

Sujet : Développement d'un asservissement en fréquence de cavités accélératrices

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 photocathode 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.

Objectif : 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 2025. 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 du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 04/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Electronique, RF, Modélisation numérique, Informatique.

Autres compétences : 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.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

COLLET Martin

martin.collet@cea.fr

CHAUCHAT Anne-Sophie

anne-sophie.chauchat@cea.fr

**Sujet : Etude de lignes d'injecteurs parallèles pour accélérateurs de particules**

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.

Objectif : 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 du contrat : 4-6 mois
Démarrage souhaité : 04/01/2027
Poursuite en thèse : Possible
Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :
Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
Méthodes ou logiciels : Physique des accélérateurs, Optique.
Autres compétences : Master Grands Instruments, SupOptique.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
LE FLANCHEC Vincent	vincent.le-flanhec@cea.fr
CHAUCHAT Anne-Sophie	anne-sophie.chauchat@cea.fr

Sujet : Etude d'émittance basse énergie de faisceaux d'ions légers

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'émittance 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'émittance 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'émittance transverse de faisceaux d'ions de basse énergie. Pour ce faire, il.elle disposera d'une source d'ions et d'un émittance scanner afin d'évaluer l'impact des réglages de la source d'ions sur l'émittance transverse du faisceau.

Objectif : Le stage a pour objectif de fournir une évaluation de l'impact des réglages de la source d'ions sur l'émittance du faisceau produit. Etant donné que le concept d'émittance 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'expérience et la rédaction de procédure d'expérimentation, la rédaction de synthèse et rapport scientifique, l'utilisation d'outil d'analyse de données et l'utilisation d'équipements complexes à travers les éléments constitutifs d'un accélérateur de particules.

Durée du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 14/06/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Python, Mesures physique. Dynamique de faisceau de particule.

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

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

VIDALOT Jeoffray

jeoffray.vidalot@cea.fr

Sujet : Adsorption de H₂O et O₂ sur des surfaces de PuO₂ par simulations Monte Carlo

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.

Objectif : 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 du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 02/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : -

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

GENESTE Grégory

gregory.geneste@cea.fr

BOTTIN François

francois.bottin@cea.fr

Sujet : Calculs d'enthalpie libre de mélange dans les alliages liquides

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.

Objectif : 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 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 du contrat : 6 mois

Démarrage souhaité : 01/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Méthode ab initio, Logiciel ABINIT, Développement de paquet Python.

Autres compétences : Formation en Physique du Solide.
Un attrait pour la programmation informatique est nécessaire.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

BEJAUD Romuald

romuald.bejaud@cea.fr

SIBERCHICOT Bruno

bruno.siberchicot@cea.fr

Sujet : Développement de la TDDFT pour l'étude des matériaux en conditions extrêmes

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.

Objectif : 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 du contrat : 6 mois

Démarrage souhaité : 01/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : Ce stage s'adresse à des élèves de niveau M2 ayant une bonne connaissance des bases de la physique quantique et de la matière condensée. Un goût prononcé pour le développement informatique est attendu. Une connaissance de l'environnement Linux et du langage Fortran n'est pas indispensable, mais constituerait un atout.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

BRIEUC Fabien

fabien.brieuc@cea.fr

Sujet : Dimensionnement d'expériences dynamiques guidé par la simulation

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.

Objectif : 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 uniaxiale, 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 du contrat :	4-6 mois
Démarrage souhaité :	02/01/2027
Poursuite en thèse :	Possible
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+5
	Méthodes ou logiciels : Notions de C++.
	Autres compétences : Connaissances en mécanique des matériaux.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	BRUZY Nicolas	nicolas.bruzy@cea.fr

Sujet : Etude ab initio d'hydrures sous haute pression

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 LaH₁₀. 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.

Objectif : 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 du contrat :	4-6 mois
Démarrage souhaité :	03/01/2027
Poursuite en thèse :	Possible
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : -
	Autres compétences : Physique du solide. Chimie des matériaux.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	GENESTE Grégory	gregory.geneste@cea.fr

Sujet : Etude de transition de phase en présence d'un champ magnétique

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 $\gamma \alpha$ dans $\text{Ce}_{0.8}\text{La}_{0.1}\text{Th}_{0.1}$ [Drymiotis et al. 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.

Objectif : 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 du contrat : 5-6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Notions de DFT, de systèmes corrélés et pratique de linux /Python.

