagiaire intégrera une équipe de recherche spécialisée en électromagnétisme et participera aux différentes étapes du développement :

- étude bibliographique sur les lentilles diélectriques millimétriques et les technologies de fabrication additive ;
- caractérisation électromagnétique des matériaux imprimables (perméabilité, permittivité, pertes) sur la bande de fréquences étudiée ;
- modélisation et optimisation numérique de la lentille à l'aide d'un logiciel de simulation électromagnétique 3D (CST Studio Suite, HFSS ou équivalent) ;
- étude de l'influence des paramètres géométriques sur les performances de focalisation et l'adaptation avec l'antenne ;
- réalisation des prototypes par fabrication additive ;
- caractérisation expérimentale des performances de la lentille sur un banc de mesure en espace libre jusqu'à 67 GHz ;
- comparaison entre simulations et mesures, analyse des écarts et proposition d'améliorations.

À l'issue du stage, le(la) candidat(e) aura développé une méthodologie complète allant de la caractérisation des matériaux jusqu'à la validation expérimentale d'une lentille diélectrique optimisée. Les résultats pourront contribuer au développement de nouveaux moyens de mesure haute fréquence du laboratoire.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Electromagnétisme, hyperfréquences, télécommunications, électronique, physique appliquée

Vous possédez des connaissances en électromagnétisme et en propagation des ondes. Des compétences en simulation numérique (CST Studio Suite, Ansys HFSS, COMSOL ou logiciel équivalent) seront particulièrement appréciées. Une première expérience en mesures hyperfréquences, en fabrication additive ou en caractérisation de matériaux constituera un atout. Curieux(se), autonome et rigoureux(se), vous appréciez le travail expérimental et souhaitez participer à un projet mêlant modélisation, simulation et validation expérimentale

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : CST Studio Suite, Ansys HFSS, COMSOL ou logiciel équivalent

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

RICHARD Théo
E-mail : theo.richard@cea.fr
SCOTTI Chloé
E-mail : chloe.scotti@cea.fr

EXPLOITATION D'INSTALLATIONS SPÉCIFIQUES

CONTEXTE : Dans un accélérateur de particules, certains paramètres propres au faisceau accéléré permettent de prédire comment celui-ci se propage. Il existe notamment un paramètre crucial à déterminer qui s'appelle l'émission transverse. Il peut être vu comme la qualité de transport du faisceau ou comme la grandeur physique qui se conserve lors de sa propagation. Appliqué à un accélérateur de production d'ions énergétiques, mesurer l'émission transverse du faisceau au plus proche de son point de production initial permet de produire des simulations et de prédire ainsi qu'optimiser les réglages d'un accélérateur de particules.

Durant ce stage, l'étudiant.e aura à réaliser des mesures d'émission transverse de faisceaux d'ions de basse énergie. Pour ce faire, il.elle disposera d'une source d'ions et d'un émission scanner afin d'évaluer l'impact des réglages de la source d'ions sur l'émission transverse du faisceau.

OBJECTIFS : Le stage a pour objectif de fournir une évaluation de l'impact des réglages de la source d'ions sur l'émission du faisceau produit. Etant donné que le concept d'émission est plutôt abstrait, le premier objectif sera de comprendre à travers une étude bibliographique l'importance de ce paramètre. L'étudiant.e devra réaliser des expériences qui demanderont une préparation, une proposition d'études à réaliser ainsi que des analyses de données afin de fournir des comptes rendus d'expérience et pour finir un rapport.

Les compétences qui seront développées sont la mesure physique d'une grandeur obtenue par calcul, le suivi de cahier d'expériences et la rédaction de procédures d'expérimentation, la rédaction de synthèses et rapports scientifiques, l'utilisation d'outils d'analyse de données et l'utilisation d'équipements complexes à travers les éléments constitutifs d'un accélérateur de particules.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Connaissance de base en Python. Goût pour la mesure physique. Goût pour la collaboration avec des travailleurs multidisciplinaires.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Mesures physiques. Dynamique de faisceau de particule.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

VIDALOT Jeoffray
E-mail : jeoffray.vidalot@cea.fr

CONTEXTE : Dans une installation telle que celles exploitées sur le centre de Valduc, il est nécessaire de suivre strictement les quantités de matières nucléaires qui entrent dans l'installation, qui en sortent mais également qui transitent entre les locaux.

Aujourd'hui, ces suivis sont assurés de façon manuelle, en saisissant les mouvements de colis entre leur lieu de départ et leur lieu de destination dans une application dédiée.

Régulièrement, des vérifications sont mises en œuvre, sous la forme d'inventaires, qui sont réalisés, également "à la main", en vérifiant local par local, la conformité entre le listing des colis attendus et ceux effectivement présents.

OBJECTIFS : L'unité chargée de la gestion des déchets radioactifs du centre de Valduc exploite plusieurs entrepôts et plateformes logistiques qui accueillent les colis de déchets nucléaires du centre.

Quel que soit le mode d'exploitation, il serait intéressant d'automatiser la surveillance des flux et la réalisation des inventaires. L'utilisation des puces RFID et des portiques associés semble pouvoir répondre à ces besoins d'automatisation.

Dans ce contexte, nous proposons un stage qui visera à imaginer une stratégie de déploiement de puces RFID (technologies, emplacements des portiques, configuration du matériel, ...) pour répondre, de façon aussi générique que possible, aux besoins pour l'exploitation des entrepôts et plateformes.

Pour ce faire, le(la) stagiaire se basera sur des cas d'usages, notamment dans un entrepôt test exploité par l'unité chargée de la gestion des déchets radioactifs, ainsi que sur des expériences externes.

L'objectif final à l'issue du stage sera de disposer d'un système déployé et fonctionnel sur au moins un entrepôt et alimentant les outils informatiques de gestion de la matière nucléaire.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

GEVREY Gaëtan
E-mail : gaetan.gevrey@cea.fr
LE GOFF Pierre
E-mail : pierre.legoff@cea.fr

INSTRUMENTATION, MÉTROLOGIE ET CONTRÔLE

CONTEXTE : L'unité d'accueil possède et développe pour ses besoins propres de recherche et développement un banc de caractérisation MEMS (Microsystèmes) de détection d'accélération.

Ce banc de caractérisation permet de tester des capteurs spécifiques miniatures (quelques μm pour les éléments les plus petits) fabriqués en technologie MEMS. Ces capteurs, conçus par l'unité d'accueil, permettent la mesure d'un niveau précis d'accélération.

Le(a) stagiaire aura pour missions de prendre en main le banc de mesure et autres moyens propres (binoculaire, caméra infrarouge, plateau tournant, électronique de contrôle et d'actionnement), de l'améliorer et de caractériser les cellules MEMS de retour de fabrication.

OBJECTIFS : Le sujet comporte les aspects suivants :

- étude des moyens disponibles et des modifications nécessaires éventuelles (mécanique, électronique et logiciel),
- réalisation de modifications (matérielles et logicielles) en prenant en compte les contraintes et tests à réaliser sur échantillons pour assurer la caractérisation,
- réalisation des expérimentations de caractérisation du comportement des MEMS,
- écriture d'un rapport de synthèse d'analyse des résultats.

Le(a) candidat(e) devra posséder les bases de mécanique, d'électronique et éventuellement de programmation logicielle (LabVIEW, Python, autre) nécessaires à la compréhension de la problématique et à la mise en œuvre du banc de mesure. Il (elle) devra être force de proposition. Il (elle) va acquérir des connaissances en instrumentation, en fonctionnement des capteurs MEMS.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Souhaitable : Python, LabVIEW

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

PARENT Arnaud
E-mail : arnaud.parent@cea.fr
CHAPELLIER Paul
E-mail : paul.chapellier@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de ses missions, le CEA/DAM participe à la surveillance des essais nucléaires notamment dans le cadre du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (TICE), où il est le contributeur technique pour la France. Il développe et conçoit les systèmes SPALAX puis SPALAX-NG (Système de Prélèvement Automatique en Ligne avec Analyse de Radio-Xénons - Nouvelle Génération).

Depuis l'obtention de la certification du SPALAX-NG en 2021, le CEA en améliore continuellement chacun de ses principaux constituants. Comme le procédé repose en grande partie sur des phénomènes d'adsorption, le CEA a un regard particulier sur les matériaux adsorbants utilisés et leur mise en œuvre. Cela est possible uniquement par l'usage de méthodes d'analyses adaptées : la spectrométrie de masse. Le CEA souhaite désormais développer, optimiser et valider de nouvelles méthodes qui seront utiles pour le développement de stations de type "gaz nobles" de l'OTICE.

OBJECTIFS : L'objectif général est de développer, optimiser et valider de nouvelles méthodes de mesure du xénon et des gaz nobles dans l'air par spectrométrie de masse. Pour cela, plusieurs axes sont envisagés.

D'abord, il est question pour un spectromètre "batch" de mettre en place, optimiser et valider une méthode de mesure qui sera, à terme, utilisée pour des analyses certifiées par un formalisme proche de la norme ISO 17025. L'enjeu ici, au-delà de la validation métrologique, est de produire une méthode capable de consommer de très faibles volumes d'échantillons (de l'ordre de 1 mL CNTP).

Ensuite, il est question pour un spectromètre de type "quadripôle" de développer une méthode de mesure non certifiée mais permettant la mesure de volume fini. Cette méthode aurait pour objectif de remplacer des mesures réalisées actuellement par des TCD pour des matrices plus simples.

Il est également question de tester la robustesse de méthodes lors de la mesure à faible débit.

Enfin, sur deux types d'équipement, il est question d'optimiser les méthodes de mesure pour tirer le meilleur parti des équipements de notre laboratoire.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Chimie analytique, métrologie, qualité, physico-chimie.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

COUCHAUX Gabriel
E-mail : gabriel.couchaux@cea.fr
PHILIPPE Florian
E-mail : florian.philippe@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (TICE), le CEA/DAM développe des systèmes de mesure de xénon radioactif présent dans l'air. Ces systèmes, nommés "Système de Prélèvement Automatique en Ligne et Analyse du Xénon - Nouvelle Génération" (SPALAX-NG), sont voués à être installés sur le Système de Surveillance International (SSI) de l'organisation du TICE. Le système de mesure nucléaire embarqué sur le SPALAX-NG est constitué de détecteurs à haute résolution (Germanium hyper-pur, PIPSBox), et d'une chaîne d'acquisition numérique. Le numériseur jusqu'alors utilisé arrive en fin de cycle de vie commerciale. Une étude préalable des solutions alternatives a permis de définir une nouvelle chaîne d'acquisition et des développements sont maintenant à réaliser pour intégrer cette nouvelle solution au SPALAX-NG.

OBJECTIFS : Les tests effectués en laboratoire avec le nouveau numériseur montrent des performances supérieures au précédent système ; cependant, l'intégration de ce numériseur sur le SPALAX-NG n'est pas triviale. L'objectif de ce stage sera de rendre possible l'acquisition de données avec le nouveau numériseur depuis un PC SPALAX-NG, via une interface WSL et/ou SSH. La communication entre les deux systèmes rendue possible, le(la) stagiaire aidera à la rédaction de l'expression du besoin pour adapter l'interface homme-machine du logiciel actuel.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Notion de physique nucléaire et de traitement du signal.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Linux, C/C++, Python

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

DER MESROBIAN-KABAKIAN Anthony
E-mail : anthony.dermesrobian@cea.fr
PHILIPPE Florian
E-mail : florian.philippe@cea.fr

CONTEXTE : Parmi ses nombreuses missions, le laboratoire d'accueil a à sa charge l'exploitation des données de spectrométrie gamma acquises in situ sur des objets émetteurs de photons afin d'en caractériser le contenu. Cette technique de contrôle non destructif, basée sur l'utilisation de détecteurs haute résolution, permet, par étude des spectres en énergie acquis, d'identifier et de quantifier la matière radioactive présente dans le colis.

OBJECTIFS : Habituellement, les informations sur la nature et la population des noyaux radioactifs sont obtenues à partir des marqueurs d'"absorption totale" présents dans le spectre. Lorsque l'énergie des photons augmente, le dépôt d'énergie devient partiel et les événements associés viennent alors peupler le spectre dans le « fond Compton », ce qui nécessite des méthodes adaptées pour en extraire les contributions pertinentes.

C'est dans ce contexte que le laboratoire souhaite accueillir un(e) stagiaire pour développer une méthode d'analyse des spectres gamma permettant d'exploiter la totalité de l'information disponible, y compris dans le fond Compton dans l'objectif de restituer le flux gamma incident. Il s'agira en premier lieu de se familiariser avec les systèmes de détection des rayonnements ionisants et la physique de l'interaction rayonnements-matière afin d'appréhender la globalité des enjeux du stage. Une fois la problématique dégagée, le(la) stagiaire prendra en main les outils de simulation numérique nécessaires au développement et participera activement, en collaboration avec une autre unité, à la caractérisation d'un détecteur gamma pour la validation de la méthode.

Les aspects abordés au cours de ce stage sont :

- la physique de la mesure des rayonnements ionisants avec, entre autres, un volet expérimental,
- la simulation avec le code Monte-Carlo de transport de particules GEANT4,
- l'analyse de données avec restitution d'observables physiques et des incertitudes associées,
- la programmation C++ et Python.

Il est attendu en fin de stage une méthode d'analyse sous la forme d'un code fonctionnel développé en C++ ou Python dans un environnement Linux.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Ce stage s'adresse à un(e) élève ingénieur en fin d'études (3ème année) souhaitant s'investir dans le domaine de l'instrumentation nucléaire dans le cadre d'un stage de 6 mois. Le(la) candidat(e) devra avoir des connaissances certaines dans les domaines de la physique nucléaire, statistique et programmation informatique.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

POIRIER Eric
E-mail : eric.poirier@cea.fr

CONTEXTE : La détonation d'une munition (obus, bombe, missile) génère le gonflement de son enveloppe métallique puis sa fragmentation en de multiples éclats à haute énergie cinétique.

L'évaluation de la létalité de l'arme et la maîtrise des dommages collatéraux nécessitent de connaître la gerbe d'éclats qui est une description statistique des fragments produits en termes de masse, nombre, forme, vitesses et angles d'éjection. Les essais de détonation en arène avec récupération des éclats répondent à ce besoin mais leur dépouillement est coûteux et leur représentativité semble limitée.

Le CEA Gramat a déjà exploré la possibilité de mesurer des éclats par radar et souhaite désormais aller plus loin et mettre au point des mesures de plus en plus précises pour analyser une gerbe d'éclat lors d'essais de détonique sur des objets complets.

OBJECTIFS : Il s'agit de monter en compétence et de développer un système de mesure d'au moins 1 éclat par méthode radar.

Pour cela il faudra :

- Déterminer le matériel,
- simuler et prévoir la conception du montage,
- travailler à l'intégration dans un essai factice ou réel.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac +4/+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

LETOQUART Ludovic
E-mail : ludovic.letouart@cea.fr

CONTEXTE : Notre laboratoire réalise des essais abusifs sur batteries lithium-ion destinées principalement à l'industrie automobile, ferroviaire, maritime ou aérospatiale dans le cadre de contrats industriels ou de projets européens. Ces essais consistent à exercer des agressions électriques, thermiques ou mécaniques pour tester le comportement et quantifier la réactivité des batteries. Ces études contribuent à l'amélioration de la sécurité des batteries lithium-ion, technologie privilégiée comme solution de mobilité pour réduire les émissions de CO₂.

OBJECTIFS : Le(la) candidat(e), intégré(e) au sein l'équipe du laboratoire, sera formé(e) à la réalisation des essais abusifs sur batteries lithium-ion. Il(elle) participera au montage, à la réalisation et aux dépouillements des acquisitions d'essais complexes avec pour objectif de travailler en quasi-autonomie à la fin de son stage. Il(elle) sera mis(e) à contribution pour améliorer les moyens de caractérisations d'imageries (HD, rapide, infra-rouge) ou physico-chimiques dans le cadre de travaux de R&D.

DURÉE : 2-3 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+1/+2

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : IUT ou BTS mesures physiques

Instrumentation, métrologie et
contrôle

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

Dubourg Sébastien
E-mail : sebastien.dubourg@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de l'amélioration continue de nos méthodes de mesure, un outil permettant d'effectuer des scans 3D a récemment été réceptionné au laboratoire afin d'obtenir des mesures de densité géométrique plus fiables sur certains matériaux. Pour assurer la bonne mise en service du moyen, les performances de ce dernier doivent être étudiées sur la base de matériaux connus et de paramètres d'acquisition choisis. L'objectif final est de mettre en place une procédure permettant d'assurer des mesures robustes avec des incertitudes associées.

OBJECTIFS : Au sein du laboratoire, vous serez amené(e) à :

- Réaliser des scanners 3D de différents échantillons à l'aide de notre nouveau moyen.
- Apprécier la validité de la mesure effectuée selon les paramètres choisis.
- Effectuer des mesures d'incertitude.
- Développer et appliquer de nouvelles procédures pour juger des paramètres à utiliser pour les différents matériaux étudiés.

Ce stage vous permettra de développer vos compétences en métrologie, en caractérisation de matériaux et de contribuer à l'amélioration de nos méthodes de mesure.

DURÉE : 2-3 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+3

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Métrologie, caractérisation des matériaux, traitement de données

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Scans 3D

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

LETT Samuel
E-mail : samuel.lett@cea.fr
UGUEN Alexandre
E-mail : alexandre.uguen@cea.fr

CONTEXTE : Le sujet de stage est relié à une installation d'essai au sol équipée d'une torche à plasma montée sur un robot. L'énergie thermique du jet plasma est mise à profit pour évaluer le comportement des matériaux lorsqu'ils sont soumis à des flux thermiques élevés tels ceux rencontrés lors de la rentrée atmosphérique. De façon à alimenter et à valider des travaux de modélisation du moyen d'essai, le stage consisterait à mettre en place et à étudier un moyen de spectroscopie d'émission optique. Technique non intrusive, la spectroscopie apporte des informations sur la composition du plasma, les températures et les densités des espèces.

OBJECTIFS : Le ou la stagiaire sera tout d'abord amené(e) à mettre en place et à prendre en main le dispositif de spectroscopie d'émission optique. Des campagnes de mesures seront ensuite réalisées en variant les conditions d'essais avant de s'intéresser à l'exploitation des spectres. Un objectif serait l'obtention de cartographies du jet plasma. En opportunité, il pourra être réalisé des mesures avec un objet en graphite inséré dans le jet plasma de façon à considérer l'étude de son ablation par spectroscopie.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

Instrumentation, métrologie et
contrôle

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

QUET Aurélie
E-mail : aurelie.quet@cea.fr
GENISSEL Vincent
E-mail : vincent.genissel@cea.fr

MANAGEMENT ET PROJET

CONTEXTE : L'unité d'accueil a pour mission l'assistance à maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre d'ingénierie pour réalisation de projets de construction d'installations nucléaires et d'infrastructures sur tous les centres de la Direction des applications militaires du CEA. Elle est ainsi dotée d'une unité d'ingénierie regroupant toutes les compétences techniques des métiers du bâtiment.

Dans le cadre de ce stage, nous vous offrons la possibilité d'intégrer l'équipe d'ingénieurs dans le domaine de la direction de chantier afin de participer au suivi de réalisation d'un projet de conception d'installation nucléaire en tant que maître d'œuvre sur le site CEA de VALDUC. Ce travail, réalisé au sein d'une équipe d'ingénieurs spécialisée et un projet en phase de réalisation, vous permettra d'acquérir une bonne compréhension des enjeux de la direction de travaux ainsi qu'une formation appliquée dans le suivi de réalisation en maîtrise d'œuvre.

OBJECTIFS : Intégré(e) à une équipe projet pluridisciplinaire et tutoré(e) par un collaborateur spécialisé dans le domaine de la direction de chantier, vous participerez :

- au suivi de réalisation d'un projet sur le Centre du CEA VALDUC,
- aux réunions techniques, aux réunions de suivi de chantier et aux réunions d'interface,
- à la relecture et à l'écriture de notes techniques sur diverses problématiques du domaine,
- à la mise en place d'outils de management visuels,
- à la mise en place d'outils réactifs et opérationnels pour le suivi des actions quotidiennes,
- à la résolution des problèmes constatés sur les domaines de la sécurité, de la logistique et de l'ordonnancement.

Vous serez également amené(e) à prendre en main un sujet spécifique en fonction de l'avancée du projet. Dans ce cadre, il vous sera demandé de vous approprier ce sujet technique et d'y apporter une solution en vous appuyant sur la littérature scientifique, les guides de conception du nucléaire et votre bon sens de futur ingénieur.

La mission sera décomposée en trois points majeurs :

1. Comprendre les enjeux d'un projet complexe et pluridisciplinaire dans un contexte nucléaire.
2. Participer au suivi d'avancement de projet.
3. Etudier une problématique technique en lien avec le phasage chantier.

DURÉE : 2-3 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+3

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Management de projet, travail en équipe, esprit de synthèse, capacité d'écoute et esprit analytique

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Autodesk; NAVISWORK; MS PROJECT

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CADROY François-Xavier
E-mail : francois-xavier.cadroy@cea.fr
CORNET Bertrand
E-mail : bertrand.cornet@cea.fr

CONTEXTE : L'unité d'accueil a pour mission l'assistance à maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre d'ingénierie pour la réalisation de projets de construction d'installations nucléaires et d'infrastructures sur tous les centres de la Direction des applications militaires du CEA. Dans le cadre des projets de construction complexes, les entreprises de travaux multiplient les réclamations financières (avenants, pénalités, aléas, etc.), impactant les coûts, les délais et la qualité des ouvrages. Ces réclamations, souvent liées à des ambiguïtés contractuelles, des déséquilibres de risques ou des lacunes dans le suivi opérationnel, génèrent des tensions et des surcoûts.

L'objectif du stage est d'analyser ces réclamations pour en identifier les causes racines, évaluer leur impact, et proposer des outils et méthodes pour les anticiper et les réduire, en s'appuyant sur des retours d'expérience concrets et de créer un marché pour défendre les intérêts du CEA.

OBJECTIFS : Le stage a pour objet l'optimisation de la gestion contractuelle dans les projets de construction et analyse des réclamations et propositions d'amélioration. Au cours du stage, au sein de la maîtrise d'œuvre, devront être menés :

- une analyse des causes récurrentes des réclamations financières (délais, aléas techniques, malfaçons, etc.) émises par les entreprises de travaux.
- un croisement des données avec les clauses contractuelles pour identifier les failles ou ambiguïtés dans les marchés.

Dans un second temps, il conviendra de proposer des outils méthodologiques (checklists, matrices de risques, modèles de clauses types) et des bonnes pratiques pour anticiper et limiter ces contentieux, en s'appuyant sur des retours d'expérience concrets.

Le stage, d'une durée de 4 à 6 mois, pourra se dérouler suivant 3 phases, d'une durée de 1 à 2 mois chacune :

- Diagnostic et collecte des données : recensement des réclamations sur 2-3 projets pilotes (marchés publics/privés) /

Analyse qualitative : typologies de réclamations (délais, modifications, malfaçons, etc.), clauses contractuelles concernées, acteurs impliqués / Analyse quantitative : fréquence, montants, délais de traitement, taux de succès des réclamations.

Benchmark : étude des bonnes pratiques en gestion contractuelle

- Analyse et modélisation : cartographie des risques contractuels : identification des clauses à risque (ex : clauses de révision de prix, pénalités, modalités de réception) / Croisement des données avec les causes racines / Proposition de grilles d'analyse : outils pour évaluer ex ante le risque de réclamation

- Recommandations et livrables : Elaboration de propositions / Amélioration des modèles de contrats / Processus de suivi : fiches de suivi des modifications, procédures de validation des avenants / Outils opérationnels / Test et validation avec présentation des propositions aux équipes projets et ajustements. Créer un marché permettant de défendre les intérêts du CEA et compatible avec les CGA

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Aptitude à l'analyse des données, sens juridique, capacité à synthétiser des retours terrains, rigueur, connaissance des documents contractuels et de la responsabilité des acteurs de la construction.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

MORET Guillaume
E-mail : guillaume.moret@cea.fr
CORNET Bertrand
E-mail : bertrand.cornet@cea.fr

CONTEXTE : Les installations nucléaires exploitées et en cours de démantèlement nécessitent des opérations d'assainissement/démantèlement pour renouveler l'outil industriel et pour assurer le maintien en conditions opérationnelles des équipements. Pour cela des techniques spécifiques sont déployées et/ou développées et sont utilisées par nos prestataires spécialisés dans le démantèlement.

L'objectif du stage est d'élaborer un catalogue méthodique des techniques utilisées pour réaliser ces opérations d'assainissement/démantèlement. Ce guide sera complété par la définition des facteurs de remise en suspension et de décontamination, qui seront à utiliser sur le site par nos prestataires spécialisés en assainissement/démantèlement.

OBJECTIFS : Vous intégrerez une équipe en charge du pilotage des prestations d'assainissement/démantèlement. Le stage durera maximum 6 mois et aura deux objectifs principaux :

- Elaborer un guide méthodologique des techniques d'assainissement/démantèlement ;
- Définir les facteurs de remise en suspension et de décontamination à utiliser dans les notes de calculs nécessaires aux chantiers d'assainissement/démantèlement. Une recherche bibliographique devra être menée en amont de la définition des deux facteurs.

Ce stage vous permettra de développer vos compétences rédactionnelles, vos relations professionnelles en intégrant une équipe déjà formée et compétente en assainissement/démantèlement et vos compétences techniques en assainissement/démantèlement d'installations nucléaires.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+2/+3

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

ENGRAND ALEXIS
E-mail : alexis.engrand@cea.fr
ALLER Vanessa
E-mail : vanessa.aller@cea.fr

MATÉRIAUX, PHYSIQUE DU SOLIDE

CONTEXTE : Les environnements radiatifs produisent dans les matériaux des déplacements atomiques responsables de la dégradation des propriétés électriques des composants embarqués. Ces déplacements atomiques conduisent à la formation de défauts introduisant de nouveaux niveaux d'énergie dans la bande interdite des matériaux semi-conducteurs. Ces niveaux d'énergie sont à l'origine du bruit thermique dans les composants, qui se traduit par un taux de génération de paires électron-trou responsables de la défaillance des composants. Certains défauts ponctuels peuvent migrer et s'agglomérer pour former des amas de défauts. D'autres ne peuvent pas bouger à température ambiante. Une des questions ouvertes en science des matériaux est : "A partir de quelle distance deux défauts sont-ils suffisamment proches l'un de l'autre pour interagir constructivement ?" C'est-à-dire à partir de quand le taux de génération des deux défauts est supérieur à la somme des taux de génération des défauts isolés.

OBJECTIFS : Pour répondre à cette question, une technique nommée "Self Interaction" a été développée lors d'une collaboration entre le LAAS-CNRS, le CEA-DAM, l'ONERA et le CNR-IOM en Italie. Elle permet notamment de quantifier le degré de localisation des niveaux électroniques induits par un défaut. C'est une propriété fondamentale, car des défauts qui interagissent ont des électrons qui sont moins localisés. L'objectif du stage est de trouver comment l'interaction entre deux défauts, tels que deux lacunes, varie avec le type de matériau cible.

Dans ce travail, nous nous intéressons au silicium, matériau à la base de nombreux composants microélectroniques qui servira de référence, mais aussi à tous les matériaux à structure zinc-blende (Ge, SiGe, Si, SiC, C). Des calculs ab initio basés sur la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) seront menés avec le logiciel Quantum Espresso et le plugin "Self-interaction". L'étudiant(e) devra trouver quelle est la propriété fondamentale (constantes élastiques, écrantage, bande interdite, paramètre de maille) contrôlant la variation de l'interaction entre défauts.

Le stage permettra ainsi d'acquérir des compétences avancées en modélisation atomistique des matériaux, en simulation numérique haute performance et en calcul scientifique sur supercalculateurs (notamment le nouveau calculateur KAIROS du mésocentre CALMIP). Ce stage offre également la possibilité de poursuivre en thèse. Ces travaux se dérouleront dans le cadre d'un Laboratoire de Recherche Conventionné (LRC) nommé LICUR pour « Laboratoire sur l'Instrumentation et les Capteurs Ultra-Rapides, mis en place entre le LAAS-CNRS et le CEA DAM.

Le poste sera localisé au LAAS-CNRS de Toulouse.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Une formation sur la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) et une maîtrise de Linux seraient un plus

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Simulation des matériaux, chimie théorique, simulation numérique.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

RICHARD Nicolas
E-mail : nicolas.richard@cea.fr
JARRIN Thomas
E-mail : thomas.jarrin@cea.fr

CONTEXTE : Les environnements radiatifs produisent dans les matériaux des déplacements atomiques responsables de la dégradation des propriétés électriques des composants embarqués. Ces déplacements atomiques conduisent à la formation de défauts qui introduisent de nouveaux niveaux d'énergie dans la bande interdite des matériaux semi-conducteurs. Ces niveaux d'énergie sont à l'origine du bruit thermique dans les composants. Il se traduit par un taux de génération de paires électron-trou responsables de la défaillance des composants. Les défauts ponctuels peuvent migrer et s'agglomérer pour former des amas de défauts (clusters). En général, l'augmentation de la taille de ces clusters s'accompagne d'une hausse de leur activité électronique, conduisant à une génération plus importante de porteurs de charge.

Dans ce travail, nous nous intéressons au silicium, matériau à la base de nombreux composants microélectroniques.

OBJECTIFS : Des observations expérimentales récentes, obtenues par nos collaborateurs de l'ISAE-Supaero, montrent que lors d'une irradiation, les composants en silicium dopés au bore présentent une densité de clusters plus faible que ceux dopés au phosphore. Les mécanismes atomiques responsables de cette différence restent cependant mal compris. L'hypothèse sous-jacente à la proposition de ce sujet de stage concerne comment le dopage influence les mécanismes de recuit qui suivent immédiatement la formation de la cascade de déplacements. L'objectif du stage est de comprendre ces mécanismes à l'échelle atomique à l'aide d'approches de modélisation et simulation multi-échelle.

Le(la) stagiaire simulera dans un premier temps par dynamique moléculaire les cascades dans le silicium dopé au bore et au phosphore. Puis les configurations obtenues serviront d'entrée à des simulations Monte Carlo cinétique de recuit. Le stage permettra ainsi d'acquérir des compétences avancées en modélisation atomistique des matériaux, en simulation numérique haute performance et en calcul scientifique sur supercalculateurs (notamment le nouveau calculateur KAIROS du mésocentre CALMIP). Ce stage offre également la possibilité de poursuivre en thèse. Ces travaux se dérouleront dans le cadre d'un Laboratoire de Recherche Conventionné (LRC) nommé LICUR pour « Laboratoire sur l'Instrumentation et les Capteurs Ultra-Rapides, mis en place entre le LAAS-CNRS et le CEA DAM.

Le poste sera localisé au LAAS-CNRS de Toulouse.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Une formation sur la dynamique moléculaire et une maîtrise de Linux seraient un plus

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Simulation des matériaux, chimie théorique, simulation numérique.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

RICHARD Nicolas
E-mail : nicolas.richard@cea.fr
JARRIN Thomas
E-mail : thomas.jarrin@cea.fr

CONTEXTE : Le cérium présente une transition de phase isostructurale du premier ordre entre une phase γ de grand volume, où l'électron 4f est localisé (susceptibilité de Curie Weiss), et une phase α de petit volume, où il est itinérant (susceptibilité de Pauli). Les calculs DFT+DMFT ont montré que la stabilisation entropique de la phase γ est un moteur essentiel de la transition [Amadon et al. al., PRL 96, 0 66402 (2006) ; Bieder & Amadon, PRB 89, 195132 (2014)]. Expérimentalement, un champ magnétique intense supprime la transition γ α dans $\text{Ce}_{0.8}\text{La}_{0.1}\text{Th}_{0.1}$ [Drymiotis et al., J. Phys.: Condens. Matter 17, L77 (2005)] : le champ stabilise les moments locaux de la phase γ . Aucune description ab initio de cet effet n'existe à ce jour.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de décrire cette transition sous champ magnétique par des calculs DFT+DMFT avec le code ABINIT, en s'appuyant sur les développements récents de l'équipe : implémentation DMFT auto cohérente [Amadon, JPCM 24 , 075604 (2012)], couplage magnétisme corrélations structure [Gendron, Cliche, Amadon, JPCM (2024)] et solveur CT QMC via l'interface TRIQS [thèse E. Castiel, Paris Saclay (20 25), dir. B. Amadon, co encadr. F. Gendron]. Le champ sera introduit via un terme de Zeeman sur la couche 4f. On étudiera d'abord les propriétés spectrales des phases α et γ (résonance Kondo, bandes de Hubbard, aimantation en fonction du champ et de la température), puis les propriétés structurales : énergie libre en fonction du volume et du champ, équation d'état des deux phases et déplacement de la ligne de transition dans le diagramme (T, H), afin de déterminer si le calcul reproduit la suppression de la transition observée.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : M2 physique de la matière condensée.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Notions de DFT, de systèmes corrélés et pratique de linux /Python.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

AMADON Bernard
E-mail : bernard.amadon@cea.fr

CONTEXTE : Une connaissance approfondie du comportement des défauts ponctuels est primordiale pour comprendre et contrôler les effets d'irradiation dans les matériaux. L'étude de ces défauts ponctuels, de leurs migrations et de leurs interactions, fait appel à différentes méthodes de calcul. Toutes ces méthodes sont déjà en grande partie disponibles dans le code open source ABINIT (www.abinit.org), qui met en pratique la Théorie de la Fonctionnelle de Densité (DFT). Le code ABINIT est développé dans le cadre d'une collaboration internationale et est parfaitement adapté pour un usage sur les supercalculateurs du CEA, auxquels le.a candidat.e aura accès durant le stage. Cependant, si les calculs DFT sont reconnus pour leur précision, leur coût computationnel est souvent prohibitif pour l'étude des phénomènes de diffusion. Pour pallier ce problème, ils sont souvent couplés à des méthodes de Monte Carlo cinétique permettant une montée en échelle, de temps et de dimension.

OBJECTIFS : L'objectif du stage sera d'obtenir, par calcul de Monte Carlo cinétique couplé à des calculs ab initio, différentes grandeurs permettant le calcul de coefficients de diffusion en température pour plusieurs défauts ponctuels dans les alliages concentrés. Cet objectif impliquera le développement d'un modèle de diffusion capable de décrire de tels systèmes. Dans un deuxième temps, un modèle devra être développé pour modéliser le comportement de ces matériaux (du point de vue de la diffusion) dans un environnement fortement irradiant.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Formation en physique du solide.
Un attrait pour la programmation informatique est nécessaire.
Méthode ab initio, logiciel ABINIT, développement de paquet Python.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, C++.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BEJAUD Romuald
E-mail : romuald.bejaud@cea.fr
DUBOIS Alizée
E-mail : alizee.dubois@cea.fr

CONTEXTE : La modélisation thermodynamique des systèmes métalliques liquides est cruciale pour prédire les diagrammes de phases et alimenter les bases de données CALPHAD. Les méthodes ab initio, couplées à des techniques d'intégration thermodynamique, permettent d'accéder directement à l'énergie libre de ces systèmes, mais restent numériquement coûteuses. Pour surmonter cette limitation, l'apprentissage automatique offre une solution pour accélérer ces procédures sur une large gamme de températures et de pressions.

Le paquet Python MLACS, développé au sein du laboratoire dans le cadre d'une collaboration internationale (<https://mlacs.readthedocs.io>), fournit une interface rapide et simplifiée pour ces méthodes.

Ce stage propose de prolonger cette démarche en étudiant non plus les corps purs ou les eutectiques figés, mais les effets d'alliage dans un système binaire liquide.

OBJECTIFS : L'objectif est de calculer directement l'enthalpie libre de mélange en fonction de la composition et de la température. Le système Ca-Ga a été retenu pour cette étude en raison de la disponibilité d'une base de données DFT existante issue de calculs préliminaires. La première étape consistera à valider la méthodologie sur les corps purs (Ca et Ga liquides). Ensuite, le.a candidat.e étendra le protocole NETI pour calculer l'enthalpie libre de mélange du système Ca-Ga liquide, comparant les résultats aux évaluations CALPHAD. En fin de stage, une extension dans l'ensemble semi-grand canonique (SGC) sera envisagée pour varier la composition du système comme variable thermodynamique. Ce travail utilisera les codes de dynamique moléculaire disponibles (LAMMPS, couplé à des potentiels interatomiques machine learning) et des outils numériques en Python (MLACS) à développer ou améliorer.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Formation en physique du solide.
Un attrait pour la programmation informatique est nécessaire.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Méthode ab initio, Logiciel ABINIT, Développement de paquet Python.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BEJAUD Romuald
E-mail : romuald.bejaud@cea.fr
SIBERCHICOT Bruno
E-mail : bruno.siberchicot@cea.fr

CONTEXTE : L'effet Portevin-Le Chatelier (PLC) apparaît dans certains alliages métalliques lors d'essais de traction, se manifestant par des dentelures sur la courbe de traction et la propagation de bandes de déformation. À l'échelle microscopique, ce phénomène résulte de l'interaction entre dislocations et solutés interstitiels (atmosphère de Cottrell). Lorsque les solutés diffusent vers les dislocations arrêtées, ils renforcent leur ancrage, provoquant une déstabilisation de l'écoulement plastique. Ce couplage, appelé vieillissement dynamique, entraîne un écoulement plastique saccadé et des avalanches de déformation. L'étude du PLC combine mécanique, physique et métallurgie, couvrant des échelles allant de l'interaction atomique à la manifestation macroscopique.

OBJECTIFS : Analyser l'impact de la diffusion des solutés sur la dynamique collective des dislocations. Des solveurs couplant mécanique et diffusion, permettent déjà l'étude de la cinétique d'interaction entre solutés et une unique dislocation, mettant en évidence les forces de traînée induites par les solutés. Mais la restriction à une dislocation unique exclut la dynamique collective, et l'interaction mutuelle entre dislocations mobiles, obstacles et solutés. Il s'agira ici de coupler un code de diffusion à un code de dynamique des dislocations, pour aboutir dans ce cadre à une première étude de l'influence de la diffusion des solutés sur la dynamique collective.

Méthodes et outils : Deux codes de simulation existants : a) un solveur en différences finies, résolvant l'équation de diffusion des solutés en présence du champ de contrainte élastique d'une dislocation ; b) un code de dynamique des dislocations par résolution de l'équation de Peierls-Nabarro dynamique, simulant des dislocations parfaites en interaction dans un cadre unidimensionnel (1D) idéalisé.

Le travail consistera :

- 1) à coupler les codes, afin de piloter la diffusion par le champ de contrainte induit par la distribution de dislocations, puis en réinjectant l'interaction entre dislocations et solutés dans l'équation de Peierls-Nabarro dynamique. Un mécanisme d'épinglage (pinning) devra préalablement être implanté dans ce cadre.
- 2) à étudier par ce moyen l'impact de la diffusion sur la dynamique collective.

Références :

- [1] Yilmaz (2011). The Portevin-Le Chatelier effect: a review of experimental findings. Sci. Technol. Adv. Mater. 12(6).
- [2] Aboulfadl, Deges, Choi, et Raabe (2015). Dynamic strain aging studied at the atomic scale. Acta Mater. 86, 34–42.
- [3] Pellegrini et Josien (2023). Shock-driven nucleation and self-organization of dislocations in the dynamical Peierls model. Phys. Rev. B 108(5).

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Formation en mécanique ou en physique. Connaissances en théorie de la diffusion et de la plasticité souhaitées. Connaissances préalables en Python. Bonnes capacités d'expression écrite et orale. Maîtrise de l'anglais scientifique.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Programmation Python et C++, codes fournis par l'encadrant. Prise en main des bibliothèques scientifiques existantes.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BILLON Florian
E-mail : florian.billon@cea.fr
PELLEGRINI Yves-Patrick
E-mail : yves-patrick.pellegrini@cea.fr

CONTEXTE : Dans le domaine de la simulation des matériaux à l'échelle microscopique, les méthodes numériques les plus précises reposent sur une description explicite de la structure électronique via la résolution de l'équation de Schrödinger. Parmi celles-ci, la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) est devenue un outil de référence pour l'étude des propriétés des matériaux. Cependant, la DFT se limite à la description de l'état fondamental. Pour étudier la réponse dynamique d'un matériau à une perturbation dépendante du temps, par exemple sous l'action d'un champ électrique ou lors du passage d'un projectile, la théorie de la fonctionnelle de la densité dépendante du temps (TDDFT) est particulièrement adaptée. Nous avons récemment implémenté la TDDFT dans le code ABINIT, et cette implémentation doit désormais être validée et étendue.

OBJECTIFS : Le stage a pour objectif de contribuer au développement de la TDDFT dans ABINIT. Une première partie du travail consistera à tester l'implémentation sur des systèmes de grande taille et dans des conditions extrêmes afin d'en évaluer les performances et les limites. Une seconde partie portera sur son amélioration. Plusieurs axes pourront être explorés selon le profil du ou de la candidat.e :

- Amélioration de l'intégration numérique de l'équation de Schrödinger dépendante du temps à l'aide de schémas numériques plus performants ;
- Extension de l'implémentation pour l'étude des matériaux sous irradiation, en simulant le passage d'un projectile et la réponse électronique par TDDFT ;
- Couplage de la dynamique des électrons et des noyaux par l'implémentation de la dynamique d'Ehrenfest, en combinant la TDDFT avec la dynamique moléculaire.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Ce stage s'adresse à des élèves de niveau BAC+5 ayant une bonne connaissance des bases de la physique quantique et de la matière condensée. Un goût prononcé pour le développement informatique est attendu

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Une connaissance de l'environnement Linux et du langage Fortran n'est pas indispensable, mais constituerait un atout.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BRIEUC Fabien
E-mail : fabien.brieuc@cea.fr

CONTEXTE : La réponse mécanique d'un matériau métallique soumis à un choc implique de nombreux mécanismes de déformation : élasticité, plasticité, maclage, transition de phase, etc. Parmi les diagnostics accessibles dans de telles conditions de chargement, la diffraction des rayons X (DRX) in situ est celui offrant le plus d'informations sur le réseau cristallin et son état de déformation. Cependant, le caractère unidimensionnel du chargement et le nombre réduit de clichés de diffraction pouvant être pris pendant le choc empêchent jusqu'à présent d'aboutir à la calibration de lois de comportement pour les phases haute pression des métaux à l'aide de la DRX. Récemment, le CEA DAM a enrichi son code de calcul mécanique à l'échelle du polycristal d'un module de X-Ray Tracing, permettant de générer des clichés de DRX synthétiques conformes avec l'état courant de la boîte de simulation. L'objectif du stage est d'utiliser cet outil pour enrichir la connaissance du comportement des métaux en pression.