Autres compétences : M2 physique de la matière condensée.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

AMADON Bernard

bernard.amadon@cea.fr

**Sujet : Étude par Monte Carlo cinétique de la diffusion dans les alliages**

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 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 à ce problème, ils sont souvent couplés à des méthodes de Monte Carlo cinétique permettant une montée en échelle, de temps et de dimension.

Objectif : 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 du contrat : 6 mois
Démarrage souhaité : 02/01/2027
Poursuite en thèse : Possible
Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
Méthodes ou logiciels : Python, C++.
Autres compétences : Formation en Physique du Solide.
Un attrait pour la programmation informatique est nécessaire.
Méthode ab initio, Logiciel ABINIT, Développement de paquet Python.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
BEJAUD Romuald	romuald.bejaud@cea.fr
DUBOIS Alizée	alizée.dubois@cea.fr

Sujet : Identification de paramètres d'une loi de plasticité à partir de données de DRX

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, maillage, ...). 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.

Objectif : 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 du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 02/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : Connaissance en mécanique des matériaux.
Des notions de C++ seraient un plus.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

BRUZY Nicolas

nicolas.bruzy@cea.fr

DENOUAL Christophe

christophe.denoual@cea.fr

Sujet : Influence de solutés sur la dynamique collective des dislocations

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.

Objectif : 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'intrication 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.

Nature du travail :

- 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.

- Etudier 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] Aboufadel, 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 du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 01/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4

Méthodes ou logiciels : Programmation Python et C++, codes fournis par l'encadrant. Prise en main des bibliothèques scientifiques existantes.

Autres compétences : 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.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

BILLON Florian

florian.billon@cea.fr

PELLEGRINI Yves-Patrick

yves-patrick.pellegrini@cea.fr

Sujet : Mise au point d'un modèle de plasticité cristalline pour l'étain

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 compressions dynamique.

Objectif : 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 micropiliers 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 du contrat :	4-6 mois
Démarrage souhaité :	09/01/2026
Poursuite en thèse :	Possible
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+5
	Méthodes ou logiciels : -
	Autres compétences : -

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	BRUZY Nicolas	nicolas.bruzy@cea.fr
	CARUEL Marie	marie.caruel@cea.fr

Sujet : Mise en place d'un solveur de diagonalisation exact pour la DMFT dans ABINIT

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. De nos jours, 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).

Objectif : 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.

[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 du contrat : 6 mois

Démarrage souhaité : 02/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : -

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

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

GENDRON Frédéric

frederic.gendron@cea.fr

Sujet : Modèle de cinétique de transition de phase pour un code open-source

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 pression 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 ...).

Objectif : 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 du contrat : 6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : Python, FORTRAN, méthodes numériques, thermodynamique.

Autres compétences : 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.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

LAGREE Mathurin

mathurin.lagree@cea.fr

Sujet : Modélisation de l'échauffement d'échantillons de cellule à enclumes de diamants

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.

Objectif : 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 :

- Chauffage par un laser infrarouge absorbé par la surface de l'échantillon ;
- 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 du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 15/02/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : COMSOL.

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

Contacts : CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

DEWAELE Agnès

agnes.dewaele@cea.fr

Sujet : Simulation et caractérisation expérimentale de la rupture des métaux sous choc

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 microémécaniques 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.

Objectif : 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 du contrat : 5-6 mois

Démarrage souhaité : 15/02/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : Python.

Autres compétences : 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.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

DUBOIS Alizée

alizee.dubois@cea.fr

WILLOT François

Sujet : Simulations des susceptibilités magnétiques de cations actinides

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.

Objectif : 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 du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 02/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : -

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

SIBERCHICOT Bruno

bruno.siberchicot@cea.fr

GENDRON Frédéric

frederic.gendron@cea.fr



Sujet : Analyse de signaux de vélocimétrie par Intelligence Artificielle

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.

Objectif : 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.

[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 du contrat :	6 mois
Démarrage souhaité :	02/01/2027
Poursuite en thèse :	Non
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : Intelligence Artificielle, Inférence bayésienne, Machine Learning, Python3, PyTorch.
	Autres compétences : Maîtrise correcte du langage Python nécessaire. Connaissance de bibliothèques telles que PyTorch appréciée. Solide formation en mathématiques appliquées et en intelligence artificielle.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	RIDOUX Julien	julien.ridoux@cea.fr



Sujet : Deep Learning pour les équations d'état tabulées

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 donnée. Cela crée une table d'équation d'état, qui est ensuite utilisée dans des simulations hydrodynamiques par l'intermédiaire d'un interpolateur.