OBJECTIFS : Plus précisément, les simulations de mécanique des milieux continus seront appliquées à l'étain, qui connaît une transition allotropique d'une phase tétragonale double à une phase tétragonale autour de 10 GPa. Deux mécanismes atomistiques ont récemment été proposés pour cette transition, le premier impliquant majoritairement une compression uni axiale, le second impliquant majoritairement du cisaillement. Chacun de ces mécanismes produit ainsi des orientations distinctes de la phase haute pression. L'objectif sera d'utiliser la simulation pour optimiser l'orientation initiale d'un monocristal d'étain afin que les données acquises sous choc permettent de trancher sans équivoque sur le mécanisme de transition activé. Il s'agira de développer un outil permettant de simuler un grand nombre d'orientations initiales de cristal. Pour chacune, des éléments de caractérisation seront proposés afin d'aboutir à une évaluation de la pertinence de la simulation par rapport à l'objectif visé. L'outil sera ensuite mis à profit pour proposer quelques orientations de monocristaux à tester préférentiellement lors d'expériences de compression dynamique.

Étapes prévisionnelles :

- Étude bibliographique sur les principes de la DRX et le comportement de l'étain ;
- Prise en main de l'outil de simulation Coddex et du module de X-Ray Tracing ;
- Génération d'une base de données de clichés de diffraction ;
- Caractérisation de l'information contenue dans les clichés ;
- Exploitation de la base de données.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Connaissances en mécanique des matériaux.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Notions de C++.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BRUZY Nicolas
E-mail : nicolas.bruzy@cea.fr

CONTEXTE : Sous conditions ambiantes, l'étain existe sous forme double tétragonale centrée. De par la complexité et l'anisotropie de sa structure, la réponse mécanique de l'étain dépend fortement de la microstructure de la pièce. Deux mécanismes de déformation participent à cette réponse : le glissement de dislocations et le maclage, l'un dominant pour de faibles vitesses de déformation et l'autre à hauts taux de déformation. Une bonne reproduction du comportement de l'étain nécessite donc de mettre au point un modèle de comportement intégrant ces deux mécanismes de plasticité, leurs interactions et la transition entre les deux régimes de compression dynamique.

OBJECTIFS : Pour aborder l'interaction entre maclage et plasticité par dislocations, le CEA DAM a proposé un formalisme de modélisation dit polyphase. Le maclage y est traité par une approche de type champ de phase faisant apparaître explicitement tous les variants de maclage. Cette séparation permet d'assigner un modèle de plasticité à chaque variant. Au cours d'un précédent stage, la plasticité avait été prise en compte au travers d'un modèle de plasticité macroscopique. Cela avait permis d'identifier l'énergie d'activation du phénomène de maclage, mais avait mis en évidence qu'une description trop grossière de la plasticité ne permettrait pas de rendre compte de la localisation de la déformation plastique aux abords des zones maclées. L'objectif est donc d'enrichir le formalisme existant en décrivant la réponse plastique de chaque variant par un modèle de plasticité cristalline. La difficulté de construire un tel modèle pour l'étain émane du fait que la phase stable à l'ambiante compte environ 32 systèmes de glissement avec pour chacun des seuils de glissements et des dépendances à la vitesse de déformation distincts. Cependant, des données sont disponibles dans la littérature pour contraindre la hiérarchie entre systèmes, notamment des résultats expérimentaux de compression de micropilliers et des calculs ab initio de surfaces de glissement. Il s'agira dans un premier temps d'établir un modèle de plasticité cristalline minimale sur la base des informations trouvées dans la littérature, puis de l'enrichir progressivement. Pour valider les développements à chaque étape, le CEA DAM dispose d'une base de données d'essais de compression dynamique sur des polycristaux d'étain, couvrant une large gamme de température et de taux de déformation. Si le temps le permet, des calculs de surfaces de glissement par dynamique moléculaire pourront être réalisés pour confirmer les valeurs de certains paramètres du modèle.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BRUZY Nicolas
E-mail : nicolas.bruzy@cea.fr
CARUEL Marie
E-mail : marie.caruel@cea.fr

CONTEXTE : Les évolutions de microstructure induites par les changements de phase solide-solide sont influencées par le couplage avec les autres mécanismes de déformation du matériau (glissement de dislocations, maclage, etc.). Il est cependant difficile de caractériser ces mécanismes en pression, ce qui limite la compréhension des transitions de phase intervenant sous choc ou lors de compressions hydrostatiques en Cellule à Enclumes de Diamant (CED). A titre d'exemple, l'étain transite autour de 10 GPa d'une phase tétragonale centrée double vers une phase tétragonale centrée. Deux scénarios sont envisageables en ce qui concerne les déplacements atomiques au moment de la transition, mais les raisons de la sélection de l'un ou l'autre de ces mécanismes ne sont pas élucidées.

Le stage explore l'utilisation du dialogue expérience / simulation pour traiter ce type de question.

OBJECTIFS : Le CEA DAM dispose d'un code de mécanique des milieux continus, Coddex, qui permet de simuler les interactions entre plasticité et transition de phase à l'échelle du polycristal. Il a récemment été enrichi d'un module de X-Ray Tracing qui permet de générer des clichés de diffraction des rayons X (DRX) synthétiques sur la base de l'état courant de la boîte de simulations. L'objectif du stage est d'utiliser cet outil pour identifier des paramètres de loi de comportement.

En particulier, on s'intéressera à des données acquises sur de l'étain pur lors d'expériences synchrotron. Il s'agira dans un premier temps de mettre en place une simulation représentative des conditions de l'expérience, puis de générer une base de données de résultats pour différents jeux de paramètres initiaux. Un régresseur sera ensuite entraîné sur ces données pour identifier les paramètres correspondant à l'expérience. Des précédents travaux au sein du laboratoire ont montré la faisabilité de cette démarche d'identification mais se sont concentrées sur des données synthétiques. L'enjeu du stage sera de la transposer à des données réelles de manière à accéder au comportement en pression du matériau.

Étapes prévisionnelles :

- Étude bibliographique sur les principes de la DRX ;
- Prise en main de l'outil de simulation Coddex et du module de X-Ray Tracing ;
- Mise au point du cas de simulation ;
- Génération d'une base de données de microstructures ;
- Exploitation de la base de données.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Connaissance en mécanique des matériaux.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Des notions de C++ seraient un plus.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BRUZY Nicolas
E-mail : nicolas.bruzy@cea.fr
DENOVAL Christophe
E-mail : christophe.denoual@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de ses missions, le CEA/DAM participe à la surveillance des essais nucléaires notamment dans le cadre du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (TICE), où il est le contributeur technique pour la France. Il développe et conçoit les systèmes SPALAX puis SPALAX-NG (Système de Prélèvement Automatique en Ligne avec Analyse de Radio-Xénons - Nouvelle Génération).

Depuis l'obtention de la certification du SPALAX-NG en 2021, le CEA en améliore continuellement chacun de ces principaux constituants. Comme le procédé repose en grande partie sur des phénomènes d'adsorption, le CEA a un regard particulier sur les matériaux adsorbants utilisés et leur mise en œuvre. Fort de plusieurs années d'exploitation du SPALAX-NG, le CEA souhaite étudier la mise en œuvre du matériau sélectionné afin d'aider à l'optimisation des procédés d'adsorption.

OBJECTIFS : L'objectif général est de déterminer les paramètres thermodynamiques de la réaction d'adsorption entre des matériaux sélectionnés et certains gaz dont le Xe. Dans un premier temps, il est question de mesurer des isothermes d'adsorption de matériaux à l'aide d'un analyseur de sorption. Ces données permettront d'une part de déterminer les paramètres thermodynamiques intrinsèques (enthalpie, entropie) à un gaz pur et d'autre part d'être utilisées dans des modèles pour prédire le comportement en mélange. Ensuite il est question de déterminer les propriétés obtenues dans des mélanges en réalisant et caractérisant des courbes de perçages obtenues dans différentes conditions (variation de paramètres tels que les dimensions de la colonne, le débit, la teneur en gaz d'intérêt, etc.).

Ces données permettront non seulement d'alimenter les bases de données existantes mais également de valider l'adéquation entre les résultats expérimentaux en mélange et ceux obtenus à partir de modèles théoriques.

Pour cela, le(la) stagiaire doit mettre en place un plan d'expériences qui puisse intégrer les principaux paramètres de l'étude, modifier un banc d'essai de laboratoire existant pour l'adapter aux essais à mener, réaliser les essais et interpréter les résultats.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Physico-chimie, génie chimique, génie des procédés

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

COUCHAUX Gabriel
E-mail : gabriel.couchaux@cea.fr
BOCEL Johanna
E-mail : johanna.bocel@cea.fr

CONTEXTE : La Cellule à Enclumes de Diamants (CED) est un dispositif compact permettant de soumettre des échantillons à des conditions extrêmes de pressions (plusieurs centaines de GPa = plusieurs millions d'atmosphères) et de températures (jusque 10000 K). Sous ces conditions, des changements drastiques des propriétés physico-chimiques se manifestent : par exemple, l'oxygène devient un métal, les gaz rares inertes dans les conditions ambiantes deviennent réactifs, l'or change de structure, etc. Ces changements sont mesurés en utilisant des sources de rayonnements X suffisamment intenses pour caractériser les minuscules échantillons des CED (taille de quelques microns à quelques dizaines de microns) : synchrotrons ou lasers à électrons libres. Effectuer des mesures précises de la pression et de la température de ces échantillons est alors un réel challenge.

OBJECTIFS : Ce stage est destiné à améliorer cette mesure de température à l'aide de modélisation par éléments finis de l'échauffement d'un échantillon en cellule à enclumes de diamants. L'objet du stage proposé est de modéliser cet échauffement en utilisant le logiciel d'éléments finis COMSOL, ce qui permettra d'interpréter les mesures réalisées et de rechercher les géométries optimisant ce chauffage. Deux moyens différents seront modélisés : (i) chauffage par un laser infrarouge absorbé par la surface de l'échantillon ; (ii) chauffage par absorption d'un rayonnement X intense par le volume de l'échantillon. Ces modèles seront confrontés aux mesures de distribution de température réalisées au synchrotron Soleil, ainsi qu'aux mesures réalisées au Eu-XFEL.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Goût prononcé pour la modélisation numérique et la comparaison simulation/expérience.
Autonomie, curiosité scientifique.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : COMSOL.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

DEWAELE Agnès
E-mail : agnes.dewaele@cea.fr

CONTEXTE : Comment un métal se fracture-t-il en quelques dizaines de nanosecondes lorsqu'il est soumis à une onde de choc ? Malgré les progrès des simulations numériques, les mécanismes collectifs responsables de la rupture restent encore mal compris. Ce stage s'inscrit dans un projet visant à établir, pour la première fois, un lien quantitatif entre la microstructure observée sur les surfaces de rupture et les modèles micromécaniques utilisés pour prédire l'endommagement sous choc. Les modèles micromécaniques actuels décrivent la nucléation et la croissance d'une population de cavités de différentes tailles à partir d'un processus de germination aléatoire [1]. Bien qu'ils reproduisent avec une grande fidélité la réponse macroscopique des matériaux [2], leur validation à l'échelle microscopique reste très incomplète. En particulier, les distributions de tailles des cavités observées au moment de la rupture étaient jusqu'à récemment quasiment absentes de la littérature.

OBJECTIFS : Une précédente thèse réalisée au laboratoire a permis de constituer une base de données originale en mesurant systématiquement, sur des surfaces de rupture d'aluminium, les distributions de tailles et les densités de cavités nucléées [3]. Ces observations offrent aujourd'hui une opportunité unique de confronter directement les modèles à des données expérimentales quantitatives. Le stage combinera modélisation numérique et analyse expérimentale. Le stagiaire implémentera le modèle développé par N. Jacques et al. [2] dans un code lagrangien du CEA/DAM, puis réalisera des simulations d'endommagement afin de confronter les prédictions du modèle aux observations macroscopiques et microscopiques disponibles au laboratoire. Une seconde partie du travail portera sur l'exploitation de données expérimentales obtenues sur le tantale. Le stagiaire prendra en main les outils de traitement d'images développés, les adaptera à ce nouveau matériau et enrichira ainsi la base de données utilisée pour la validation des modèles.

[1] A. Molinari and T. W. Wright. A physical model for nucleation and early growth of voids in ductile materials under dynamic loading. *Journal of Mechanics and Physics of Solids*, (53):1476–1504, 2005.

[2] N. Jacques, C. Czarnota, S. Mercier, and A. Molinari. A micromechanical constitutive model for dynamic damage and fracture of ductile materials. *International Journal of Fracture*, (162):159–175, 2010.

[3] C. Thouenon, A. Dubois, E. Barraud, T. G'eral, N. Bruzy, J. Besson, and F. Willot. Statistical modeling and generation of inertial ductile fracture surfaces. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 206:106406, 2026.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Goût prononcé pour la modélisation numérique, le traitement de données et la comparaison simulation/expérience. Autonomie, curiosité scientifique et intérêt pour les phénomènes multi-échelles.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

DUBOIS Alizée
E-mail : alizee.dubois@cea.fr
WILLOT François
E-mail : francois.willot@minesparis.psl.eu

CONTEXTE : Les matériaux fortement corrélés se caractérisent par des électrons de valence situés dans des sous-couches d'orbitales partiellement remplies et localisées spatialement près du noyau. Cette localisation engendre de fortes interactions électroniques répulsives, responsables de nombreux phénomènes physiques, tels que la transition métal-isolant de Mott [1,2] ou l'effet Kondo [3]. La compréhension de ces phénomènes nécessite de pouvoir reproduire ces effets de corrélations électroniques de manière ab initio. Actuellement, l'une des méthodes de choix pour traiter ce type de système est la combinaison de la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) avec la théorie du champ moyen dynamique (DMFT) [4]. Cette méthode DFT+DMFT permet de réduire le problème à N-corps du réseau cristallin à un problème d'impureté locale placée dans un bain d'électrons, résolu actuellement dans le code ABINIT [5] par un solveur Monte-Carlo quantique (QMC).

OBJECTIFS : L'avantage de l'utilisation en DMFT d'un solveur de diagonalisation exacte (ED), par rapport à un solveur QMC, est qu'il donne directement accès à des quantités sur l'axe des fréquences réelles, facilitant l'étude des fonctions spectrales sans avoir la nécessité d'effectuer une continuation analytique. De plus, contrairement aux solveurs QMC, les solveurs ED ne souffrent pas de problème de signe permettant ainsi l'étude des basses températures. En cela, les solveurs ED sont idéaux pour valider les résultats obtenus par d'autres solveurs approximatifs. Le sujet de stage consistera dans un premier temps à se familiariser avec le solveur EDIpack [6] dans le cadre de l'étude de l'évolution de la fonction spectrale durant la transition entre les phases BCC et FCC du fer. Une deuxième étape consistera ensuite à coupler explicitement le solveur ED à la boucle DMFT déjà présente dans le code ABINIT.

Ce stage sera co-encadré par B. Amadon et F. Gendron.

[1] A. Georges et al. Physics Today 2024, 77, 46.

[2] X. Deng et al. Nature Comm. 2019, 10, 2721.

[3] B. Xu et al. PNAS 2024, 121, 2401430121.

[4] G. Kotliar et al. Physics Today 2004, 57, 53.

[5] B. Amadon et al. Phys. Rev. B. 2008, 77, 155104 ; A. H. Romero et al. J. Phys. Chem. 2020, 152, 124102.

[6] L. Crippa et al. ArXiv:2506.01363 (2025).

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Connaissances en mécanique quantique, en physique-chimie du solide. Goût pour la programmation et l'informatique indispensable.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

GENDRON Frédéric
E-mail : frederic.gendron@cea.fr

CONTEXTE : Un hydrure est un composé chimique dans lequel l'hydrogène est associé à un autre élément, le plus souvent un métal ou un semi-métal. Lorsqu'ils sont soumis à de très hautes pressions et en présence d'un excès d'hydrogène, de nombreux hydrures peuvent encore incorporer des atomes d'hydrogène supplémentaires et adopter des stœchiométries inattendues, comme LaH_{10} . Ces composés, appelés superhydrures, attirent beaucoup d'attention en raison de leurs propriétés physiques remarquables, notamment une supraconductivité conventionnelle à haute température critique et, dans certains cas, un comportement superionique lié à la diffusion rapide des atomes d'hydrogène au sein du réseau cristallin.

OBJECTIFS : Le but du stage est d'étudier, au moyen de calculs ab initio fondés sur la Théorie de la Fonctionnelle de la Densité (DFT), les propriétés de plusieurs hydrures et superhydrures choisis pour leur intérêt fondamental et leurs comportements potentiellement remarquables. Ces calculs seront réalisés avec le logiciel ABINIT, un logiciel libre de référence, dont nous sommes développeurs, pour la simulation des propriétés électroniques et structurales des matériaux dans le cadre de la DFT. L'étude s'attachera en particulier à décrire les propriétés de transport, notamment la diffusion de l'hydrogène au sein du réseau cristallin, ainsi qu'à analyser l'influence des effets quantiques nucléaires, qui peuvent jouer un rôle essentiel dans les systèmes légers et fortement comprimés. En complément des calculs numériques, des développements théoriques pourront être menés afin de mieux interpréter les résultats obtenus et de mettre en évidence les mécanismes physiques à l'origine des comportements observés.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Physique du solide. Chimie des matériaux.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

GENESTE Grégory
E-mail : gregory.geneste@cea.fr

CONTEXTE : Le dioxyde de plutonium PuO₂ est un matériau d'intérêt majeur dans le domaine du nucléaire. Lorsqu'il est exposé à un environnement extérieur, sa surface peut interagir avec différentes espèces gazeuses, en particulier l'eau et l'oxygène. Ces interactions dépendent de nombreux paramètres, telles que la température, la pression, la stœchiométrie de la surface et la concentration des espèces adsorbées. Les calculs ab initio permettent de caractériser les configurations atomiques et les mécanismes élémentaires impliqués, mais l'accès aux propriétés thermodynamiques et cinétiques à des échelles de temps et de tailles supérieures nécessite le recours à des méthodes de physique statistique. Une base de données ab initio décrivant les principales configurations et transformations associées à l'interaction de H₂O et O₂ avec une surface de PuO₂ a été construite.

OBJECTIFS : Le stage aura pour objectif de développer et d'appliquer des approches Monte Carlo permettant de relier les données énergétiques issues des calculs ab initio aux propriétés thermodynamiques et cinétiques d'une surface de PuO₂ en interaction avec H₂O et O₂.

Dans une première partie, le stagiaire développera en Python une approche de Monte Carlo grand canonique afin d'étudier l'équilibre thermodynamique de la surface. Les échanges de matière avec des réservoirs de H₂O et d'O₂ seront décrits à travers leurs potentiels chimiques. Les simulations permettront d'étudier la population des différentes configurations de surface en fonction des conditions thermodynamiques et d'identifier les domaines de stabilité des espèces adsorbées. L'objectif sera notamment de dépasser une comparaison limitée aux seules configurations d'énergie minimale en prenant explicitement en compte l'échantillonnage statistique des états accessibles à température finie.

Dans une seconde partie, une approche de Monte Carlo cinétique sera mise en œuvre afin de décrire l'évolution temporelle de la surface à partir des processus élémentaires et des données énergétiques disponibles. Cette approche permettra d'étudier la compétition entre les différents mécanismes d'adsorption, de désorption et de transformation de la surface, ainsi que leur dépendance aux conditions extérieures.

Le stagiaire pourra pour cela s'appuyer sur des codes développés au laboratoire et ayant déjà fait leurs preuves dans des problématiques similaires. Le stage permettra ainsi d'acquérir des compétences à l'interface entre modélisation atomistique, physique statistique, méthodes Monte Carlo et programmation scientifique.

Références :

- G. Jomard, F. Bottin, G. Geneste, Journal of Nuclear Materials 451, 28 (2014).
- G. Wang, E. R. Batista, P. Yang, Applied Sciences 10, 4655 (2020).
- J. Chen, J. Tang, P. Liu, R. Qiu, Surface Science 745, 122482 (2024).

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

GENESTE Grégory
E-mail : gregory.geneste@cea.fr
BOTTIN François
E-mail : francois.bottin@cea.fr

CONTEXTE : Les radiations présentes dans l'environnement spatial provoquent des défaillances et accélèrent le vieillissement des composants électroniques embarqués. L'ionisation et les charges générées lors d'une irradiation peuvent perturber le fonctionnement des circuits de manière transitoire ou cumulée. La modélisation fine du transport des particules (électrons, protons et ions) dans les matériaux de la microélectronique est donc essentielle pour comprendre, prédire et limiter ces effets. Dans ce contexte, le CEA en partenariat avec l'ONERA a développé le module MicroElec, intégré au framework Geant4 (collaboration internationale <https://geant4.web.cern.ch/>), dédié à la simulation du transport des particules dans la matière.

OBJECTIFS : Les composants électroniques à base de nitrure de gallium (GaN) constituent une technologie prometteuse pour des applications en environnement radiatif. Cependant, leur résistance aux radiations ionisantes reste encore insuffisamment maîtrisée. Dans ce contexte, la modélisation du transport des particules dans les matériaux constituant ces composants est essentielle. Cela repose notamment sur des simulations Monte-Carlo, dont la fiabilité dépend de la qualité des sections efficaces d'interaction utilisées.

Ces sections efficaces peuvent être obtenues à partir de modèles théoriques basés sur la fonction diélectrique et alimentés par des données issues d'expériences ou de simulations ab initio, ou alors être directement déterminées par des calculs ab initio sans modèle théorique intermédiaire. Le module MicroElec de Geant4 ne disposant pour l'instant pas de données de sections efficaces pour les alliages AlGaN des composants GaN, il est essentiel de les intégrer. Ce stage aura pour objectif de contribuer au calcul des sections efficaces et à leur implémentation dans Geant4.

Selon l'avancement du projet et le profil du/de la stagiaire, les travaux porteront sur le développement de MicroElec (C++), la réalisation de simulations Monte-Carlo avec Geant4, le développement et la validation de modèles physiques pour le calcul des sections efficaces, ainsi que sur la réalisation de calculs ab initio basés sur la DFT. Ce stage permettra au/à la stagiaire d'acquérir des compétences en physique de la matière condensée et interactions rayonnement-matière au moyen de simulations numériques haute performance. Il offrira également l'opportunité de contribuer au développement d'outils de simulation de référence pour l'étude de la fiabilité des composants électroniques destinés aux environnements radiatifs.

Le stage se déroulera sur le site du CEA de Bruyères-Le-Châtel, desservi par un réseau de transport d'entreprise gratuit depuis de très nombreux endroits de la région parisienne.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Master ou diplôme d'ingénieur avec une spécialisation en physique ou en science des matériaux.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

KHELLADI Lilian
E-mail : lilian.khelladi@cea.fr

CONTEXTE : Lorsqu'un laser intense (centaine de joules, impulsions nanosecondes) est focalisé sur un matériau, il produit un choc qui se propage dans la matière, l'exposant ainsi à des conditions thermodynamiques extrêmes (hautes pressions et hautes températures). Soumis à de telles conditions, un matériau peut réorganiser son réseau cristallin : c'est le changement de phase. Le cas le plus familier est celui de la fusion, mais il existe également des domaines thermodynamiques dans lesquels le matériau transite d'une structure cristalline vers une autre structure cristalline (transition polymorphique solide-solide). Ces transformations ne sont pas instantanées : ce sont des processus cinétiques. Comprendre et prédire les transitions de phase polymorphiques d'un matériau constitue un enjeu majeur dans des domaines variés, de la planétologie (modèles d'intérieur planétaire ...) à la tenue mécanique des matériaux soumis à des impacts hypervéloces (résistance aux débris spatiaux ...).

OBJECTIFS : Lorsque le choc débouche en face arrière d'une cible, la mesure résolue en temps de la vitesse de cette surface libre (vélocimétrie type VISAR) permet d'observer la signature directe de ces phénomènes : la structure du profil de vitesse (choc scindé en deux ondes, temps de montée, relaxations) porte l'empreinte à la fois de l'existence de la transition et de sa cinétique.

Depuis une vingtaine d'années, le CEA DAM développe ESTHER, un code d'hydrodynamique radiative lagrangien monodimensionnel, distribué en open source. Il permet de simuler le comportement dynamique d'empilements de matériaux soumis à un rayonnement laser intense, depuis l'ablation en face avant jusqu'au débouché du choc en face arrière. À ce titre, il constitue un outil particulièrement adapté à l'interprétation quantitative des résultats expérimentaux.

ESTHER dispose déjà d'un module de cinétique de changement de phase, mais celui-ci est restreint à un système à deux phases. Dès lors que le chemin thermodynamique parcouru par le matériau sous choc traverse un troisième domaine de phase, le calcul n'aboutit pas. Cette limitation restreint fortement le champ des matériaux et des régimes de sollicitation accessibles à la simulation, alors même que les diagrammes de phase des matériaux d'intérêt en comportent fréquemment davantage.

Dans ce contexte, le stage consiste à généraliser le traitement de la cinétique de transition de phase dans ESTHER à un nombre quelconque N de phases, en s'appuyant sur le modèle de Greeff.

Déroulement :

- S'approprier la physique des chocs laser et de la cinétique des changements de phase.
- Mener une étude bibliographique sur l'extension à N phases du modèle de Greeff.
- Prendre en main ESTHER : utilisation, principes de fonctionnement et architecture du code.
- Implémenter ce modèle dans ESTHER et adapter en conséquence l'architecture du code.
- Valider l'implémentation, puis confronter les résultats à des mesures expérimentales de vélocimétrie.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Dernière année d'école d'ingénieurs ou universitaire (Bac+5), dans un cursus physique avec une forte appétence pour le développement, la simulation numérique et les mathématiques appliquées.

Solides connaissances en thermodynamique.

Maîtrise du langage Python.

Des connaissances en optique, mécanique, hydrodynamique sont un plus.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Fortran, méthodes numériques, thermodynamique.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

LAGREE Mathurin
E-mail : mathurin.lagree@cea.fr

CONTEXTE : En solution aqueuse, les actinides (An), métaux électropositifs, forment de très riches familles d'ions complexes. Lors de pollutions des eaux de surfaces, ceux-ci peuvent réagir avec les anions naturels présents et former par exemple des carbonates, nitrates ou oxalates... Par ailleurs, lors de contaminations accidentelles par des actinides, des agents chélateurs sont utilisés pour extraire (décorporation) ces métaux toxiques du corps humain, le plus utilisé étant l'acide Diéthylène Triamine Penta Acétique (DTPA [1]). Tous ces complexes, du fait de la nature particulière des électrons qui peuplent leurs états 5f présentent des propriétés magnétiques qui peuvent être mises à profit pour les doser et les caractériser.

OBJECTIFS : L'objectif du stage sera dans un premier temps d'étudier par dynamique moléculaire quantique (code ABINIT [2]) quelques complexes de plusieurs ions actinides pour des degrés d'oxydation différents (principalement des An-DTPA). Dans un deuxième temps, des calculs statiques de susceptibilités magnétiques de ces systèmes seront réalisés sur ces ions à l'aide du code OpenMolcas [3] utilisant des méthodes post Hartree-Fock (CASSCF et CAPT2) permettant de traiter de manière explicite la dégénérescence des états 5f. Les résultats seront ensuite interprétés en regard des expériences lorsque celles-ci seront disponibles.

[1] Bonin et al., RSC Advances 2016, 6(67),62726.

[1] Romero et al. J. Phys. Chem. 2020, 152, 124102.

[2] Li Manni et al. J. Chem. Theory Comput. 2023, 19, 6933.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

SIBERCHICOT Bruno
E-mail : bruno.siberchicot@cea.fr
GENDRON Frédéric
E-mail : frederic.gendron@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Gramat, acteur majeur de la recherche au service de la Défense, étoffe ses capacités expérimentales de caractérisations matériaux en dynamique rapide, via l'acquisition de 2 systèmes de barres d'Hopkinson - compression et traction. Trois stages (celui-ci expérimental, ainsi que deux autres orientés simulation et planification) sont prévus en parallèle. Une complémentarité forte est attendue.

L'objectif est de prendre en main et de systématiser la totalité de la chaîne nécessaire à la conduite d'une campagne expérimentale : design des éprouvettes, matrice expérimentale, conduite des essais, interprétation des signaux, dépouillement, analyse des résultats, calibration d'une loi matériau. On se basera sur des bases de données existantes et sur la réalisation de nouvelles campagnes. Différents logiciels existants, codés en Python, seront utilisés pour dépouiller et calibrer des modèles, notamment dans le cadre d'une approche bayésienne de propagation d'incertitudes.

OBJECTIFS : Des campagnes existantes seront réinterprétées, d'autres seront élaborées et éventuellement conduites par le(la) stagiaire. L'objectif est de progresser sur l'ensemble de la chaîne de caractérisation. Une attention particulière sera portée au traitement des signaux obtenus, ou encore aux outils de calibration de lois de comportement dans le cadre d'une approche bayésienne, via la prise en main et la potentielle modification de codes Python déjà existants.

Vous travaillerez en équipe au sein du laboratoire du CEA/Gramat qui exploite ces moyens d'essais et qui développe ces modèles matériaux. Des échanges importants avec le CEA/DIF seront mis en place pour s'approprier l'existant, et permettront de prioriser au mieux les développements à effectuer. Des échanges avec les deux autres stagiaires seront nécessaires à la bonne réalisation des missions. Ce stage s'organisera également en synergie avec une thèse actuellement en cours qui nécessite l'utilisation de barres pour étudier l'endommagement et la rupture d'un acier.

Ce sujet est porteur sous plusieurs aspects, que ce soit pour la mise en œuvre de moyens d'essais complexes, ou encore pour la connaissance approfondie de la mécanique des matériaux, plus précisément en mécanique de la rupture, en dynamique rapide, et en physique des chocs. La maîtrise scientifique de Python, en tant qu'outil fortement transverse, sera valorisable sur le marché du travail, notamment dans un contexte R&D.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac +4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Profil recherché : niveau master 1 ou 2, à dominante mécanique et/ou matériaux.

Prérequis : capacité de travail en équipe, être force de proposition, autonome, organisé.

Connaissances souhaitables : mécanique des matériaux, physique des chocs, calibration bayésienne.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python

POUSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

PETIT Tom
E-mail : tom.petit@cea.fr
BOLYS Cyril
E-mail : cyril.bolis@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Gramat, acteur majeur de la recherche au service de la Défense, étoffe ses capacités expérimentales de caractérisations matériaux en dynamique rapide, via l'acquisition de 2 systèmes de barres d'Hopkinson - compression et traction. Trois stages (celui-ci orienté simulations, ainsi que deux autres orientés expériences et planification) sont planifiés en parallèle. Une complémentarité forte avec les deux autres stages est attendue. L'objectif de ce stage est d'émuler numériquement les essais et les signaux obtenus par éléments finis. Les essais classiques (compression et traction uniaxiales) pourront être étendus à une méthodologie plus complexe couplant essais d'endommagement et photomécanique.

Ces travaux s'inscrivent dans une démarche plus globale d'amélioration des outils de modélisation, consistant à se doter d'une méthodologie reliant marqueurs expérimentaux, modélisation par éléments finis, mise en place de cas-test, et calibration des modèles physiques.

OBJECTIFS : L'objectif à moyen terme est de développer une approche de type photomécanique, consistant à optimiser des modèles via la comparaison de champs expérimentaux (obtenus par imagerie rapide en DIC) à des champs numériques (obtenus par simulations).

Le sujet se décompose en trois étapes :

1. Mise en place d'un protocole de calcul (en 2D et 3D) sur ABAQUS (logiciel commercial multi-physique), via une approche lagrangienne classique,
2. Calibration de lois de comportement et d'endommagement, sur des données issues de la littérature ou du stage expérimental effectué en parallèle,
3. Evaluation de la capacité de simulations basées sur une approche eulérienne. Le code HERA-C (interne CEA) sera utilisé. On comparera les capacités de chacune des deux approches, en commençant par des simulations sur barres nues, sans échantillon. Cette comparaison dans le contexte des barres d'Hopkinson est très peu discutée dans la littérature. Vous travaillerez en équipe au sein du laboratoire du CEA/Gramat qui utilise ces codes et ce type de moyen expérimental. Des échanges avec les deux autres stagiaires seront nécessaires à la bonne réalisation des missions. Ce stage s'organisera également en synergie avec une thèse actuellement en cours qui nécessite l'utilisation de barres pour étudier l'endommagement et la rupture d'un acier.

Ce sujet est porteur et valorisable sous plusieurs aspects, permettant les maîtrises simultanées d'un logiciel commercial et d'un code scientifique complexe, et la connaissance approfondie de la simulation numérique en mécanique des matériaux. Les outils utilisés sont fortement transverses, notamment dans le cadre du calcul haute performance et des supercalculateurs. Une suite au stage peut être envisagée.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Profil recherché : niveau master 1 ou 2, à dominante mécanique, matériaux ou numérique.

Prérequis : capacité de travail en équipe, être force de proposition, autonome, organisé.

Connaissances souhaitables : méthodes numériques, éléments finis, physique des chocs, modélisation des matériaux, première expérience sur un logiciel de calcul par éléments finis de type LS-DYNA / ABAQUS.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Abaqus/Python

POUSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

ROBERT Grégory
E-mail : gregory.robert@cea.fr
PETIT Tom
E-mail : tom.petit@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Le Ripault développe de nouvelles techniques de fabrication de matériaux pour la réalisation de maquettes en amont des phases de production. Dans ce cadre, le CEA développe et optimise des techniques d'assemblage (collage) sur des matériaux qualifiés de difficiles à coller ou peu adhésifs en raison de leurs propriétés chimiques et physiques.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de mettre en service et développer un nouveau moyen de traitement de surface par plasma atmosphérique pour répondre à cette problématique.

Les objectifs de ce stage incluent :

- Mise en service : installer et configurer le système de traitement par plasma atmosphérique, incluant les équipements de génération de plasma, le système robotisé de contrôle de trajectoire.
- Caractérisation : évaluer les performances du système en termes de stabilité, de répétabilité et de qualité du traitement.
- Optimisation : optimiser les paramètres de traitement (puissance, débit de gaz, distance de traitement, etc.) pour obtenir les propriétés de surface désirées.
- Applications : explorer les applications potentielles du traitement par plasma atmosphérique dans le domaine des matériaux utilisés par le CEA.

Le(la) stagiaire travaillera dans un environnement de production et sera intégré(e) à une équipe composée de techniciens. Les résultats obtenus pendant le stage conduiront à l'optimisation des procédés de collage et à l'amélioration des performances des matériaux.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+2/+3

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Expérience en manipulation d'équipements de laboratoire et en techniques d'analyse de surface.
Compétences en analyse de données et en rédaction technique.
Capacité à travailler en équipe et à communiquer efficacement.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Bonne maîtrise du logiciel Excel

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

BODIN Jean Jacques
E-mail : Jean-Jacques.BODIN2@cea.fr
GABILLE Ludovic
E-mail : ludovic.gabille@cea.fr

CONTEXTE : Les industries aérospatiale, aéronautique et de défense sont depuis plusieurs années à la recherche de matériaux pour la conception de pièces permettant de plus hautes températures d'emplois et des performances mécaniques supérieures à celles obtenues avec des alliages métalliques. Compte tenu de leur faible densité et excellente tenue mécanique en température, les Composites à Matrice Céramique (CMC) représentent de bons candidats dont l'emploi est croissant. Cependant, il est nécessaire de maîtriser complètement le comportement de ces matériaux spécifiques. En ce sens, il est indispensable de caractériser leurs propriétés mécaniques anisotrope ainsi que leur phénoménologie d'endommagement, et ce sur toute la gamme de température d'emploi. Une telle démarche nécessite de faire appel à des essais thermomécaniques multi-instrumentés pour tirer un maximum d'informations de chaque essai et pouvoir réaliser un dialogue essai-calcul avec les modèles de comportement proposés.

OBJECTIFS : Ce stage a pour objectif de caractériser l'évolution du comportement mécanique en fonction de la température (20 – 800 °C) d'un CMC Oxyde/Oxyde par le biais de sollicitations multi-axiales. A cette fin, le(la) candidat(e) aura à disposition une machine d'essais mécaniques conçue spécifiquement pour la réalisation d'essais in-situ tomographie X en température jusqu'à 1000°C. L'originalité de ces travaux repose entre autres sur l'utilisation de ce moyen qui donnera accès à la mesure de champs 3D (par méthode de Digital Volume Correlation) ainsi qu'à l'observation de la microstructure interne du matériau tout au long de l'essai. Par ailleurs, ces analyses seront appuyées par de l'émission acoustique qui permettra l'identification et la localisation de l'endommagement au sein du matériau. Il sera fait également appel à la microscopie électronique à balayage pour étudier les mécanismes menant à la rupture. Enfin, les résultats expérimentaux alimenteront une loi de comportement qui sera identifiée par dialogue essais – calcul.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mécanique du solide, Calcul Eléments Finis, Essais mécaniques, Notions de programmation

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Matlab, Z-Set

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

GARCEZ Romain
E-mail : romain.garcez@cea.fr
GUILLET François
E-mail : francois.guillet@cea.fr

CONTEXTE : La tenue thermomécanique en température des matériaux est un facteur clé pour les industries aérospatiales, aéronautiques et de défense. Les Composites à Matrice Céramique (CMC) permettent de plus hautes températures d'emploi tout en offrant des performances mécaniques attractives. Les composites de type oxyde/oxyde, moins onéreux que les composites à matrice carbure de silicium, sont un bon compromis coût/tenue thermomécanique pour des températures ne dépassant pas 1200°C. La conception de pièces en CMC nécessite de décrire correctement le comportement thermomécanique de ces matériaux très différents des métaux. Si l'endommagement matriciel est bien restitué numériquement, il est aussi nécessaire de rendre compte du délaminage ainsi que de l'adoucissement d'un pli (dans le cas des stratifiés). La démarche consiste alors à proposer des méthodes numériques compatibles des calculs éléments finis utilisés dans des calculs de dimensionnement de structure.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de préparer la thèse proposée sur le même sujet. Il s'agit d'évaluer les différentes techniques numériques envisageables comme la méthode des zones cohésives (déjà mise en œuvre au laboratoire pour modéliser le délaminage) ou des lois de comportement volumiques adoucissantes ainsi que les difficultés associées, principalement la localisation et la perte de convergence du solveur éléments finis. Au-delà de l'aspect purement numérique il s'agira également de préparer la partie expérimentale sur laquelle ces travaux s'appuient, notamment pour identifier les paramètres des lois numériques établies et les valider. Le(La) stagiaire pourra mettre à profit des essais mécaniques in situ sous tomographie X, notamment le dépliage de cornière au travers d'un montage original existant à valider. Il s'agit alors de proposer, pour chaque type d'endommagement traité, des essais permettant de valider et qualifier les modèles proposés.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mécanique du solide, lois de comportement matériaux

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Éléments finis, Python, C

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

GUILLET FRANCOIS
E-mail : francois.guillet@cea.fr

CONTEXTE : Les techniques de fabrication additive permettent d'imprimer en résine polymère des pièces structurées à partir de motifs 3D (comme les lattice structure). Le comportement mécanique statique ou dynamique de ces pièces est non linéaire dans le cas des résines organiques considérées. Il peut dépendre en outre des caractéristiques géométriques de la pièce imprimée en lien avec le procédé de fabrication. Pour ces raisons, il est nécessaire de caractériser le comportement mécanique 3D par le biais d'essais spécifiques permettant d'accéder à l'ensemble des champs 3D de déplacements et de déformations. Les résultats doivent alors être comparés à un calcul éléments finis représentant l'essai réalisé en considérant une loi de comportement matériau établie préalablement.

OBJECTIFS : Ce stage a pour objectif de caractériser les propriétés thermomécaniques de plusieurs échantillons réalisés par fabrication additive. A cette fin, les essais seront couplés à des analyses in-situ par tomographie X permettant de mesurer au cours de l'essai les déformations mécaniques à température ambiante. Le laboratoire dispose d'un tomographe X de grande dimension et d'une machine mécanique pouvant être installée sur le plateau de celui-ci. En lien avec le laboratoire fabricant, le stage consistera en la réalisation d'une campagne d'essais thermomécaniques et à son post-traitement par la mesure et le calcul des champs cinématiques observés par corrélation volumique d'images. Le(La) stagiaire utilisera une chaîne de dialogue essai-calcul développée au laboratoire et sera en charge de corréler les mesures aux propriétés mécaniques des motifs réalisés. L'objectif est de conclure si la loi de comportement viscoélastique considérée permet de rendre compte correctement du comportement observé. Dans le cas contraire il s'agira de vérifier si cela est dû au comportement matériau qui varie dans la pièce ou aux écarts géométriques de la pièce imprimée.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mécanique du solide, lois de comportement matériaux

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Eléments finis, Python

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

GUILLET FRANCOIS
E-mail : francois.guillet@cea.fr
BREMAUD LUC
E-mail : luc.bremaud@cea.fr

CONTEXTE : Les procédés de projection thermique s'intègrent dans une large famille dont font partie notamment le plasma, l'High Velocity Oxy-fuel (HVOF) ou le cold spray. Leur fonctionnement est basé sur le traitement thermocinétique de particules de poudres projetées sur un substrat qui, par empilement, forment un revêtement continu. Ces procédés permettent de fonctionnaliser des surfaces mais aussi de réaliser des pièces entières par fabrication additive.

OBJECTIFS : Le stage porte sur l'étude de paramètres permettant la réalisation de dépôt par projection thermique sur des pièces de formes complexes. Les matériaux métalliques comme le tantale, le molybdène et des alliages sont envisagés. Le stage s'articulera autour de la maîtrise d'une installation industrielle robotisée, la réalisation d'échantillons dans l'optique de fabrication de prototypes et l'analyse de la relation paramètres du procédé / microstructure du revêtement / propriétés du revêtement.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

MAESTRACCI Raphaël
E-mail : raphael.maestracci@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Le Ripault développe de nouveaux matériaux artificiellement structurés appelés métamatériaux. Ces matériaux permettent d'obtenir des propriétés non atteintes avec des matériaux conventionnels. La Fabrication Additive (FA) est étudiée comme nouvelle méthode de fabrication pour ces matériaux particuliers, permettant ainsi d'obtenir de nouvelles propriétés et envisager de nouvelles applications.