Objectif : 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 du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 02/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Python, Deep learning.

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

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

LAMY Corisande

corisande.lamy@cea.fr

KLUTH Gilles

gilles.kluth@cea.fr



Sujet : Evolution du code de modélisation d'un accélérateur d'électrons

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).

Objectif : 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 du contrat :	4-6 mois
Démarrage souhaité :	04/01/2027
Poursuite en thèse :	Non
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : Informatique, Physique.
	Autres compétences : Ce stage est essentiellement théorique et informatique. Des connaissances en optique ou en physique des faisceaux seront des atouts appréciables.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	PIRES Abel	abel.pires@cea.fr
	CHAUCHAT Anne-Sophie	anne-sophie.chauchat@cea.fr



Sujet : Evolution du logiciel de contrôle-commande d'un accélérateur de particules

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.

Objectif : 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 du contrat :	4-6 mois
Démarrage souhaité :	04/01/2027
Poursuite en thèse :	Non
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : Informatique, Contrôle-commande.
	Autres compétences : Des compétences en machine learning ou en analyses de données seraient un plus.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	PIRES Abel	abel.pires@cea.fr
	CHAUCHAT Anne-Sophie	anne-sophie.chauchat@cea.fr

**Sujet : Métamodèles multi-fidélité d'équations d'état pour l'hydrodynamique**

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.

Objectif : 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 :

- 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 du contrat : 6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : -

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

KERLEGUER Baptiste

baptiste.kerleguer@cea.fr

WEENS William

william.weens@cea.fr



Sujet : Modélisation d'un faisceau d'électrons par inférence Bayésienne et sigma-points

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 tantales. 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.

Objectif : 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'il soient particuliers ou d'enveloppe.

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

Durée du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 04/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : Physique des accélérateurs, Modélisation numérique.

Autres compétences : Master Grands Instruments, ENSTA niveau M1/M2.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

LE FLANCHEC Vincent

vincent.le-flanchec@cea.fr

CHAUCHAT Anne-Sophie

anne-sophie.chauchat@cea.fr



Sujet : Optimisation du système laser pilote d'un accélérateur de particules

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, d'une chaîne d'amplification pompée par diode laser, de diverses cellules de Pockels et isolateur de Faraday, de cristaux doubleurs puis quadrupleurs de fréquence, de convertisseurs de profil, de fibres optiques monomodes, d'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.

Objectif : 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 micro-seconde, 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 du contrat :	4-6 mois
Démarrage souhaité :	04/01/2027
Poursuite en thèse :	Non
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : Informatique, Contrôle-commande.
	Autres compétences : -

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	HOUZET Julien	julien.houzet@cea.fr
	CHAUCHAT Anne-Sophie	anne-sophie.chauchat@cea.fr



Sujet : Refonte, optimisation et extension d'un code de calibration

Contexte : Dans le cadre de ses études, 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 physiques appliqués 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.

Objectif : 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 calculateur.

Durée du contrat : 6 mois
Démarrage souhaité : 04/01/2027
Poursuite en thèse : Non
Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5
Méthodes ou logiciels : Python, C++, Interfaçage Python-C++.
Autres compétences : 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 stagiaire ait des notions en :
- Méthodes de calibration bayésienne, ou autres méthodes de calibration ;
- Développement d'interface utilisateur.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
COGET Yann	yann.coget@cea.fr
ROMERO Nils	Nils.romero@cea.fr

Sujet : Effet de la microstructure sur la réponse sous choc du tantale monocristallin

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.

Objectif : 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 plus ieurs orientations cristallines et amplitudes de choc.

Introduire une microstructure de dislocations préexistante (boucle glissiles, prismatiques, réseau contrôlé) dans les configurations simulées et étudier la stabilité de ce réseau de défauts initial.

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.

Analyser la microstructure post-choc via l'algorithme DXA dans OVITO pour relier les observations macroscopiques aux mécanismes microscopiques.

Confronter les résultats aux résultats expérimentaux et modèles de plasticité continue lorsqu'ils sont disponibles.

Durée du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 01/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Codes de simulation numériques, Mathématiques, Mécanique, Informatique.

Autres compétences : 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.

Contacts : CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

LAFOURCADE Paul

paul.lafourcade@cea.fr

**Sujet : Etude du cisaillement adiabatique dans des cylindres métalliques en implosion**

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 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.

Objectif : 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 du contrat :	6 mois
Démarrage souhaité :	04/01/2027
Poursuite en thèse :	Non
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+5
	Méthodes ou logiciels : -
	Autres compétences : -

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	JOUVE Dominique	jouvedominique@cea.fr

Sujet : Modélisation d'une nouvelle ligne de faisceau sur l'accélérateur ELSA

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).

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.

Objectif : 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 du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 04/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : CAO (Solidworks), Mécanique, Physique.

Autres compétences : Elève Ingénieur ou Master, M1/M2 / Bac+4/Bac+5, avec un intérêt/background en physique.
Ce stage requière 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.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

CHAUCHAT Anne-Sophie

anne-sophie.chauchat@cea.fr

Sujet : Rôle de la plasticité cristalline dans l'endommagement ductile dynamique

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.

Objectif : 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 élastoplastique 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 maclage 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 du contrat :	6 mois
Démarrage souhaité :	02/01/2027
Poursuite en thèse :	Non
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+5
	Méthodes ou logiciels : Simulation par éléments finis, Python.
	Autres compétences : Bon niveau en Mécanique des Matériaux.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	CADET Clément	clement.cadet@cea.fr
	DEQUIEDT Jean-Lin	jean-lin.dequiedt@cea.fr

**Sujet : Conception d'une collimation pour un faisceau de neutrons**

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.

Objectif : 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 du contrat : 5-6 mois

Démarrage souhaité : 15/04/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Codes Monte-Carlo MCNP et/ou GEANT4.

Autres compétences : Programmation C/C++ et/ou python, Interaction rayonnement matière.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

DENIS-PETIT David

david.denis-petit@cea.fr

VARIGNON Cyril

cyril.varignon@cea.fr

Sujet : Etude et maîtrise des effets optiques et parasites dans un diagnostic fibré

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).

Objectif : 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.a 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 du contrat : 6 mois

Démarrage souhaité : 02/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Optique physique, simulation, expérimentation, effets non-linéaires, polarisation, dispersion.

Autres compétences : Bonne pratique du langage Python3.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

AZZOLINA Aurélie

aurélie.azzolina@cea.fr

RIDOUX Julien

julien.ridoux@cea.fr

**Sujet : Localisation de pertes d'un faisceau d'électrons par fibre optique**

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).

Objectif : 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 du contrat :	4-6 mois
Démarrage souhaité :	04/01/2027
Poursuite en thèse :	Non
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : Optique, Informatique.
	Autres compétences : Ce stage est essentiellement théorique et informatique. Des connaissances en optique ou en physique des faisceaux seraient des atouts appréciables.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	ROSCH Rudolf	rudolf.rosch@cea.fr
	CHAUCHAT Anne-Sophie	anne-sophie.chauchat@cea.fr

**Sujet : Monitoring expérimental de pression à base de capteurs à fibre optique**

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 réseau 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.

Objectif : Découvrir l'instrumentation en enceinte pressurisée.
Réalisation d'expérience et suivi de cahier d'expérience.
Réalisation d'une analyse de données sous python.
Réalisation de compte-rendu de suivi d'expérience.
Réalisation de rapport scientifique et technique.

Durée du contrat :	2-3 mois
Démarrage souhaité :	14/06/2027
Poursuite en thèse :	Non
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+2/+3
	Méthodes ou logiciels : Python, Utilisation d'enceinte sous pression.
	Autres compétences : Intérêt pour l'expérimentation.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	VIDALOT Jeoffray	jeoffray.vidalot@cea.fr

Sujet : Reconstruction 3D d'une surface dynamique hyper-vélocité par holographie

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, détente latérale, endommagement interne pouvant conduire à un écaillage ou à un nuage de particules, fracturation, ...). 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.

Objectif : Ce stage permettra d'approfondir les thématiques suivantes :

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.

Réalisation d'un dispositif expérimental.

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 du contrat : 5-6 mois

Démarrage souhaité : 15/02/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Python, Matlab.

Autres compétences : Goût prononcé pour l'optique, tant expérimentale que théorique et la comparaison simulation/expérience. Autonomie, curiosité scientifique.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

BURIE Jean-René

jean-rene.burie@cea.fr



Sujet : Optimisation de la fabrication de photocathodes

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.

Objectif : 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 du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 04/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Optique, Informatique.

Autres compétences : 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.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

CHAUCHAT Anne-Sophie

anne-sophie.chauchat@cea.fr



Sujet : Calcul des largeurs collisionnelles de raies dans les plasmas denses

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.

Objectif : 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 du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Linux, Python.