Un premier prototype de métamatériau électromagnétique, composé d'un substrat thermoplastique et de motifs conducteurs, a été réalisé par FA fil fondu et caractérisé, prouvant ainsi la possibilité de réaliser ce type de matériau. Ce dernier a été réalisé dans les conditions les plus favorables afin de maximiser le comportement conducteur du filament utilisé. Les premiers résultats concluants ont permis d'ouvrir la voie à des applications plus exigeantes, demandant des géométries, des propriétés de filaments et des stratégies d'impression de plus en plus complexes.

OBJECTIFS : Ce stage a pour objectif de définir les propriétés du couple matériau substrat / conducteur permettant de maximiser les propriétés de ce métamatériau selon les différentes stratégies d'impression envisagées.

Lors de son stage, le(la) candidat(e) devra :

- Prendre en main une imprimante de type fil fondu du laboratoire,
- Participer à la conception d'un métamatériau,
- S'imprégner et s'appuyer sur les résultats de développement passés,
- Identifier les meilleurs candidats parmi les filaments approvisionnés par le laboratoire et/ou identifier de nouveaux filaments à approvisionner,
- Adapter les paramètres d'impression à la réalisation de métamatériaux,
- Fabriquer des échantillons,
- Caractériser ces échantillons : observations microstructurales et caractérisations électriques,
- Suivre la caractérisation électromagnétique et son interprétation qui se fera dans un autre laboratoire,
- Proposer des améliorations par itérations,
- Identifier d'autres technologies possibles pour mettre en œuvre ces métamatériaux (bibliographie principalement)

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Matériaux (polymères particulièrement) et procédés (la connaissance de l'impression 3D est un plus) ; caractérisation des matériaux (microscopie optique, rugosité, conductivité, ...) ; si possible, connaissances BAC+3 en électromagnétisme ; travail en équipe, envie de se former et de progresser dans les connaissances de la physique, en particulier de l'électromagnétisme

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : CAO, Slicer, FA, caractérisation matériaux

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

SCOTTI Chloé
E-mail : chloe.scotti@cea.fr

CONTEXTE : Dans le but d'une connaissance toujours plus poussée des matériaux, les méthodes de résonance permettent de déterminer les propriétés élastiques des matériaux de façon non destructive. Cette technique de mesure est essentielle pour évaluer rapidement les caractéristiques mécaniques des matériaux sans les endommager. Le moyen de mesure utilise des techniques de résonance acoustique pour déterminer et analyser leurs fréquences de résonance, ce qui permet ensuite d'en déduire des propriétés élastiques.

Dans le cadre de ce stage, nous cherchons à étendre l'utilisation de ce moyen à des températures élevées, jusqu'à 1600°C, en équipant le dispositif existant avec un four adapté. Cette étude s'inscrit dans une démarche d'innovation technologique qui vise à améliorer la caractérisation des matériaux dans des conditions extrêmes mais cruciales pour les applications industrielles.

OBJECTIFS : Le(la) candidat(e) devra prendre en main le moyen de mesure existant, analyser et réaliser des premières mesures à température ambiante, puis développer un protocole d'essai robuste et fiable pour les mesures à hautes températures. Cette démarche se fera dans un premier temps sur des matériaux céramiques puis pourra s'étendre à d'autres familles de matériaux selon l'avancée de l'étude.

Le(la) stagiaire évoluera dans un environnement de R&D au sein d'une équipe. Les résultats obtenus pendant le stage conduiront à l'utilisation de cette méthode de mesure en température.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Expérience en manipulation d'équipements de laboratoire.

Compétences en mécanique et science des matériaux

Capacité à travailler en équipe et à communiquer clairement les résultats.

Rigueur, autonomie et esprit d'analyse.

CENTRE

CEA/Le Ripault

BP 16 – 37260 Monts

Tél : 02-47-34-40-00

Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

UGUEN Alexandre

E-mail : alexandre.uguen@cea.fr

CONTEXTE : Le plutonium est l'un des éléments les plus complexes du tableau périodique. Il peut être allié à différents éléments afin de stabiliser différentes phases et/ou de modifier ses propriétés. Les alliages ainsi formés sont fréquemment soumis à différents traitements thermiques. Lors de ces traitements, différents phénomènes physiques sont activés : diffusion des éléments, grossissement des grains, relaxation des contraintes, ...

Avec l'objectif de modéliser ces phénomènes thermiquement activés, différents paramètres matériaux doivent être déterminés expérimentalement. De plus, le plutonium présente souvent des comportements atypiques, notamment en température.

Des micrographies optiques ont été réalisées après différents traitements thermiques. Des analyses de ces micrographies permettront d'identifier le ou les modèles permettant de rendre compte du comportement de grossissement des grains d'alliages de plutonium afin d'en extraire les paramètres matériaux.

OBJECTIFS : Le(La) stagiaire sélectionné(e) devra :

- Réaliser une étude bibliographique afin d'identifier différents modèles de croissance des grains.
- Analyser les micrographies pour déterminer les distributions de taille des grains à différents temps de traitement.
- Effectuer des régressions (python, excel, scilab, ...) sur les différents modèles afin d'identifier le ou les modèles les plus appropriés.
- Déterminer les paramètres matériaux à partir des régressions obtenues.
- Bonus : Implémenter ces modèles dans un outil informatique permettant de simuler la croissance de grains.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Intérêt pour les matériaux utilisés dans le nucléaire, goût pour la métallurgie, des bases de statistiques et de programmation seront appréciées.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

GENIN Renaud
E-mail : renaud.genin@cea.fr
CISZAK Clément
clement.ciszak@cea.fr

CONTEXTE : L'unité est chargée de mener les actions de R&D nécessaires à la réalisation des cibles pour les expériences sur lasers de puissance, et plus particulièrement le Laser Mégajoule (LMJ). Ces cibles peuvent être constituées d'une grande variété de matériaux et de géométries très différentes. Néanmoins, elles présentent toutes des points communs : dimensions millimétriques, épaisseurs micrométriques, caractéristiques physico-chimiques et dimensionnelles très strictes. Ces microcibles sont obtenues par la combinaison de plusieurs microtechnologies (usinage, dépôt sous vide, dépôt électrochimique, fabrication additive, assemblage).

OBJECTIFS : La fabrication des pièces élémentaires des microcibles est assurée par l'équipe d'usinage, qui a en charge le bureau d'études, les méthodes et la fabrication par usinage (tournage, fraisage, rodage), ainsi que la fabrication additive (FDM et SLA).

Une des missions de l'équipe d'accueil est la conception d'outillages innovants permettant la manipulation et l'assemblage des pièces à faible tenue mécanique et aux dimensions submillimétriques.

L'objectif de ce stage est de concevoir, de mettre en plans (3D et plans de fabrication) et de fabriquer de tels outils par usinage de précision ou fabrication additive.

Afin de mener à bien ce projet, vous devrez :

- * Acquérir les méthodes de fabrication déjà mises en œuvre dans l'unité, en vous intégrant à son équipe,
- * Utiliser les logiciels de CAO disponibles (CATIA/SOLIDWORKS) ,
- * Proposer de nouvelles techniques de fabrication avec les moyens technologiques disponibles et/ou en développant des procédés innovants,
- * Au besoin, rédiger des gammes de fabrication et des modes opératoires relatifs aux procédés.

L'équipe que vous rejoindrez est reconnue pour son expertise et sa pluridisciplinarité dans les métiers de la mécanique. Le(la) candidat(e) devra faire preuve d'autonomie, de capacités de synthèse et de rédaction ainsi que de rigueur expérimentale.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+2/+3

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : CAO (Catia, SolidWorks)

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

PHILIPONET Esteban
E-mail : estaban.philiponet@cea.fr

CONTEXTE : Le stockage de l'hydrogène et de ses isotopes peut être effectué de manière compacte et sûre à l'aide d'hydrures métalliques. Ces matériaux sont formés, par exemple, par l'hydrogénation de composés intermétalliques de type AB_n (A = terre rare, Ti, V... ; B = Mn, Fe, Co, Ni...). Ils présentent l'avantage d'absorber réversiblement de grandes quantités d'hydrogène dans de bonnes conditions de sécurité, à la température ambiante et à des pressions modérées. Afin d'adapter nos moyens de stockage de l'hydrogène à des conditions d'utilisation plus étendues, il est envisagé d'étudier et de caractériser les propriétés d'hydruration de nouveaux alliages.

OBJECTIFS : L'objectif est la caractérisation des propriétés des matériaux hydrurés. Le(La) stagiaire sera en charge de la réalisation des essais permettant de définir les conditions nécessaires d'utilisation de ces matériaux. Il participera au montage, à la réalisation et au traitement des données acquises des différentes expérimentations. Au sein du laboratoire, l'étudiant pourra approfondir des connaissances théoriques et scientifiques, gagner en autonomie, et être force de proposition afin de définir des pistes d'amélioration expérimentale.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+2/+3

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : IUT ou BTS mesures physiques

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

REILHAC Pierre
E-mail : pierre.reilhac@cea.fr

CONTEXTE : Les cibles expérimentées sur les lasers de puissance tel que le Laser Mégajoule ont des géométries variées et sont de petites tailles (quelques millimètres). Elles mettent en œuvre des matériaux aux propriétés physiques aussi différentes que leur nature (polymères, métaux) et sont réalisées dans le respect de spécifications dimensionnelles drastiques.

Parmi les nombreuses spécifications, la composition atomique et la structure des matériaux sont primordiales ainsi que l'utilisation de contrôles non destructifs.

OBJECTIFS : L'objectif de cette étude est de mettre en place un dispositif de caractérisation par la méthode k-edge. La méthode k-edge est une technique de caractérisation de spectre d'absorption de matériaux aux énergies supérieures, mais proche, à la raie K. Pour cela, le CEA Valduc dispose notamment d'équipements de tomographie X et d'un spectromètre X.

Dans le cadre de cette étude, l'étudiant(e) devra :

- intégrer le spectromètre X dans une cabine de tomographie X,
- définir les paramètres expérimentaux optimaux pour caractériser les différents matériaux étudiés,
- traiter et exploiter les données issues du spectromètre afin de déterminer les grandeurs physiques associées,
- l'analyse critique des mesures obtenues et l'estimation, si possible, des incertitudes de mesures associées.

Pour mener à bien cette étude, l'étudiant(e) intégrera une équipe jeune et dynamique au sein d'un laboratoire disposant d'équipements de haute technologie. L'étudiant(e) développera en outre des compétences en termes de caractérisation par rayonnements X, en traitement numérique et améliorera sa connaissance des matériaux.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

ROYER Alexandre
E-mail : alexandre.royer@cea.fr

CONTEXTE : Le laboratoire d'accueil, spécialisé dans les technologies de pointe, est chargé de réaliser des assemblages de précision sur matériaux métalliques grâce au soudage laser impulsif (soudage par points). Chaque impulsion crée une zone fondue de dimension millimétrique, et le recouvrement entre ces dernières assure la liaison soudée. Les soudages sont classiquement réalisés sous argon pour protéger les pièces contre l'oxydation.

De nouvelles gammes de soudage doivent sans cesse être développées et qualifiées pour répondre aux évolutions de conception. Or, les moyens disponibles ne permettent pas toujours d'atteindre les objectifs fixés. Ce stage s'inscrit dans l'exploration de nouveaux moyens opératoires intégrant notamment la réalisation d'essais sous pression partielle.

OBJECTIFS : Pour répondre aux exigences de fabrication récentes, une enceinte dédiée au soudage sous pression partielle a été mise en œuvre courant 2026 de manière à explorer expérimentalement de nouvelles conditions de soudage.

Les premiers essais montrent qu'une réduction de la pression ambiante est propice à un accroissement de la pénétration tout en améliorant la qualité des liaisons. L'objectif de ce stage sera d'accroître la base d'essais existante, en y intégrant des tests sur matériaux hétérogènes ou usuellement sujets à la fissuration à chaud.

Attendus :

- réalisation des essais
- expertises métallographiques
- analyse des tendances physiques obtenues

DURÉE : 2 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+1/+2

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Optique / photonique

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

TOUVREY Charline
E-mail : charline.touvrey@cea.fr

**MATHÉMATIQUES,
INFORMATION
SCIENTIFIQUE,
LOGICIEL**

CONTEXTE : L'optique de transformation (Transformation Optics, TO) repose sur l'invariance de forme des équations de Maxwell sous changement de coordonnées. Un changement de repère de l'espace physique, défini par un difféomorphisme, se traduit intégralement par une modification des tenseurs de permittivité diélectrique et de perméabilité magnétique du milieu, obtenus à partir du jacobien de la transformation. Cette approche a d'abord été popularisée pour la « cape d'invisibilité » (invisibility cloak), qui consiste à construire une coquille entourant un objet et à dévier les ondes incidentes autour de celui-ci sans perturbation du champ diffusé à l'extérieur. Une extension naturelle, dite optique de l'illusion ou mimétisme électromagnétique, ne cherche plus à rendre un objet invisible mais à modifier sa signature électromagnétique pour qu'il apparaisse, du point de vue d'un observateur extérieur (radar, capteur), comme un objet de forme, de taille ou de nature différentes.

OBJECTIFS : Les objectifs du stage se déclinent de la façon suivante:

- Étude bibliographique des fondements de l'optique de transformation et de ses applications au camouflage électromagnétique (capes d'invisibilité, dispositifs d'illusion, capes de type carpet cloak).
- Formulation mathématique du problème : choix d'une transformation entre le domaine physique (objet + revêtement) et un domaine virtuel (objet fictif à imiter), calcul des tenseurs constitutifs induits.
- Prise en main du code interne (SHFc) basé sur les éléments finis pour simuler la diffusion d'une onde par l'objet 2D axisymétrique revêtu et comparer la signature obtenue à celle de l'objet cible imité.
- Étude de sensibilité et de faisabilité : impact des approximations (troncature des paramètres, transformations quasi-conformes pour limiter l'anisotropie), robustesse en fréquence, tolérance aux pertes diélectriques.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Autonomie, rigueur et capacité à formaliser un problème physique en termes mathématiques
Notions d'électromagnétisme

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : EDP et analyse fonctionnelle ; calcul numérique ; pratique d'un langage de calcul scientifique (Python, Matlab)

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

AGUILERA Paula
E-mail : paula.aguilera@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de la simulation numérique du comportement des matériaux aux champs électromagnétiques, le CEA-CESTA développe des codes de calcul pour résoudre des problèmes de diffraction d'ondes électromagnétiques par des objets 3D complexes (réalistes) et de grande taille radioélectrique. Il est d'usage, lorsque c'est possible, de mettre en place des méthodes de calcul dédiées. Par exemple, lorsque l'objet présente une symétrie de révolution (axisymétrie), la méthode de choix consiste à discrétiser les équations de Maxwell en coordonnées cylindriques. Cela conduit à une matrice de Galerkin qui se bloc-diagonalise, facilitant ainsi sa factorisation.

Le CEA-CESTA développe depuis plus de 30 ans un code axisymétrique ayant largement fait ses preuves [1]. Toutefois, lorsqu'un des matériaux composant l'objet est sans perte, la formulation sous-jacente de ce code peut être mal posée. Cette situation peut donc affecter la précision et la stabilité des résultats de simulation.

OBJECTIFS : L'objectif du stage consiste donc à améliorer la formulation du code axisymétrique afin de garantir sa fiabilité et sa robustesse dans toutes les situations. Le ou la stagiaire mènera une recherche bibliographique pour explorer les méthodes existantes [2,3] et proposer des solutions adaptées. Il ou elle devra développer et implémenter ces solutions dans un contexte de calcul haute performance. Il s'en suivra des tests rigoureux sur des cas d'étude pertinents pour évaluer leur efficacité en termes de précision mais également de temps de calcul.

[1] B. Stupfel et al., « Combined boundary-element and finite-element method for the scattering problem by axisymmetrical penetrable objects », Proceedings of the International Symposium on Mathematical and Numerical Aspects of Wave Propagation Phenomena, SIAM, 1991.

[2] M. Duruflé, « Intégration numérique et éléments finis d'ordre élevé appliqués aux équations de Maxwell en régime harmonique », Thèse de doctorat, ENSTA ParisTech, France, 2006.

[3] S. Cambon, « Méthode d'éléments finis d'ordre élevé et d'équations intégrales pour la résolution de problème de furtivité radar d'objets à symétrie de révolution », Thèse de doctorat, INSA Toulouse, France, 2012.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES :

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Méthode des éléments finis, Fortran 90, OpenMPI, OpenMP, Gitlab

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

BARAY Matthias
E-mail : matthias.baray@cea.fr
ARCESE Emanuele
E-mail : emanuele.arcese@cea.fr

CONTEXTE : La génération de maillage est la première étape nécessaire pour la simulation numérique. Cette étape dépend fortement de la physique que l'on souhaite résoudre. Dans notre équipe, nous traitons des problèmes multiphysiques où chaque physique a des besoins spécifiques en termes de maillage. En Électromagnétisme (EM), nous travaillons avec des maillages non structurés qui nécessitent d'être raffinés en fonction de la fréquence de l'onde et/ou de critères géométriques, comme par exemple la présence d'angles vifs. En Mécanique des Fluides Numériques (CFD), les besoins de raffinement sont liés à des phénomènes physiques comme les chocs ou les couches limites. Le logiciel Gmsh a récemment implémenté un nouveau format de fichier pour les maillages polytopaux, offrant une flexibilité accrue pour répondre aux exigences des différentes physiques. Ce format permet de générer des maillages adaptés aux besoins spécifiques de l'EM et de la CFD, facilitant ainsi les simulations multiphysiques.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de développer et de valider les nouvelles fonctionnalités de Gmsh pour la gestion de maillages polytopaux adaptatifs dans un cadre multiphysique. Le(la) stagiaire commencera par une étude bibliographique sur les maillages polytopaux et leurs applications en Électromagnétisme (EM) et en Mécanique des Fluides Numérique (CFD).

Le(la) stagiaire évaluera la possibilité de générer et de manipuler des maillages polytopaux avec Gmsh et validera la génération de maillages non-conformes pour l'EM, permettant de simuler des effets multi-échelle propres à cette physique.

Ensuite, le(le) stagiaire implémentera et testera des algorithmes d'adaptation de maillage automatique en utilisant la bibliothèque MMG. Il(elle) développera des critères de raffinement adaptés aux besoins spécifiques de l'EM et de la CFD et validera ces algorithmes sur des cas tests représentatifs des problèmes d'intérêt.

Enfin, le(la) stagiaire testera les nouvelles fonctionnalités de Gmsh pour générer des maillages hybrides avec des couches limites et évaluera les capacités d'adaptation de MMG pour la CFD, en particulier pour les phénomènes de choc et de couche limite.

Ce stage permettra de renforcer les capacités de simulation multiphysique de notre unité en exploitant les nouvelles fonctionnalités de Gmsh pour les maillages polytopaux, offrant ainsi une solution plus flexible et adaptée aux besoins spécifiques de l'EM et de la CFD.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : C++, Fortran, Python, Latex

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

BREIL Jérôme
E-mail : jerome.breil@cea.fr
ARCESE Emanuele
E-mail : emanuele.arcese@cea.fr

CONTEXTE : Le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) possède une expertise reconnue dans le domaine de la simulation numérique. Dans le cadre de ses activités, le CEA utilise des logiciels scientifiques écrits en Fortran, qui nécessitent d'être modernisés pour faciliter leur maintenance, leur évolutivité et leur intégration avec des technologies émergentes.

Ce stage propose d'explorer l'utilisation de l'IA et de la programmation par agent pour réaliser le portage de ces logiciels vers des langages plus modernes (Python ou C++), tout en repensant leur architecture pour anticiper les évolutions futures.

OBJECTIFS :

1. Analyse et compréhension du logiciel étudié : Développer des agents capables d'analyser et de comprendre le code existant.
2. Construction d'une base de tests : Créer des agents pour générer une base de tests permettant de valider le portage du logiciel.
3. Portage effectif du logiciel : Concevoir des agents pour réaliser le portage du logiciel vers Python ou C++, en repensant son architecture si nécessaire.

Détail des Tâches :

Phase 1 : Rédaction d'agents pour l'analyse et la compréhension du logiciel

- Développer des agents capables de parcourir et d'analyser le code existant.
- Identifier les structures de données, les algorithmes et les dépendances entre les différentes parties du code.
- Générer une documentation automatique du code existant.
- Utiliser des techniques d'IA pour faciliter la compréhension du code, telles que l'analyse statique et la détection de motifs.

Phase 2 : Rédaction d'agents pour la construction d'une base de tests

- Développer des agents pour générer des cas de test à partir de l'analyse du code existant.
- Implémenter des agents capables de valider les résultats des tests et de comparer les performances entre le code original et le code porté.
- Utiliser des techniques d'IA pour optimiser la couverture des tests et identifier les cas critiques.

Phase 3 : Rédaction d'agents pour le portage effectif du logiciel

- Concevoir des agents pour traduire automatiquement le code existant vers Python ou C++.
- Repenser l'architecture du logiciel pour faciliter l'intégration de nouvelles fonctionnalités, telles que de nouveaux schémas numériques, des stratégies de maillage avancées, ou l'utilisation de bibliothèques exploitant les performances des GPUs.
- Implémenter des agents pour valider le portage et assurer la compatibilité avec les tests existants.
- Optimiser les performances du code porté et évaluer les gains en termes de maintenabilité et d'évolutivité.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Maîtrise de la programmation orientée objets (Python, C++).

Connaissances des méthodes et outils de gestion de suivi de versions.

Connaissances en méthodes numériques et simulation scientifique.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Connaissances en IA et en programmation par agent

CENTRE

CEA/Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

Tél : 05-57-04-40-00

Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

BROUILLAT Sébastien

E-mail : sebastien.brouillat@cea.fr

CONTEXTE : Les métasurfaces sont des structures artificielles planes et périodiques qui permettent de contrôler les propriétés de réflexion, transmission et absorption d'une onde qui l'éclaire.

Dans le cadre de stage, ces structures seront composées de matériaux homogènes et isotropes intégrant des inclusions périodiques de taille sub-longueur d'onde. Cela permet d'atteindre des performances supérieures aux matériaux classiques. Cependant, la conception optimale de ces inclusions pour atteindre les propriétés électromagnétiques désirées reste un défi. Le CEA dispose de codes de simulation performants pour évaluer les performances d'une métasurface connue, avec des paramètres géométriques et des caractéristiques de matériaux constituants définis. Une approche envisageable, mais computationnellement intensive, consiste à utiliser un code interne dans une boucle d'optimisation itérative, en partant d'une paramétrisation prédéfinie de la métasurface.

OBJECTIFS : Nous proposons ici d'étudier une alternative potentiellement plus efficace, permettant d'explorer rapidement différentes configurations de métasurfaces sans être limité par une paramétrisation rigide. Pour cela, nous envisageons d'explorer l'utilisation de réseaux de neurones informés par la physique (PINN) comme modèle prédictif. Ce modèle, dérivable et rapide à utiliser une fois entraîné, permettrait de modéliser le comportement électromagnétique d'une métasurface, facilitant ainsi son intégration dans une boucle d'optimisation une fois la paramétrisation des inclusions définie.

L'objectif principal est d'étudier l'utilisation des PINN pour la modélisation de solutions aux équations de Maxwell, en augmentant progressivement la complexité des problèmes traités. Dans un premier temps, le(la) candidat(e) s'intéressera à la résolution de problèmes simplifiés et en petite dimension. Il(elle) mettra en place des PINN sur un domaine 1D pour évaluer l'efficacité de la méthode selon le domaine de résolution (temporel ou fréquentiel). Initialement, il(elle) étudiera un milieu homogène et isotrope, puis il(elle) examinera un domaine composé de deux sous-domaines aux propriétés différentes. Ensuite, il(elle) étendra cette approche au cas 2D en poursuivant la comparaison entre les domaines de résolution, et en intégrant des conditions de périodicité. En fonction des performances observées, un choix pourra être fait concernant le domaine de résolution le plus adapté avant d'aborder le problème en 3D.

Le(la) candidat(e) aura une bonne connaissance de Python, des méthodes d'optimisation, des réseaux de neurones, de Tensorflow ou Pytorch et une appétence pour la résolution de problèmes physiques.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Machine Learning, Python

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

CHOPIN Fabien
E-mail : fabien.chopin@cea.fr
MOUFID Ilyes
E-mail : Ilyes.moufid@cea.fr

CONTEXTE : Le Gaussian Splat est une méthode de rendu 3D de nuage de points avec des fonctions gaussiennes.

Lors du passage d'un modèle 3d CAO à un outil de visualisation ou de rendu, la géométrie est discrétisée. Le résultat est plus ou moins adapté en fonction de l'algorithme utilisé.

OBJECTIFS : GAUSSIAN SPLAT : L'objectif du stage est d'utiliser la technologie du gaussian splat pour réduire les données volumiques tout en gardant une exactitude de la visualisation scientifique.

La solution sera développée au cours du stage et sera implémentée dans ParaVIEW et/ou Blender.

RETOPOLOGIE DE MAILLAGE : L'objectif du stage est d'implémenter dans le logiciel Blender de nouvelles méthodes de retopologie, par l'utilisation de nouveaux algorithmes issue de la littérature scientifique récentes, par l'utilisation de l'IA, ou les deux.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Développement logiciel, IA

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

GOMEZ Adrien
E-mail : adrien.gomez@cea.fr

CONTEXTE : Situé sur le site de Bruyères-le-Châtel (91), le CEA DAM s'intéresse particulièrement au développement de composants intégrés dans des systèmes électrotechniques qui génèrent de forts courants pulsés. Ces systèmes électrotechniques, assemblés au sein du laboratoire, sont diverses et sur mesure ; ils impliquent un grand nombre de composants spécifiques ou du commerce. Pour gagner en réactivité, le CEA DAM approvisionne en quantité ces composants qui sont identifiés, stockés, utilisés et restockés pour certains.

OBJECTIFS : C'est dans ce cadre que s'inscrit ce stage, qui a pour objectif de développer un outil en Python couplé à une base de données type SQL pour gérer la logistique des composants. Les différentes étapes sont définies comme suit :

- Recueil du besoin, définition des rôles et des cas d'utilisation ;
- Développement des Interfaces Homme-Machine (Python/Qt) ;
- Mise en place d'une base de données (type SQL) ;
- Développement de couches logicielles de communication (API) ;
- Rédaction de la documentation technique et du manuel utilisateur ;
- Formation et support auprès de l'utilisateur.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Diplôme Ingénieur et/ou Master 2 développement logiciel

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, SQL, Qt

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

HENOT Vincent
E-mail : vincent.henot2@cea.fr
PALISSIER Guillaume
E-mail : guillaume.palissier@cea.fr

CONTEXTE : Situé sur le site de Bruyères-le-Châtel (91), le CEA DAM développe des composants, fonctions et équipements électroniques. Ces composants doivent être qualifiés pour valider leurs performances.

Pour tester ces composants, le CEA DAM conçoit des bancs d'essais spécifiques pilotés par un logiciel développé par le CEA DAM à partir du framework TANGO.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de :

- Recueillir le besoin utilisateur ;
- Développer de nouvelles couches logicielles de communication entre les modules logiciels et les composants physiques (protocoles, drivers, API internes) ;
- Développer des Interfaces Homme-Machine (Python/Qt) et les intégrer dans des systèmes complexes pilotant plusieurs sous-ensembles matériels ;
- Rédiger la documentation technique et le manuel utilisateur ;
- Former les utilisateurs.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Préparation d'un diplôme d'ingénieur, ou Master 2 en Instrumentation/développement logiciel

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, TANGO, Qt

Mathématiques, information
scientifique, logiciel

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

HENOT Vincent
E-mail : vincent.henot2@cea.fr
PALISSIER Guillaume
E-mail : guillaume.palissier@cea.fr

CONTEXTE : Les simulations multi-physiques constituent un moyen essentiel en ingénierie pour analyser des systèmes complexes qui impliquent des interactions entre domaines physiques multiples, tels que la mécanique des fluides, la mécanique des structures et la thermique. Ces simulations sont largement utilisées, notamment dans les domaines de l'aérospatiale, de l'énergie ou de l'automobile.

Or, les incertitudes sont inhérentes à la simulation, que ce soit sur les entrées, les modèles physiques, les erreurs de discrétisation, les paramètres de modèle, les données de calibration, etc. Leur quantification est un enjeu majeur, tant elles vont affecter les prédictions et les décisions qui en découlent. Cela nécessite de propager ces incertitudes, en avant mais aussi en arrière pour la calibration, au travers de la chaîne de calcul. Cette tâche est d'autant plus ardue que le système est complexe, la dimension élevée, les données multiples et hétérogènes, et les coûts calculatoires élevés.

OBJECTIFS : La quantification d'incertitudes sera appréhendée comme un problème d'inférence dans un modèle graphique probabiliste, largement répandu en statistiques bayésiennes (réseaux bayésiens, modèles hiérarchiques bayésiens, HMM, modèle à espace d'état, champ de Markov, etc.). Le(la) stagiaire se familiarisera avec la méthodologie bayésienne, puis l'appliquera à une chaîne de calcul en rentrée atmosphérique. Cette dernière simule les phénomènes multiphysiques (mécanique du vol, aérothermie, etc.) que rencontre un véhicule de rentrée ou capsule rentrant dans les couches denses de l'atmosphère, et en prédit l'intégrité. Dans ce but, le(la) stagiaire développera des méthodes numériques adaptées à la calibration bayésienne ainsi qu'à la propagation ou prédiction, incluant d'éventuelles stratégies de métamodélisation. Cela impliquera notamment les méthodes d'approximation Monte Carlo pour l'inférence dans un modèle graphique probabiliste, telles que les méthodes d'échantillonnage (Gibbs, Metropolis-Hastings-within-Gibbs, Hamiltonian Monte Carlo, etc.). Un effort important sera consacré à la validation, aux différentes évaluations ainsi qu'à la rédaction d'un rapport.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Le(la) candidat(e) devra présenter un intérêt marqué pour les probabilités et les statistiques appliquées, notamment les statistiques bayésiennes et les méthodes d'échantillonnage. Il(elle) devra être familier avec le langage Python.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Latex, Beamer

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

MINVIELLE Pierre
E-mail : pierre.minvielle@cea.fr
TOUSSAINT Damien
E-mail : damien.toussaint@cea.fr

CONTEXTE : Depuis plusieurs décennies, les industriels et centres de recherche des secteurs du spatial et du nucléaire étudient activement l'effet des radiations sur les composants électroniques, ces radiations induisant des défaillances de différentes natures pouvant par la suite conduire à des pannes à l'échelle des systèmes électroniques dans lesquels ces composants sont intégrés. Ces études incluent notamment des activités de simulation des effets radiatifs lors de la phase de conception des composants, afin de pouvoir valider par la simulation des choix de schémas durcis vis-à-vis de ces effets. Le CEA DAM a récemment développé un outil de simulation de ces effets. Cet outil est intégré dans le logiciel de CAO Virtuoso utilisé par les concepteurs de circuits intégrés analogiques ; il permet de simuler un schéma sous radiation, pour différents types d'effets, les effets singuliers induits par des particules uniques et les effets cumulatifs renvoyant à des dérives électriques.

OBJECTIFS :

- Faire monter en maturité l'outil "Radiation", codé actuellement en SKILL et Python, en améliorant l'outil existant tout en prenant en compte les besoins exprimés par les concepteurs électroniques dans le cadre de leurs activités de durcissement (résolution de bugs, amélioration de l'ergonomie et de l'interface utilisateur).
- Programmer de nouvelles fonctionnalités au sein de l'outil : intégrer un nouvel effet radiatif dans l'outil et, pour l'effet déjà inclus, permettre d'évaluer la réponse radiative en fonction des choix de dessin ("layout") et mener des simulations radiatives plus avancées, dites post-layout, prenant en compte les éléments parasites R-C issus des choix de layout.

Le code produit devra être documenté (commentaires dans le code, mise à jour de la notice d'utilisation de l'outil) et faciliter d'éventuelles évolutions futures (ajout de nouvelles fonctionnalités, mise à jour des modèles radiatifs...).

Ces activités seront menées en étroite collaboration avec les concepteurs électroniques et les physiciens développeurs des différents modèles radiatifs.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Le(la) candidat(e) se devra d'être bon communicant et curieux afin d'être en mesure de travailler efficacement en équipe pour un projet global faisant intervenir des profils très différents.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Programmation orientée objet, Python, logiciels CAO électronique, Virtuoso, SKILL

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

MOLINIE Lucie
E-mail : lucie.molinie@cea.fr
LOMONACO Julien
E-mail : julien.lomonaco@cea.fr

CONTEXTE : L'unité d'accueil située au 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.

Lors de ce stage, vous serez amené(e) à travailler sur un solveur linéaire dense à coefficients complexes pour résoudre des problèmes d'électromagnétisme. Du aux besoins de l'IA, le nombre d'unités de calcul en faible précision sur les nouveaux modèles de GPU ne cesse d'augmenter d'une génération à l'autre. Il devient donc crucial d'exploiter ces unités pour améliorer les performances du solveur sur ces architectures, tout en maintenant une haute précision sur les résultats, critique pour les applications scientifiques

OBJECTIFS : Des travaux précédents ont montré que l'introduction d'algorithmes en précision mixte dans le solveur permettent d'améliorer les performances tout en maintenant une précision suffisante. Cependant, les bibliothèques d'algèbre linéaire optimisées fournies par les vendeurs (e.g. cuBLAS/rocBLAS) n'offrent qu'un support très limité pour la précision mixte en arithmétique complexe.

Une première stratégie pour résoudre ce problème consiste en l'implémentation de noyaux en précision mixte complexe optimisés à l'aide de bibliothèques telles que CUTLASS. La seconde stratégie envisagée consiste en la réécriture des algorithmes complexes en une succession de noyaux réels (approche 3M), qui nous permettrait donc de bénéficier des routines en précision mixte des bibliothèques des vendeurs. Le(la) candidat(e) aura pour mission d'implémenter ces stratégies dans le solveur afin d'évaluer leurs performances et leur précision.

En fonction du temps et des préférences du(de la) candidat(e), on pourra également explorer l'utilisation de méthodes d'émulation flottante de type BF16x9 ou Ozaki qui permettent d'émuler des hautes précisions à partir de calculs en faibles précisions.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Calcul Haute Performance, Parallélisme, Programmation GPU

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

SUAU Gabriel
E-mail : gabriel.suau@cea.fr
DELARUE Tony
E-mail : tony.delarue@cea.fr

CONTEXTE : Lorsqu'une sonde spatiale pénètre dans l'atmosphère d'une planète, elle peut atteindre une vitesse plusieurs fois supérieure à celle du son. Elle comprime alors fortement les gaz atmosphériques au contact de sa paroi, ce qui entraîne un échauffement important de sa structure ainsi qu'un freinage violent. Afin de garantir l'intégrité de cette structure, l'avant de la capsule, qui subit l'essentiel du freinage, est recouvert d'un bouclier thermique. Le CEA développe des codes de calcul permettant de simuler les phénomènes physiques intervenant lors d'une rentrée atmosphérique, afin de dimensionner ces boucliers thermiques par la simulation numérique. Une telle approche nécessite de résoudre l'écoulement fluide quasi stationnaire en parallèle de la conduction thermique stationnaire à travers la structure de l'objet. Cette dernière doit être résolue à l'aide d'un schéma stable et robuste, reposant sur un solveur temporel implicite permettant l'utilisation de grands pas de temps.

OBJECTIFS : Afin de tirer parti des nouvelles architectures GPU, qui offrent des gains de performances significatifs, ce stage propose d'implémenter un solveur de diffusion au sein d'un code de calcul de type volumes finis sur maillages non structurés. Ce code, développé en C++, repose largement sur la bibliothèque Kokkos, permettant aussi bien la vectorisation sur CPU que l'exécution sur GPU, et offrant ainsi une portabilité sur un large éventail d'architectures matérielles. Cependant, cette portabilité ainsi que les performances obtenues dépendent fortement de la qualité d'implémentation des algorithmes, en particulier sur GPU. Dans le cadre du développement du solveur de diffusion, il s'agira de pouvoir traiter différents types de maillages tout en apportant un soin particulier à la résolution temporelle implicite, notamment via l'implémentation d'un solveur linéaire de type gradient conjugué ou GMRes, ou par une librairie externe. Une première étape consistera à résoudre l'équation de la chaleur en deux dimensions et à valider son implémentation. Une seconde étape portera sur l'implémentation d'un couplage faible entre le domaine fluide et le domaine solide, appliqué à des configurations simples.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Le(la) candidat(e) devra présenter un intérêt marqué pour les méthodes numériques et le développement de codes de calcul haute performance. Il(elle) devra être familier avec le langage C++ et posséder des notions de programmation sur architectures CPU et GPU. Une connaissance de la bibliothèque Kokkos constituerait un atout supplémentaire.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : C++, Kokkos

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

TALLOIS Lucas
E-mail : lucas.tallois@cea.fr

CONTEXTE : L'augmentation des projets spatiaux et des constellations de satellites, tant civils que militaires, a entraîné une densification des objets en orbite terrestre. Le nettoyage de l'espace est devenu crucial, car la majorité des débris risquent de provoquer des collisions avec des satellites actifs. Une solution consiste à forcer ces débris à entrer dans l'atmosphère, bien que certains puissent survivre et tomber sur Terre, posant des risques potentiels. Pour minimiser ces risques, il est essentiel d'estimer précisément la trajectoire de ces objets avant et pendant leur rentrée contrôlée.

OBJECTIFS : Le Filtre de Kalman reste à ce jour l'algorithme le plus utilisé en estimation séquentielle, grâce à son efficacité et sa capacité à intégrer la physique des phénomènes observés. Cependant, dans le cas de la trajectographie de débris spatiaux en rentrée atmosphérique, la cinématique peut évoluer de manière complexe, rendant les modèles analytiques parfois inadéquats.

D'un autre côté, les méthodes basées sur l'apprentissage machine (réseaux de neurones profonds) peuvent extraire des informations précieuses à partir d'une base de données et les extrapoler dans le processus d'inférence.

Une stratégie intéressante est de combiner les deux approches et développer des algorithmes de pistage augmentés par les données, de type KalmanNET.

Objectif du stage : le stage vise à tester et comparer les performances d'algorithmes de pistage basés sur des réseaux de neurones avec les algorithmes standards, dans un contexte où plusieurs débris peuvent être observés simultanément.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Filtrage de Kalman, Réseaux de neurones

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Pytorch

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

VACAR Cornelia
E-mail : cornelia.vacar@cea.fr

CONTEXTE : Lors de la rentrée atmosphérique d'un véhicule spatial, les écoulements rencontrés, dits hypersoniques, se caractérisent par d'intenses ondes de choc et de détente, ainsi que par des niveaux extrêmes de température, de pression et de flux de chaleur. La simulation numérique de tels phénomènes est essentielle pour prédire les sollicitations subies par le véhicule, informations indispensables à son dimensionnement optimal. Dans ce contexte, le CEA développe des méthodes de calcul qui se doivent d'être suffisamment robustes et précises pour pouvoir rendre compte de la complexité des écoulements rencontrés. Pour certaines applications, telles que l'étude de sillages de culot, il est également indispensable de capturer avec précision les instationnarités de l'écoulement. Outre les propriétés de robustesse et de précision, ce besoin impose le recours à une méthode numérique performante afin de restituer ces simulations en des temps de calcul raisonnables.

OBJECTIFS : Ce stage vise à étudier le potentiel d'une méthode instationnaire innovante, la méthode lattice Boltzmann (LBM) vectorielle, pour répondre aux besoins de précision, de robustesse et de performances imposés par les simulations d'écoulements hypersoniques instationnaires. Contrairement aux méthodes traditionnellement employées en mécanique des fluides, basées sur les équations d'Euler ou de Navier-Stokes, la LBM repose sur une modélisation cinétique d'un fluide, décrit par une équation de Boltzmann simplifiée. Le schéma LBM s'articule en deux étapes héritées de cette représentation : une étape de collision locale suivie d'une étape de transport exact qui s'écrit comme une simple copie des fonctions de distribution sur un maillage cartésien. Ce schéma « collide and stream » confère deux avantages importants à la LBM : 1) de très bonnes performances en temps de calcul grâce à la simplicité de la méthode, facilement parallélisable sur CPU et GPU, 2) une excellente précision, permise en particulier par le transport exact. L'inconvénient de la LBM dite « standard » est son manque de robustesse à haut Mach, qui restreint son champ d'application aux écoulements faiblement compressibles ($Mach < 0.4$). Cette restriction a récemment été levée par la LBM dite « vectorielle », dont la stabilité numérique a pu être démontrée sur de nombreux cas d'applications allant du transsonique à l'hypersonique, tout en conservant la précision et l'efficacité du schéma sur maillages cartésiens.

L'objectif de ce stage est de poursuivre le développement de cette méthode en introduisant des conditions aux limites de frontières immergées dans le but de simuler des écoulements hypersoniques instationnaires autour de géométries quelconques, éventuellement mobiles, au sein de la grille cartésienne.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Connaissances en méthodes numériques pour la mécanique / mécanique des fluides.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Langage C++

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

WISSOCQ Gauthier
E-mail : gauthier.wissocq2@cea.fr
NAULEAU Florent
E-mail : florent.nauleau@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de ses missions, la Direction des applications militaires du CEA (DAM) doit simuler des écoulements complexes (chocs forts, chocs isentropiques, équations d'états complexes, etc.).

Pour cela, les codes de calcul de la DAM utilisent des méthodes numériques adaptées, notamment une méthode numérique qui permet de traiter automatiquement les chocs sans introduire de mécanisme permettant de les suivre explicitement. Cette méthode repose sur l'effet dissipatif de la viscosité qui étale le choc sur quelques mailles. Cette viscosité artificielle a été initialement introduite par von Neumann et Richtmyer (vNR) dans l'article [1]. Cependant, la pseudo-viscosité de vNR traitait un problème 1D. Son extension 2D se heurte à plusieurs difficultés, comme celle de ne pas posséder d'informations "directionnelles" portant sur les directions de l'écoulement ou les directions du maillage, étant donné qu'elle ne dépend que de données scalaires.