Autres compétences : Physique atomique des plasmas, Mécanique quantique, Physique statistique, Programmation.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

PAIN Jean-Christophe

jean-christophe.pain@cea.fr

Sujet : Calculs non linéaires de l'injection de particules dans la magnétosphère

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.

Objectif : 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 associés 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 :

- Théorique (équation des particules tests et de la MHD, physique de la magnétosphère) ;
- Numérique (algorithmes numériques et parallélisme du code, développements de nouveaux modèles) ;
- 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 Île-de-France avec de nombreuses interactions à distance avec des chercheurs de l'APL. Et il a vocation à conduire à une thèse sur un sujet proche si le.a stagiaire montre de bonnes aptitudes.

Durée du contrat : 5-6 mois

Démarrage souhaité : 04/05/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Python, C, Fortran 90, MPI, OpenMP, Shell

Autres compétences : 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.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

RIPOLL Jean-François

jean-francois.ripoll@cea.fr

Sujet : Décomposition d'un champ laser comme une somme de rayons épais

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.

Objectif : 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 du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : Programmation informatique (C ou Fortran), bases en MATLAB ou Python.

Autres compétences : Mathématiques appliquées / Physique des plasmas, méthodes numériques.

Contacts : CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

SARY Gaétan

gaetan.sary@cea.fr

**Sujet : Du microscopique au mésoscopique : exploration du mélange H-He dans les planètes géantes**

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 megabar. 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 démixture, des expériences par choc laser ont été effectuées récemment. De par leur 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.

Objectif : 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 démixture. Cette étude permettra de mieux contraindre les interprétations expérimentales, mais aussi de mieux comprendre les processus de séparation de phase au sein des planètes géantes.

Durée du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 02/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Python, Fortran, C.

Autres compétences : -

Contacts : CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

SOUBIRAN François

francois.soubiran@cea.fr



Sujet : Dynamique d'ionisation et émission radiative de plasmas de mélange

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.

Objectif : 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 acquièrera 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 acquièrera des compétences en spectroscopie atomique et en simulation numérique.

Durée du contrat :	4-6 mois
Démarrage souhaité :	04/01/2027
Poursuite en thèse :	Possible
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : Connaissance des langages de programmation PYTHON et FORTRAN.
	Autres compétences : Connaissances en physique fondamentale (option physique des plasmas et/ou physique atomique).

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	BLANCARD Christophe	christophe.blancard@cea.fr

Sujet : Elaboration d'un réseau de neurones pour la physique des plasmas

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.

Objectif : 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 du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : machine learning

Autres compétences : physique des plasmas créés par laser ; fusion par confinement inertiel (FCI) ; réseau de neurones ; diffusion Thomson ; python ; JAX

Contacts : CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

LOISEAU Pascal

pascal.loiseau@cea.fr

LAMY Corisande

corisande.lamy@cea.fr

**Sujet : Etude de la délocalisation électronique dans les plasmas chauds et dilués**

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.

Objectif : 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 du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 02/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : -

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

DUVAL Clément

clement.duval@cea.fr

FAUSSURIER Gérald

gerald.faussurier@cea.fr



Sujet : Evaluer les propriétés radiatives d'un plasma avec un réseau de neurones

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 mega bar. 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 leur hypothèses trop simplificatrices limitent la capacité d'interprétation de certains résultats expérimentaux.

Objectif : 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 du contrat : Césure ou 6 mois

Démarrage souhaité : 02/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : Etudiant en M2 ou en césure avec une formation en mathématiques appliquées et/ou en physique atomique/des plasmas.
Curiosité. Notions de programmation.

Contacts : CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

MARTINEZ Bertrand

bertrand.martinez@cea.fr

Sujet : Expériences sur accélérateur laser-plasma pour sonder la matière extrême

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.

Objectif : 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 configuration 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 continuité en thèse, l'étudiant.e pourra effectuer l'analyse des données expérimentales visant à la publication d'un article scientifique.

Durée du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Calcul numérique (Python ou Matlab/Octave).

Autres compétences : Formation en physique dans un ou plusieurs de ces domaines : physique des plasmas, physique des accélérateurs, optique, laser.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

MAHIEU Benoît

benoit.mahieu@cea.fr

Sujet : Instabilités de Kelvin-Helmholtz dans la magnétosphère et les plasmas laser

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-bassefréquence (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.

Objectif : 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 (Mégajoule et National Ignition Facility). Le 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 Île-de-France avec de nombreuses interactions à distance avec des chercheurs de l'APL. Et il a vocation à conduire à une thèse sur un sujet proche si le candidat.e montre de bonnes aptitudes.