OBJECTIFS : D'autres auteurs [2] ont alors proposé des pseudo-viscosités tensorielles pour prendre en compte certaines de ces informations structurales. Ce stage fera suite à un précédent stage sur le sujet, qui a pu montrer des résultats prometteurs sur des nouvelles méthodes pour pallier d'autres défauts de la pseudo-viscosité originelle.

L'objectif du stage est de continuer les développements sur ces méthodes, en introduisant des informations directionnelles. Le stage se résumera principalement en trois étapes :

- 1) une première partie bibliographique afin de prendre en main le sujet et les applications du stage,
- 2) une partie théorique au cours de laquelle plusieurs évolutions et modifications du schéma numérique seront étudiées,
- 3) une partie développement informatique afin d'implémenter ces développements dans un code de calcul et de comparer les résultats sur plusieurs cas tests représentatifs.

Les développements seront codés sur un code 2D. On consignera les développements effectués et les résultats obtenus dans le rapport de stage. Le(la) stagiaire pourra acquérir à travers ce stage une première expérience dans le domaine de la recherche appliquée aux schémas numériques.

[1] : J. Von Neumann, R. D. Richtmyer, A method for the numerical calculation of hydrodynamic shocks, Journal of Applied Physics (1950) 232-237

[2] : D. J. Benson, Computational methods in Lagrangian and Eulerian hydrocodes, Computer methods in Applied Mechanics and Engineering (1992) 235-394

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

ABBÉ Rodrigue
E-mail : rodrigue.abbe@cea.fr
SPRAUL Marie
E-mail : marie.spraul@cea.fr

CONTEXTE : MultiProcessor Computing (MPC) est un environnement de programmation dédié à l'informatique haute performance (HPC) unifiant plusieurs modèles de programmation rencontrés dans les codes de calculs scientifiques. Il s'agit d'une implémentation MPI à base de threads, une implémentation OpenMP ainsi qu'une implémentation Pthread reposant sur une bibliothèque de threads mixte. Celle-ci permet de gérer tous ces threads au sein du même ordonnanceur en espace utilisateur. MPI est le standard de communications distribuées le plus utilisé en HPC. Dans la dernière version en date, une Application Binary Interface a été standardisée pour faciliter l'interopérabilité des implémentations.

Le but de ce stage est d'implémenter les nouveautés de la norme 5.0 de MPI concernant l'ABI dans MPC. Cela consistera en la modification du module MPI écrit en C pour ainsi que de l'interface Fortran générée à partir de celui-ci.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est d'implémenter l'ABI standardisée de MPI comme décrite dans la version 5.0 du standard dans MPC.

Le(la) stagiaire pourra s'appuyer sur des outils développés lors des travaux préparatoires pour tester la conformité de son implémentation.

En adoptant une approche dirigée par les tests, le travail sera découpé de la manière suivante :

1. Mise à jour des outils de test de conformité et évaluation de la déviation de l'ABI de MPC par rapport au standard.
2. Implémentation de l'ABI pour le module MPI écrit en C.
3. Portage de l'implémentation de l'ABI aux interfaces Fortran (77, 90 et 08).

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : C, Fortran, MPI, MPC, PCVS

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BEAULIEU Corentin
E-mail : corentin.beaulieu@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA s'intéresse à la propagation d'ondes dans des structures déformables et endommageables. On peut penser, à titre d'exemples, à l'estimation de la tenue résiduelle d'une construction soumise à une charge explosive ou encore à l'expansion d'un anneau sous pression et à la manière dont il fragmente. Pour cela, le recours à la simulation est fréquent. Une méthode pour prendre en compte l'endommagement des structures est la méthode de champ de phase. Elle consiste à décrire les fissures non pas comme des surfaces géométriques nettes, mais comme des zones diffuses dans lesquelles le matériau perd progressivement sa rigidité. Cette méthode permet de simuler l'amorçage, la propagation et la coalescence des fissures sans imposer à l'avance leurs directions.

OBJECTIFS : La méthode de champ de phase, démocratisée par [Bourdoin et al., 2000], a récemment été revisitée dans un contexte dynamique [Renaud et al., 2020, Favrie et al., 2024, Renaud et al., 2025]. Il s'agira, lors de ce stage, d'appliquer cette méthode et d'étudier son utilisation dans le cadre des schémas centrés EUCCLHYD et GLACE. Ces schémas volumes finis multi-dimensionnels, sur grilles non structurées, sont adaptés à la résolution de systèmes hyperboliques de lois de conservation. Ils ont été développés à la fois pour les fluides et les solides depuis plus d'une vingtaine d'années [Després and Mazeran, 2005, Carré et al., 2009, Maire and Nkonga, 2009, Kluth and Després, 2010, Breil et al., 2020].

Objectifs :

- Écrire et analyser les propriétés du système hyperbolique à résoudre.
- Implémenter la méthode à champ de phases développée dans [Favrie et al., 2024].
- Étudier son adaptation aux schémas volumes finis EUCCLHYD et GLACE.
- Rédiger un rapport de stage.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Connaissances en méthodes de résolution approchées (volumes finis, éléments finis, ...)
Connaissances en mathématiques appliquées, en particulier EDP (équations aux dérivées partielles)

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Connaissances en programmation requises (si possible C/C++)

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CHANTRAIT Teddy
E-mail : teddy.chantrait@cea.fr
LABOURASSE Emmanuel
E-mail : emmanuel.labourasse@cea.fr

CONTEXTE : L'accroissement de la puissance des supercalculateurs permet d'effectuer des simulations numériques de plus en plus ambitieuses : meilleure précision, modèles physiques plus complets, ...

Pour réaliser cela, les codes de calculs deviennent de plus en plus complexes et sont développés en une collection de bibliothèques spécialisées. Ces composants logiciels peuvent être en différents langages. Historiquement le C ou C++ étaient les approches les plus utilisées, mais Rust apparaît de plus en plus. L'interopérabilité entre Rust et C/C++ est alors cruciale. Il existe des outils de liaisons entre les langages mais ils ne couvrent pas l'utilisation de systèmes de construction avancés comme CMake et l'utilisation de cibles conditionnelles.

OBJECTIFS : Le but de ce stage est d'améliorer l'interopérabilité entre le système de compilation Cargo, utilisé par Rust, et CMake pour le C/C++. On veut notamment pouvoir utiliser simplement des cibles CMake dans un code Rust, mais aussi, à l'inverse, utiliser facilement des bibliothèques Rust dans des codes utilisant des CMake complexes.

Il faudra lister un panorama des solutions possibles, relatives à Rust mais aussi le fonctionnement des interopérabilités CMake existantes avec des systèmes comme Meson.

Common Package Specification (CPS) pourrait être utilisé en tant que pivot entre les univers Rust et CMake. L'implantation de l'interaction bidirectionnelle entre Rust et CPS pourrait être développée et diffusée à la communauté dans le cadre de ce stage.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CHEVALIER Cédric
E-mail : cedric.chevalier@cea.fr

CONTEXTE : L'accroissement de la puissance des supercalculateurs permet d'effectuer des simulations numériques de plus en plus ambitieuses : meilleure précision, modèles physiques plus complets, ...

Pour réaliser cela, les codes de calculs deviennent de plus en plus complexes et leur besoin d'optimisation est également croissant. Dans ce contexte, nous utilisons l'outil Spack pour assurer le déploiement de nos piles logicielles. Ce dernier nous permet d'installer des piles logicielles cohérentes mais également de les adapter à l'architecture logicielle et matérielle des calculateurs.

OBJECTIFS : Spack orchestre l'assemblage des piles logicielles en sélectionnant et en compilant récursivement les produits selon leurs dépendances exprimées. Les compilations sont lancées par Spack sur un système qui n'est pas totalement isolé : il est possible d'accéder à d'autres fichiers que ceux des dépendances déclarées et d'effectuer des téléchargements dynamiques. Ainsi, les piles non-autoporteuses ne seraient plus déployables, évitant l'installation de piles hybrides par inadvertance. Le but de ce stage est de permettre d'exécuter les compilations dans un environnement isolé.

La première étape sera de lister les solutions logicielles comme l'utilisation de conteneurs ou d'outils comme bubblewrap et d'évaluer leur adéquation à Spack. Ensuite, pour les technologies retenues, un prototype sera développé et testé sur certains paquets afin de vérifier l'étanchéité de l'isolation par rapport au système. Les résultats seront partagés avec la communauté Spack en vue d'une intégration dans le projet.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CHEVALIER Cédric
E-mail : cedric.chevalier@cea.fr
BEAULIEU Corentin
E-mail : corentin.beaulieu@cea.fr

CONTEXTE : L'accroissement de la puissance des supercalculateurs permet d'effectuer des simulations numériques de plus en plus ambitieuses : meilleure précision, modèles physiques plus complets, ...

Pour réaliser cela, les codes de calculs deviennent de plus en plus complexes et leur besoin d'optimisation est également croissant. Dans ce contexte, nous utilisons l'outil Spack pour assurer le déploiement de nos piles logicielles. Ce dernier nous permet d'installer des piles logicielles cohérentes mais également de les adapter à l'architecture logicielle et matérielle des calculateurs.

OBJECTIFS : Une difficulté rencontrée lors de l'utilisation de Spack est l'interaction avec d'autres gestionnaires de paquets. En effet, Python et surtout Javascript, Go et Rust, structurent leurs piles logicielles avec un gestionnaire de paquets qui guide la construction de la pile logicielle. Ainsi, par exemple, Cargo résout les dépendances puis gère la compilation des produits Rust.

Le but de ce stage est d'évaluer les différentes solutions d'interopérabilité entre les systèmes de paquets et Spack pour la distribution de pile logicielle HPC. Un guide de "packaging" sera proposé selon la nature des produits.

Les résultats seront partagés avec la communauté Spack en vue d'une intégration dans le projet.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CHEVALIER Cédric
E-mail : cedric.chevalier@cea.fr
HAREL Guénolé
E-mail : guenole.harel@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de ses missions, le CEA DAM étudie le comportement de matériaux sous chocs. Une composante essentielle de ces travaux est la simulation numérique.

Lors de ce stage, vous intégrerez un laboratoire de physiciens où sont développés des modèles de physique appliquée utilisés pour la réalisation de ces simulations numériques. Les modèles développés en interne nécessitent d'être calibrés et validés via des expériences. Pour cela un code de calibration dédié a été développé au sein du laboratoire.

OBJECTIFS : Les objectifs principaux sont les suivants :

- Optimiser le code Python actuellement utilisé ;
- Développer des modules complémentaires en garantissant une modularité de l'ensemble ;
- Passer une partie du code en C++ pour optimiser son fonctionnement tout en gérant l'interface Python / C++ ;
- Rendre le code de calibration compatible avec l'architecture d'un ordinateur.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Développement logiciel modulaire, Connaissances en architecture réseau serait un plus, capacité à travailler en équipe et à documenter son travail.

Il pourrait également être intéressant que le(la) stagiaire ait des notions en :

- Méthodes de calibration bayésienne, ou autres méthodes de calibration ;
- Développement d'interface utilisateur.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, C++, Interfaçage Python-C++.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

COGET Yann
E-mail : yann.coget@cea.fr
ROMERO Nils
E-mail : nils.romero@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA conçoit et maintient des systèmes de fichiers haute performance pour le stockage de ses supercalculateurs. Ces systèmes de fichiers contiennent jusqu'à plusieurs pétaoctets de données réparties dans plusieurs dizaines de millions de fichiers. Afin de manipuler de telles quantités de données, le CEA développe un outil de gestion de politique : Robinhood. Cet outil permet d'exécuter des politiques de migration, de suppression ou encore d'archivage massif de fichiers et permet le suivi du remplissage des serveurs.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de développer, au sein de Robinhood, des fonctionnalités dans un backend permettant de réaliser un scan bas niveau optimisé sur les serveurs Lustre. Ce backend scanne les métadonnées du système de fichiers en accédant directement aux informations sur les disques des serveurs. Les missions confiées lors de ce stage seront de développer un mécanisme permettant de retrouver le chemin des fichiers, d'améliorer les performances en utilisant des entrées/sorties asynchrones et enfin d'évaluer les performances de ces fonctionnalités.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Autonomie, rédaction, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, anglais

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Programmation en C, programmation parallèle, systèmes Linux, Git

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

COURRIER Guillaume
E-mail : guillaume.courrier@cea.fr

CONTEXTE : L'application de l'intelligence artificielle au domaine de l'imagerie médicale a déjà démontré son efficacité dans la reconnaissance de motifs et d'anomalies. La transposition de ces capacités dans le domaine de la sécurité intérieure est actuellement étudiée par la Commission Européenne et la Transportation Security Administration, qui cherchent une reconnaissance automatique d'armes et de produits illicites. Les radiographies des bagages dans les aéroports possèdent une excellente qualité d'image, lié à une dose suffisante émise. Des bases de données exhaustives existent dans ce domaine. Cependant, certains domaines spécifiques de la sécurité intérieure sont parfois trop contraints pour obtenir une qualité d'image suffisante et sont trop spécifiques pour que des bases de données expérimentales soient accessibles.

C'est dans ce contexte que le CEA/DIF cherche à établir une base de données de radiographies X simulées d'éléments retrouvés fréquemment dans des colis d'intérêt.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage sera de programmer un code permettant de générer des fichiers d'entrée pour un code de calcul de simulations de radiographies X. Le code de calcul utilisé sera Monte-Carlo N-Particles (MCNP), code de référence dans le domaine de la physique nucléaire, ou Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS), autre code de transport de particules largement transposable à MCNP.

L'étudiant(e) devra monter en compétence dans le domaine de la radiographie X, de la programmation avec MCNP/PHITS et de la programmation avec Python. Si l'étudiant(e) a atteint ses objectifs, il sera possible de débiter la phase de génération de la base de données et de son intégration dans un code d'apprentissage statistique. L'étudiant(e) montera alors en compétence dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Ce sujet est réalisable par un étudiant de Master 1 (ou équivalent), ou un étudiant de Master 2 (ou équivalent) en élargissant le sujet à l'apprentissage statistique.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

DUFOUR Nicolas
E-mail : nicolas.dufour@cea.fr

CONTEXTE : Les modèles multi-fluides sont couramment utilisés au CEA pour décrire les instabilités hydrodynamiques qui interviennent par exemple dans la fusion par confinement inertiel. Ce stage s'intéresse en particulier au modèle proposé par Scannapieco et Cheng (S-C) [1]. Des propriétés mathématiques importantes, comme l'hyperbolicité et l'existence d'une entropie mathématique, ont été mises en évidence dans un cadre simplifié où certains termes d'échange entre les fluides sont négligés [2]. De même, des schémas numériques ont été proposés pour résoudre le modèle numériquement, mais toujours dans ce cadre simplifié [2,3].

OBJECTIFS : L'objectif du stage est d'étudier et de résoudre numériquement le modèle de S-C complet, c'est-à-dire sans négliger aucun terme d'échange. La prise en compte de ces termes vise à améliorer la richesse de la phénoménologie décrite par le modèle. Après une étape de compréhension théorique du modèle, le(la) stagiaire proposera un schéma numérique de type Lagrange + projection en s'inspirant des schémas déjà existants sans termes d'échange. Il(elle) implémentera le nouveau schéma dans un code C++ et le validera à l'aide de tests élémentaires qui seront choisis pour illustrer l'effet des échanges. Les résultats sur ces cas tests académiques seront consignés dans un rapport technique.

Références

- [1] Scannapieco, A. J., & Cheng, B. (2002). A multifluid interpenetration mix model. *Physics Letters A*, 299(1), 49-64.
[2] Enaux, C. (2007). Analyse mathématique et numérique d'un modèle multifluide multivitesse pour l'interpénétration de fluides miscibles (Doctoral dissertation, Ecole Centrale Paris).
[3] Del Pino, S., Labourasse, E., & Morel, G. (2018). An asymptotic preserving multidimensional ALE method for a system of two compressible flows coupled with friction. *Journal of Computational Physics*, 363, 268-301.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Dernière année école d'ingénieur et/ou master 2 recherche
Spécialité : mathématiques appliquées ou mécanique

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

EDEL Philip
E-mail : philip.edel@cea.fr
DEL PINO Stéphane
E-mail : stephane.delpino@cea.fr

CONTEXTE : L'installation ELSA (Electrons, Lasers, Source X et Applications) du CEA DAM est principalement constituée d'un accélérateur d'électrons de 30 MeV. Les électrons sont extraits d'une photocathode par un système laser complexe comprenant : un oscillateur à verrouillage de modes, une chaîne d'amplification pompée par diode laser, diverses cellules de Pockels et isolateur de Faraday, des cristaux doubleurs puis quadrupleurs de fréquence, des convertisseurs de profil, des fibres optiques monomodes, un bras dédié à un système d'étirement/compression de type CPA (Chirped Pulse Amplification- voir prix Nobel G. Mourou/D. Strickland). Le laser est caractérisé tout au long de ces éléments, par différents détecteurs tels que photodiodes, caméras CCD, wattmètre, joulemètres, caméra à balayage de fente.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est d'analyser le fonctionnement de l'ensemble de la chaîne laser, depuis l'oscillateur laser jusqu'à l'impact sur la photocathode, d'une part à l'échelle de la microseconde, d'autre part à l'échelle de quelques minutes (dérives), de proposer des idées pour en optimiser le fonctionnement, et automatiser le réglage des amplificateurs en fonction des mesures des détecteurs.

Le stagiaire intégrera une petite équipe soudée très pluridisciplinaire et, outre ses propres développements, prendra part à la vie de l'accélérateur en participant aux expériences des différents utilisateurs.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Informatique, Contrôle-commande

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

HOUZET Julien
E-mail : julien.houzet@cea.fr
CHAUCHAT Anne-Sophie
E-mail : anne-sophie.chauchat@cea.fr

CONTEXTE : La simulation de phénomènes physiques en régime extrême (astrophysique, choc laser, fusion inertielle, ...) repose sur des équations d'état (EOS) décrivant la matière sur plusieurs décades en densité et en température. Aucun modèle unique ne couvre ce domaine : les données proviennent de physiques et de codes divers (DFT-MD ab initio, dynamique moléculaire classique, modèles analytiques, ...), de coûts et de précisions très hétérogènes. Construire une EOS cohérente impose donc de fusionner ces sources tout en respectant les contraintes de la thermodynamique (relations de Maxwell, cohérence et stabilité thermodynamiques).

Le stage se déroulera au sein d'un laboratoire spécialisé en physique de l'atome, réunissant physiciens et mathématiciens appliqués, où sont produites et exploitées ces données. Les codes utilisés seront Arché pour la physique statistique et ESTHER pour l'hydrodynamique.

OBJECTIFS : La régression par processus gaussiens multi-fidélité offre un cadre naturel : elle combine quelques simulations haute-fidélité coûteuses à de nombreuses simulations basse-fidélité et quantifie l'incertitude résiduelle, information essentielle lorsque le métamodèle est appelé des millions de fois par un code d'hydrodynamique.

Déroulement (6 mois) :

- Bibliographie : co-krigeage AR(1), GP sous contraintes de dérivées, tables d'EOS.
- Formalisation des niveaux de fidélité à partir des données de dynamique moléculaire.
- Développement d'un métamodèle contraint (Python) sur l'énergie libre, dont dérivent pression, énergie et entropie ; validation croisée et calibration de l'incertitude.
- Intégration dans un code d'hydrodynamique 1D et sensibilité de la solution à l'incertitude du métamodèle.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

KERLEGUER Baptiste
E-mail : baptiste.kerleguer@cea.fr
WEENS William
E-mail : william.weens@cea.fr

CONTEXTE : Pour un fluide, on peut écrire son équation d'état sous la forme $P = P(V;T)$, où la pression P du fluide dépend de son volume spécifique V et de sa température T . Il est à noter que, par application des principes de la thermodynamique, la relation dite de cohérence thermodynamique doit également être vérifiée. Dans le cas de simulations numériques faisant intervenir ce fluide, il est généralement nécessaire de connaître la pression et l'énergie de ce fluide pour des volumes spécifiques et températures définis au cours du calcul. Si les équations et fonctions d'état sont connues de façon analytique, il est plus ou moins facile d'obtenir les énergies et pressions à partir de V et T (calcul direct ou fonction implicite). Si l'équation d'état n'est connue qu'en certains points (car obtenue expérimentalement), une méthode classique consiste à les calculer par interpolation ou approximation. Dans ce stage, on se propose d'utiliser les splines 2D pour réaliser cette approximation.

OBJECTIFS : Le stage se déroulera en plusieurs étapes :

- Se familiariser avec la technique d'interpolation par des splines, splines cubiques, splines 2D, produit tensoriel de splines.
- Pour un ensemble de points expérimentaux fournis (V_i, T_i), réaliser en Python, puis C++, une interpolation par splines 2D de l'équation d'état sur tout le domaine qui vérifie de plus la relation de cohérence thermodynamique.
- Considérer la construction de l'approximation cherchée comme un problème de minimisation vérifiant "le plus possible" les points expérimentaux et la cohérence thermodynamique et modifier le programme en fonction.
- Rédiger un rapport de stage.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Langages utilisés : C++, Python, LaTeX.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

KHELIFI MOHAMED
E-mail : mohamed.khelifi@cea.fr
GILET NICOLAS
E-mail : nicolas.gilet@cea.fr

CONTEXTE : Une équation d'état est une relation permettant de calculer l'ensemble des propriétés thermodynamiques d'un matériau en fonction de deux grandeurs choisies, par exemple la densité et la température. Pour cela, on fait appel à des modèles physiques. En général, on suppose l'additivité des contributions ionique et électronique, et on les calcule sur une grille 2D en densité et température données. Cela crée une table d'équation d'état, qui est ensuite utilisée dans des simulations hydrodynamiques par l'intermédiaire d'un interpolateur.

OBJECTIFS : Les réseaux de neurones artificiels ont prouvé leur capacité d'interpolation dans de nombreux domaines, y compris pour les équations d'état tabulées. Parmi les contraintes physiques que doivent respecter ces équations d'état se trouvent la cohérence et la stabilité thermodynamique : la première peut être respectée en interpolant l'énergie libre de Helmholtz, comme l'ont déjà prouvé plusieurs publications récentes ; la deuxième correspond en fait à la convexité en volume de l'énergie libre de Helmholtz (ainsi que sa concavité en température) et dans la littérature, elle n'a été imposée que par contrainte douce durant l'apprentissage. Dans ce stage, on s'intéressera aux Input Convex Neural Networks, une classe d'architectures qui préservent la convexité de la sortie par rapport à tout ou partie des entrées, afin de développer un réseau qui, en plus de préserver la cohérence thermodynamique, préservera également la stabilité thermodynamique des équations d'état par construction. Durant ce stage, le stagiaire aura l'occasion d'acquérir des compétences dans plusieurs domaines, notamment en deep learning et en physique des plasmas.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Expérience dans l'utilisation de Tensorflow, Keras ou Pytorch est indispensable, la connaissance de JAX est recommandée.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Deep learning.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

LAMY Corisande
E-mail : corisande.lamy@cea.fr
KLUTH Gilles
E-mail : gilles.kluth@cea.fr

CONTEXTE : EPURE est l'un des grands instruments essentiels de la Direction des applications militaires du CEA. Il permet d'effectuer des radiographies X rapides d'objets constitués de matière très dense. Des flashes de rayonnement X sont produits en projetant des électrons de haute énergie sur des cibles de tantale. Ces électrons sont produits, sur deux des trois axes radiographiques, à l'aide d'accélérateurs linéaires à induction pour des courants de l'ordre de 2 à 3 kA. Pour piloter de tels faisceaux, les exploitants utilisent un code modélisant son enveloppe. Moins détaillé qu'un code PIC (Particle in Cell), il permet d'obtenir des résultats très rapides, ce qui est essentiel pour une utilisation en temps réel sur l'accélérateur.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est d'explorer de nouvelles méthodes numériques basées d'une part sur l'inférence bayésienne et les méthodes de machine learning, d'autre part sur des méthodes de type "sigma points", plus prometteuses qu'un simple modèle d'enveloppe, tout en restant bien plus frugales que des méthodes PIC. Le but est de développer une première version d'un nouveau code s'appuyant sur ces méthodes, et de comparer ses résultats d'une part aux expériences réalisées sur EPURE, d'autre part sur les autres codes en service, qu'ils soient particuliers ou d'enveloppe.

Le stage se déroulera sur le centre DAM Ile-de-France (Essonne), au sein d'une unité regroupant d'autres accélérateurs de particules, dont le fonctionnement présente évidemment des similitudes avec les accélérateurs d'EPURE.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Master Grands Instruments, ENSTA niveau M1/M2.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Physique des accélérateurs, Modélisation numérique.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

LE FLANCHEC Vincent
E-mail : vincent.le-flanchec@cea.fr
CHAUCHAT Anne-Sophie
E-mail : anne-sophie.chauchat@cea.fr

CONTEXTE : Nous nous intéressons à la génération de maillages pour la simulation numérique en considérant le travail de [1], où les auteurs ont démontré qu'il était possible de modéliser le problème d'optimisation topologique de maillages quadrangulaires comme un problème d'apprentissage profond. Une partie de ces résultats repose sur une observation partielle du monde observé en se basant sur des propriétés d'ordre de la structure de données sous-jacente. La question de l'observation du monde par un agent est cruciale et nous souhaitons dans ce travail évaluer l'apport de l'architecture Graph-JEPA [2] pour laisser l'agent définir la représentation pertinente qu'il doit avoir du monde observé.

[1] A. Roperch, F. Ledoux, and J.-Ch. Janodet. QuadOpt-RL: Reinforcement Learning Agent for Quad Mesh Optimization, SIAM IMR 2026.

[2] G Skenderi, et al. Graph-level representation learning with joint-embedding predictive architectures. Transactions on Machine Learning Research, 2025.

OBJECTIFS : En considérant un problème plus simple de maillage, à savoir le lissage qui consiste à déplacer les sommets d'un maillage pour améliorer la qualité géométrique des cellules composant le maillage, l'étudiant(e) aura pour objectif de développer et évaluer une architecture hybride où un agent RL apprend à déplacer les sommets du maillage en s'appuyant sur les prédictions abstraites de Graph-JEPA. L'idée sous-jacente est d'apprendre des représentations latentes relatives à des opérations de maillage sur des cartes combinatoires de dimension 2 et 3.

Les grandes étapes du travail proposé seront :

(1) Assimiler les concepts suffisants en maillage et comprendre le formalisme des cartes combinatoire.

(2) Concevoir une architecture JEPA adaptée. Le modèle devra apprendre à prédire l'impact latent d'un déplacement de sommet sans reconstruire le maillage complet.

(3) Implémenter un agent de RL avec une approche acteur-critique et une fonction de récompense qui sera directement corrélée à des métriques de qualité de mailles (ex : rapport de forme, jacobien des éléments, régularité des angles) en utilisant l'architecture précédemment définie.

(4) Comparer les résultats obtenus avec des algorithmes de lissage usuels, aussi bien en termes de qualité finale du maillage et de temps de convergence.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Apprentissage par renforcement, apprentissage profond, Pytorch

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

LEDOUX Franck
E-mail : franck.ledoux@cea.fr

CONTEXTE : La bibliothèque Topological ToolKit (TTK, <https://topology-toolkit.github.io/>) permet de faire de l'analyse topologique de données et de visualiser ces analyses dans le logiciel ParaView (<https://www.paraview.org/>). TTK permet de transformer les données en une information concise sur leur topologie en s'appuyant sur une théorie mathématique solide. Ceci permet ensuite de comparer efficacement des données de grande taille. Cette bibliothèque est utilisée dans beaucoup de domaines, allant de l'imagerie médicale à la simulation de fluides turbulents. L'objectif de ce stage est d'utiliser cette bibliothèque dans le cadre des tests de non-régression d'un code de simulation, à la fois pour orienter la sélection des cas de test et pour rendre un verdict sur l'exécution d'un cas de test.

OBJECTIFS : Pour tout logiciel, il est nécessaire de mettre en place une suite de tests afin de s'assurer que les nouveaux développements n'introduisent pas de régression. Dans le cas spécifique des codes de simulation, plusieurs difficultés apparaissent à la fois dans le choix des cas de tests à inclure dans la suite de test (le choix des données d'entrée), et dans la vérification des résultats vis-à-vis de leur référence respective (le choix de l'oracle).

Pour ce qui est du choix des cas de test, la question est de s'assurer que deux tests n'ont pas des jeux de données trop proches, afin d'éviter les tests redondants. Le maillage faisant partie du jeu de données d'un cas de test, évaluer la distance entre deux maillages constitue une étape importante dans la comparaison entre deux cas de test. Utiliser une métrique mathématique appropriée (le cas échéant, obtenue par analyse topologique) devrait être un outil beaucoup plus fiable que, par exemple, le nombre de mailles et la distance minimale nœud à nœud.

Dans le cas de la validation des cas de test, on souhaite s'assurer que les résultats obtenus après intégration des modifications du code source sont bien similaires sur le plan physique à leur référence respective. En particulier, il est important d'avoir une métrique qui soit tolérante aux petites perturbations tout en détectant les éventuelles régressions.

Ce stage propose d'expérimenter l'utilisation de TTK afin d'analyser ces deux problématiques au travers de l'analyse topologique, ce qui ouvre la porte à l'exploration de techniques de test tenant compte les particularités des codes de simulation.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

LEROY Dorian
E-mail : dorian.leroy@cea.fr
STAUFFERT Maxime
E-mail : maxime.stauffert@cea.fr

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

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données (dizaines de pétaoctets) à des débits extrêmes (centaines de giga-octets par seconde). Pour cette raison, les systèmes de stockage du CEA sont basés sur Lustre, un système de fichiers open source parallèle et distribué.

Afin de concevoir la prochaine génération de plateformes de stockage, le CEA souhaite étudier la possibilité d'allouer dynamiquement des ressources de stockage HPC Lustre le temps de la durée d'un job utilisateur.

L'idée est de dédier des ressources de stockage uniquement accessible à un utilisateur (ou un groupe) afin d'en garantir les performances.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de proposer et concevoir une architecture système à base de Lustre afin d'allouer dynamiquement des ressources de stockage HPC à la demande d'un job utilisateur.

Le(la) stagiaire pourra proposer des architectures reposant sur des technologies de conteneurs Kubernetes ou de fonctionnalités Lustre comme par exemple PCC (Persistent Client Cache), QOS (Quality Of Service) etc.

Afin de répondre aux besoins des prochains centres de calculs, il conviendra de regarder si cette architecture répond à l'ensemble de nos critères (pertinence, performance, sécurité etc.)

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Autonomie, rédaction, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, anglais

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Linux, C, Bash, Lustre, Slurm, conteneur, Kubernetes, expérience dans un environnement virtualisé

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

PATEYRON Sacha
E-mail : sacha.pateyron@cea.fr

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

Les supercalculateurs du CEA produisent d'immenses quantités de données à des débits extrêmes.

Afin de concevoir la prochaine génération de plateformes de stockage, le CEA souhaite étudier le GPUDirect sur le système de fichier distribué et parallèle HPC Lustre aujourd'hui en production.

Le GPUDirect permet un chemin de données direct pour les transferts DMA (accès direct à la mémoire) entre la mémoire GPU et le stockage évitant ainsi un accès intermédiaire via le processeur. Complément aux accès DMA connus, le GPUDirect met en lumière un nouveau paradigme d'accès à la donnée dans les centres de calculs HPC du CEA.

OBJECTIFS : 1) Etude détaillée des accès I/O du GPUDirect sur le système de fichier HPC Lustre.

2) Benchmark et optimisation d'un code avec GPUDirect.

3) Paramétrage et tuning du système Lustre pour répondre au mieux aux exigences du GPUDirect.

4) Cas d'utilisation du GPUDirect dans les outils d'administrations des centres de calculs.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Autonomie, rédaction, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, anglais

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Linux, C, Bash, expérience dans l'architecture d'infrastructure Unix appréciée

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

PATEYRON Sacha
E-mail : sacha.pateyron@cea.fr

CONTEXTE : L'installation ELSA (Electrons, Lasers, Source X et Applications) du CEA DAM est principalement constituée d'un accélérateur linéaire d'électrons de 30 MeV avec photo-injecteur 2 MV basse fréquence à 144 MHz, une ligne accélératrice 17MV à 433 MHz, et un post-accélérateur à 1,3 GHz. Les électrons sont utilisés d'une part pour produire du rayonnement de freinage, d'autre part dans le cadre du développement d'une source X Compton Inverse, pour des applications de développement de détecteurs X au profit d'autres grandes installations telles que le Laser Mégajoule et EPURE (radiographie X éclair).

OBJECTIFS : Un code de calcul temps réel (BeamLeader) a été développé pour assister les pilotes de la machine dans leurs réglages du transport du faisceau d'électrons. L'objectif de ce stage est de poursuivre son développement en y améliorant la prise en compte des effets physiques, ainsi que l'interface utilisateur, et de réaliser l'interfaçage avec le système de contrôle-commande de l'accélérateur. Le stagiaire devra prendre en main l'outil numérique existant (écrit en Xojo), comprendre comment la physique des faisceaux de particules chargées y est modélisée, proposer et implémenter des améliorations en Python. Il/elle s'initiera par ailleurs au système de contrôle-commande sous PANORAMA afin de mettre en place une interface entre celui-ci et BeamLeader.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Ce stage est essentiellement théorique et informatique. Des connaissances en optique ou en physique des faisceaux seront des atouts appréciables.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Informatique, Physique.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

PIRES Abel
E-mail : abel.pires@cea.fr
CHAUCHAT Anne-Sophie
E-mail : anne-sophie.chauchat@cea.fr

CONTEXTE : L'installation ELSA (Electrons, Lasers, Source X et Applications) du CEA DAM est principalement constituée d'un accélérateur linéaire radiofréquence d'électrons de 30 MeV piloté par un système laser complexe. Un système de contrôle-commande basé sur le logiciel PANORAMA est utilisé pour faire fonctionner cet accélérateur. Il permet en particulier de manipuler le faisceau d'électrons à l'aide d'éléments de transport magnétiques, tels que des dipôles ou des quadrupôles, des déviateurs, mais aussi d'effectuer des mesures essentielles telles que le niveau de vide, la position du faisceau à l'intérieur des tubes à vide de transport, ou encore d'afficher et d'analyser les images produites par plusieurs dizaines de caméras CCD pour la mesure du profil du faisceau tout au long de l'accélérateur.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est d'implanter de nouvelles fonctionnalités pour uniformiser le traitement des données des diagnostics variés de l'accélérateur, adapter la force magnétique des éléments de transport liée à l'énergie cinétique des électrons qui varie d'une expérience à l'autre, établir le lien avec des codes de simulation de physique des accélérateurs et optimiser l'ergonomie de l'exploitation. Le stagiaire devra se plonger au cœur d'une équipe pluridisciplinaire, comprendre la physique et les techniques de mesure mises en jeu, prendre en main les programmes existants sous PANORAMA, et effectuer des développements informatiques clairs et documentés, pour implémenter les améliorations décidées de concert avec les exploitants de l'accélérateur.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Des compétences en machine learning ou en analyse de données seraient un plus.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Informatique, Contrôle-commande.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

PIRES Abel
E-mail : abel.pires@cea.fr
CHAUCHAT Anne-Sophie
E-mail : anne-sophie.chauchat@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA/Gramat, acteur majeur de la recherche au service de la Défense, étoffe ses capacités expérimentales de caractérisations matériaux en dynamique rapide, via l'acquisition de deux systèmes de barres d'Hopkinson. Trois stages (celui-ci orienté mathématiques au CEA/DIF + deux autres orientés expériences/simulations physiques au CEA/Gramat) sont prévus pour monter en compétence. Chaque essai réalisé sur ces dispositifs contribue à la calibration d'une loi de comportement de type Johnson–Cook (JC) [1]. Cependant, les expériences sont coûteuses et le nombre d'essais réalisables reste limité. Dans ce contexte, la planification d'expériences constitue un enjeu majeur pour exploiter au mieux le budget expérimental disponible.

L'objectif du stage est alors de développer un algorithme capable d'identifier séquentiellement les conditions optimales d'essai (vitesse, température, compression ou traction...) qui apporteront le maximum d'information dans l'estimation des paramètres du modèle JC.

OBJECTIFS : Le cadre d'étude s'inscrit dans celui de la planification optimale d'expériences bayésienne (Bayesian Optimal Experimental Design) [2,3]. Les missions du stage s'articulent autour de deux thématiques complémentaires :

- Calibration bayésienne : estimer les paramètres du modèle JC et leur incertitude sous la forme d'une distribution a posteriori, en comparant plusieurs approches (approximation de Laplace, méthodes Mradiograp, ...)

- Planification optimale d'expériences : choisir chaque essai en maximisant le critère du gain d'information espéré, puis comparer ces plans à des stratégies naïves (grille régulière, tirages aléatoires, etc.).

Véritable sujet de R&D, le stage s'appuiera sur le modèle JC utilisé comme un générateur virtuel d'essais sur barres d'Hopkinson, afin d'évaluer de façon contrôlée l'apport des stratégies de planification. Des ingrédients de plus en plus physiques pourront être intégrés (bruits de mesure, erreurs de modèle, données expérimentales et numériques issues des deux autres stages).

Vous travaillerez au sein d'une unité de mathématiques appliquées au CEA/DIF, développant des méthodes de quantification d'incertitudes. Des échanges avec le CEA Gramat et avec les deux autres stagiaires seront indispensables à la bonne réalisation des missions. Le stage permettra d'acquérir des compétences solides en calibration bayésienne et en optimisation. Un goût prononcé pour les probabilités, les statistiques et la programmation Python est essentiel. Une appétence pour la mécanique des matériaux est un atout.

Bibliographie

- [1] D. J. Walters et al., Bayesian calibration of strength parameters using hydrocode simulations of symmetric impact shock experiments of Al-5083, Journal of Applied Physics, 124(20):205105, 2018. - [2] D. E. Ricciardi et al., Bayesian optimal experimental design for constitutive model calibration, arXiv:2308.10702, 2023. - [3] X. Huan et al., Optimal experimental design: formulations and computations, Acta Numerica, 33:715–840, 2024.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDE : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Compétences en mathématiques appliquées. Un goût prononcé pour les probabilités, les statistiques et la programmation est essentiel. Une appétence pour la mécanique des matériaux est un atout.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, R

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

QUINTIN Anthony
E-mail : anthony.quintin2@cea.fr
PETIT Tom
E-mail : tom.petit@cea.fr

CONTEXTE : La Vélocimétrie Hétérodyne (VH) est un diagnostic fibré permettant de mesurer les vitesses de surfaces en mouvement rapide dans des expériences à haute densité d'énergie. La méthode standard d'analyse utilise la Transformée de Fourier à fenêtre glissante pour générer un spectrogramme à partir duquel l'histoire de la vitesse de la cible est déduite. Néanmoins, cette méthode présente certaines limites, notamment en ce qui concerne la nécessité de choix subjectifs de paramètres, la gestion des régions de faible rapport signal/bruit, ou encore la limite de Gabor-Heisenberg pour la résolution temps-fréquence.

OBJECTIFS : Deux approches innovantes ont été récemment proposées pour améliorer l'analyse des signaux VH sans utiliser le spectrogramme. La première consiste à inférer la vitesse directement sur le signal oscilloscope via une approche bayésienne [1]. Cette méthode montre des résultats prometteurs, mais nécessite une exploration approfondie pour capturer les comportements de vitesse rapides ou discontinues. La seconde approche est basée sur l'apprentissage automatique et s'inspire d'algorithmes de Machine Learning existants pour la séparation des sources audio et l'estimation de la hauteur tonale dans les enregistrements musicaux [2]. Bien que présentant des résultats encourageants, cette technique présente une précision limitée, des difficultés à discriminer plusieurs objets avec des vitesses différentes, une sensibilité au bruit ainsi qu'une dépendance aux données d'entraînement. Dans ce contexte, le stage vise à mettre en place et à approfondir ces différentes approches, et à comparer leurs performances. D'autres algorithmes seront susceptibles d'être explorés.

L'ensemble des développements s'effectuera en Python.

Références :

[1] J.R. Allison et al., A Bayesian approach to time-domain photonic Doppler velocimetry analysis, Review of Scientific Instruments, 2025, <https://doi.org/10.1063/5.0267409>.

[2] A. Susser et al., Velocity Extraction Using Complete Time-Domain Waveform Data and Audio Machine Learning, 2026, <https://doi.org/10.1007/s40870-026-00510-3>.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Maîtrise correcte du langage Python nécessaire. Connaissance de bibliothèques telles que PyTorch appréciée. Solide formation en mathématiques appliquées et en intelligence artificielle.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Intelligence Artificielle, Inférence bayésienne, Machine Learning, Python3, PyTorch.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

RIDOUX Julien
E-mail : julien.ridoux@cea.fr

CONTEXTE : Modane est un langage dédié (DSL) développé au CEA qui propose entre autres une abstraction de haut niveau des modèles de programmation parallèle en fournissant à l'utilisateur une syntaxe se rapprochant du langage mathématique. Ce langage permet d'écrire des boucles de calcul et de générer à partir de ces boucles un code parallèle adapté à une exécution sur supercalculateur au travers du Framework Arcane :

<https://arcaneframework.github.io/arcane/userdoc/html/index.html>

Une telle approche générative présente un réel avantage pour évaluer l'intérêt de différentes approches de programmation sur un ensemble d'applications.

L'objectif de ce stage est de mettre en place une cible de génération fournissant un modèle d'itération sur les éléments du maillage (i.e. la discrétisation de l'espace au sein de la simulation) basé sur les cartes combinatoires.

OBJECTIFS : Au cours de ce stage, le(la) candidat(e) mettra au point une cible de génération utilisant les cartes combinatoires (via la bibliothèque CGAL, <https://github.com/cgal/cgal>) comme mécanisme d'itération sur le maillage et en évaluera l'apport en tant qu'alternative aux solutions actuellement supportées par Modane, à la fois en termes d'expressivité, de temps de calcul et de consommation mémoire.

Dans un premier temps, le(la) candidat(e) développera un prototype directement en C++ afin d'expérimenter sur l'utilisation de la librairie de cartes combinatoires. Ce prototype reproduira différents schémas d'itération sur les maillages représentatifs des besoins des codes de simulation. Dans un second temps, le(la) candidat(e) implémentera la génération de code C++ dans Modane (en Typescript) qui permettra de reproduire les schémas d'itération générés par les solutions actuelles. L'ajout de cette cible de génération permettra ensuite d'analyser le comportement des différentes variantes de schéma d'itération pour évaluer les points faibles et les points forts de ces variantes sur différents codes de simulation.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

ROCHE Claire
E-mail : claire.roche@cea.fr
LEROY Dorian
E-mail : dorian.leroy@cea.fr

CONTEXTE : Le code de simulation Coddex (environ 110k lignes de code source en C++/MPI/OpenMP) est un code pour étudier l'évolution des déformations et des discontinuités dans les cristaux. Pour visualiser les résultats, des fichiers sont écrits sur le disque en parallèle avec le protocole MPI, ceci de manière régulière afin d'être ouverts en dehors de la simulation. Les images produites sont des projections 2D de ces cristaux 3D pour des questions de performance et d'empreinte mémoire. De plus, les paramètres de ces projections et les variables calculées sont fixés dans le jeu de données.

OBJECTIFS : Le but de ce stage est dans un premier temps de brancher dans Coddex une analyse in situ avec l'interface de programmation d'application (API) Catalyst (<https://catalyst-in-situ.readthedocs.io/>). Il sera alors possible d'appliquer une suite de filtres au cristal sans écriture sur le disque tout en utilisant des ressources de calculs GPU inexploitées jusqu'alors, afin de produire soit un rendu volumique qui peut être visualisé dans un logiciel dédié comme ParaView (<https://www.paraview.org/>), soit une image 2D enregistrée de manière asynchrone. Dans un deuxième temps, nous souhaiterions mettre en place une boucle de rétroaction (steering in situ) afin de rajouter des variables à la volée, sans modification du jeu de données, qui sont calculées par Coddex et visualisées dans ParaView.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Bash, C++, CMake, Python

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

STAUFFERT Maxime
E-mail : maxime.stauffert@cea.fr

CONTEXTE : MultiProcessor Computing (MPC) est un environnement de programmation dédié à l'informatique haute performance (HPC) unifiant plusieurs modèles de programmation rencontrés dans les codes de calculs scientifiques. Il s'agit d'une implémentation MPI à base de threads, une implémentation OpenMP ainsi qu'une implémentation Pthread reposant sur une bibliothèque de threads mixte. Celle-ci permet de gérer tous ces threads au sein du même ordonnanceur en espace utilisateur. MPI est le standard de communications distribuées le plus utilisé en HPC. Le module LowComm de MPC gère les communications en s'appuyant sur différents backends. PTL et OFI gèrent l'inter-noeuds faisant l'interface avec les cartes réseaux BXI et Infiniband respectivement. Le module SHM gère l'intra-noeud faisant l'interface entre les processus MPI d'un même noeud. Actuellement, ce module est implémenté en utilisant le module noyau CMA (Cross-Memory Attach).

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est d'implémenter un nouveau module SHM utilisant XPMEM et de faire une étude de performances. Le travail sera découpé de la manière suivante :

1. Prise en main de MPC et des modules existants.
2. Implémentation du backend SHM en utilisant XPMEM en C.
3. Evaluation et comparaison des performances.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : C, MPI, MPC, PCVS, XPMEM, CMA

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

TABOADA HUGO
E-mail : hugo.taboada@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 à des débits extrêmes. Pour stocker ces données de manière robuste et performante, le CEA utilise une grande variété de stockages, allant des disques Flash aux bandes magnétiques. Au CEA, RobinHood est le logiciel utilisé pour gérer les migrations de données, à l'aide de politiques.

Les politiques sont déclenchées en fonction de différents critères, comme le taux de remplissage des disques. Les métadonnées sont récupérées par le biais d'un backend, pour être stockées dans une base de données.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de développer un backend pour RobinHood, capable de lire les métadonnées des objets stockés sur bandes magnétiques. Ces objets sont gérés par un autre logiciel du CEA, appelé Phobos.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Autonomie, rédaction, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, anglais

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Programmation en C, systèmes Linux, Git

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

VALERI Yoann
E-mail : yoann.valeri@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 pétaoctets) à des débits extrêmes (centaines de giga-octets par seconde). Pour stocker ces données de manière robuste et performante, le CEA utilise une grande variété de stockages, allant des disques Flash aux bandes magnétiques, gérés par un outil HSM (Hierarchical Storage Management) nommé Phobos[1].

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

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de développer une solution de stockage générique basés sur la technologie RAID[2] dans Phobos. Cela consiste en la scission des données sur plusieurs moyens de stockage, ainsi que leur relecture, afin d'assurer une meilleure sécurité et de meilleures performances via la redondance des données.

[2] <https://en.wikipedia.org/wiki/RAID>

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Autonomie, rédaction, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, anglais

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Programmation en C, systèmes Linux, Git

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

VALERI Yoann
E-mail : yoann.valeri@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 à des débits extrêmes. Pour stocker ces données de manière robuste et performante, le CEA utilise une grande variété de stockages, allant des disques Flash aux bandes magnétiques.

Afin de gérer ces données, le CEA utilise plusieurs solutions communiquant chacune avec le serveur HTTP. Ces serveurs suivent pour la plupart la même architecture et utilisent des outils similaires, tels que Kerberos[1], Celery[2], Apache[3] ou Flask[4].

[1] <https://www.kerberos.org/>

[2] <https://docs.celeryq.dev/en/stable/>

[3] <https://www.apache.org/>

[4] <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/>

OBJECTIFS : L'objectif du stage serait de développer un serveur HTTP générique implémentant ces technologies, afin de simplifier leur mise en place et réutilisation. Il faudrait ensuite adapter les outils actuels afin d'utiliser ce serveur générique en tant que frontend, et avoir le fonctionnement spécifique de l'outil comme backend.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Autonomie, rédaction, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, anglais

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Langage Rust, systèmes Linux, Git, HTTP, Apache, Flask, Kerberos, Celery

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

VALERI Yoann
E-mail : yoann.valeri@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA implémente pour ses besoins propres des algorithmes de transport de particules afin de modéliser leur comportement dans différents milieux. Parmi ces algorithmes, une des grandes familles est celle des méthodes stochastiques fondées sur l'utilisation de la méthode de Monte Carlo. Ces méthodes, bien qu'assurant en probabilité une convergence, demandent une quantité de calculs importante pour s'assurer de maîtriser la variance propre aux algorithmes probabilistes. Le grand nombre d'opérations implique par là même un temps de calcul important.

La recherche de méthodes permettant d'améliorer les performances de ces algorithmes est un sujet de longue date, et qui continue toujours aujourd'hui. Entre autres, des méthodes de 'trajectographie fictive', en simplifiant la représentation du milieu étudié, permettent de travailler sur des maillages moins raffinés.

La recherche d'un maillage adaptatif optimal est l'étape suivante dans l'amélioration des performances.

OBJECTIFS : Les objectifs de ce stage consistent d'abord en la réalisation d'une structure de maillage adaptatif au sein du code de calcul effectuant le transport de particules. L'étape suivante sera d'adapter l'algorithme effectuant le transport afin qu'il puisse fonctionner sur la structure de maillage adaptatif implémentée précédemment. La réalisation de tests pour vérifier et valider la performance de l'algorithme sur maillage adaptatif sera effectuée conjointement.

Suite à cela, en fonction du temps restant, il est envisageable de continuer sur la recherche et l'implémentation de méthodes de génération de maillages adaptatifs à partir d'un maillage conforme.

La rédaction d'un rapport de stage permettra de faire la synthèse du travail accompli et des performances obtenues.

Ce stage offre une opportunité de découvrir les bases de la recherche appliquée, sur une problématique d'intérêt pratique pour l'unité d'accueil. Il allie une forte composante de développement logiciel à des travaux d'optimisation et de validation. Les compétences développées durant le stage incluent, sans s'y limiter :

- Méthodes de Monte-Carlo
- Algorithmes de transport
- Génération de maillages
- Performance algorithmique
- Développement logiciel en environnement HPC (la librairie de calcul parallèle OpenMP sera utilisée, une connaissance de base de son fonctionnement serait un plus)

Le projet étant encore dans une phase exploratoire, le stage permettra aussi de pouvoir travailler son autonomie et d'être force de proposition, autant sur l'aspect algorithmique que sur l'implémentation.

DURÉE : 2-3 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : C++ ; Git

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

WALBRON Amaury
E-mail : amaury.walbron@cea.fr
COCHET Bertrand
E-mail : bertrand.cochet@cea.fr

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

L'utilisation de l'IA agentique augmente fortement, également dans le milieu du calcul haute performance, que ce soit pour améliorer la qualité de service proposée aux utilisateurs ou assister les administrateurs dans leur tâches quotidiennes pour la gestion des supercalculateurs. Pour autant, il n'est pas simple de déterminer la quantité de ressources nécessaires à l'utilisation d'agents IA. Entre besoins matériels (GPU, RAM) et logiciels (nombres d'agents, de modèles, de requêtes par seconde), mesurer les performances du système en termes de tokens générés par seconde ou temps avant le premier token (TTFT) permettra de dimensionner au mieux ces systèmes.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est d'évaluer des architectures d'IA agentique (mono et multi-agents) face à différents profils d'utilisation (utilisation modérée, stress ponctuel, etc.). Le cas d'utilisation type ciblé pour ce benchmark est une architecture de production où plusieurs agents spécialisés sont capables de résoudre des problèmes divers (calcul, stockage, réseau, etc.), et d'agir sur le système. Le stage se conclura par la rédaction d'un livrable comprenant un état de l'art sur la méthodologie d'évaluation de l'utilisation des agents IA, ainsi que la plate-forme de benchmark choisie.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Autonomie, rédaction, capacité d'adaptation, esprit d'initiative, anglais

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Systèmes Linux, Python, LLM, IA agentique

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

WILLEMOT Sophie
E-mail : sophie.willemot@cea.fr

CONTEXTE : La vulnérabilité des infrastructures aux agressions générées par une charge est un sujet de recherche majeur du CEA Gramat. Notre outil technico-opérationnel met en œuvre des algorithmes permettant d'évaluer la capacité d'un projectile à perforer une paroi. Les travaux proposés s'inscrivent dans une démarche d'amélioration continue de la précision des outils de simulation.

OBJECTIFS : Dans un premier temps, le/la stagiaire aura pour mission de développer un outil permettant de calibrer les paramètres du modèle numérique mis en œuvre dans le logiciel technico-opérationnel interne. Pour ce faire, il/elle devra mettre en place une boucle de calculs permettant d'automatiser la réalisation de simulations ABAQUS et de leur post-traitement. Il/Elle calibrera ensuite les paramètres d'intérêts du logiciel analytique afin de restituer au mieux les résultats obtenus avec ABAQUS.

Dans un second temps, le/la stagiaire réalisera un métamodèle en mettant à profit l'outil de calibration afin de généraliser la détermination des paramètres d'entrées.

Au cours de son stage, le/la stagiaire développera les compétences suivantes :

- Simulation numérique en dynamique rapide,
- Logiciel Abaqus/explicit,
- Programmation Python,
- Analyse statistique.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

BOURIQUET Damien
E-mail : damien.bouriquet@cea.fr
RABE Aurélie
E-mail : aurelie.rabe@cea.fr

CONTEXTE : L'augmentation continue du volume de publications scientifiques rend la veille bibliographique de plus en plus dense. Les chercheurs doivent gérer plusieurs centaines d'articles répartis dans différents dossiers, sources etc. Les outils traditionnels de gestion bibliographique permettent le stockage et le référencement des documents, mais offrent des capacités limitées pour l'organisation automatique, la recherche avancée et l'extraction de connaissances. Les récents progrès de l'intelligence artificielle et du traitement automatique ouvrent de nouvelles perspectives dans l'exploitation de la bibliographie.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de développer un assistant intelligent capable d'automatiser l'organisation et l'exploration d'une bibliothèque scientifique.

Les fonctionnalités visées incluent notamment :

- l'import automatique de documents scientifiques (PDF, BibTeX, Zotero, etc.) ;
- l'extraction par mots-clefs et résumés ;
- la classification automatique des articles par thématique ;
- la génération dynamique d'une arborescence documentaire ;
- la recherche basée sur le contenu des publications.

Le(la) stagiaire sera amené(e) à étudier l'état de l'art des méthodes existantes de classification documentaire et de recherche sémantique afin de mettre en place une structuration des données bibliographiques.

Le développement des algorithmes pourra se faire à partir des outils Python afin de catégoriser automatiquement les publications.

La conception d'une interface intuitive sera également visée durant ce stage afin d'assurer la navigation et la recherche par mot-clef dans la bibliothèque.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Python, Manipulation de base de données, Notion de développement logiciel, Curiosité pour l'IA et le traitement du langage. Des connaissances préalables en intelligence artificielle et en traitement automatique du langage constituent un atout. Autonomie, sens de l'organisation, curiosité, sens pratique, esprit d'équipe, bonne communication orale et écrite (français/anglais).

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

CUROS Laurine
E-mail : laurine.curos@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Gramat est le centre d'expertise du CEA DAM (Direction des applications militaires) dans le domaine de l'électromagnétisme. Il réalise à ce titre des études de vulnérabilité de matériels soumis à des agressions électromagnétiques diverses. Le laboratoire dans lequel s'effectuera ce stage est chargé d'expertiser le bon fonctionnement d'installations telles que des cages de Faraday qui doivent garantir un certain niveau d'atténuation vis-à-vis de l'ambiance électromagnétique extérieure. Pour cela, de nombreuses données telles que des mesures de champs électromagnétiques ou des photographies sont collectées et doivent être traitées.

L'évolution rapide du domaine de l'intelligence artificielle offre des opportunités pour automatiser le traitement de toutes ces données et détecter des anomalies le plus tôt possible.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage consiste à proposer et développer des outils utilisant des modèles d'apprentissage pour traiter de manière plus efficace et automatisée des documents, mesures ou images.

Il s'agit d'une part d'automatiser la création d'une base documentaire relative aux activités du laboratoire, mais aussi de pouvoir détecter des anomalies, des défauts liés au vieillissement ou des dégradations sur des structures telles que des cages de Faraday, et d'autre part de pouvoir anticiper l'apparition de ces défauts en ayant la possibilité de mener des actions préventives.

Pour cela, le(la) stagiaire sera d'abord amené à conduire un état de l'art sur les modèles d'apprentissage adéquats, puis à en tester plusieurs en utilisant, et éventuellement en adaptant, des méthodes déjà implémentées par exemple en Python. Une comparaison des performances sur des données réelles sera enfin conduite.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mathématiques, traitement du signal, autonomie dans le travail, capacité de synthèse.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

LE TOUZ Nicolas
E-mail : nicolas.letouz@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Le Ripault développe de nouveaux matériaux par différents procédés de Fabrication Additive (FA). En effet, ces nouveaux procédés ouvrent la voie à de nouvelles structures innovantes aux propriétés complexes. Cette liberté change l'approche de définition et de conception des pièces ou objets. Une optimisation itérative est souvent nécessaire entre le design de la pièce et le calcul afin de converger vers une solution optimale. Actuellement, les logiciels de conception FA (type nTop) et de calculs éléments finis (type COMSOL) ne permettent pas de réaliser ces itérations de manière automatique.

L'idée de ce stage est de réaliser via un script (Python, C++ ou autre) une boucle permettant d'automatiser la conception de géométries en fonction de sollicitations données. Cette optimisation se fera sur des critères de performance d'absorption de champs électromagnétiques.

OBJECTIFS : Au cours de ce stage, le (la) candidat(e) devra :

- définir une démarche scientifique pour répondre à son sujet par le biais d'une étude bibliographique ;
- appréhender les outils numériques mis à sa disposition ;
- développer le script permettant la boucle d'itération entre le logiciel de conception et celui de calculs ;
- corréler les résultats numériques obtenus avec les résultats expérimentaux.

Ce stage a pour objectif de réaliser une passerelle numérique entre un logiciel de conception et de simulation à destination de la fabrication additive. Le(la) candidat(e), en cursus scientifique de niveau bac+4 ou bac+5 de préférence en électromagnétisme ou en informatique, développera ses compétences de R&D et acquerra les bases de la Fabrication Additive. L'étudiant(e) travaillera en collaboration avec un technicien en fabrication additive et deux ingénieurs encadrants pour définir les différents éléments à mettre en place et pour l'accompagner tout au long du projet. L'équipe formera l'étudiant(e) sur les logiciels et sur les procédés d'impression 3D.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Capacité de synthèse, autonomie, connaissances en programmation ou en algorithmique, bonne capacité de rédaction, rigueur, travail en équipe

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Comsol, nTop, langage Python, fabrication additive

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

SCOTTI Chloé
E-mail : chloe.scotti@cea.fr
CHARRUE Arthur
E-mail : arthur.charrue@cea.fr

MÉCANIQUE ET THERMIQUE

CONTEXTE : Dans le cadre des travaux d'innovation, le CEA a décidé de travailler sur des systèmes de type "interrupteur" se déclenchant en réponse à des sollicitations environnementales spécifiques. Le développement de ces nouveaux produits nécessite plusieurs étapes clés : la conception mécanique, la réalisation de prototypes, la conduite d'essais ainsi que la modélisation multiphysique. Cette dernière permet d'analyser et d'interpréter les résultats des essais, assurant ainsi une compréhension approfondie du comportement des systèmes dans des conditions réelles.

OBJECTIFS : Pour réaliser le développement de ce nouveau produit, l'étudiant devra effectuer des essais sur les conceptions issues d'études précédentes. Il devra les interpréter de manière à optimiser la conception afin de définir un produit intégrable dans un essai plus proche de l'opérationnel (passage du TRL 4 à 6). Il devra faire réaliser cet objet (en sous-traitance) et effectuer les tests de validation de bon fonctionnement. Il devra également valider la bonne corrélation entre les essais et la modélisation. Il devra éventuellement faire évoluer la modélisation pour que tous les paramètres de premier ordre soient pris en compte.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

AGUESSE Eric
E-mail : eric.aguesse@cea.fr

CONTEXTE : Les écoulements hypersoniques rencontrés lors des phases de rentrée atmosphérique présentent des phénomènes physiques intenses et localisés, tels que les chocs détachés, les couches limites minces, ou encore de forts gradients de température et de densité. Capturer correctement ces structures nécessite des maillages capables de s'adapter à la fois à la géométrie complexe du véhicule et aux caractéristiques locales de l'écoulement. Les maillages AMR seront générés en utilisant des maillages structurés par blocs curvilignes, classiquement utilisés en rentrée comme point d'entrée.

L'objectif est d'améliorer la précision et l'efficacité des simulations en utilisant des maillages adaptatifs qui peuvent suivre les variations locales de l'écoulement. La bibliothèque P4EST sera utilisée pour gérer les maillages adaptatifs et les calculs haute performance.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de développer et d'implémenter une méthode d'Adaptive Mesh Refinement (AMR) structurée par blocs curvilignes pour la simulation des écoulements hypersoniques rencontrés lors des phases de rentrée atmosphérique. Le(la) stagiaire commencera par une étude bibliographique approfondie sur les méthodes d'adaptation de maillages structurés par blocs curvilignes, en s'intéressant aux approches efficaces permettant d'optimiser la résolution et la précision des simulations.

Une stratégie d'adaptation de type feature-based sera mise en place, reposant sur des indicateurs issus du champ de solution (par exemple, pression, nombre de Mach, gradients de température ou de densité) pour guider l'adaptation du maillage. Les maillages AMR seront générés en utilisant des maillages structurés par blocs curvilignes, classiquement utilisés en rentrée comme point d'entrée. La bibliothèque P4EST sera adaptée et utilisée pour gérer les maillages adaptatifs et les calculs haute performance.

Le maillage produit sera couplé à un code de simulation existant, permettant d'évaluer la méthode sur des cas tests représentatifs du régime hypersonique, tels que l'écoulement autour d'un véhicule de rentrée à très haut Mach

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : C++, Fortran, Python, Latex

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

BREIL Jérôme
E-mail : jerome.breil@cea.fr

CONTEXTE : Les écoulements hypersoniques rencontrés lors des phases de rentrée atmosphérique présentent des phénomènes physiques intenses et localisés, tels que les chocs détachés, les couches limites minces, ou encore de forts gradients de température et de densité. Capturer correctement ces structures nécessite des maillages capables de s'adapter à la fois à la géométrie complexe du véhicule et aux caractéristiques locales de l'écoulement. Les méthodes de régularisation de maillage, qui minimisent des fonctionnelles d'énergie tout en conservant la topologie du maillage, offrent une approche prometteuse pour l'adaptation de maillage. Ces méthodes permettent d'améliorer la qualité des maillages tout en maintenant leur structure initiale.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de développer et d'implémenter une méthode d'Adaptive Mesh Refinement (AMR) structurée par blocs curvilignes pour la simulation des écoulements hypersoniques rencontrés lors des phases de rentrée atmosphérique. Le (la) stagiaire commencera par une étude bibliographique approfondie sur les méthodes d'adaptation de maillages structurés par blocs curvilignes, en s'intéressant aux approches efficaces permettant d'optimiser la résolution et la précision des simulations.

Une stratégie d'adaptation de type feature-based sera mise en place, reposant sur des indicateurs issus du champ de solution (par exemple, pression, nombre de Mach, gradients de température ou de densité) pour guider l'adaptation du maillage. Les maillages AMR seront générés en utilisant des maillages structurés par blocs curvilignes, classiquement utilisés en rentrée comme point d'entrée. La bibliothèque P4EST sera adaptée et utilisée pour gérer les maillages adaptatifs et les calculs haute performance.

Le maillage produit sera couplé à un code de simulation existant, permettant d'évaluer la méthode sur des cas tests représentatifs du régime hypersonique, tels que l'écoulement autour d'un véhicule de rentrée à très haut Mach.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : C++, Fortran, Python, Latex

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

BREIL Jérôme
E-mail : jerome.breil@cea.fr

CONTEXTE : Les structures mécaniques conçues par le CEA sont soumises à des sollicitations statiques et dynamiques importantes. Afin d'améliorer leurs performances sous contrainte de masse, de nouveaux matériaux à forte rigidité spécifique sont étudiés, notamment les composites à matrice métallique en aluminium renforcés par des particules de carbure de silicium (Al/Si C).

Le stage s'inscrit dans une démarche de qualification de ce matériau pour de futures applications spatiales. Le(La) stagiaire intégrera le bureau d'études mécanique et participera à la caractérisation expérimentale de ses propriétés mécaniques et dynamiques.

OBJECTIFS : Une première partie du stage consistera à réaliser une étude bibliographique sur les composites Al/Si C afin d'identifier leurs procédés de fabrication, leurs propriétés, leurs domaines d'application ainsi que les méthodes de caractérisation existantes.

Le(La) stagiaire participera ensuite au suivi et à l'exploitation d'essais de traction et d'essais vibratoires réalisés sur des éprouvettes. Les essais vibratoires seront effectués sur une poutre en castrée-libre spécialement développée pour identifier le module d'Young dynamique, les fréquences propres et l'amortissement du matériau. Les résultats seront comparés à des modèles analytiques et à un modèle par éléments finis afin de valider les propriétés identifiées.

L'objectif du stage est de développer une méthodologie de caractérisation permettant d'alimenter les modèles de calcul du bureau d'études et d'évaluer l'intérêt de ce matériau pour des applications structurelles spatiales.

Ce stage associe expérimentation, analyse de données, modélisation et simulation numérique, et offre une vision complète de la démarche de qualification d'un nouveau matériau.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

GUILLERMAND Corentin
E-mail : corentin.Guillermmand@cea.fr

CONTEXTE : La rentrée atmosphérique des capsules spatiales est un phénomène qui soumet le véhicule à des vitesses hypersoniques, des contraintes thermiques et mécaniques extrêmes. Lors de cette phase, la capsule est soumise à des températures pouvant dépasser 4000°C en raison de l'interaction avec l'atmosphère terrestre, ce qui nécessite des matériaux et des systèmes de protection thermique performants. Pour simuler ces conditions en laboratoire, des essais sol au jet de plasma (JP) sont réalisés. Ces essais permettent de reproduire les flux thermiques et les conditions aérodynamiques hypersoniques rencontrées lors de la rentrée atmosphérique, offrant ainsi la possibilité de tester et valider les performances des matériaux et des systèmes de protection thermique avant les vols.

OBJECTIFS : Le (la) stagiaire sera amené(e) à concevoir des expériences sol avec des configurations originales d'éprouvettes, en explorant des géométries et des conditions d'essais inédites. L'objectif est de pousser les limites des configurations actuellement testées pour améliorer la compréhension des phénomènes aérothermiques.

La méthodologie mise en œuvre sera la suivante :

- Conception d'expériences sol :

Définir des configurations originales d'éprouvettes en collaboration avec les experts du domaine.

Explorer différentes géométries et conditions d'essais pour maximiser les retombées scientifiques et technologiques.

- Maillage et simulations CFD :

Réaliser des maillages adaptés aux configurations proposées.

Utiliser un code de dynamique des fluides (CFD) couplé aérothermique pour simuler les essais JP.

Analyser les résultats des simulations pour évaluer les performances des configurations testées et identifier les améliorations possibles.

- Résultats attendus :

Conception de nouvelles configurations d'éprouvettes pour les essais JP.

Maillages et simulations CFD couplées aérothermiques pour évaluer les performances des configurations proposées.

Analyse des résultats et recommandations pour les futures expériences sol.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mécanique des fluides

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Logiciel CFD, Python

CENTRE

CEA/Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

Tél : 05-57-04-40-00

Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

LATAPPY Claire

E-mail : claire.latappy@cea.fr

NAULEAU Florent

E-mail : florent.nauleau@cea.fr

CONTEXTE : Les activités de la DAM nécessitent de réaliser des simulations numériques sur des structures mécaniques soumises à des sollicitations dynamiques. Ces simulations sont réalisées essentiellement à l'aide du code commercial Abaqus développé par Dassault Systèmes. Outre le problème de licence inhérent à un code commercial, l'aspect non open source et les possibles régressions qui peuvent survenir avec le changement de version peuvent présenter un problème pour les projets de la DAM. Dans ce contexte, un code open source comme le code Manta développé au CEA / Saclay peut présenter un intérêt non négligeable, si celui-ci peut s'appliquer aux études réalisées à la DAM.

OBJECTIFS : L'objectif principal de ce stage sera de prendre en main le code de calcul Manta et de réaliser une série de cas test de réponse structurale déjà réalisés avec Abaqus afin de comparer les performances des deux codes. Ce benchmark permettra d'obtenir une base de données de résultats de comparaison permettant de valider ou pas l'utilisation de Manta dans le cadre des études réalisées par le CEA / CESTA sur la réponse structurale. Le(la) candidat(e) devra avoir de bonnes bases dans l'utilisation d'Abaqus, ainsi que de solides connaissances en informatique, le code Manta ne possédant pas d'interface graphique. Suivant la progression du stage, des échanges pourront être envisagés avec différentes équipes du CEA. Le(la) candidat(e) sera probablement aussi amené(e) à échanger avec les développeurs de Manta au CEA / Saclay.

Ce stage permettra au(à la) candidat(e) d'acquérir de solides compétences en simulation numérique appliquée à des cas concrets de mécanique avec le code open-source Manta.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Abaqus

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

LESCOUTE Emilien
E-mail : emilien.lescouste@cea.fr

CONTEXTE : Au CEA/CESTA, une démarche s'appuyant sur le triptyque « essais – modélisations – simulations » a été mise en place afin de concevoir et de garantir la tenue de structures aéronautiques.

Le sujet de ce stage s'appuiera sur ce triptyque dans le cas particulier d'une sollicitation impulsionnelle sévère appliquée à une structure. Cette dernière est un cylindre intégrant différents lests métalliques, bridés ou suspendus, soumis à une sollicitation externe brève et intense qui la met en vibration. Le sujet de ce stage est de travailler sur les différentes étapes de la démarche dont :

- 1/ la caractérisation et la modélisation du terme source sur des essais élémentaires,
- 2/ l'intégration du terme source dans les simulations de réponse vibratoire,
- 3/ la réalisation et l'analyse des simulations de réponse vibratoire de la structure complète.

OBJECTIFS : Ce stage permettra ainsi à l'étudiant(e) d'acquérir des compétences dans les trois domaines (expérimentation, modélisation et simulation) tout en restant dans un cadre industriel.

Le point 1 traitera de la caractérisation et de la modélisation du terme source. Des essais élémentaires, réalisés sur un autre centre CEA, seront à traiter pour valider la modélisation de ce terme source, à la fois avec un code hydrodynamique et avec le logiciel Abaqus en dynamique. Le point 2 est primordial car il aura pour objectif de développer une routine externe (VDLOAD) au logiciel Abaqus afin d'implémenter le terme source dans les modèles de réponse vibratoire. Cette routine fera donc le lien entre les deux codes de calcul. Le point 3 fera l'objet de simulations sous Abaqus sur la structure complète afin d'évaluer les accords calculs/mesures et ainsi valider les modélisations du terme source et de la structure.

Des connaissances en Fortran et en Python sont demandées pour être parfaitement à l'aise dans la réalisation des objectifs ciblés ci-dessus. L'étudiant(e) aura à s'intéresser à différentes physiques, à des échelles de temps différentes, et avec des codes / logiciels de calculs différents. Le traitement de résultats expérimentaux et leur confrontation aux résultats numériques pourront être intégrés au stage selon le planning des essais et la date d'arrivée de l'étudiant(e). Enfin, une partie codage sera nécessaire pour coupler les résultats du premier outil de calcul avec le second logiciel de simulation.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Travail en environnement Linux

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Abaqus, Fortran, Python

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

PERAUD Nicolas
E-mail : nicolas.peraud@cea.fr
ALONSO Charlotte
E-mail : charlotte.alonso@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA CESTA s'intéresse au comportement dynamique des matériaux soumis à des sollicitations extrêmes telles que des chocs et des dépôts d'énergie intenses. La modélisation des matériaux dans ces régimes dynamiques repose notamment sur l'équation d'état (EE), qui relie les grandeurs telles que pression, densité, température et énergie interne. Pour interpréter des expériences complexes, où les grandeurs thermodynamiques ci-dessus ne sont pas directement mesurables, on a recours à des codes de calcul, dans lesquels des modèles d'EE sont implémentés. Ainsi, par la simulation, en cherchant à reproduire des observations expérimentales, on peut acquérir de manière indirecte une connaissance de l'EE des matériaux. Toutefois, cette méthode indirecte ne permet pas en général de savoir quelles zones de l'EE contribuent le plus (ou le moins) à expliquer les observations. L'objectif de ce stage sera précisément de pallier ce manque.

OBJECTIFS : Le problème de l'explicabilité évoqué ci-dessus se pose également dans un tout autre domaine, celui de l'Intelligence Artificielle (IA), où pour y répondre, des méthodes statistiques innovantes ont été récemment proposées. Le travail du stage consistera donc dans un premier temps à s'approprier ces méthodes statistiques (indices de sensibilité dits "indépendants des moments" tels que les indices HSIC pour Hilbert Space Independent Criterion) ainsi que 3 formalismes d'EE de complexité croissante. Le matériau étudié sera l'aluminium, pour lequel de nombreuses EE sont disponibles, ainsi que de nombreuses données expérimentales. Il s'agira d'être en mesure de quantifier la sensibilité à certaines zones de l'EE. Plusieurs types d'expériences seront soumis à cette étude de sensibilité : expériences de choc et expériences de dépôt d'énergie. L'objectif final sera donc d'une part de comparer les zones d'EE qui expliquent les différentes expériences, et d'autre part d'étudier si les résultats dépendent de la complexité des EE considérées. Le(la) candidat(e) devra donc avoir une culture physique et des notions de thermodynamiques ainsi qu'un attrait pour les méthodes d'apprentissage automatique et d'IA.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

POETTE GAEL
E-mail : gael.poette@cea.fr
HEBERT David
E-mail : david.hebert@cea.fr

CONTEXTE : Pour ses applications, le CEA DAM s'intéresse au comportement des matériaux métalliques sous chargement fortement dynamique, et en particulier à leur endommagement. Pour des matériaux ductiles comme le tantale, l'endommagement a lieu par création de pores (vides), croissance plastique de ceux-ci puis coalescence pouvant mener à la rupture du matériau. Pour représenter ce comportement, on utilise des modèles fondés sur l'homogénéisation d'une cellule sphérique au comportement élasto-plastique et contenant un pore central. Le modèle de plasticité généralement utilisé dans la matrice est isotrope, adapté à une modélisation macroscopique. Cependant, aux premiers stades de la croissance, le pore est de taille inférieure à celle d'un grain dans le polycristal. L'effet du comportement cristallin et non isotrope de la matrice sur la croissance du pore est alors une question ouverte.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de comprendre l'effet du comportement cristallin du matériau lors de l'endommagement ductile dynamique. Pour ce faire, des simulations par éléments finis (code Coddex développé au CEA) seront réalisées sur des cellules unitaires, contenant un pore central dans une matrice, soumises à un chargement dynamique. En fonction des conditions initiales et de chargement, on comparera les réponses obtenues avec deux comportements élastoplastiques de matrices : plasticité isotrope de von Mises (adapté à une description macroscopique) ou élastoplasticité cristalline (décrivant le comportement microscopique). On pourra également s'intéresser à la prise en compte de la déformation par maillage dans la matrice, en particulier à très haute vitesse de déformation. Les résultats seront comparés aux modèles d'homogénéisation usuels pour l'endommagement ductile dynamique. L'objectif final du stage est de proposer des modifications pour les modèles homogénéisés permettant de prendre en compte l'effet du comportement cristallin.

Ce sujet permettra au ou à la stagiaire de développer sa compréhension du comportement mécanique des matériaux, en particulier des modes de déformation cristallins et de l'endommagement ductile, ainsi que ses compétences en modélisation mécanique et en simulation numérique.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Bon niveau en mécanique des matériaux.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Simulation par éléments finis, Python.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CADET Clément
E-mail : clement.cadet@cea.fr
DEQUIEDT Jean-Lin
E-mail : jean-lin.dequiedt@cea.fr

CONTEXTE : L'installation ELSA (Electrons, Lasers, Source X et Applications) du CEA DAM est principalement constituée d'un accélérateur linéaire d'électrons de 30 MeV avec photo-injecteur 2 MV basse fréquence à 144 MHz, une ligne accélératrice 17 MV à 433 MHz, et un post-accélérateur à 1,3 GHz. Les électrons sont utilisés d'une part pour produire du rayonnement de freinage, d'autre part dans le cadre du développement d'une source X Compton Inverse, pour des applications de développement de détecteurs X au profit d'autres grandes installations telles que le Laser Mégajoule et EPURE (radiographie X éclair).

Dans le cadre de la jouvence de l'accélérateur, la configuration des lignes est en cours de refonte, incluant entre autres de nouvelles cavités accélératrices à 1,3 GHz, le déplacement d'un compresseur chicane, les éléments magnétiques de conduite de faisceau, ainsi que les systèmes de mesure.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de compléter l'étude de simulation de transport de faisceau d'électrons associée à ces nouvelles lignes, de concevoir un aimant de spectrométrie et de travailler sur la conception assistée par ordinateur (CAO) pour la conception mécanique de supports et de composants des lignes de faisceau.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Elève Ingénieur ou Master, M1/M2 / Bac+4/Bac+5, avec un intérêt/background en physique.

Ce stage requiert des compétences en magnétisme ou en conception mécanique. Une appétence pour la physique des faisceaux de particules serait un plus de façon à prendre rapidement en main les logiciels de simulations de transport de faisceaux.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : CAO (SolidWorks), Mécanique, Physique.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CHAUCHAT Anne-Sophie
E-mail : anne-sophie.chauchat@cea.fr

CONTEXTE : L'unité d'accueil a pour mission l'assistance à maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre d'ingénierie pour réalisation de projets de construction d'installations nucléaires sur les centres de la Direction des applications militaires du CEA.

Pour ce travail, le(la) stagiaire sera intégré(e) aux équipes techniques en charge des procédés mécaniques (ponts roulants, boîtes à gants, chaîne blindée, portes spéciales, etc.) et sera amené(e) à rencontrer les différents acteurs selon les métiers impliqués (GC, réseaux, ingénierie système, sûreté nucléaire, futur exploitant,...)

OBJECTIFS : Le(la) stagiaire participera à la mise en place d'un référentiel technique basé sur le retour d'expérience sur les équipements mécaniques gérés par le laboratoire (ponts roulants, boîte à gants, chaîne blindée, portes spéciales, trappes, ...). Il(elle) devra organiser des sessions d'échanges avec les salariés du laboratoire sur de nombreuses thématiques (interfaces GC, courant fort, maquette 3D, calcul, sûreté...) et sur toutes les phases de projet (conception, fabrication usine et montage site). Il(elle) devra ensuite récupérer et analyser les éléments techniques sur les différents projets pour pouvoir proposer une synthèse et des préconisations aux différents sujets abordés pendant les échanges.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Ingénieur généraliste ou Installations Industrielles ou mécanique type Arts et Métiers, INSA, UTC ... Une appétence technique et des bonnes compétences de mécanique générale sont indispensables ainsi qu'une connaissance des installations industrielles avec leurs différentes interfaces (GC, équipements, réseaux, process). Le(la) stagiaire doit avoir un bon relationnel, un esprit d'analyse et de synthèse rigoureux et une bonne capacité de restitution rédactionnelle.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

DALSTEIN Éric
E-mail : eric.dalstein@cea.fr

CONTEXTE : Au cours d'essais d'implosion dynamique (vitesse de déformation de l'ordre de 1000-10000 par seconde) de cylindres métalliques, pour certains métaux tels que le titane, certains aciers ..., à partir d'un certain niveau de déformation fonction du matériau et de la vitesse de sollicitation, l'écoulement n'est plus parfaitement radial ; des bandes de cisaillement s'initient en face interne, puis se propagent vers la face externe selon une direction inclinée à 45° de la direction radiale.

OBJECTIFS : L'objet du stage est de tenter de restituer des résultats expérimentaux avec des simulations numériques, en particulier la chronométrie d'apparition des bandes, et l'écartement moyen entre elles.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

JOUVE Dominique
E-mail : dominique.jouve@cea.fr

CONTEXTE : Ce stage explore l'effet de la microstructure sur la réponse dynamique du tantale monocristallin lors d'un choc. Le tantale, métal de structure cubique centrée, est étudié en dynamique moléculaire (DM) pour comprendre comment les dislocations préexistantes influencent le diagramme Us-Up (vitesse de choc vs. vitesse matérielle). Les simulations comparent un cristal parfait à un cristal contenant une microstructure de dislocations contrôlée, afin d'identifier les mécanismes physiques responsables des modifications observées dans la plasticité sous choc. On s'intéressera également à l'effet de l'orientation du matériau par rapport à la direction du choc, ainsi qu'à la forme du diagramme Us-Up et notamment aux éventuelles ruptures de pentes et apparition/disparition d'ondes lors du régime élasto-plastique-transformationnel s'il existe. Le code utilisé sera exaStamp (code de dynamique moléculaire), développé et maintenu dans le laboratoire.

OBJECTIFS : 1) Mettre en place des simulations de dynamique moléculaire (DM) de choc sur du tantale monocristallin, en utilisant des méthodes NEMD (piston) en choc direct ou inverse, pour plusieurs orientations cristallines ([100], [110], [111]) et amplitudes de choc.
2) Introduire une microstructure de dislocations préexistante (boucles glissiles, prismatiques, réseau contrôlé) dans les configurations simulées et étudier la stabilité de ce réseau de défauts initial.
3) Extraire et comparer les diagrammes Us-Up pour les deux cas (cristal parfait vs. cristal avec dislocations), identifier la limite élastique de Hugoniot (HEL) et les ruptures de pente.
4) Analyser la microstructure post-choc via l'algorithme DXA dans OVITO pour relier les observations macroscopiques aux mécanismes microscopiques.
5) Confronter les résultats aux résultats expérimentaux et modèles de plasticité continue lorsqu'ils sont disponibles.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Programmation C ou C++, Post-traitement Python.

Connaissances en physique des matériaux, plasticité cristalline et théorie des dislocations.

Maîtrise de la programmation (Python, bash, C++ serait un plus).

Capacité à manipuler des outils de calcul intensif (HPC) et à analyser des données complexes.

Rigueur dans l'analyse et la rédaction de rapports techniques.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Codes de simulation numériques, Mathématiques, Mécanique, Informatique.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

LAFOURCADE Paul
E-mail : paul.lafourcade@cea.fr

CONTEXTE : Historiquement, le CEA a pour mission de rechercher et de développer les technologies nécessaires à la mise en œuvre de l'atome au service de la France. L'unité à laquelle vous serez rattaché(e) a pour mission de mettre en œuvre des expériences à caractère détonant pour les scientifiques qui le sollicitent. Dans ce cadre, elle définit l'instrumentation, l'agencement et la conduite des expériences tout en garantissant auprès des autorités concernées la sûreté des installations et des personnels. Pour cela, elle s'appuie sur son expérience et sur une série de calculs conservatoires.

L'objectif du stage proposé est de travailler à l'amélioration d'une de ces chaînes de calculs. Pour cela, il sera demandé au(à la) stagiaire d'étudier les mesures expérimentales disponibles, d'identifier les écarts avec la chaîne numérique actuelle, de réaliser des améliorations de ladite chaîne puis enfin de réaliser la prévision numérique des expériences à venir.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est d'améliorer une chaîne de calcul servant à dimensionner des cuves de confinement. Cette chaîne de calcul a été mise en place pour vérifier avant toute expérience que les marges de sûreté sont suffisantes. Validée expérimentalement, elle permet de calculer l'erreur de modèle et ainsi obtenir les marges au plus juste. Il sera demandé au(à la) stagiaire d'étudier les mesures expérimentales disponibles, à savoir des mesures de déformation (jauges), d'accélération (accéléromètres) et d'efforts de liaison (vis instrumentées). Ces dernières ont été acquises sur 25 expériences environ avec une densité de mesure variable. Seulement une dizaine d'expériences sont richement dotées avec plus de 50 voies de mesure. Les autres expériences oscillent entre 10 et 20 voies de mesure. Cette différence est due à une variation dans le temps de la configuration expérimentale (3 configurations) et des chargement étudiés (7 chargements différents) nécessitant une requalification de la chaîne numérique. Les autres expériences ont pour ambition de vérifier qu'il n'y a pas d'écart avec les prévisions. Le(la) stagiaire aura pour mission de faire un bilan complet des écarts avec la chaîne de calcul actuelle. Il lui sera fourni pour cela tous les éléments numériques nécessaires. Il(elle) devra proposer des améliorations de modèles et recalculer l'erreur de modèle associée.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Abaqus, Python, Linux

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

MIALON Jean-Louis
E-mail : jean-louis.mialon@cea.fr
VERWAERDE Richard
E-mail : richard.verwaerde@cea.fr

CONTEXTE : La mise au point et l'utilisation de matériaux organiques, céramiques et composites est une thématique incontournable de la DAM. La nécessité de connaître précisément les propriétés thermiques de ces matériaux et leur comportement en température est un enjeu technique fort. Un nouvel équipement de pointe, un calorimètre différentiel à balayage (DSC) équipé d'un passeur automatique, vient d'être installé dans nos locaux. Cet outil moderne permet d'automatiser et d'optimiser les mesures thermiques, offrant ainsi une précision et une efficacité accrues.

OBJECTIFS : Le stage, axé sur la métrologie, a pour objectif principal la mise en place d'un mode opératoire d'étalonnage spécifique pour les dispositifs de surveillance et de mesure. Ce protocole permettra de garantir la fiabilité et la traçabilité des mesures effectuées avec le nouveau calorimètre. De plus, les valeurs de caractérisation mesurées doivent être accompagnées d'une plage d'incertitude pour leur exploitation, ce qui est essentiel pour évaluer la qualité et la fiabilité des résultats obtenus.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+2/+3

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Niveau DUT mesures physiques

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Excel

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

BOURBON Emmanuel
E-mail : emmanuel.bourbon@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA/DAM étudie depuis plusieurs années les procédés de fabrication additive. Ces travaux ont pour objectif d'évaluer les nouvelles possibilités offertes par ces technologies, avec trois principaux axes de recherche:

- Un axe "performance" : exploiter les capacités et limites des procédés existants pour les appliquer à des problématiques concrètes.
 - Un axe "matériaux" : élargissement du catalogue de matériaux utilisables (métallique, céramique, composite, conducteur électrique, magnétique).
 - Un axe "procédé" : étude de nouveaux procédés de fabrication additive (robotisé, impression 3D 5 axes, multi-procédé impression/fraisage).
- Le sujet proposé se rapproche principalement des axes "performance" et "matériaux".

OBJECTIFS : La fabrication additive permet de contrôler finement la micro- et méso-structure des pièces imprimées, notamment à travers les paramètres de dépôt de matière. En particulier, la présence de porosités inter-cordons, résultant d'une sous-extrusion contrôlée, peut modifier significativement les propriétés mécaniques des pièces. Pour les matériaux souples (TPU, TPE, PEBA en FDM ou silicones en robotcasting bi-composant), ces méso-porosités de l'ordre de quelques dizaines de microns peuvent être exploitées non pas comme des défauts, mais comme un levier de conception permettant d'assouplir le matériau, d'augmenter sa compressibilité ou d'ajuster sa réponse mécanique. L'objectif de ce stage est d'étudier, maîtriser et quantifier l'influence de ces méso-porosités sur le comportement mécanique, en particulier en compression, pour des pièces imprimées en fabrication additive.

Les travaux porteront sur :

- Étude bibliographique et état de l'art (analyse des travaux existants sur la porosité en fabrication additive, étude du comportement mécanique des matériaux souples imprimés, identification des méthodes de caractérisation adaptées)
- Mise en œuvre de la sous-extrusion contrôlée (définition des paramètres d'impression influençant la porosité, mise en place de stratégies de sous-extrusion reproductibles en FDM)
- Caractérisation des méso-porosités (observation des porosités inter-cordons, mesure de la taille (dizaines de microns), de la distribution et du taux de porosité)
- Essais mécaniques (réalisation d'essais de compression quasi-statique, analyse des courbes contrainte déformation : module apparent, seuil de compression, hystérésis, comportement non linéaire, étude de l'influence du taux et de la morphologie des porosités sur la réponse mécanique)
- Echanges avec l'ingénieur en simulation numérique pour la modélisation des structurés réalisés et la comparaison calcul-mesure

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Capacité de synthèse, autonomie, connaissances en programmation ou en algorithmique, bonne capacité de rédaction, rigueur, travail en équipe, notions en matériaux et calculs éléments finis

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : PrusaSlicer, Duet RRF, calculs FEM

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

BUNEL Félix
E-mail : felix.bunel@cea.fr
CHARRUE Arthur
E-mail : arthur.charrue@cea.fr

CONTEXTE : La vulnérabilité des infrastructures aux agressions générées par une charge est un sujet de recherche majeur du CEA Gramat. Notre outil technico-opérationnel met en œuvre des algorithmes permettant d'évaluer la capacité d'un projectile à perforer une paroi. Les travaux proposés s'inscrivent dans une démarche d'amélioration continue de la précision des outils de simulation.

OBJECTIFS : Au cours de la perforation d'une dalle, le béton est sujet au phénomène d'écaillage qui consiste au décollement d'une couche du matériau. Ce phénomène est déterminant dans l'étude de la capacité d'un projectile à perforer ou non une paroi.

L'objectif des travaux de ce stage est de développer un modèle analytique ou un métamodèle permettant de calculer l'épaisseur de l'écaillage d'une dalle en béton. Le modèle devra prendre en compte les paramètres géométriques du projectile (longueur, diamètre, courbure et masse) ainsi que les caractéristiques matériaux de la paroi (résistance en traction/compression, densité, célérité du son).

Dans un premier temps, le(la) stagiaire bénéficiera d'une formation au logiciel éléments finis (EF) Abaqus et se familiarisera avec les problématiques liées au comportement mécanique des matériaux.

Par la suite, il développera des modèles de simulation (EF) d'impact de projectile face à une cible type infrastructure. Il mettra à profit une base de données expérimentales afin de valider ces calculs EF.

Ensuite, le modèle de simulation sera mis en œuvre d'une part, pour réaliser une étude de sensibilité sur les paramètres du problème et d'autre part, pour générer une base de données de référence. Cette dernière sera enfin exploitée afin de proposer un modèle analytique ou un métamodèle.

Enfin, les travaux réalisés seront déployés dans l'outil interne du CEA Gramat afin d'être confrontés à des résultats expérimentaux de référence.

Le(La) stagiaire développera les compétences suivantes :

- Simulation numérique en dynamique rapide
- Modélisation de la perforation
- Logiciel Abaqus/explicit
- Analyse statistique

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

BOURIQUET Damien
E-mail : damien.bouriquet@cea.fr
GREIN Clément
E-mail : clement.grein@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Gramat évalue la vulnérabilité des systèmes aux effets des armes. A cette fin, il développe et met en œuvre un ensemble d'outils de calculs et d'expérimentations plus ou moins complexes et rapides en fonction de la précision et du délai exigés, parmi lesquels des outils très rapides dits outils technico-opérationnels. Ces outils, servant à réaliser de nombreuses études paramétriques, s'appuient en majeure partie sur une description analytique des phénomènes en jeu.

Plusieurs phénomènes physiques ont déjà pu être décrits et ont servi à alimenter un code permettant de restituer de manière satisfaisante les capacités de pénétration d'un jet de charge creuse. Un aspect important de cette pénétration n'est pourtant pas encore abordé : il s'agit des effets potentiellement délétères d'un espacement trop important entre deux fragments de jet de charge creuse successifs.

OBJECTIFS : L'objectif du stage sera donc :

1. d'apporter des éléments de compréhension des mécanismes sous-jacents impliquant l'espacement entre fragments grâce à la mise en œuvre d'une étude paramétriques par simulation numérique,
2. de proposer une modélisation adaptée de ces mécanismes,
3. d'implanter cette modélisation dans un code,
4. d'évaluer l'apport de cette modélisation sur les capacités de pénétration d'un jet de charge creuse.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Dynamique rapide, codes de simulation, langage Python

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

EL MAÏ Skander
E-mail : skander.elmai@cea.fr
ARCHAMBAUD Cédric
E-mail : cédric.archambaud@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de ses activités, le CEA Gramat étudie la tenue structurale de bâtiments à des explosions et plus particulièrement au souffle induit. Pour cela, des simulations numériques hydrodynamiques et par éléments finis sont effectuées mais leur utilisation est coûteuse en temps. Des modèles analytiques se basant sur des abaques expérimentaux sont développés et utilisés pour obtenir des réponses plus rapides. Ce stage s'inscrit dans l'amélioration de ces outils analytiques.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est d'améliorer la modélisation et la compréhension des phénomènes de souffle sur un bâtiment générique. Pour cela, l'influence de plusieurs paramètres est à étudier numériquement :

- La distance entre la charge et le bâtiment,
- L'orientation du bâtiment,
- La présence de fenêtres.

Le déroulement du stage suivra comme fil rouge l'étude de la tenue structurale d'un bâtiment à la suite d'une explosion et sera découpé en plusieurs sous-domaines :

- Réalisation d'une étude bibliographique,
- Calcul numérique et analytique de la propagation de l'onde de choc,
- Conversion d'un champ de pression en un chargement uniforme,
- Calcul numérique et analytique de la tenue du bâtiment.

Des connaissances en python sont souhaitées. La connaissance de code comme LS-DYNA et/ou Abaqus serait un plus.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Abaqus (ou Ls-Dyna)

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

FAUVEL Maxime
E-mail : maxime.fauvel@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Gramat, acteur majeur de la recherche et de l'expertise technique au profit de la Défense, dispose de différents moyens expérimentaux permettant de générer des ondes de choc aériennes.

Les essais réalisés sur ses sites expérimentaux sont systématiquement simulés grâce à des outils et des logiciels numériques afin de recaler des modèles.

Un moyen expérimental, en cours de développement dans le cadre d'un projet de post-doctorat, nécessite la mise en place d'un modèle numérique correspondant qui permette d'exploiter pleinement ses capacités. Ce stage s'inscrit dans une démarche plus globale visant à améliorer les méthodes numériques mises en œuvre par l'équipe dans laquelle vous serez intégré(e).

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de proposer un modèle numérique d'une installation expérimentale générant des ondes de choc aériennes. Ce modèle a pour objectif de simuler numériquement les effets des ondes de choc en champ libre et, in fine, sur des structures.

Pour cela, le stage se déroulera en plusieurs phases :

- Réaliser une étude bibliographique sur les approches de modélisation possibles et s'appropriier les travaux passés réalisés au CEA/Gramat,
- Apprendre et se perfectionner à l'utilisation des codes numériques d'hydrodynamique interne au CEA/Gramat afin de mettre en place un modèle numérique de l'installation,
- Evaluer les performances des méthodes numériques retenues en les comparant aux résultats expérimentaux,
- Proposer de nouvelles approches analytiques pour la reconstruction du chargement expérimental sur une structure 3D.

Vous travaillerez en équipe au sein du laboratoire du CEA/Gramat qui est chargé de mettre en place ces modèles, mais également en lien avec l'équipe chargée du développement et de l'exploitation du moyen expérimental en vue d'affiner les comparaisons expériences/calculs.

Les compétences développées au cours du stage en détonique, physique des chocs et simulation numérique en dynamique rapide, pourront être aisément valorisées dans le secteur de la Défense.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mécanique des fluides, détonique, onde de chocs aérienne, simulation numérique

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Code hydrodynamique rapide interne CEA

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

GIRARDIN Pierre
E-mail : pierre.girardin@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Gramat, acteur majeur de la recherche et de l'expertise technique au profit de la Défense, est amené à simuler le comportement de structures métalliques soumises à des sollicitations dynamiques.

Le comportement de ces structures est directement lié à la réponse mécanique des jonctions entre les différents éléments (poutre, plancher, poteaux, etc.). La modélisation fine du comportement d'une jonction métallique est donc indispensable pour simuler correctement la réponse à l'échelle d'une structure.

Ces travaux de modélisation s'inscrivent dans une démarche plus globale visant à améliorer les méthodes numériques mises en œuvre par l'équipe dans laquelle vous serez intégré(e).

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de proposer un modèle numérique précis d'un ou plusieurs types de jonctions métalliques afin de simuler leurs comportements lors d'un chargement dynamique.

Pour cela, le stage se déroulera en plusieurs phases :

- Réaliser une étude bibliographique sur les différents types de jonctions métalliques et leurs modélisations et s'approprier les travaux passés réalisés au CEA/Gramat,
- Apprendre et se perfectionner à l'utilisation des codes numériques de dynamique rapide commerciaux (Abaqus, LS-DYNA) et le code d'hydrodynamique interne CEA,
- Evaluer les performances des modélisations retenues en les comparant à des essais internes et la bibliographie,
- Proposer de nouvelles approches simplifiées du comportement d'une jonction.

Vous travaillerez en équipe au sein du laboratoire du CEA/Gramat qui est chargé de mettre en place ces modèles.

Les compétences développées au cours du stage en physique des chocs, modélisation des structures et simulation numérique en dynamique rapide, pourront être aisément valorisées dans le secteur de la Défense.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Détonique, Onde de choc aérienne, simulation numérique

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Codes de dynamique rapide, mécanique des matériaux et des structures

POURSUITE EN THÈSE : Impossible

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

GIRARDIN Pierre
E-mail : pierre.girardin@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de ses activités pour la Défense, le CEA Gramat développe des outils de modélisation pour évaluer la vulnérabilité d'infrastructures enterrées en béton armé aux impacts et explosions.

La compréhension du comportement mécanique des sols soumis à des sollicitations dynamiques (choc) est nécessaire pour analyser la réponse de la cible. Le CEA Gramat dispose de différents moyens expérimentaux indispensables pour caractériser les géomatériaux. Il s'agit notamment de presses en quasi-statique et de barres d'Hopkinson en dynamique.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de participer à l'optimisation de configurations expérimentales mises en œuvre lors d'essais œdométriques (déformation uniaxiale) sur des géomatériaux (sable ou roche) sur presses et/ou barres d'Hopkinson. Les travaux se concentreront sur la définition des enceintes de confinement par simulation. La simulation numérique doit également permettre d'analyser les incertitudes potentielles ayant des conséquences sur l'exploitation des essais réels. Cette dernière s'appuiera sur une analyse de sensibilité statistique. Il s'agit par exemple de maîtriser la déformation adéquate de l'enceinte, l'influence des frottements entre l'éprouvette et l'enceinte ou la précision visée pour les mesures expérimentales.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Profil recherché : niveau master 1 ou 2, à dominante mécanique et/ou matériaux.

Codes de calcul : ABAQUS, LS-DYNA

Connaissances souhaitables : Python, analyse statistique

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Dynamique rapide, code de calcul par éléments finis

CENTRE

CEA/Gramat

BP 80200 – 46500 Gramat

Tél : 05-65-10-54-32

Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

LE BLANC Gaël

E-mail : gael.leblanc@cea.fr

ARLERY Magali

E-mail : magali.arlery@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de caractérisation dynamique de matériaux d'intérêt, le CEA DAM met en œuvre des chaînes de mesure accélérométrique. La méthodologie de mise en œuvre de ces chaînes de mesures fait l'objet de constantes évolutions pour répondre aux besoins croissants en termes de performance, de tenue mécanique au regard de la bande passante. Afin d'obtenir des mesures, le CEA DAM doit protéger ses capteurs mécaniquement des sollicitations non désirées, notamment des phénomènes de résonance, idéalement sans influencer sur les mesures dans la gamme fréquentielle d'intérêt.

OBJECTIFS : Ce stage a pour but de qualifier une ou des solutions d'intégration des capteurs, et notamment leur amortissement potentiel. Le sujet fait suite à un premier stage qui a eu lieu en 2025. Les missions principales du candidat seront les suivantes :

- Réaliser une étude bibliographique de la mise en œuvre de solutions d'amortissement mécanique ;
- Etudier l'influence des paramètres d'intégration mécanique des capteurs de référence utilisés au CEA/Gramat (fixation, matériaux, procédés, mise sous précontrainte statique) sur la mesure physique (répétabilité, qualité, bande passante) ;
- Qualifier les solutions d'intégration pressenties les plus innovantes sur moyens de laboratoire (tour de chute et barres de Hopkinson) ;
- A partir des données expérimentales, modéliser la réponse temporelle et fréquentielle du capteur et de son intégration, et définir une fonction de transfert afin de remonter à la sollicitation réelle ;
- Contribuer à l'amélioration de la simulation numérique (HPC) de ces solutions d'amortissement.

Ce stage présente un fort socle expérimental, mais nécessite une bonne connaissance de la physique mise en jeu pour analyser les résultats de mesure et pour proposer, qualifier et modéliser les solutions d'intégration ainsi que leur impact métrologique. Si les résultats obtenus expérimentalement et les modélisations associées sont pertinentes, ce stage peut déboucher sur des études plus complètes, notamment numériques.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Selon le profil du candidat : Mécanique, Matériaux et/ou Traitement du signal.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python ou Matlab

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

SOULIGNAC Romain
E-mail : romain.soulignac@cea.fr
LAVAYSSIERE Maylis
E-mail : maylis.lavayssiere@cea.fr

CONTEXTE : La connaissance du comportement mécanique en température d'une pièce nécessite de réaliser des essais mécaniques sur éprouvettes portées aux températures d'intérêt. Cela nécessite le plus souvent l'emploi d'un four permettant de chauffer l'éprouvette. Il est alors primordial de connaître et maîtriser au mieux le comportement thermique du four, l'insertion de l'éprouvette modifiant les conditions thermiques de l'ensemble. Les dimensions de l'éprouvette, la nature du matériau, la disposition des éléments chauffants sont autant de facteurs modifiant la réponse thermique. Il est alors nécessaire de procéder à une modélisation de l'ensemble four+éprouvette si l'on veut maîtriser cette réponse et notamment les gradients thermiques auxquels l'éprouvette est soumise et que l'on souhaite limiter.

OBJECTIFS : Le stage consiste à développer un modèle du four ("jumeau numérique") permettant de simuler la réponse thermique en fonction de la nature et de la géométrie de l'éprouvette insérée ainsi que des différentes configurations d'isolation des pertes thermiques. Ce modèle sera construit sur la base de logiciels éléments finis commerciaux (ABAQUS, COMSOL) mais aussi de codes développés au laboratoire. La vérification expérimentale du modèle développé s'appuiera sur les caractérisations thermiques déjà réalisées au laboratoire ainsi que sur de nouvelles mesures à réaliser.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Transferts Thermiques

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Éléments finis, Python

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

DAOÛT CYRIL
E-mail : cyril.daout@cea.fr
GARCEZ Romain
E-mail : romain.garcez@cea.fr

CONTEXTE : Les équipes du CEA Le Ripault développent de nombreux moyens de caractérisation pour évaluer les performances des différents matériaux utilisés dans le cadre des programmes du CEA-DAM. La caractérisation de la diffusivité thermique de ces matériaux se fait ainsi par méthode de flash thermique.

OBJECTIFS : Cette méthode de caractérisation indirecte repose sur la mesure de l'échauffement d'un échantillon suite à l'absorption surfacique d'un flash de lumière ainsi que sur un modèle décrivant le transfert thermique dans le matériau. La méthode de caractérisation est dite inverse, l'objectif étant de remonter à une valeur de diffusivité thermique permettant de recaler numériquement le signal expérimental mesuré. En fonction des matériaux étudiés, le transfert thermique peut devenir complexe, et un couplage de l'équation de la chaleur avec celle du transfert radiatif s'avère alors nécessaire. Un tel modèle couplé permet ainsi une identification de la diffusivité thermique du matériau, mais implique des temps de calcul plus élevés lors de l'étape d'inversion. Une solution pour pallier cette difficulté est de substituer ce modèle à un modèle d'apprentissage machine pour pouvoir remonter directement à la diffusivité thermique à partir d'un thermogramme expérimental.

L'objectif de cette étude est, dans un premier temps, d'intégrer un nouveau modèle thermique couplé, développé au CEA-DAM, dans la procédure d'inversion existante. Le modèle devra être capable de restituer des thermogrammes déjà obtenus sur des matériaux connus, permettant ainsi de le valider. Une fois cette étape franchie, ce modèle sera utilisé pour générer une base de données de « thermogrammes numériques » à partir de laquelle une démarche d'apprentissage automatique sera développée. Cette base de données pourra être enrichie de thermogrammes expérimentaux pour rendre l'apprentissage plus robuste. Une fois entraîné, ce modèle d'IA sera confronté à l'identification de nouveaux thermogrammes expérimentaux. La comparaison des résultats de ses prédictions avec ceux obtenus par la démarche d'inversion initiale permettra de finir de valider ce nouvel outil.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Appétence pour la simulation numérique
Niveau master 1 ou master 2 en physique ou en spécialité énergétique

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Environnement Linux, Langage Python

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

DAOÛT Cyril
E-mail : cyril.daout@cea.fr
BOURBON Emmanuel
E-mail : emmanuel.bourbon@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Le Ripault, situé à 20 minutes au sud de Tours (Indre et Loire), travaille au profit d'applications de défense nationale et de sécurité.

Pour sa part, l'unité d'accueil a en charge la conception, les calculs et la qualification de sous-ensembles mécaniques complexes.

Dans un contexte opérationnel, ces sous-ensembles sont exposés à des environnements mécaniques extrêmement sévères notamment en termes de vibrations aléatoires et de chocs. Afin de limiter au maximum l'effet de ces sollicitations sur certains composants, le recours à des systèmes amortisseurs est alors nécessaire. Sur le marché, différentes solutions de type amortisseurs passifs sont proposées mais restent majoritairement dimensionnées pour des plages fréquentielles relativement restreintes (type machines tournantes) et dont l'encombrement est le plus souvent incompatible de l'espace disponible dans nos sous-ensembles.

Une démarche de conception et de dimensionnement « à façon » est alors nécessaire pour répondre à nos besoins spécifiques.

OBJECTIFS : Le stage proposé a pour objectif de dimensionner par calcul ces organes au regard des besoins fonctionnels.

Préalablement, une étude bibliographique sera nécessaire pour faire un état des connaissances dans le domaine concerné (appropriation théorique de la thématique, essais de caractérisation des matériaux amortissants les plus pertinents, ...).

La seconde partie du stage sera consacrée au dimensionnement d'un plot amortisseur et à l'étude par simulations de son comportement sous vibrations et chocs avec le logiciel aux éléments finis ABAQUS.

Enfin, une dernière phase aura pour objectif de réaliser une analyse de sensibilité aux paramètres géométriques et matériaux.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mécanique vibratoire

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Calculs aux éléments finis (logiciel ABAQUS)

CENTRE

CEA/Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél : 02-47-34-40-00
Email : stage.ripault@cea.fr

CONTACT

DELMAS Benoît
E-mail : benoit.delmas@cea.fr
JACOMET Adrien
E-mail : adrien.jacomet@cea.fr

CONTEXTE : La partie principale de ce stage est l'exploitation d'essais dynamiques réalisés sur une maquette assimilable à un système masse-ressort précontraint afin d'orienter les choix de modélisations.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est la mise en place et la validation d'un modèle de calcul en identifiant les avantages et inconvénients de chacune des options de calculs de ces deux solveurs implicite/explicite du logiciel Abaqus. La sensibilité des résultats aux différents paramètres (géométrie, matériaux, contacts etc.) sera étudiée. En fonction de l'avancée du stage, de nouveaux essais pourront être proposés/réalisés par le(la) stagiaire.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mécanique ; matériaux ; simulation

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Abaqus

Mécanique et thermique

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

GRAFF Justine
E-mail : justine.graff@cea.fr
BOUCLY Aurélien
E-mail : aurelien.boucly@cea.fr

CONTEXTE : Une maquette d'essai constituée d'une bille entre 2 plaques d'acier doit être soumise à des environnements de type chocs et vibrations.

OBJECTIFS : L'objectif de ces essais est de quantifier la capacité du logiciel Abaqus à restituer ces essais. Le type de sollicitation, les caractéristiques matériaux, les conditions aux limites et la géométrie sont des paramètres dont l'influence devra être étudiée. Le stage se déroulera en plusieurs phases : prévision des essais puis restitution. L'ingénieur(e) stagiaire pilotera le plan d'expériences qui sera évolutif.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mécanique ; matériaux ; simulation

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Abaqus

Mécanique et thermique

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

GRAFF Justine
E-mail : justine.graff@cea.fr
BOUCLY Aurélien
E-mail : aurelien.boucly@cea.fr

MOYENS GÉNÉRAUX ET INSTALLATIONS

CONTEXTE : L'unité d'accueil, implantée sur le centre CEA DAM Valduc, est spécialisée dans les projets de création de nouvelles installations (bâtiments) ou d'adaptation/rénovation d'installations existantes et de la sûreté nucléaire qui leur est associée.

OBJECTIFS : Le stage a pour objectif principal de s'immerger dans les méthodes de travail de l'unité, d'identifier les irritants et les points de friction, et de proposer des solutions pour optimiser les processus.

La/le stagiaire sera amené(e) à analyser et cartographier les activités en fonction de leur valeur ajoutée, à classer les problématiques en fonction de leur pénibilité et de leur impact, et à identifier des pistes d'amélioration pour résoudre ces problématiques. Ce stage vise à contribuer à l'efficacité et à la performance de l'unité, en proposant des solutions et des outils concrets.

La/le stagiaire évoluera au cœur d'une unité pluridisciplinaire (environ 20 personnes) et aura l'opportunité d'appréhender les composantes suivantes :

- Travail dans l'environnement d'une Installation Nucléaire de Base Secrète (INBS) : la/le stagiaire découvrira les spécificités et les exigences liées au travail dans un environnement nucléaire sécurisé et réglementé.
- Découverte des différentes unités en interface : la/le stagiaire aura l'occasion de comprendre les interactions avec les différentes unités impliquées dans la réalisation des missions de l'unité, telles que les achats, les unités techniques et d'autres services supports.
- Optimisation des processus et méthodes de travail : la/le stagiaire participera activement à l'analyse et à l'amélioration des processus et des méthodes de travail, en proposant des solutions pour augmenter l'efficacité et la performance de l'unité.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+2/+3

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : - Connaissances des outils et méthodes utilisés en Amélioration Continue (VSM, Lean, PDCA, Kaizen, 5 Pourquoi, Ishikawa, AMDEC, indicateurs, etc.) ;

- Capacités d'analyse et de synthèse, esprit critique ;
- Capacité d'adaptation de la communication et intelligence émotionnelle ;
- Capacité d'être autonome, organisé.e, de prendre des initiatives.

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

MORELLET Viviane
E-mail : viviane.morellet@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA engage la rénovation de locaux accueillant du public. Les travaux de rénovation, tous corps d'état, devront être réalisés en garantissant une poursuite de l'exploitation. Aux dates prévues du stage, le projet sera au stade de la réalisation des travaux.

OBJECTIFS : Le(La) stagiaire, en appui de l'ingénieur d'affaire Maître d'œuvre du projet, travaillera sur deux missions :

- la validation de la logique d'ordonnancement et de la planification détaillée réalisées par l'entreprise Titulaire du marché de travaux afin de permettre la poursuite de l'exploitation pendant la réalisation des travaux,
- la vérification, sur le terrain, de la réalisation des travaux en accord avec les études d'exécution et les exigences du dossier de consultation.

Le(La) stagiaire évoluera au cœur d'une équipe projet pluridisciplinaire et expérimentée. Il(Elle) aura l'opportunité d'appréhender différentes composantes de la gestion de projet :

- Suivi de l'adéquation des travaux tous corps d'état avec les préconisations techniques,
- Gestion de la configuration et des interfaces,
- Suivi des coûts et de la planification,
- Maîtrise des risques projet,
- Contractualisation et relations commerciales dans le cadre de marchés publics.

Un stage de 3 à 4 mois est proposé pour la première moitié de l'année 2027.

DURÉE : 2-3 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+1/+2

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : • Vous avez un esprit de synthèse et d'initiative, êtes autonome et organisé(e) dans votre travail,

- Vous avez envie de comprendre le fonctionnement des projets de rénovation,
- Vous avez des compétences en lecture de plans et de plannings,
- Vous appréciez le travail en équipe.

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

NIGAY Loïc
E-mail : loic.nigay@cea.fr

NEUTRONIQUE ET PHYSIQUE DES RÉACTEURS

CONTEXTE : Le stage s'effectue dans un laboratoire qui exploite deux accélérateurs électrostatiques, un Tandem 7 MV et un Van De Graaff 4 MV, qui sont en particulier utilisés pour la production de faisceaux de neutrons via les réactions nucléaires suivantes : $D(d,n)^3He$, $T(d,n)^4He$ et $T(p,n)^3He$. Le développement d'une nouvelle ligne de faisceaux est en cours sur l'accélérateur 4 MV. Elle sera dédiée à la production de faisceaux de neutrons à haut flux et collimatés. Pour ce faire, la conception d'un collimateur et d'un arrêt faisceau, constituant l'objectif de ce stage, est nécessaire.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est la conception via des simulations Monte-Carlo avec les codes MCNP et/ou GEANT4 d'un collimateur et d'un arrêt faisceau pour une nouvelle ligne de production neutronique à haut flux en développement sur un accélérateur électrostatique. L'étudiant.e aura la charge de tester, via la simulation, différentes géométries de collimateur afin d'obtenir un faisceau ayant les caractéristiques (taille, flux, ...) nécessaires pour les expériences de physique nucléaire envisagées.

Afin de respecter le zonage radiologique de l'installation et de limiter le taux de neutrons diffusés et de gammas produits, un arrêt faisceau devra également être conçu via simulations.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Programmation C/C++ et/ou Python, Interaction rayonnement matière.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Codes Monte-Carlo MCNP et/ou GEANT4.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

DENIS-PETIT David
E-mail : david.denis-petit@cea.fr
VARIGNON Cyril
E-mail : cyril.varignon@cea.fr

OPTIQUE, OPTRONIQUE

CONTEXTE : Le Laser Mégajoule (LMJ) est une installation scientifique exceptionnelle, utilisée notamment pour la recherche sur la fusion par confinement inertiel. Il met en œuvre 176 lignes laser, chacune composée d'amplificateurs optiques destinés à augmenter l'énergie transportée par les faisceaux. Ces lignes sont alimentées par un pilote laser, comprenant une source fibrée et des modules préamplificateurs (MPA) en espace libre, qui assurent la mise en forme spatiale et temporelle du faisceau injecté. Le pilote est un élément de taille relativement raisonnable par rapport au reste de l'installation et qui peut donc évoluer durant toute la phase d'exploitation du laser de puissance. Dans ce cadre, au sein du CEA/CESTA, un laboratoire développe des briques technologiques innovantes pour améliorer les performances du pilote en termes d'énergie, de stabilité et de cadence susceptibles d'être intégrées dans les systèmes pilote de nouvelle génération.

OBJECTIFS : Dans ce contexte, le stage proposé vise à participer à la phase de test et de caractérisation d'un module de pompage diode haute énergie novateur.

Les objectifs du stage sont :

- de caractériser une nouvelle tête amplificatrice équipée de matériaux composites collés pour optimiser le refroidissement du matériau et l'uniformité du dépôt d'énergie,
- de mettre en place une tête amplificatrice complexe (placement minutieux des diodes laser, des barreaux amplificateurs, etc.),
- d'aligner optiquement la tête amplificatrice,
- de réaliser des mesures de gain, de déformation de front d'onde et d'élévation thermique du système,
- de comparer les résultats expérimentaux avec des simulations numériques (Python, COMSOL, Zemax). La maîtrise des trois logiciels n'est pas nécessaire.

Il s'agira, dans le cadre d'une démarche scientifique classique en immersion dans un environnement laser de haute technologie, de développer des études expérimentales et numériques pour valider des concepts technologiques dans l'objectif de parvenir à un système réellement exploitable dans le contexte exigeant des lasers de puissance.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

BLANCHET Laura
E-mail : laura.blanchet@cea.fr
MONTANT Sébastien
E-mail : sebastien.montant@cea.fr

CONTEXTE : De nombreuses expériences réalisées au sein de la Direction des applications militaires du CEA mettent en œuvre des diagnostics expérimentaux basés sur des mesures optoélectroniques. Le laboratoire d'accueil est en charge de la mise au point et de l'amélioration continue de ces diagnostics.

Ce stage se focalise sur la Télémétrie par Interférences Spectrales (TIS), permettant de mesurer la position d'une cible au cours du temps. Ce diagnostic fonctionne sur le principe d'interférences spectrales. Il est composé d'un laser impulsif à large spectre que l'on injecte dans un interféromètre de type Mach-Zehnder composé d'éléments fibrés. L'un des bras de l'interféromètre sert de référence. Quant au second, il intègre la cible à caractériser. Une fibre dispersive est utilisée afin de convertir le signal spectral en sortie de l'interféromètre en un signal temporel, enregistré sur un numériseur ultra rapide (BP > 40 GHz).

OBJECTIFS : Lors du développement du diagnostic TIS, nous avons pu constater l'apparition d'effets parasites dus aux non linéarités, à la polarisation du champ optique, ou encore aux effets dispersifs dans la fibre optique, qui dégradent le signal utile. Ils apparaissent pour des puissances crêtes trop importantes et seront d'autant plus prépondérants dans l'évolution prochaine du diagnostic.

Suite à un premier stage, les différents effets parasites ont été identifiés et caractérisés. Un code de simulation de propagation du pulse dans le diagnostic a également été développé en Python et validé. À partir de ces travaux préliminaires, nous souhaitons atténuer ces effets afin d'augmenter la qualité de l'information mesurée.

Dans ce contexte, l'objectif du stage est d'affiner les résultats par confrontation à l'expérience et de proposer des pistes d'amélioration du diagnostic pour atténuer les effets parasites. Certains composants optiques, tels que l'amplificateur, devront être caractérisés expérimentalement. Une amélioration du modèle est à prévoir afin de modéliser ces nouveaux composants et d'étudier des phénomènes non linéaires d'ordre supérieur.

Le stage est à l'interface programmation/simulation/expérimentation. Un niveau correct dans le langage Python est attendu. Les expériences seront menées en interne sur un banc d'essai de l'unité.

Le stage se déroulera en plusieurs étapes :

- Dans un premier temps, le.a candidat.e prendra en main le diagnostic et le code de simulation associé ;
- Dans un deuxième temps, le.a candidat.e évaluera expérimentalement les différents effets en jeu dans le diagnostic et proposera des pistes d'amélioration pour les atténuer. Il.elle caractérisera les composants optiques actuellement absents de la modélisation ;
- Parallèlement à la partie expérimentale, le.a candidat.e comparera les résultats expérimentaux avec les simulations. Il.elle proposera une évolution du modèle et effectuera son implémentation.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Bonne pratique du langage Python3.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Optique physique, simulation, expérimentation, effets non-linéaires, polarisation, dispersion.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

AZZOLINA Aurélie
E-mail : aurelie.azzolina@cea.fr
RIDOUX Julien
E-mail : julien.ridoux@cea.fr

CONTEXTE : Le sujet proposé porte sur l'étude du comportement d'une plaque métallique soumise à un choc de plusieurs GPa à plusieurs dizaines de GPa. La forme de la surface après choc est porteuse d'informations sur un grand nombre de phénomènes auxquels l'échantillon est soumis (inhomogénéité spatiale du choc, détonations latérales, endommagement interne pouvant conduire à un écaillage ou à un nuage de particules, fracturation, etc.). Les diagnostics couramment utilisés pour visualiser sont de l'imagerie à base de caméra rapide, à l'aide d'éclairage continu ou par laser impulsif. Ces diagnostics n'apportent donc pas directement d'informations sur les déformations 3D de ces plaques. L'holographie laser numérique est un bon candidat pour apporter ces informations.

OBJECTIFS : Ce stage permettra d'approfondir les thématiques suivantes :

- 1/ Application de l'holographie laser numérique ultra rapide à la physique des chocs :
 - Simulation physique de l'holographie, en prenant en compte les conditions expérimentales très particulières (rapidité, utilisation de bundle de fibres ...).
 - Méthodes de reconstructions numériques.
 - Développement des méthodes d'analyse de l'hologramme.
- 2/ Réalisation d'un dispositif expérimental.
- 3/ Caractérisation expérimentale de la déformation de plaques métalliques sous-choc.

L'étudiant.e développera des compétences en modélisation optique, traitement du signal et expérimentation avec des lasers.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Goût prononcé pour l'optique, tant expérimentale que théorique et la comparaison simulation/expérience.
Autonomie, curiosité scientifique.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Matlab.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BURIE Jean-René
E-mail : jean-rene.burie@cea.fr

CONTEXTE : L'installation ELSA (Electrons, Lasers, Source X et Applications) du CEA DAM est principalement constituée d'un accélérateur linéaire d'électrons de 30 MeV avec photo-injecteur 2 MV basse fréquence à 144 MHz, une ligne accélératrice 17 MV à 433 MHz, et un post-accélérateur à 1,3 GHz. Les électrons sont utilisés d'une part pour produire du rayonnement de freinage, d'autre part dans le cadre du développement d'une source X Compton Inverse, pour des applications de développement de détecteurs X au profit d'autres grandes installations telles que le Laser Mégajoule et EPURE (radiographie X éclair).

OBJECTIFS : Lors du transport d'un faisceau d'électrons dans un accélérateur, une certaine proportion des paquets de particules est perdue par effet de halo, ou à cause d'aberrations "optiques" des éléments magnétiques de guidage et de focalisation. Il est très difficile de localiser ces pertes. Or cette localisation permettrait d'optimiser en temps réel le transport, voire de modifier les lignes accélératrices concernées. Une solution émergente consiste à utiliser l'interaction des particules perdues avec des fibres optiques déployées le long des tubes à vide de l'accélérateur. Des résultats prometteurs ont été obtenus lors d'un précédent stage qui ont montré la faisabilité d'un tel système. L'objectif est maintenant de faire le développement complet d'un dispositif reposant sur ce principe pour l'accélérateur ELSA du CEA.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Ce stage est essentiellement théorique et informatique. Des connaissances en optique ou en physique des faisceaux seraient des atouts appréciables.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Optique, Informatique.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

ROSCH Rudolf
E-mail : rudolf.rosch@cea.fr
CHAUCHAT Anne-Sophie
E-mail : anne-sophie.chauchat@cea.fr

CONTEXTE : Dans une cuve contenant un gaz sous pression, une expérience de suivi de la pression en temps réel sera à réaliser à l'aide d'une technologie appelée réseau de Bragg. Cet élément est un miroir optique intégré dans une fibre optique qui a la particularité d'avoir une longueur d'onde de réflexion variant avec la contrainte. Les points clés du stage seront de découvrir la technologie des réseaux de Bragg dans les fibres optiques, découvrir l'instrumentation des équipements sous pression, de déterminer la faisabilité d'une instrumentation de suivi de pression en temps réel à base de réseaux de Bragg. Le stagiaire devra réaliser des expériences pour caractériser la réponse des réseaux de Bragg soumis à la contrainte d'un gaz mis sous pression dans la cuve, réaliser une analyse de données et proposer un statut de faisabilité.

OBJECTIFS : Objectifs du stage :

- Découverte de l'instrumentation en enceinte pressurisée.
- Réalisation d'expérience et suivi de cahier d'expérience.
- Réalisation d'une analyse de données sous Python.
- Réalisation de comptes rendus de suivi d'expérience.
- Réalisation d'un rapport scientifique et technique.

DURÉE : 2-3 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+2/+3

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Intérêt pour l'expérimentation.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Utilisation d'enceinte sous pression.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

VIDALOT Jeffray
E-mail : jeoffray.vidalot@cea.fr

PHYSIQUE DE L'ÉTAT CONDENSÉ, CHIMIE ET NANOSCIENCES

CONTEXTE : L'installation ELSA (Electrons, Lasers, Source X et Applications) du CEA DAM est principalement constituée d'un accélérateur d'électrons de 30 MeV. La génération des électrons se fait par une photocathode illuminée par un laser. La fabrication de ces photocathodes se fait par dépôt de couches minces sur un substrat dans une enceinte sous ultravide. Le dépôt est réalisé en évaporant les matériaux dans l'enceinte. Le rendement des photocathodes est mesuré en illuminant la photocathode avec un rayonnement de la longueur d'onde correspondant aux matériaux déposés (visible ou UV). L'optimisation du rendement des photocathodes dépend de nombreux paramètres, comme la température de chauffage des matériaux et la pression dans l'enceinte.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est à la fois d'améliorer la fabrication des photocathodes en travaillant sur le contrôle-commande du système avec le logiciel LabVIEW mais également de participer à la rénovation du système en proposant la conception d'une nouvelle enceinte de fabrication. Le stagiaire devra bien comprendre le fonctionnement du système actuel, étudier la bibliographie existante sur le sujet et proposer des solutions d'amélioration du système actuel ou la conception d'un nouveau système.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Ce stage est essentiellement théorique et informatique. Des connaissances en optique ou en physique des faisceaux seront des atouts appréciables.

L'attrait pour le contrôle commande d'équipements et la mécanique sera un avantage pour ce stage. Des connaissances en LabVIEW sont recommandées.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Optique, Informatique.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CHAUCHAT Anne-Sophie
E-mail : anne-sophie.chauchat@cea.fr

PHYSIQUE DU NOYAU, ATOME, MOLÉCULE

CONTEXTE : Le CEA est l'un des acteurs majeurs dans le domaine de la Fusion par Confinement Inertiel (FCI) en attaque indirecte (AI), qui consiste à très fortement chauffer et comprimer une capsule contenant un combustible D-T pour générer des réactions de fusion et produire de l'énergie. Le Laser Mégajoule (France) est l'une des rares installations laser au monde permettant la réalisation d'expériences grandeur nature de FCI. Depuis plus d'une décennie, les équipes simulent, dimensionnent et réalisent des expériences de plus en plus complexes, afin d'optimiser l'énergétique de cavité, la symétrie, la compression et la température du point chaud et donc d'optimiser le nombre de réactions. De nombreux diagnostics sont implémentés afin de caractériser l'implosion. Pour évaluer la performance de compression, une donnée importante est la densité surfacique de l'ablateur entourant le combustible.

OBJECTIFS : En attaque indirecte, la capsule à imploser est contenue dans une cavité en or qui permet la conversion du rayonnement laser en rayonnement X homogène. Le combustible utilisé actuellement au LMJ est un gaz D₂. Parmi les réactions de fusion possibles, des réactions secondaires entre D et ³He sont attendues et produisent des protons. De l'³He peut aussi être injecté dans le combustible pour augmenter le taux de ces protons. Le spectre initial étant bien connu, la mesure de leur ralentissement après traversée de l'ablateur permet de remonter à la densité surfacique via différentes hypothèses et modèles de ralentissement.

L'objectif de ce stage est de développer un outil de traitement pour doter, à terme, le LMJ de ce diagnostic. Dans ce stage, l'étudiant(e) réalisera une étude bibliographique pour maîtriser le principe de la mesure et le comparer aux autres méthodes existantes. Puis, il(elle) développera un code pour traiter le spectre de protons et déterminer la densité surfacique. Il(elle) devra tenir compte de l'ensemble des milieux traversés par les protons dont la cavité d'or. Il(elle) évaluera l'ensemble des hypothèses et réalisera une étude de la sensibilité du résultat en fonction des incertitudes (métrologie des cibles, température...). Il(elle) évaluera aussi l'effet des champs électromagnétiques sur la précision de la mesure. Il(elle) devra ainsi déterminer la plage de valeurs mesurables et estimer la barre d'erreur sur le résultat. Il(elle) pourra tester la fiabilité du code à partir de jeux de données synthétiques produits par le code hydrodynamique TROLL.

Enfin, il(elle) pourra participer aux réflexions de dimensionnement et mise en œuvre de cette mesure au LMJ et des moyens de tests nécessaires.

Une poursuite en thèse dans l'unité, sur ce sujet ou un sujet connexe, sera encouragée.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Physique des plasmas. Compétences en programmation scientifique. Autonomie, désir d'apprendre, rigueur et sens critique.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Bonnes bases en programmation scientifique (Python)

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BACCOU Claire
E-mail : claire.baccou@cea.fr

CONTEXTE : La caractérisation des plasmas chauds, tels que ceux mis en œuvre dans le cadre des recherches sur la fusion, s'avère indispensable dès lors qu'on cherche à en optimiser la mise en œuvre. La spectroscopie d'émission est connue pour être particulièrement bien adaptée pour la caractérisation des plasmas chauds. Dans le but de disposer d'un diagnostic simultané de la température et de la densité électroniques de ce type de milieu, il a été imaginé d'incorporer sous forme de traceurs dans un échantillon porté à l'état plasma, un couple d'éléments respectivement adaptés à la spectroscopie de couche K (sensible à la température électronique) et L (sensible à la densité électronique). Des expériences récentes, basées sur ce concept, ont fourni des résultats encourageants qui motivent le présent sujet de stage.

OBJECTIFS : Après une étude bibliographique de l'état de l'art, le.a candidat.e sera amené.e à tester le traitement des effets instationnaires dans le calcul de la cinétique atomique de plasmas de mélange chauds et détendus hors équilibre thermodynamique local (HETL). A cette occasion, le.a candidat.e acquerra des compétences en physique atomique, en physique des plasmas. Il.elle étudiera notamment l'impact d'effets instationnaires sur la caractérisation des plasmas HETL. A cette occasion, le.a candidat.e acquerra des compétences en spectroscopie atomique et en simulation numérique.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Connaissances en physique fondamentale (option physique des plasmas et/ou physique atomique).

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Connaissance des langages de programmation PYTHON et FORTRAN.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BLANCARD Christophe
E-mail : christophe.blancard@cea.fr

CONTEXTE : Le Laser Mégajoule (LMJ) et le laser Petal permettent de réaliser des expériences dans des conditions extrêmes : physique des plasmas à haute énergie et densité, astrophysique de laboratoire, études pour la fusion par confinement inertiel, génération de particules par interaction laser-matière. On réalise différents types de mesures à partir des rayonnements et particules émis pendant les expériences. En particulier, pour déterminer la composition, la température et la densité d'un plasma, on compare le spectre du rayonnement X qu'il émet avec des simulations de physique atomique. On reconstruit les spectres à partir des mesures d'un spectromètre X, ce qui nécessite de bien caractériser la réponse de ce spectromètre. Pour cela, on a réalisé avec le spectromètre X du LMJ des mesures sur des plasmas dans des configurations simples.

OBJECTIFS : Le stagiaire analysera des données acquises avec un spectromètre X lors d'expériences en configuration simple sur le laser Mégajoule. Il/elle interprétera ces mesures par comparaison avec des simulations de physique atomique, afin d'une part de vérifier la cohérence avec les températures et densités attendues du plasma, et d'autre part d'améliorer la connaissance de la réponse du spectromètre. Il/elle développera ensuite une méthode d'analyse systématique pour ce type d'expériences. Pendant ce stage, l'étudiant.e développera des compétences en analyse de données sous Python, apprendra à utiliser le logiciel de physique atomique Saphyr, et acquerra des connaissances en physique atomique de la matière ionisée et en instrumentation de mesure des rayonnements X.

DURÉE : 2-3 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Connaissances en Python.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BONNEAU Marie
E-mail : marie.bonneau@cea.fr
MARTINEZ Bertrand
E-mail : bertrand.martinez@cea.fr

CONTEXTE : Comprendre les propriétés de la matière dense et chaude (densités proches du solide et températures de l'ordre de 10^7 K) reste un défi scientifique majeur, et l'utilisation de lasers d'Ultra-Haute Intensité (UHI) est actuellement l'un des seuls moyens pour l'étudier en laboratoire. Lors de l'interaction, l'énergie du laser est déposée sur une durée ultrabrève, entraînant un chauffage isochore (extrêmement rapide, sans que la cible n'ait le temps de se détendre). Les propriétés radiatives des cibles, c'est-à-dire l'émission ou l'absorption de rayonnement X, peuvent être mesurées expérimentalement et sont un moyen de sonder cet état de la matière. Cependant, la compréhension fine des mécanismes physiques gouvernant le chauffage et les propriétés radiatives des cibles solides irradiées par de tels lasers reste une question scientifique ouverte, à la frontière entre la physique de l'interaction laser-plasma UHI et la physique atomique qui gouverne l'émission X.

OBJECTIFS : Le but de ce stage sera de simuler l'interaction laser-cible avec le code CALDER, 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 et intègre certains modules de physique utiles à la description des plasmas denses et chauds, tels que l'ionisation, l'émission de rayonnement X ou sa réabsorption par le plasma. CALDER est développé dans le laboratoire d'accueil et est utilisé sur les supercalculateurs du CEA, auxquels le.a candidat.e aura accès. L'étudiant.e aura pour but de tester les capacités et limites du code CALDER à simuler ces plasmas, puis de modéliser des expériences récentes ou envisagées, destinées à mettre en condition et étudier ces plasmas denses et chauds. Des codes de physique atomique pourront aussi être utilisés pour affiner les spectres de rayonnement X simulés par CALDER, en considérant des densités et températures données par CALDER. À partir de ces simulations, le.a candidat.e cherchera à comprendre les effets physiques prépondérants qui entrent en jeu dans ces plasmas et à proposer des modèles physiques simplifiés pour les décrire.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

DAVOINE Xavier
E-mail : xavier.davoine@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 comme la diffraction X. Cette dernière technique s'avère pourtant très intéressante, car elle permet d'accéder directement aux changements de structure atomique dans les solides comprimés 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 : Le développement de sources X sub-nanoseconde sur les grandes installations laser, générées grâce à l'utilisation de laser intenses, a rendu possible le développement d'un tel diagnostic. Un diagnostic de diffraction X a ainsi été mis au point sur l'installation LULI2000 et offre désormais la possibilité d'étudier avec précision les transitions de phases de matériaux cristallins soumis à de très hautes pressions.

Nos premières études se sont focalisées sur les changements de phase de métaux de transition très fortement choqués, et ont permis dans le même temps de mesurer directement les courbes d'Hugoniot des matériaux étudiés, jusqu'à leur fusion sous choc. En outre, les diagrammes de phase d'autres matériaux ont été récemment étudiés avec une cinétique inédite offerte par ce type d'installation, i.e. en utilisant des profils temporels laser en forme de rampe. Cette technique permet de s'éloigner des Hugoniot principales pour aller explorer d'autres espaces des diagrammes de phase.

En plus de participer à une campagne expérimentale sur l'installation LULI2000 et juillet 2027, le.e stagiaire sera amené.e à analyser ces nouvelles données expérimentales afin de construire ces diagrammes de phase encore inexplorés.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Connaissances en optique expérimentale. Notions appréciées de physique du solide / physique des plasmas.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

DENOEUD Adrien
E-mail : adrien.denoed2@cea.fr

CONTEXTE : La stabilité de la matière résulte de la compétition entre l'interaction coulombienne électrons-noyaux et la nature quantique des électrons. En particulier, dans les plasmas chauds et dilués où les effets d'échange sont négligeables, le caractère délocalisé des électrons empêche un trop grand confinement de ces particules, interdisant ainsi l'effondrement coulombien des électrons sur les noyaux. Cette information cruciale sur la délocalisation des électrons est aujourd'hui typiquement implémentée de manière effective dans les simulations cherchant à évaluer le comportement à N-corps des plasmas (codes de "dynamique moléculaire"). Pour cela, des potentiels semi-classiques sont utilisés, visant à représenter la physique quantique le plus fidèlement possible mais sans en implémenter le formalisme complet, souvent trop coûteux.

OBJECTIFS : Le premier objectif de ce stage est de retrouver la forme de ces potentiels semi-classiques en partant des premiers principes, c'est-à-dire en prenant en compte exactement la délocalisation quantique des électrons, dans la limite non dégénérée. On s'appuiera pour cela sur les méthodes d'échantillonnage d'intégrales de chemin. Dans un deuxième temps, cette approche ab initio sera appliquée à des plasmas d'hydrogène, où l'on cherchera à estimer l'impact de ces corrections sur les grandeurs qui influencent les propriétés radiatives.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

DUVAL Clément
E-mail : clement.duval@cea.fr
FAUSSURIER Gérard
E-mail : gerald.faussurier@cea.fr

CONTEXTE : L'instabilité de Rayleigh-Taylor (RTI) est un processus physique décrivant le mélange d'un fluide lourd tombant dans un fluide plus léger. Ce phénomène renferme une physique riche balayant aussi bien les écoulements linéaires que les régimes turbulents. Elle joue un rôle clé dans de nombreux milieux allant de l'industrie à l'astrophysique, tels que les plasmas de tokamaks ou les explosions de supernovæ. La RTI contribue par exemple à structurer les écoulements de plasma turbulents dans les protubérances solaires, des boucles de plasma qui se forment au-dessus de la chromosphère et s'étendent loin dans la couronne solaire. Dans ces protubérances, comme dans d'autres milieux astrophysiques, la présence d'un champ magnétique ambiant complexifie significativement le développement de la RTI ; bien comprendre cette interaction est ainsi un enjeu crucial pour correctement modéliser la physique qui régit ces milieux.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de progresser dans notre compréhension de l'instabilité de Rayleigh-Taylor dans le cadre d'un plasma magnétisé. Pour ce faire, il sera possible de s'appuyer sur le code KALYPSSO, un solveur de magnétohydrodynamique qui dispose de fonctionnalités de maillage adaptatif et d'une compatibilité GPU, et peut ainsi atteindre les résolutions nécessaires à l'observations de la RTI en un temps de calcul raisonnable. Afin de comprendre l'influence du champ magnétique sur la dynamique de la RTI, le premier objectif sera ainsi de prendre en main ce code, ainsi que les outils de post-traitement qui y sont associés, dont certains pourront être à améliorer ou développer.

Le choix des paramètres des simulations pourra être guidé par les conditions observées en milieu astrophysique, notamment dans les protubérances solaires. Il s'agira de tendre vers un bon niveau de représentativité des phénomènes physiques considérés, ce qui impliquera potentiellement une part de développement afin d'implémenter des fonctionnalités additionnelles aux cas de simulation étudiés (champ magnétique non uniforme, perturbation multimode...).

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Une connaissance en mécanique des fluides, physique des plasmas ou électromagnétisme serait un plus.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, C.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

FERRAND Renaud
E-mail : renaud.ferrand@cea.fr

CONTEXTE : Une des voies explorées pour la réalisation de la fusion nucléaire en laboratoire consiste à chauffer le combustible fusible dans des conditions extrêmes en utilisant l'énergie délivrée par des lasers de forte énergie. Ce processus est complexe et de nombreux mécanismes non linéaires se produisent lors de l'interaction des lasers avec la matière, qui est à l'état de plasma. La compréhension de ces mécanismes nécessite de bien connaître les paramètres du plasma, tels que la température et la densité électronique. Mais connaître les conditions du plasma est difficile ! Lorsque la densité électronique est assez petite, on utilise un faisceau laser sonde dont on mesure la diffusion élastique sur les ondes présentes dans le plasma. Cette mesure se présente sous la forme d'un spectre. L'analyse du spectre permet ensuite de déduire les paramètres du plasma dans la zone sondée.

OBJECTIFS : Cependant, l'analyse des spectres n'est possible que si l'on contraint le modèle décrivant la diffusion Thomson, en choisissant une représentation de la fonction de distribution des particules chargées du plasma. Par exemple, c'est une Maxwellienne si le plasma est à l'équilibre. Le choix de la fonction de distribution est primordial car il modifie l'analyse des spectres.

De nombreux mécanismes physiques peuvent modifier la fonction de distribution. Leur identification nécessite de déterminer la forme de la fonction de distribution. C'est pourquoi nous souhaitons améliorer nos méthodes d'analyse en utilisant des techniques de dérivation automatique (automatic differentiation) et de réseau de neurones artificiels (RNA) s'appuyant sur des techniques de machine learning très récentes. Ces techniques vont nous permettre, via une paramétrisation de la fonction de distribution, de prédire la forme la plus probable de la fonction de distribution, ainsi que les paramètres plasma les plus pertinents pour un spectre donné. Ces paramètres sont les plus précis que l'on puisse obtenir pour caractériser un plasma. L'objectif du stage est donc de pouvoir disposer d'un outil d'analyse de la diffusion Thomson basé sur un RNA et de l'utiliser sur des données analytiques dans un premier temps, puis expérimentales. La connaissance des RNA n'est pas nécessaire, mais être à l'aise avec Python est indispensable.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Physique des plasmas créés par laser ; fusion par confinement inertiel (FCI) ; réseau de neurones ; diffusion Thomson ; python ; JAX

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Machine learning

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

LOISEAU Pascal
E-mail : pascal.loiseau@cea.fr
LAMY Corisande
E-mail : corisande.lamy@cea.fr

CONTEXTE : L'accélération laser-plasma est une méthode unique permettant de produire, sur des distances millimétriques, des faisceaux d'électrons relativistes atteignant des énergies de plusieurs centaines de MeV voire au-delà du GeV. Une série d'expériences menées en collaboration avec le LLNL (USA) a démontré la production de faisceaux d'électrons atteignant des charges extrêmement élevées, au-delà de 1 μC , supérieures aux accélérateurs conventionnels les plus performants. Pour cela, nous avons utilisé le laser PETAL sur l'installation Laser MégaJoule (LMJ). Le stage s'inscrit dans la continuité de ces expériences.

OBJECTIFS : Les faisceaux d'électrons produits par accélération laser-plasma peuvent être utilisés pour sonder soit directement, soit indirectement (en particulier après conversion en rayonnement X), la matière à haute densité d'énergie. Pour cela, on profite en particulier des durées extrêmement courtes (picoseconde à femtoseconde) des faisceaux générés pour sonder des processus tout aussi brefs. Dans l'expérience considérée ici, on utilisera directement le faisceau d'électrons généré par PETAL pour venir radiographier des champs magnétiques induits par les faisceaux laser de forte puissance du LMJ, dans un schéma de type "pompe-sonde". L'objectif premier de ce stage est donc de dimensionner l'expérience, définir les méthodes de détection et simuler le signal observé. L'étudiant.e considérera différents types de faisceaux d'électrons (mono-énergétiques ou spectre large) et différentes configurations et pourra comparer cette méthode avec d'autres types de radiographies (par faisceaux de photons ou d'autres particules chargées, par exemple des protons). Il.elle s'appuiera sur des calculs de tracé de rayons et de transport de particules énergétiques par des méthodes de type Monte-Carlo. En cas de poursuite en thèse, l'étudiant.e pourra effectuer l'analyse des données expérimentales visant à la publication d'un article scientifique.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Formation en physique dans un ou plusieurs de ces domaines : physique des plasmas, physique des accélérateurs, optique, laser.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Calcul numérique (Python ou Matlab/Octave).

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

MAHIEU Benoît
E-mail : benoit.mahieu@cea.fr

CONTEXTE : Les lasers de puissance permettent de réaliser des expériences d'astrophysique de laboratoire en chauffant des échantillons de matière à des millions de degrés et en les comprimant à des densités proches d'un mégabar. Les codes fluides sont utilisés pour simuler ces systèmes, mais ils sont limités car ils ne prennent pas en compte toute la physique mise en jeu. Les physiciens ont donc proposé et implémenté des modèles simplifiés pour réduire le temps de calcul, mais leurs hypothèses trop simplificatrices limitent la capacité d'interprétation de certains résultats expérimentaux.

OBJECTIFS : Lors de ce stage, vous créerez une base de données et entraînerez un réseau de neurones qui évalue les propriétés radiatives d'un plasma de krypton, c'est-à-dire sa capacité à absorber ou propager des radiations. Ces propriétés radiatives sont déduites de fonctions complexes à évaluer et qui dépendent de quelques centaines de paramètres. Le modèle pourra être amélioré et servira à raffiner l'interprétation d'une campagne au Laser Mégajoule (LMJ) du CEA. Au cours du stage, vous acquerez des connaissances théoriques en physique atomique, des compétences en programmation (Linux, Python) et en méthodes de machine learning.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Etudiant(e) en M2 ou en césure avec une formation en mathématiques appliquées et/ou en physique atomique/des plasmas. Curiosité. Notions de programmation.

Physique du noyau, atome, molécule

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

MARTINEZ Bertrand
E-mail : bertrand.martinez@cea.fr

CONTEXTE : Plusieurs objets du système solaire disposent d'un champ magnétique suffisamment important pour créer une magnétosphère : la Terre, Jupiter, Saturne et même certains satellites. Celle-ci se forme par interaction avec du plasma, peuplant le milieu interplanétaire, et provenant la plupart du temps du vent solaire.

Certains objets possèdent également une ionosphère, plus proche de la surface, et à la dynamique complexe, puisqu'interagissant d'une part avec la magnétosphère et d'autre part avec les couches supérieures de l'atmosphère, en particulier la thermosphère pour le cas terrestre.

Les caractéristiques de ces différentes strates varient fortement d'un objet à l'autre, mais également au cours du temps en fonction des courants, injectant ou éjectant de la matière de et vers l'espace, mais aussi de la météo spatiale.

OBJECTIFS : Pour étudier ces interactions entre plasma et magnétosphère, nous utilisons un code de magnétohydrodynamique (MHD) pour résoudre les équations qui régissent ce problème.

L'objectif de ce stage est de modéliser un système magnétosphère-ionosphère-thermosphère global et les principaux échanges d'énergie auquel il est soumis. En particulier, l'étudiant.e pourra implémenter des conditions de vent solaire variables en temps et en espace, mais également les différentes configurations du champ magnétique interplanétaire menant à des structures à grande échelle spécifiques. On pourra également s'intéresser aux mécanismes de dissipation d'énergie aux plus basses altitudes, menant par exemple aux aurores polaires observées sur plusieurs planètes. Pour cela, plusieurs méthodes numériques seront explorées en se basant sur des modèles déjà éprouvés, mais également en se comparant aux données obtenues in situ.

Les compétences acquises seront multi-domaines : numériques (utilisation du code, des supercalculateurs, développement de post-traitement, analyse de données) et physiques (étude bibliographique, mise en place d'un modèle crédible, interprétation des résultats).

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Un bagage en astrophysique et en développement de code (C++, HPC ou CFD) serait apprécié.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Méthodes numériques, Physique des plasmas, Magnétohydrodynamique, Astrophysique.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

MENU Mélissa
E-mail : melissa.menu@cea.fr

CONTEXTE : La spectroscopie est un outil performant de diagnostic de la température et de la densité des plasmas. Elle requiert la modélisation des profils de raie, qui dépendent des interactions entre les atomes ou ions émetteurs avec les autres particules (électrons et ions).

Le sujet du stage porte plus spécifiquement sur l'élargissement par impact électronique.

OBJECTIFS : L'objectif est de calculer l'amplitude de la partie réelle de l'opérateur de collision électronique (qui intervient directement dans la modélisation du profil de raie) en prenant en compte les effets liés à l'environnement plasma, en particulier lorsque la densité est élevée. Il s'agit de proposer un formalisme permettant de décrire au mieux le rôle de l'écrantage et les effets de dégénérescence sur les profils des raies spectrales pour les ions hydrogénoïdes.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Physique atomique des plasmas, mécanique quantique, physique statistique, programmation.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Linux, Python.

Physique du noyau, atome,
molécule

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

PAIN Jean-Christophe
E-mail : jean-christophe.pain@cea.fr

CONTEXTE : Dans les plasmas chauds, le rayonnement qui traverse et interagit avec le plasma joue un rôle important dans le transfert de chaleur. Selon les gradients existant dans le plasma, et ses propriétés d'absorption et d'émission, le rayonnement peut être plus ou moins piégé au sein de zones homogènes, ou, au contraire, fuir hors de ces zones. Dans ce dernier cas, le rayonnement n'est pas en équilibre thermique avec le plasma. Un équilibre thermodynamique du plasma peut néanmoins être instauré localement par les collisions des électrons libres sur les ions. Lorsque le plasma n'est pas suffisamment dense pour cela, il est hors d'équilibre thermodynamique local (hors-ETL).

OBJECTIFS : Les plasmas hors-ETL existent dans la nature (couronne solaire, atmosphères stellaires, disques d'accrétions...) mais sont aussi produits en laboratoire (sources de rayonnement X, Z-pinch, hohlraums). La spectroscopie d'émission des plasmas hors-ETL est en outre un outil pour le diagnostic des sources X astrophysiques et des plasmas de fusion par confinement inertiel.

La description des plasmas hors-ETL est un problème ardu, intimement couplé au problème du transfert de rayonnement. Dans ce stage de nature théorique et numérique, on se propose d'aborder différentes méthodes de description du transfert des raies spectrales dans un plasma hors ETL.

L'objectif sera de se familiariser avec les notions de base du transfert radiatif et de la physique atomique des plasmas. On pourra alors étudier, dans le cadre d'un modèle simplifié, quelques méthodes de résolution du problème de transfert radiatif pour en identifier les intérêts et les limites. La perspective est d'élaborer sur certaines de ces méthodes lors d'une thèse, dans le contexte d'un modèle de plasma hors ETL plus ambitieux.

Le stage s'effectuera au CEA/DAM Île-de-France.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Profil requis : Master 2 en physique ou dernière année d'école d'ingénieur à forte composante de physique. L'étudiant.e doit présenter un intérêt pour la théorie et être à l'aise avec les calculs analytiques, l'analyse numérique et la programmation scientifique.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

PIRON Robin
E-mail : robin.piron@cea.fr

CONTEXTE : Le calcul des fonctions de ralentissement (ou pouvoirs d'arrêt) des particules chargées dans les plasmas denses est important pour les recherches concernant la fusion par confinement inertiel et plus généralement pour les études de la matière dense et tiède (WDM : Warm Dense Matter), dans le but par exemple de connaître l'équation d'état [1] d'un plasma en détente quasi-isentropique. Différents modèles existent comme celui de l'atome moyen qui consiste à représenter l'ensemble du plasma par un ion fictif, dont la charge correspond à l'ionisation moyenne du plasma. Ils permettent d'obtenir, à l'approximation du champ central, la structure électronique la plus probable du plasma. Ces modèles ont besoin d'être testés expérimentalement notamment dans les régimes limites comme celui de la WDM. Les expériences de chauffage par protons permettent d'atteindre ces régimes.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est d'exploiter les modèles de pouvoir d'arrêt déjà étudiés et de les étendre aux conditions WDM. L'étudiant.e commencera par appliquer les modèles existants [2, 3] pour modéliser les pouvoirs d'arrêt des protons dans la matière. Il.elle devra ensuite développer une méthodologie afin d'évaluer le ralentissement d'un faisceau de protons dans la matière et comparer ses résultats avec les mesures des expériences de chauffage protonique [4].

[1] M. E. Foord, D. B. Reisman and P. T. Springer, Rev. Sci. Inst. 75, 2586 (2004).

[2] C. Deutsch and G. Maynard, Mat. Rad. at Extremes 1, 277 (2016).

[3] T. Barges Delattre, S. Rassou and J.-C. Pain, Mat, Rad. at Extremes 10, 067603 (2025).

[4] S. Rassou et al, Contributions to Plasma Physics, 70030, (2025).

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Physique atomique des plasmas, mécanique quantique, physique statistique, programmation.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Linux, Python.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

RASSOU Sébastien
E-mail : sebastien.rassou@cea.fr
PAIN Jean-Christophe
E-mail : jean-christophe.pain@cea.fr

CONTEXTE : Le vent solaire, au contact de la magnétosphère terrestre, génère des instabilités de Kelvin-Helmholtz. Ces instabilités sont la source d'émission d'ondes ultra basse fréquence (ULF) qui accélèrent les électrons évoluant dans toute la magnétosphère en les transportant de la queue de la magnétosphère jusqu'aux ceintures de radiations. Les doses de particules énergétiques reçues par un satellite en orbite autour de la Terre vont en dépendre. Les instabilités de Kelvin-Helmholtz apparaissent aussi dans les expériences de Fusion par Confinement Inertiel (FCI) au niveau de l'interface de la cible lors de la formation du plasma par l'impulsion d'un laser. L'utilisation d'un champ magnétique pour contrôler et amortir les instabilités est une solution prometteuse.

OBJECTIFS : L'objet de ce stage est de calculer numériquement des instabilités de Kelvin-Helmholtz magnétisées (KHM) dans différentes conditions, dont celles de la magnétosphère terrestre et d'expériences avec de grands lasers (Laer Mégajoule et National Ignition Facility). Le.a candidat.e utilisera un code massivement parallèle de magnétohydrodynamique dédié à la simulation de la magnétosphère 3D sous l'influence du vent solaire. Il s'agira de prendre en main le code, son utilisation en parallèle, et ses outils de post-traitement. Le premier objectif est de calculer l'évolution de l'instabilité KHM, d'abord en deux dimensions, pour des configurations académiques de MHD, afin d'appréhender la physique et de quantifier l'influence stabilisatrice du champ magnétique sur l'écoulement. L'écoulement sera défini par des paramètres couvrant un vaste domaine, allant des plasmas de la magnétosphère, froids et dilués, jusqu'aux plasmas denses et chauds des expériences de FCI. Des conditions initiales, monomodes ou multimodes, serviront pour exhiber les principaux modes de croissance.

Le stage sera réalisé au CEA/DAM avec de nombreuses interactions à distance avec des chercheurs de l'APL.

Il a vocation à conduire à une thèse sur un sujet proche si le.a candidat.e montre de bonnes aptitudes.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : En dernière année d'école d'ingénieur ou en Master 2, le.a candidat.e devra posséder de très bonnes bases dans l'une ou plusieurs des disciplines suivantes : calcul numérique et calcul parallèle (Langages : C, F90, MPI, OMP, Python, Shell), physique des plasmas, MHD, mathématiques appliquées, ou en science de l'espace. Anglais indispensable.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, C, Fortran 90, MPI, OpenMP, Shell.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

RIPOLL Jean-François
E-mail : jean-francois.ripoll@cea.fr

CONTEXTE : Les équipements électroniques des satellites en orbite sont constamment soumis aux flux de particules énergétiques qui évoluent au gré des fluctuations du champ magnétique terrestre. Les doses de particules énergétiques reçues dépendent fortement des injections de particules provenant des éjections de masse coronarienne lors d'orages solaires, ainsi que du vent solaire et de la réponse de la magnétosphère terrestre au vent solaire.

OBJECTIFS : Le.a stagiaire aura pour mission d'apprendre à utiliser un code de transport 3D sphérique de particules de type particules-tests développé et utilisé depuis plusieurs années par l'Applied Physics Laboratory (APL) et installé sur un super ordinateur du CEA/DAM. Ce code est dédié à l'étude 3D des particules dans la magnétosphère soumise au vent solaire. La dynamique du vent solaire est résolue par de la magnéto-hydrodynamique 3D et induit des fluctuations du champ magnétique terrestre et du champ électrique ambiant (des ondes à ultra basse fréquence) qui déterminent le transport des particules.

Il s'agira de prendre en main le code, son parallélisme et ses nombreux outils de post-traitement (Paraview et Python) pour reproduire des résultats récents de la littérature, puis de réaliser des simulations des injections de particules dans un champ magnétique terrestre réaliste et variable, représentatif d'un orage solaire. On cherchera à reproduire des accélérations rapides lors d'injections de particules associées à des orages solaires. Selon l'avancé du stage, on pourra commencer à mettre en place un modèle d'interactions onde-électrons. Les résultats des simulations seront comparés aux nombreuses mesures satellites de la mission en cours des Van Allen Probes de la NASA.

Les travaux du stage se structurent naturellement selon 3 axes :

- 1- Théorique (équation des particules tests et de la MHD, physique de la magnétosphère).
- 2- Numérique (algorithmes numériques et parallélisme du code, développements de nouveaux modèles).
- 3- Physique (analyse des simulations et des observations, effets des nouveaux modèles).

Le.a stagiaire travaillera en étroite collaboration avec une étudiante réalisant sa thèse sur cette thématique.

Le stage sera réalisé au CEA/DAM avec de nombreuses interactions à distance avec des chercheurs de l'APL.

Il a vocation à conduire à une thèse sur un sujet proche si le.a candidat.e montre de bonnes aptitudes.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : En dernière année d'école d'ingénieur ou en Master 2, le.a candidat.e devra posséder de très bonnes bases dans l'une ou plusieurs des disciplines suivantes : calcul numérique et calcul parallèle (Langages : C, F90, MPI, OMP, Python, Shell), physique des plasmas, MHD, mathématiques appliquées, ou en science de l'espace. Anglais indispensable.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, C, Fortran 90, MPI, OpenMP, Shell

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

RIPOLL Jean-François
E-mail : jean-francois.ripoll@cea.fr

CONTEXTE : Avec l'important essor de l'activité spatiale, les États et les sociétés commerciales imaginent, investissent et développent de nouveaux concepts spatiaux pour les télécommunications, la navigation, l'observation et la défense qui sont hautement stratégiques pour les peuples et leurs économies. Ces systèmes sont alors soumis à des menaces, soit naturelles et engendrées par les orages magnétiques, soit potentiellement humaines.

Ce stage va s'intéresser, au plan de la physique et de la simulation, aux effets d'activités électromagnétiques sur des systèmes embarqués, et aux moyens d'y remédier ou d'y résister.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage de physique est d'étudier différentes ondes électromagnétiques émises dans l'ionosphère ou la magnétosphère ainsi que leur mesure à distance effectuée depuis des satellites d'observation (e.g. Arase de JAXA et Swarm de l'ESA) afin de mieux comprendre les interactions ondes-particules dans l'espace à orbite basse. En particulier, le stagiaire cherchera à caractériser la propagation des ondes électromagnétiques et leurs propriétés. Pour cela, il/elle utilisera un code de lancer de raies afin de traiter et d'analyser un ensemble d'observations spatiales d'ondes électromagnétiques. Il/elle utilisera et développera des codes numériques en Python pour analyser les résultats et les mesures satellites, afin de comprendre les effets de ces ondes. Il/elle pourra être amené.e à calculer les interactions de ces ondes avec des électrons énergétiques, comme, par exemple, les électrons du milieu ambiant des ceintures de Van Allen.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Physique

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

RIPOLL Jean-François
E-mail : jean-francois.ripoll@cea.fr

CONTEXTE : Les équipements électroniques des satellites en orbite sont constamment soumis aux flux d'électrons énergétiques qui sont piégés par le champ magnétique terrestre dans les ceintures de Van Allen. Les doses reçues dépendent fortement des injections de particules provenant des éjections de masse coronarienne ou du vent solaire et de la dynamique de la magnétosphère, en particulier des ondes électromagnétiques qui affectent la répartition des électrons énergétiques sur les lignes de champs, et qui provoquent des accélérations ou des précipitations des électrons dans l'atmosphère terrestre.

OBJECTIFS : L'objet de ce stage est de contribuer aux études numériques concernant la dynamique de particules énergétiques piégées dans les ceintures de Van Allen et subissant des interactions fortes avec des ondes électromagnétiques ambiantes.

Le stagiaire aura pour mission de prendre en main un code Fokker-Planck de diffusion quasi-linéaire existant et développé depuis plusieurs années au CEA/DAM pour le calcul de l'évolution des ceintures de radiation. Il/elle effectuera des développements physico-numériques dans ce code. Ces développements pourront concerner soit des modèles d'interactions ondes-électrons, qui rendent compte de la diffusion des électrons sous l'effet des ondes électromagnétiques de type siffleur, au travers de la prise en compte de modèles détaillés d'ondes électromagnétiques ou de la résolution plus précise des fréquences de résonance. On cherchera aussi à prendre en compte le champ magnétique variable et non-dipolaire lors d'orages solaires au travers du décodage des invariants adiabatiques.

Une partie importante du stage sera consacrée à la réalisation de simulations pour les valider par comparaison aux mesures satellites récemment obtenues à partir de la mission des Van Allen Probes de la NASA. Cela nécessite de traiter et d'intégrer des données satellites (conditions initiales et limites, profils de flux mesurés de référence, etc.) dans le code de calculs pour réaliser les simulations les plus réalistes. Ces travaux sont en lien avec la météorologie spatiale qui vise à prédire l'environnement particulier autour de la Terre.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

RIPOLL Jean-François
E-mail : jean-francois.ripoll@cea.fr

CONTEXTE : En Fusion par Confinement Inertiel (FCI), l'interaction des faisceaux lasers avec le plasma excite un ensemble de mécanismes instables (les instabilités paramétriques) qui altèrent la propagation des faisceaux et entravent le dépôt de leur énergie dans la cible de FCI. Pour tenter de contrôler ces instabilités, une parade efficace consiste à détruire la cohérence spatio-temporelle des faisceaux afin d'empêcher les instabilités de se développer sur de longues durées ou de grands volumes. Le faisceau est alors dit « lissé ». Quoiqu'efficace, cette technique rend l'interaction du faisceau avec le plasma physiquement complexe et difficile à modéliser, que ce soit via des approches théoriques ou des codes de calcul existants. Pour ces derniers, le coût numérique des simulations est un obstacle majeur, que nous cherchons à contourner via des méthodes de simulation innovantes.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est de perfectionner une méthode numérique développée dans le laboratoire de propagation de faisceaux laser lissés grâce à la décomposition de ces derniers en une somme de rayons lumineux dits épais. Le stagiaire s'appuiera sur un cadre mathématique et un code de simulation récemment développés au cours d'une thèse de doctorat. Plus spécifiquement, le travail réalisé pendant cette thèse a permis de montrer que la précision de la méthode de propagation du faisceau dépend de manière cruciale de l'algorithme qui définit les rayons à émettre.

Le point central de ce travail de stage consistera en l'amélioration de cet algorithme (celui-ci s'appuie sur une décomposition dite en série de Gabor du champ laser) afin de mieux l'adapter à notre situation physique et d'en retirer certaines approximations mathématiques qui pénalisent la précision globale de la simulation. La démonstration de la propagation très précise, via les rayons, du faisceau dans le vide et dans un plasma (en comparaison d'un modèle numérique de référence) constituera un point d'étape important permettant d'asseoir la pertinence de l'approche basée sur les rayons épais.

Dans un second temps, on pourra débiter la tâche autrement plus vaste d'exploiter les rayons épais pour modéliser l'interaction du faisceau laser avec le plasma. Ceci permettra de faire le lien avec la problématique physique centrale pour la FCI de la propagation des faisceaux laser dans un plasma dans des configurations réalistes.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mathématiques appliquées / Physique des plasmas, méthodes numériques.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Programmation informatique (C ou Fortran), bases en MATLAB ou Python.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

SARY Gaétan
E-mail : gaetan.sary@cea.fr

CONTEXTE : Hydrogène et hélium constituent les espèces majoritaires formant les planètes géantes telles que Jupiter et Saturne. Les simulations numériques dites ab initio prédisent une séparation de l'hydrogène et de l'hélium pour des pressions supérieures au mégabar. Ceci a des conséquences importantes pour l'évolution des planètes géantes car une large redistribution de l'hélium et de l'hydrogène influence le bilan énergétique de la planète. Pour étudier cette démixtion, des expériences par choc laser ont été effectuées récemment. De par leurs échelles de temps très courtes (de l'ordre de quelques picosecondes), ces expériences sont sensibles aux effets mésoscopiques et notamment à la nucléation des gouttes d'hélium. Mieux comprendre ces phénomènes est essentiel pour garantir la bonne interprétation des résultats expérimentaux.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est d'utiliser les outils du machine learning pour construire un potentiel classique fidèle aux simulations numériques ab initio. La base de données ab initio est déjà existante mais quelques simulations supplémentaires pourront être nécessaires. Ce potentiel classique sera ensuite utilisé pour créer des simulations grandes échelles et pour caractériser les processus de nucléation lors de la démixtion. Cette étude permettra de mieux contraindre les interprétations expérimentales, mais aussi de mieux comprendre les processus de séparation de phases au sein des planètes géantes.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Fortran, C.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

SOUBIRAN François
E-mail : francois.soubiran@cea.fr

CONTEXTE : Le stage s'effectue dans un laboratoire qui exploite deux accélérateurs électrostatiques : un Van De Graaff 4 MV et un Tandem 7 MV. Ces accélérateurs permettent d'accélérer des ions jusqu'à 4 MeV dans le cas de la première machine, et jusqu'à 14 MeV pour la deuxième. Ces accélérateurs sont utilisés, en particulier, pour la production de faisceaux de neutrons via les réactions nucléaires suivantes : $D(d,n)^3\text{He}$, $T(d,n)^4\text{He}$ et $T(p,n)^3\text{He}$, $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$.

Le stage consiste à caractériser les spectres neutroniques produits par ces réactions à différentes énergies du faisceau et à différents angles par rapport à la cible de production. Pour cela, la méthode du temps de vol sera mise en œuvre afin de déterminer le spectre en énergie des neutrons produits.

Le système de détection sera constitué de détecteurs de neutrons rapides (scintillateurs organiques liquides) associés à un système d'acquisition numérique.

OBJECTIFS : Dans un premier temps, le stage consistera à préparer les expériences : mise en place des détecteurs, réglage des paramètres du système d'acquisition, puis étalonnage en énergie à l'aide de sources radioactives. Des méthodes d'apprentissage automatique pourront être testées afin de faciliter cette procédure d'étalonnage.

Dans un deuxième temps, les mesures sous faisceau seront réalisées pour différentes cibles et énergies de faisceau incident. L'influence de certains paramètres liés à l'accélérateur ou au faisceau sur les spectres neutroniques produits sera étudiée.

Enfin, l'exploitation des données sera effectuée à l'aide de programmes d'analyse qu'il faudra développer (C++).

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : C++

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

VARIGNON Cyril
E-mail : cyril.varignon@cea.fr

QUALITÉ ET ENVIRONNEMENT

CONTEXTE : En relation directe avec l'assistant Qualité du Directeur des applications militaires, le(la) stagiaire sera impliqué(e) dans la mise à jour du système de management de l'ensemble des activités de la DAM, au travers d'actions concrètes.

Il(elle) s'appuiera et échangera très régulièrement avec l'ensemble des acteurs du réseau au travers des différents centres concernés.

Ces actions porteront sur :

- le suivi et l'amélioration du référentiel des audits internes,
- l'amélioration du pilotage des processus avec des indicateurs pertinents,
- la recherche d'efficience au travers de démarche "LEAN MANAGEMENT",
- la participation à la préparation d'un séminaire Qualité à l'horizon 2027.

OBJECTIFS : Durant le stage proposé, les missions principales seront :

- d'améliorer le suivi du référentiel des audits internes ;
- de proposer et mettre en place une formalisation du référentiel de management de la Qualité de l'échelon central, au travers d'un outil collaboratif, en préambule du déploiement d'une gestion électronique des documents DAM ;
- d'apporter une réflexion sur les différents types d'indicateurs à mettre en place, leurs pertinences et leurs utilités ;
- de participer à la mise en œuvre concrète d'indicateurs sur les processus, en lien avec les pilotes ;
- d'animer des réunions et de piloter des groupes de travail sur les indicateurs ;
- de réaliser avec les équipes des analyses de "LEAN MANAGEMENT", dans un objectif de recherche d'efficience de nos activités ;
- de participer à la préparation d'un séminaire Qualité (organisation, planification, suivi actions, réalisation, ...).

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Master QSE en préparation

Motivé(e) et organisé(e), le(la) candidat(e) sélectionné(e) devra faire preuve de rigueur et d'autonomie tout au long de son alternance.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Bureautique, espace collaboratif, IA

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

LEMARIE Laurence
E-mail : laurence.lemarie@cea.fr

SCIENCES DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT

CONTEXTE : Le CEA opère la surveillance sismique du territoire français et réalise des évaluations de l'aléa sismique pour ses centres et à l'échelle de la France métropolitaine. L'évaluation probabiliste de l'aléa sismique, dite PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis), est une méthode couramment utilisée afin d'estimer le mouvement sismique susceptible d'être atteint ou dépassé pendant une période de temps donnée. Cette approche probabiliste prend en compte l'influence de toutes les sources sismiques susceptibles de générer des dégâts en un site, ainsi que leur distribution spatiale et temporelle. En pratique, l'outil utilisé pour effectuer ces calculs est le logiciel OpenQuake, développé par la Global Earthquake Model foundation (GEM). Le format des entrées d'OpenQuake est complexe et nécessite un travail de pré-traitement des données physiques.

OBJECTIFS : Les données brutes d'entrée d'un calcul PSHA comportent notamment des modèles de failles, des catalogues d'événements sismiques et des modèles de zonage sismotectonique, avec leurs paramètres respectifs, et dont plusieurs combinaisons peuvent être prises en entrée d'un ou plusieurs modèles de mouvement du sol à travers un arbre logique. Une série d'outils Python interactifs est utilisée à travers une interface de programmation visuelle pour traiter et convertir ces données d'entrée en fichiers XML compatibles avec le logiciel OpenQuake. L'objectif de ce stage est de poursuivre le développement de ces outils de pré-traitement pour élargir les possibilités de calcul. Parmi ces possibilités : implémenter plusieurs méthodes de prétraitement des catalogues sismiques (homogénéisation, declustering, etc), paramétrer des approches de modèles de source par lissage (zoneless), implémenter des modèles de mouvement du sol paramétriques (approche backbone). Tous les développements seront réalisés en Python et pourront s'inspirer en partie des outils du Model Building Toolkit de GEM. Les calculs PSHA résultants pourront être effectués avec OpenQuake sur les supercalculateurs du TGCC (Très Grand Centre de Calcul).

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Des connaissances en géosciences ou une familiarité avec le type de données manipulées sont souhaitables.

Des compétences en développement d'interfaces graphiques interactives ne sont pas requises, il faudra cependant comprendre et utiliser une API préexistante pour traduire les outils développés en nœuds interactifs de programmation visuelle.

De la rigueur et de l'autonomie dans le travail de développement sont essentiels.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Git

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BERTIN Michaël
E-mail : michael.bertin@cea.fr

CONTEXTE : Le territoire mongol bien qu'affecté par de faibles taux de déformation a été le siège, au cours du siècle dernier, d'une série exceptionnelle de très grands séismes, parmi les plus grands séismes intraplaques connus à ce jour. Parmi ces événements, le séisme de Gobi-Altai 1957 de magnitude 8 a produit des ruptures de surface remarquablement bien préservées. Une importante microsismicité se produit toujours, 68 ans après le choc principal, à proximité des segments de failles activés en 1957. Cette sismicité est enregistrée à un réseau temporaire de stations sismiques. La relation entre cette sismicité et le réseau de failles est encore limitée par de fortes incertitudes de localisation des microséismes enregistrés au réseau.

OBJECTIFS : Le travail de stage consistera à détecter, localiser, puis réaliser la relocalisation relative des microséismes enregistrés en septembre 2026 par le réseau temporaire. Il permettra également de confronter la distribution de cette microsismicité aux structures tectoniques, afin de mieux contraindre les relations entre failles et séismes et les moteurs de la sismicité pendant cette période "postsismique".

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Des connaissances en sismologie ou sismotectonique et une familiarité avec le type de données manipulées sont souhaitables.

De la rigueur et de l'autonomie dans le travail de développement sont essentiels.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, GMT

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BOLLINGER Laurent
E-mail : Laurent.Bollinger@cea.fr

CONTEXTE : La fibre optique, utilisée à des fins de détection d'évènements sismiques, permet d'accéder à de nouvelles zones d'études. C'est le cas notamment pour les océans (70 % de la surface de la planète), parcourus par des tronçons de fibres opérées par les télécoms. L'utilisation de l'interférométrie laser sur une fibre optique (système DAS, Distributed Acoustic Sensor) permet de mesurer la déformation axiale (utilisation de l'élongation de la fibre et mesure du temps de parcours du pulse laser entre son émission et sa réflexion sur les aspérités composant la fibre), et d'obtenir ainsi un capteur continu de déformation de longueur pouvant être plurikilométriques. Le CEA souhaite évaluer les capacités de ce nouvel instrument dans le cadre de ses missions de surveillance sismique.

OBJECTIFS : Le CEA travaille depuis de nombreuses années avec le laboratoire sous-terrain à bas bruit (LSBB <https://lsbb.cnrs.fr/>). Ce site est aujourd'hui très bien caractérisé et est devenu un observatoire de l'environnement sismique. Une première expérience avec de la fibre optique s'est déroulée dans le cadre de l'expérience PREMISE 2, en 2020, où un ensemble de sources sismiques ont été définies afin d'illuminer le massif et de recueillir des mesures du mouvement du sol sur différents types d'instruments. Depuis, une nouvelle expérience par fibre optique au LSBB permet un enregistrement de la sismicité en continu. Des câbles de fibre optique ont notamment été positionnés selon trois directions (horizontales et verticale). Aussi, une analyse détaillée pourra être menée pour comparer différents types de couplages et de déploiement de fibres optiques. Cette étude permettra d'évaluer les performances et la sensibilité de chaque configuration, afin d'optimiser les futures acquisitions sismiques par fibre optique. Des outils de traitement des données devront être exploités pour gérer ces volumes élevés et assurer une analyse rapide et précise.

Le but de ce stage sera d'évaluer la qualité de la mesure de cette nouvelle instrumentation sismique par fibre optique (DAS : Distributed Acoustic Sensing). Ces données seront aussi étudiées quant à la capacité de ces nouvelles mesures sismiques sur fibre optique à fournir une information d'intérêt sur la source du mouvement du sol, en termes de détection, localisation et de mécanisme. Une attention particulière sera apportée à la l'exploitation de la forte densité spatiale de ces mesures DAS pour l'amélioration des algorithmes utilisés dans le cadre des missions de surveillance sismique du CEA.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Les compétences requises pour ce stage incluent un bon niveau en traitement du signal, géophysique et sismologie. Le(la) candidat(e) doit être capable de se confronter à un large jeu de données. Expérience requise en programmation (Python). Bon niveau d'anglais (lu/écrit).

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, GIT

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BREMAUD Vincent
E-mail : vincent.bremaud@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. Par ailleurs, 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). Des tsunamis ont également directement été générés par des glissements de terrain comme celui de 2018 en Indonésie où une partie du volcan s'est effondrée et a impacté la mer (Anak Krakatau).

OBJECTIFS : L'objectif principal du stage sera de prendre en main les codes de modélisation de tsunami d'origine gravitaire utilisés au CEA (Avalanche), à l'IPGP (Hysea), et au BRGM (modèle de glissement de terrain semi empirique Topics) afin de réaliser les simulations depuis la source gravitaire définie lors de l'évènement de 1979 au niveau de l'aéroport de Nice, jusqu'à l'impact côtier sur l'ensemble de la baie des Anges. Une comparaison des résultats entre les trois codes sera réalisée, au regard des observables disponibles. Ce type de comparaison est majeure pour définir l'incertitude de ces modèles lors de leur application à l'évaluation des aléas. En fonction de l'avancée des travaux, d'autres sources hypothétiques pourront être testées.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : le(la) candidat(e) sélectionné(e) aura des compétences en géophysique ainsi qu'une connaissance de l'environnement linux et des notions de modélisation numérique. Des compétences sur les langages/outils suivants seront un plus : Python, Shell, GMT, Qgis.

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

GAILLER Audrey
E-mail : audrey.gailler@cea.fr
MANGENEY Anne
E-mail : mangeney@ipgp.fr

CONTEXTE : L'analyse des dépôts sédimentaires laissés par les tsunamis permet de reconstituer et mieux contraindre des événements antérieurs aux périodes historiques, tout en contribuant à l'évaluation d'aléas côtiers. Les travaux récents ont montré que la fabrique sédimentaire (obtenue notamment via imagerie micro-CT) permet de reconstituer les différentes phases du tsunami, les orientations de courants et les variations de conditions d'écoulement, tandis que les modèles numériques permettent de simuler les différentes phases du tsunami (inondation, stagnation, reflux). La confrontation de ces deux approches, en reliant les signatures géologiques aux processus hydrodynamiques (hauteur de vague, vitesses d'écoulement, phases d'inondation et de retrait), apparaît pertinente pour mieux comprendre la dynamique des tsunamis et discriminer leurs sources.

OBJECTIFS : Ce stage vise à transposer cette approche intégrée à la baie de Vathy (archipel des Cyclades, Grèce), affectée par les tsunamis liés au séisme d'Amorgos de 1956 et à l'éruption minoenne du Santorin (1610 av. J.-C).

Les objectifs principaux sont :

1. Réaliser des simulations numériques haute résolution de tsunamis sur ce site, en testant des scénarios de source sismique et gravitaire.
2. Analyser les champs de courant (direction, intensité, variabilité temporelle) associés aux différentes phases du tsunami.
3. Identifier les phases hydrodynamiques clés (inondation, stagnation, reflux) et leurs signatures en termes de transport sédimentaire.
4. Comparer les résultats de modélisation aux données sédimentaires existantes (variations texturales, géochimiques et fabrique sédimentaire dans les dépôts) acquises et traitées dans le cadre de l'ANR Amorgos), afin de contraindre les dynamiques de dépôt et leur source.

Le stage reposera principalement sur :

1. La modélisation numérique des tsunamis (codes 2D Taitoko et Avalanche du CEA)
2. Une analyse des champs de courant simulés (cartographie des directions d'écoulement, caractérisation des phases d'écoulement)
3. Une comparaison avec les données sédimentaires (intégration de résultats issus d'analyses de fabrique sédimentaire (micro-CT), confrontation directions modélisées vs directions mesurées, interprétation des conditions de dépôt)

Le stage permettra :

1. de mieux contraindre la dynamique des vagues dans la baie
2. d'identifier les phases responsables du/des dépôt(s) sédimentaire(s)
3. de tester la sensibilité aux sources et améliorer leur discrimination
4. de contribuer à une meilleure compréhension des paléo-tsunamis en milieu lagunaire et côtier

Si le temps le permet, une étude similaire pourra être entreprise sur une lagune de Guadeloupe (Pointe du Château), afin de mieux contraindre les sources des deux dépôts de tsunamis plus récents identifiés (événement précolombien et séisme de Lisbonne de 1755).

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Géophysique, travail sous linux, notions de programmation, SIG, GMT

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

GAILLER Audrey
E-mail : audrey.gailler@cea.fr
PARIS Raphaël
E-mail : raphael.paris@uca.fr

CONTEXTE : Dans les études hydrogéologiques, l'estimation de la recharge des nappes est un maillon important du bilan hydrologique et sa bonne caractérisation reste un enjeu majeur. Le schéma de surface de la chaîne de modélisation SIM de Météo France (Isba ou Surfex) permet de faire ce bilan d'eau au niveau de la surface à partir du forçage météorologique. Dans le cas de SAFRAN, la résolution spatiale est de 8 km (maillage de 8 km sur 8 km).

On propose de développer des indicateurs de validation de la composante « Drainage » du schéma de surface Surfex, à l'échelle locale et à un pas de temps infra-journalier, sur la base de la réponse réelle des nappes, à partir d'un jeu de données sur 5 sites contrastés en France métropolitaine et constitué de : 1/ 20 ans de chroniques piézométriques et de débit de rivière, 2/ les précipitations locales et réanalyses SAFRAN et 3/ le bilan d'eau de surface : sorties du modèle SURFEX/ISBA (drainage profond, ruissellement, évapotranspiration).

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de quantifier l'aptitude du modèle SURFEX à reproduire la dynamique de recharge des aquifères et d'analyser les mécanismes de transfert à travers la Zone Non Saturée (ZNS). Les étapes proposées sont :

- l'analyse des signaux piézométriques et de débit puis le calcul de la recharge réelle : contrôle des chroniques, estimation de la recharge par la méthode WTF ou à l'aide des débits spécifiques des rivières, analyse de la courbe de vidange pour isoler les apports liés à la recharge et identification d'éventuels phénomènes non linéaires (rôle de l'épikarst).
- l'évaluation de la performance du modèle SURFEX (ou ISBA) : séquençage temporel (comparaison des dates de déclenchement de la recharge modélisée vs observée), analyse de seuils (étude de la corrélation entre le Soil Water Index (SWI) et le début de l'infiltration profonde), bilan de masse (confrontation des volumes annuels drainés par le modèle et des volumes infiltrés calculés sur le terrain suivant des critères de type Nash-Sutcliffe, KGE, RMSE).
- la caractérisation des temps de transfert : calcul des décalages temporels (corrélation croisée entre le signal météo, le drainage de surface, la réponse piézométrique, la réponse du débit), analyse de l'influence de l'épaisseur de ZNS et de la lithologie sur ces temps de réponse, modélisation simplifiée du retard (fonction de transfert) pour recalculer le drainage de SURFEX sur la piézométrie.
- impact du changement climatique : sur 20 ans, voit-on une modification des périodes de recharge ? Est-ce que la saison de recharge raccourcit avec l'augmentation des températures (et donc de l'évapotranspiration) ?

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

SCHAPER LIONEL
E-mail : lionel.schaper@cea.fr
HABETS Florence
E-mail : florence.habets@ens.fr

SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR

CONTEXTE : L'unité d'accueil a pour mission l'assistance à maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre d'ingénierie pour réalisation de projets de construction d'installations nucléaires sur les centres de la Direction des applications militaires du CEA.

Lors de la construction d'une installation nucléaire, le niveau d'exigence (sûreté, sécurité, étanchéité, feu, ...) impose des travaux de calfeutrement au droit de l'interface entre les réseaux et le génie civil. Avec une forte densité de réseaux inhérente à ce type d'ouvrage et un volume de construction optimisé, la réalisation de ces interventions est soumise à une forte complexité, pouvant impacter l'économie du projet et la tenue du planning.

Cette spécialité en interface avec tous les métiers (génie civil, électricité, réseaux fluides, ventilation, etc) doit être prise en compte à toutes les étapes du projet.

OBJECTIFS : Cette spécialité des rebouchages et calfeutrement doit être prise en compte à toutes les étapes du projet :

- A la conception en définissant la géométrie des ouvrages et les règles de traversée des réseaux, ainsi que le niveau d'exigence pour chacune de ces typologies
- A l'exécution, pour valider les solutions de rebouchage et les méthodes de réalisation, adaptées à chaque typologie
- A l'exploitation pour permettre l'évolution des usages en conformité avec les solutions en place.

L'objectif de ce stage est de synthétiser l'ensemble des contraintes techniques et réglementaires pour définir un guide à destination des concepteurs pour leur permettre d'évaluer la portée financière et planning des choix de conception retenus. Dans le cadre de son stage, le(la) candidat(e) sera intégré(e) à l'équipe projet, et pourra participer ou avoir en charge :

- L'établissement d'un catalogue de typologie de calfeutrement, en fonction de l'usage des métiers qui les exploitent, et des contraintes inhérentes à une installation nucléaire.
- L'étude de projets en cours de définition pour optimiser et argumenter les choix projets, en synthèse avec l'ensemble des acteurs de la conception.
- L'analyse technique et réglementaire de ces solutions, avec une liste des critères d'acceptabilité, et des contraintes associées, et la réalisation de pièces écrites types à intégrer dans les dossiers de consultations.
- La synthèse des REX (Retour d'EXpérience) de mise en œuvre de ces typologies, avec leurs impacts sur les coûts, et délais de réalisation, via le suivi d'opération en cours d'exécution, et l'échange avec les fabricants et poseurs de ces complexes.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Management de projet (initiation)

Base de données (Connaissances)

Travail en équipe, esprit de synthèse, capacité d'écoute, esprit analytique

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CHEYREZY Aurelia
E-mail : aurelia.cheyrezy@cea.fr
POUCIN Jérémy
E-mail : jeremy.poucin@cea.fr

CONTEXTE : Dans les installations nucléaires, l'effet de la chute d'une charge sur la structure porteuse 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, caractéristiques 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 de charge sur les structures en béton armé avec une précision significativement accrue.

OBJECTIFS : Le(la) stagiaire aura pour mission de comparer les résultats obtenus avec différentes méthodes de calcul utilisables pour l'étude des conséquences mécaniques des chutes de charges sur les cibles « génie civil » situées dans les installations nucléaires du CEA. Cette comparaison sera menée à partir d'un cas concret que le(la) stagiaire sera amené(e) à modéliser numériquement via le logiciel LS-DYNA.

Les conclusions tirées de cette étude comparative serviront notamment à identifier les avantages et inconvénients des différentes méthodes en vue de préconiser la mieux adaptée au cas par cas pour chaque projet.

Une analyse de sensibilité sera menée pour confirmer et élargir les conclusions obtenues à un spectre plus important de cas catégorisé suivant l'énergie cinétique d'impact.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Résistance des matériaux, dimensionnement des structures en béton armé, dynamique des structures

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : LS-DYNA

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

ROUZAUD Christophe
E-mail : christophe.rouzaud@cea.fr

CONTEXTE : Dans le cadre de la justification de la sûreté des installations nucléaires, la prise en compte des agressions externes extrêmes est une exigence primordiale. Parmi ces aléas, le risque "Tornado" impose de vérifier l'intégrité structurelle des bâtiments (enceintes en béton armé, charpentes métalliques) face à l'impact de projectiles aéroportés. Le projectile de référence standardisé est couramment une pièce de charpente en bois (madrier) projetée à très haute vitesse. L'évaluation de ces impacts transitoires rapides nécessite l'utilisation de codes de calcul dynamique explicites tels que LS-DYNA.

OBJECTIFS : Si le comportement des cibles (béton armé, acier) est aujourd'hui bien documenté, la modélisation fine du projectile en bois reste un défi majeur. Le bois est un matériau fortement anisotrope dont le comportement sous choc mêle rupture fragile en traction, densification plastique en compression et une forte sensibilité à la vitesse de déformation. La précision de cette modélisation est cruciale pour évaluer correctement le transfert d'énergie et l'endommagement local de la cible.

L'objectif principal est de développer et de valider une méthodologie robuste de modélisation du bois sous impact avec le code LS-DYNA. Le(la) stagiaire s'appuiera sur une campagne d'essais expérimentaux (statiques et dynamiques) menée en parallèle pour alimenter et vérifier ses modèles.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Analyse critique : évaluer et comparer les capacités des principales lois de comportement disponibles dans LS-DYNA pour reproduire la physique du choc.
- Calibration matérielle : exploiter les résultats des essais expérimentaux réalisés en parallèle pour identifier et calibrer les paramètres d'élasticité, de plasticité (écrouissage) et d'endommagement du bois étudié.
- Analyse de sensibilité : identifier les paramètres d'entrée (orientation des fibres, humidité, critères d'érosion, facteurs dynamiques) ayant le plus d'influence sur la force d'impact et l'énergie restituée.
- Validation structurelle : confronter le modèle numérique final à des essais d'impact à échelle représentative sur des cibles typiques du génie civil nucléaire (dalles en béton armé, profilés métalliques).

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Résistance des matériaux, dimensionnement des structures en béton armé, dynamique des structures

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

ROUZAUD Christophe
E-mail : christophe.rouzaud@cea.fr

CONTEXTE : Le CEA Gramat est le centre d'expertise du CEA DAM (Direction des applications militaires) dans le domaine de l'électromagnétisme. 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.

Dans ce contexte, de nombreux signaux temporels et fréquentiels sont collectés. L'analyse de ces signaux est souvent chronophage et peut être imprécise dans la recherche des différents paramètres des formes temporelles. Concernant les courbes d'impédances fréquentielles notamment, la construction d'un modèle électrique équivalent peut-être approximative suivant les signaux et devenir fastidieuse.

OBJECTIFS : L'objectif de ce stage est d'intégrer de l'intelligence artificielle dans ces analyses et notamment du deep learning. Les objectifs sont différents suivant la nature des signaux :

- Dans le domaine temporel : recherche automatique de paramètres influents (temps de montée, amplitude, dV/dt , I^2t , énergie, ...) parmi une base de données de courbes de tensions et courants où des événements redoutés ont pu se produire ou non ;
- Dans le domaine fréquentiel : construction de schémas électriques équivalents constitués de composants passifs en faisant du fitting précis sur des courbes d'impédances fréquentielles issues de mesures ou de calculs.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Etudiant(e) en cycle ingénieur (école d'ingénieurs, master universitaire) spécialisé en mathématiques appliquées, traitement du signal. Domaines : machine learning, deep learning, traitement du signal. Autonomie, sens de l'organisation, curiosité, sens pratique, esprit d'équipe, bonne communication orale et écrite (français/anglais).

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Matlab

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

MEJECAZE Guillaume
E-mail : guillaume.mejecaze@cea.fr

**SÉCURITÉ DU
TRAVAIL ET DES
BIENS -
RADIOPROTECTION**

CONTEXTE : Le stage se déroule dans une installation de gestion de déchets radioactifs comprenant des procédés de traitement et dans une plateforme logistique d'expédition des déchets vers les exutoires.

L'animation de la culture sécurité comprend des évaluations de risques professionnels permettant aux salariés de mieux maîtriser la sécurité au travail. L'évolution des outils d'exploitation et des procédures nécessite une mise à jour annuelle de ces évaluations ainsi qu'un renouvellement régulier des sensibilisations des salariés.

OBJECTIFS : Réalisation d'évaluations de risques professionnels

Participation aux exercices sécurité afin de proposer des axes d'amélioration.

Animation de formations sécurité (causeries) ou d'actions liées à la sécurité.

L'offre de stage, proposée sur une durée de 6 mois, nécessite des qualités relationnelles et d'analyse.

En effet, une bonne communication avec les exploitants et les acteurs de la sécurité et une analyse pertinente des situations sont essentielles pour être capable de synthétiser les actions à mener suivant différents scénarii.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

ZUB Rémy
E-mail : remy.zub@cea.fr

SUPPORT À LA PRODUCTION

CONTEXTE : Le CEA Gramat réalise des campagnes expérimentales, des essais dans plusieurs domaines techniques. À cet effet, une large gamme d'instruments et capteurs est utilisée pour ces expérimentations. Ces équipements doivent être régulièrement étalonnés et/ou vérifiés par l'équipe métrologie du CEA Gramat afin de garantir la précision et la fiabilité des mesures obtenues.

OBJECTIFS : Parmi toute l'instrumentation stockée au sein du CEA Gramat (capteurs, oscilloscopes, analyseurs de réseau vectoriel, ...), une partie significative est rarement utilisée. L'objectif du stage consiste donc à analyser la base de données du matériel afin d'identifier les équipements peu utilisés pouvant être retirés du parc actif. Une fois cette analyse effectuée, il sera nécessaire de proposer une organisation optimisée des espaces de stockage afin de faciliter la logistique notamment en début et fin d'expérimentation.

DURÉE : 2-3 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+1/+2

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Qualité, logistique, métrologie

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

GAPILLOUT Damien
E-mail : damien.gapillout@cea.fr
PRADEL Pierre
E-mail : pierre.pradel2@cea.fr

CONTEXTE : L'unité d'accueil a pour mission de traiter, d'entreposer et d'expédier vers les sites de stockage ultime les déchets contaminés alpha des installations productrices du centre CEA de Valduc. Le traitement des objets volumineux conduit à leur réduction de taille et à leur mise au gabarit, via leur découpe dans un atelier dédié. Ces opérations sont réalisées manuellement par des moyens de découpe au contact par des opérateurs équipés d'équipements de protection individuelle adaptés, ou par un moyen de découpe sans contact depuis l'extérieur de l'atelier. Le projet de modernisation en cours vise à supprimer, autant que possible, l'intervention d'opérateurs à l'intérieur de l'atelier, en y intégrant des moyens robotisés et de l'IA. Une étape de validation de ce projet est la réalisation d'un atelier de démonstration dans un bâtiment en cours de réhabilitation.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de concevoir l'aménagement d'un bâtiment en y intégrant notamment :

- la maquette à l'échelle 1 du futur atelier de démantèlement et des différents moyens qui vont l'équiper (cobot, salle de réalité virtuelle...),
- les fluides et servitudes nécessaires,
- les besoins de sécurisation de l'activité,
- les besoins pour l'IA (serveur, salle de réalité virtuelle....).

Le(la) stagiaire devra également réaliser le ou les cahiers des charges pour les différents approvisionnements qui auront été définis dans cette étude.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

BOSSÉ Emilie
E-mail : emilie.bosse@cea.fr

SÛRETÉ NUCLÉAIRE

CONTEXTE : Au sein du laboratoire d'accueil, et sous l'encadrement du conseiller à la sécurité, le(la) candidat(e) sera amené(e) à acquérir les principales connaissances relatives à la confection de colis de matières radioactives. Le laboratoire 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 nécessaires 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 laboratoire, le(la) candidat(e) sera amené(e) à acquérir les principales connaissances relatives à la confection de colis de matières radioactives. Dans ce cadre, il(elle) sera amené(e) à mettre en œuvre une maquette numérique d'emballage de transport. L'objectif est de développer une formation en réalité virtuelle permettant de qualifier les opérateurs tant du point de vue utilisation, que du point de vue maintenance. En complément il(elle) contribuera au développement de briques technologiques d'interface avec l'environnement virtuel. Il(elle) devra aborder la problématique du respect des couples de serrage, des interactions avec les contenus lors des phases de levage, les problématiques de test d'étanchéité ainsi que la problématique vérifications des connaissances des opérateurs.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Compétence en CAO, réalité virtuelle, calculs et codage informatique (simple).

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : UNREAL, SOLIDWORKS

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

ARMENJON Frederic
E-mail : frederic.armenjon@cea.fr
MOLL Géraldine
E-mail : geraldine.moll@cea.fr

CONTEXTE : Au sein du laboratoire d'accueil, le(la) candidat(e) sera amené(e) à acquérir les principales connaissances relatives à la confection de colis de matières radioactives. Le laboratoire a pour vocation de s'assurer d'établir les démonstrations de sûreté indispensables en vue d'obtenir les autorisations de transport auprès de l'autorité compétente. En outre le pôle peut être amené à concevoir, voire améliorer des ensembles ou sous-ensembles permettant de transporter les nouveaux contenus.

OBJECTIFS : Au sein du laboratoire, le(la) candidat participera, en relation avec les ingénieurs de Sûreté Nucléaire Transport, à l'élaboration de ces démonstrations de sûreté nécessaires. L'objectif de ce stage, fonction des capacités du(de la) candidat(e), 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, la thermique et le confinement des matières relatives au modèle de colis.
- 2- L'élaboration de démonstrations de tenue mécanique aux conditions de routine, normales et accidentelles de transport.
- 3- La mise en œuvre de mesure en lien avec les installations pour vérifier la cohérences des démonstrations avec la phénoménologie constatée.
- 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.

DURÉE : 4-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Compétence en CAO, calculs, programmation et outils de bureautique

CENTRE

CEA/Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél : 03-80-23-40-00
Email : stage.valduc@cea.fr

CONTACT

ARMENJON Frederic
E-mail : frederic.armenjon@cea.fr
CANARD Adrien
E-mail : adrien.canard@cea.fr

THERMOHYDRAULIQUE ET MÉCANIQUE DES FLUIDES

CONTEXTE : Lors de sa rentrée dans l'atmosphère, un véhicule spatial est confronté à des contraintes mécaniques et des flux de chaleurs très importants. La conception d'un tel engin nécessite des simulations numériques précises de l'écoulement de l'air autour du véhicule tout au long de sa trajectoire. Les régimes d'écoulements rencontrés sont appelés (des plus hautes aux plus basses altitudes) : moléculaire libre, raréfié, transitionnel et continu. Ces différents régimes peuvent être modélisés par l'équation de Boltzmann de la théorie cinétique des gaz, pour les 3 premiers régimes, et par les équations de Navier-Stokes pour le régime continu. D'un point de vue numérique, à chaque régime correspond une méthode numérique adaptée à la modélisation. De nombreuses recherches visent à étudier une méthode unifiée pour résoudre l'ensemble de ces régimes. K. Xu propose depuis 2010 une approche prometteuse appelée "Unified Gas Kinetic Scheme" (UGKS) et ses dérivées (UGKP, UGKWP).

OBJECTIFS : L'étudiant(e) devra tout d'abord se familiariser avec la théorie cinétique des gaz pour le régime raréfié, et avec la mécanique des fluides pour les écoulements continus. En se basant sur les travaux déjà réalisés dans le cadre de la thèse d'A. Coepeau, les méthodes UGKP et UGKWP seront attentivement étudiées pour les étendre au cadre des modèles ES-BGK « gaz réel ». Il s'agira de poursuivre la prise en main de ces nouvelles méthodes numériques, mixant schéma volumes finis et méthode stochastique afin de les mettre en œuvre dans les codes simulant les écoulements hypersoniques dans ces différents régimes. Le(la) candidat(e) devra se familiariser avec la modélisation utilisée dans les codes du CEA/Cesta, puis prendre en main les codes de simulation résolvant les différents régimes (codes massivement parallèles utilisés sur le supercalculateur du CEA/DAM). Il s'agira donc d'adapter la méthode UGKP et/ou UGKWP dans le code Navier-Stokes pour la simulation des écoulements portés à hautes températures. Les fondements mathématiques de ces méthodes feront l'objet d'une attention particulière. La problématique de l'implicitation en temps de la méthode devra aussi être étudiée pour permettre le calcul efficace d'écoulements stationnaires.

DURÉE : Césure ou 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mathématiques appliqués, mécanique des fluides.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Fortran/ Python/ C++

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

BARANGER Céline
E-mail : celine.baranger@cea.fr
WISSOCQ Gauthier
E-mail : gauthier.wissocq2@cea.fr

CONTEXTE : L'écoulement hypersonique autour d'un véhicule rentrant dans les couches denses de l'atmosphère est caractérisé par une onde de choc détachée enveloppant le véhicule et par une couche limite visqueuse au voisinage de la paroi. Lorsque le nombre de Reynolds augmente, l'écoulement évolue d'un régime laminaire à un régime turbulent suivant le phénomène de transition. La transition laminaire-turbulent est en particulier responsable de l'augmentation des flux de chaleur à la paroi, ce qui a des conséquences sur la conception des protections thermiques des véhicules de rentrée. Ce phénomène est en général modélisé dans les codes de calculs industriels et couplé à des modèles de turbulence RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes).

OBJECTIFS : Du point de vue de la modélisation, la transition est le résultat de l'amplification de perturbations de la couche limite par des mécanismes d'instabilités. On s'intéressera en particulier au cas où le second mode de Mack et le mode crossflow sont identifiés comme dominants dans la déstabilisation d'écoulements hypersoniques 2D et 3D. Le début de la transition est alors corrélé à un certain niveau d'amplification en recoupant l'observation expérimentale et la théorie de stabilité linéaire (LST) de la couche limite laminaire.

Le stage se déroulera au CEA-CESTA. L'objectif est l'implémentation de modèles de transition récents prenant en compte les mécanismes précités sous la forme d'équations de transport au sein d'un code de calcul Navier-Stokes 3D multi-blocs. L'application à des configurations étudiées dans la littérature permettra de valider les développements. Une analyse de sensibilité pourra également être proposée.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : BAC+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Mécanique des fluides, aérodynamique, mathématiques appliquées

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Fortran, C, Python

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Cesta
BP 2 – 33114 Le Barp
Tél : 05-57-04-40-00
Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

OLAZABAL Marina
E-mail : marina.olazabal@cea.fr
MUSCAT Laurent
E-mail : laurent.muscat@cea.fr

CONTEXTE : Un aéronef effectuant une rentrée atmosphérique évolue typiquement dans des régimes hypersoniques. Sous de telles conditions, une onde de choc apparaît autour du véhicule, au sein de laquelle l'air incident est fortement comprimé et ralenti. Il en résulte une augmentation drastique de la température et de la pression, provoquant la dissociation et l'ionisation des espèces chimiques. Dans ces conditions, l'hypothèse de gaz parfait n'est plus valable et les propriétés thermodynamiques et de transport doivent être déterminées à partir d'un calcul d'équilibre chimique. Celui-ci est généralement obtenu par minimisation de l'énergie libre de Gibbs, mais son coût devient prohibitif lorsqu'il est réalisé dans chaque maille et à chaque pas de temps d'un calcul CFD. Le développement de modèles de substitution capables de reproduire ces propriétés avec une précision élevée et un coût réduit constitue ainsi un enjeu majeur pour les simulations aérothermiques.

OBJECTIFS : L'objectif du stage est de développer une méthodologie de génération de tables thermo-chimiques et de transport destinées à la simulation des écoulements de rentrée atmosphérique, ainsi que leurs approximations polynomiales afin d'en permettre une utilisation efficace dans un code d'aérothermique.

Dans un premier temps, le(la) stagiaire s'appuiera sur les travaux de Hansen (NASA, 1959) et des travaux internes afin de générer des tables pour l'air à l'équilibre chimique. Les compositions des mélanges pourront être calculées par minimisation de l'énergie libre de Gibbs à l'aide de la bibliothèque Mutation++. Cette méthodologie sera ensuite étendue aux mélanges contenant des produits d'ablation des protections thermiques, notamment le carbone et l'hydrogène. Les tables regrouperont les principales propriétés thermodynamiques ainsi que les propriétés de transport nécessaires à la résolution des équations de Navier-Stokes.

Une attention particulière sera portée au développement d'approximations polynomiales multidimensionnelles des tables générées. Ces approximations devront reproduire avec précision les propriétés du mélange tout en réduisant fortement le coût d'évaluation par rapport à un calcul direct de l'équilibre chimique.

La finalité du stage est d'intégrer ces développements dans un code CFD réalisant des simulations couplées d'ablation avec un écoulement à l'équilibre chimique incluant le transport des éléments. Les performances de cette approche seront comparées à celles d'une résolution faisant appel à Mutation++ dans chaque maille et à chaque pas de temps, ainsi qu'à une approche reposant sur un modèle de substitution par réseau de neurones déjà disponible. L'objectif sera d'évaluer le compromis entre précision et temps de calcul afin d'identifier la stratégie la plus adaptée aux simulations de rentrée atmosphérique à haute fidélité.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

CENTRE

CEA/Cesta

BP 2 – 33114 Le Barp

Tél : 05-57-04-40-00

Email : stage.cesta@cea.fr

CONTACT

PELUCHON Simon

E-mail : simon.peluchon@cea.fr

LORIDAN Vivien

E-mail : vivien.loridan@cea.fr

CONTEXTE : Lorsqu'une onde de choc se propage dans un matériau avant de se réfléchir sur une face libre, les aspérités et les cavités présentes à la surface peuvent alors concentrer localement les déformations et engendrer des microjets. Des travaux antérieurs ont permis d'établir des lois décrivant la vitesse d'éjection produite par différents types de défauts isolés [1]. Toutefois, des expériences récentes [2,3] ont révélé un comportement plus complexe : l'éjection engendrée par un ensemble de défauts ne correspond pas à la simple superposition des contributions de chaque défaut. Comment ces défauts interagissent-ils ? À partir de quelle distance ou de quelle densité ces interactions deviennent-elles significatives ? Peut-on prédire leurs effets à partir de quelques paramètres géométriques ?

OBJECTIFS : L'objectif du stage sera de répondre à ces questions à l'aide de simulations numériques réalisées avec un code eulérien du CEA. Dans un premier temps, l'étudiant.e reproduira quantitativement les résultats expérimentaux afin de valider la simulation. Une étude paramétrique sera ensuite mise en place pour caractériser l'influence de la taille, de l'espacement et de l'organisation spatiale des défauts sur la vitesse d'éjection. L'étude portera d'abord sur des répartitions périodiques, permettant d'isoler les mécanismes d'interaction, puis sur des distributions aléatoires plus représentatives des surfaces réelles. L'objectif sera de déterminer les conditions d'apparition des interactions et d'établir des lois d'échelle reliant la géométrie de la surface aux caractéristiques de la matière éjectée.

Enfin, selon l'avancement du stage, l'approche sera généralisée à des surfaces rugueuses possédant des propriétés statistiques contrôlées. Deux familles seront étudiées : des surfaces gaussiennes, caractérisées notamment par la variance des hauteurs et la longueur de corrélation, et des surfaces fractales ou multi-échelles, caractérisées par leur exposant de rugosité. Cette dernière étape visera à déterminer si l'éjection peut être prédite directement à partir des propriétés statistiques de la surface rugueuse.

L'étudiant.e développera des compétences en modélisation, en traitement de données et en mise en œuvre d'études paramétriques, tout en contribuant à l'élaboration de modèles prédictifs applicables à des surfaces réalistes.

[1] Laurent Soulard et al. Journal of Applied Physics, 135(20):205902, 05 2024.

[2] J.-R. Burie et al. In Proceedings of the 17th Hypervelocity Impact Symposium, Tsukuba, Japan, 2024. HVIS 2024, September 9–13, 2024.

[3] J.-R. Burie et al. DYMAT Technical Meeting 2026, Grenoble, France, 2026.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Goût prononcé pour la modélisation numérique, le traitement de données et la comparaison simulation/expérience.

Autonomie, curiosité scientifique et intérêt pour les phénomènes multi-échelles.

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python.

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

BURIE Jean-René
E-mail : jean-rene.burie@cea.fr
DUBOIS Alizée
E-mail : alizee.dubois@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 microballon, rempli d'un mélange fusible, au moyen d'un rayonnement intense. Ce rayonnement provoque une vaporisation violente – ablation – de l'enveloppe du microballon 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 d'une implosion met en exergue la nécessité d'identifier les instabilités susceptibles de dominer cet 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).

OBJECTIFS : Pour ce stage de master/Bac+5, on se focalise sur l'identification des perturbations extérieures les plus déstabilisantes pour un écoulement d'ablation de type FCI. L'environnement extérieur du microballon au cours d'une implosion de FCI est particulièrement difficile à caractériser et ne reste que partiellement contrôlé. Il est alors pertinent de chercher à identifier les perturbations de cet environnement, ou perturbations extérieures, qui conduiraient à la déstabilisation la plus forte de l'implosion. Une telle identification revient à rechercher des perturbations extérieures optimales, en un sens à définir, de l'implosion. Une telle recherche pour des implosions complètes de microballons est inenvisageable avec les moyens actuels de simulation numérique. A défaut, on propose pour ce stage de caractériser les perturbations extérieures optimales linéaires et les mécanismes de croissance de perturbations pour un écoulement modèle de la phase précoce de l'ablation du microballon. Les calculs correspondants seront menés avec un code numérique de stabilité hydrodynamique existant. Ceci nécessitera d'assimiler dans un premier temps le formalisme de la méthode d'optimisation utilisée (de type direct-adjoint) et d'adapter la formulation du problème d'optimisation au cas à traiter, avant de modifier le code de stabilité hydrodynamique (langage Fortran 90). Les calculs d'optimisation seront menés sur ordinateur du CCRT et l'analyse des résultats sera effectuée dans Matlab avec des outils dédiés déjà élaborés.

DURÉE : 6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+5

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Fortran 90

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/DAM Île-de-France
Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon
Tél : 01-69-26-40-00
Email : stage.dif@cea.fr

CONTACT

CLARISSE Jean-Marie
E-mail : jean-marie.clarisse@cea.fr
GALLIN Adrien
E-mail : adrien.gallin@cea.fr

CONTEXTE : Ce stage poursuit les études du CEA Gramat sur les boules de feu issues de la détonation d'explosifs solides.

L'étude de ces boules de feu, impliquant des échelles de temps et d'espace très variées, est divisée en plusieurs étapes. L'une d'elles utilise le code de thermochimie SIAME pour déterminer l'état d'équilibre final de la réaction. Cependant, les modèles thermochimiques traditionnels de SIAME sont affectés par la présence d'aluminium dans les explosifs, ajouté pour renforcer l'effet de souffle. C'est pourquoi des expériences de caractérisation de la déflagration d'un gaz contenant des particules d'aluminium ont été réalisées lors d'une thèse soutenue en 2021. Par ailleurs, une modélisation numérique de la combustion des particules d'aluminium, adaptée aux produits de détonation, a été proposée dans une autre thèse du CEA Gramat et implémentée dans le code de calcul AVBP, développé par le CERFACS. Ce stage s'inscrit donc dans la continuité de ces deux thèses.

OBJECTIFS : Ce stage vise à capitaliser les développements obtenus lors de deux thèses effectuées sur la combustion de l'aluminium. L'étudiant.e aura pour objectif, après une étude bibliographique préalable, de prendre en main le code de mécanique des fluides AVBP pour l'appliquer à la configuration expérimentale de la chambre de déflagration. Des comparaisons expériences-calculs seront ensuite effectuées. Elles permettront d'une part de valider l'approche numérique proposée et d'autre part d'identifier les limites éventuelles de la modélisation dans le cas de la chambre de déflagration. Ces limites peuvent être inhérentes soit aux hypothèses retenues pour la modélisation de la combustion des particules d'aluminium, soit aux contraintes technologiques liées à l'expérience (notamment sur la dispersion des particules et l'allumage du mélange). L'étudiant.e aura donc pour objectif d'éclaircir ces différents aspects, ce qui permettra d'identifier les futurs axes d'améliorations au regard du besoin d'améliorer la modélisation thermochimique des explosifs aluminisés.

Le stage est essentiellement numérique. L'étudiant.e aura à terme les compétences nécessaires pour utiliser AVBP, un code de calcul à l'état de l'art du domaine de la mécanique des fluides réactifs. Cela inclut la connaissance du code en lui-même mais également son utilisation sur un ordinateur HPC. L'étudiant.e saura effectuer des comparaisons expériences-calculs afin d'en extraire les informations pertinentes, mais également d'identifier les limites de chaque approche. L'étudiant.e obtiendra des connaissances sur la mécanique des fluides réactifs et les méthodes numériques en complément de ses connaissances académiques, et des notions sur le comportement réactif des explosifs solides.

DURÉE : 5-6 mois

NIVEAU D'ÉTUDES : Bac+4/+5

COMPÉTENCES SOUHAITÉES : Notions de mécanique des fluides et méthodes numériques, des compétences en Fortran sont un plus

MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES : Python, Pack Office

POURSUITE EN THÈSE : Possible

CENTRE

CEA/Gramat
BP 80200 – 46500 Gramat
Tél : 05-65-10-54-32
Email : stage.gramat2@cea.fr

CONTACT

GOSSET Antoine
E-mail : antoine.gosset@cea.fr
GENETIER Marc
E-mail : marc.genetier@cea.fr

Quelques retours d'expériences de stagiaires, issus des questionnaires réalisés chaque année auprès de ceux qui sont présents en juin.

Plus de **93% des répondants** considèrent les conditions d'accueil bonnes/très bonnes et près de 98% plébiscitent l'intégration dans l'équipe.

98% de stagiaires apprécient l'**encadrement** réalisé par le tuteur (feed-back, accompagnement...).

Plus de 93% sont prêts à **recommander le CEA/DAM pour y faire un stage !**

Quelques remarques positives issues des réponses aux questionnaires :

1. Sentiment d'être utile, de réaliser quelque chose qui a une finalité et un impact
2. Caractère novateur des travaux confiés, complexité, stimulation intellectuelle
3. Découverte de nouvelles technologies/techniques/domaines d'applications
4. Mise en pratique, développement et acquisition de compétences ; possibilité de devenir meilleur en apprenant,
5. Diversité des activités à réaliser,
6. Possibilité de voir l'application des travaux réalisés, d'aller sur le terrain
7. Autonomie dans la réalisation des missions confiées avec la possibilité de demander de l'aide si besoin
8. Confiance, bienveillance, ambiance au sein de l'équipe,
9. Qualité de l'interaction avec les personnels CEA,
10. Cadre de travail (bus gratuits, restauration, associations sportives et culturelles...) et gratification appréciable (avec des aides annexes possibles),
11. Nécessité d'anticiper la durée de l'enquête administrative obligatoire,

Quelques contraintes, liées au cadre général des missions dans lesquelles s'inscrivent les travaux menés pendant le stage, mentionnées par les stagiaires :

1. Informatique
2. Délai d'obtention de l'habilitation

cea