Durée du contrat : 6 mois

Démarrage souhaité : 04/05/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : Python, C, Fortran 90, MPI, OpenMP, Shell.

Autres compétences : En dernière année d'école d'ingénieur ou en Master 2, le 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.

Contacts : CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

RIPOLL Jean-François

jean-francois.ripoll@cea.fr

Sujet : Mesures de spectres de neutrons produits sur un accélérateur électrostatique

Contexte : Le stage s'effectue dans un laboratoire qui exploite deux accélérateurs électrostatiques : un Van De Graaff 4 MV et un Tandem 7MV. 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 : $D(d,n)^3He$, $T(d,n)^4He$ et $T(p,n)^3He$, $^9Be(d,n)^{10}B$. 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 oeuvre 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.

Objectif : 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 du contrat : 6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : -

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

VARIGNON Cyril

cyril.varignon@cea.fr

Sujet : Mesures d'équation d'état par diffraction X sur installation laser de puissance

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.

Objectif : 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 stagiaire sera amené à analyser ces nouvelles données expérimentales afin de construire ces diagrammes de phase encore inexplorés.

Durée du contrat : 5-6 mois

Démarrage souhaité : 03/03/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : Python.

Autres compétences : Connaissances en optique expérimentale. Notions de physique du solide / physique des plasmas appréciées.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

DENOEUD Adrien

adrien.denoed2@cea.fr

**Sujet : Modélisation des couplages Magnétosphère-Ionosphère-Thermosphère planétaires**

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. Celles-ci se forment par interaction avec du plasma, peuplant le milieu interplanétaire, et provenant la plupart du temps du vent solaire. Certains 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, injectants ou éjectants de la matière de et vers l'espace, mais aussi de la météo spatiale.

Objectif : 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 du contrat : 5-6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Méthodes numériques, Physique des plasmas, Magnétohydrodynamique, Astrophysique.

Autres compétences : Un bagage en astrophysique et en développement de code (C++, HPC ou CFD) serait apprécié.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

MENU Mélissa

melissa.menu@cea.fr

**Sujet : Modélisation du ralentissement des protons dans la matière**

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.

Objectif : 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'arrêts 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 du contrat : 4-6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Non

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5

Méthodes ou logiciels : Linux, Python.

Autres compétences : Physique atomique des plasmas, Mécanique quantique, Physique statistique, Programmation.

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

RASSOU Sébastien

sebastien.rassou@cea.fr

PAIN Jean-Christophe

jean-christophe.pain@cea.fr

Sujet : Modélisation et calculs de flux d'électrons pendant les orages géomagnétiques

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, provoquent des accélérations ou des précipitations des électrons dans l'atmosphère terrestre.

Objectif : 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 du contrat :	5-6 mois
Démarrage souhaité :	04/05/2027
Poursuite en thèse :	Possible
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+5
	Méthodes ou logiciels : -
	Autres compétences : -

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	RIPOLL Jean-François	jean-francois.ripoll@cea.fr



Sujet : Propagation et effets des ondes électromagnétiques à orbites basses

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.

Objectif : 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 du contrat :	6 mois
Démarrage souhaité :	04/05/2027
Poursuite en thèse :	Possible
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : -
	Autres compétences : -

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	RIPOLL Jean-François	jean-francois.ripoll@cea.fr

Sujet : Simulation de l'instabilité de Rayleigh-Taylor magnétique en astrophysique

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.

Objectif : 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 du contrat :	4-6 mois
Démarrage souhaité :	04/05/2027
Poursuite en thèse :	Possible
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : Python, C.
	Autres compétences : Une connaissance en mécanique des fluides, physique des plasmas ou électromagnétisme serait un plus.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	FERRAND Renaud	renaud.ferrand@cea.fr

Sujet : Simulation de l'interaction laser ultra-intense avec une cible solide

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 ultra-brève, 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.

Objectif : 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 de la thèse et est utilisé sur les supercalculateurs du CEA, auxquels le.e 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.e 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 du contrat : 5-6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : -

Contacts :

CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

DAVOINE Xavier

xavier.davoine@cea.fr

Sujet : Spectrométrie X pour la caractérisation de plasmas au Laser Mégajoule

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.

Objectif : Le.e stagiaire analysera des données acquises avec un spectromètre X lors d'expériences en configuration simple sur le laser Méga-Joule. 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 acquiera des connaissances en physique atomique de la matière ionisée et en instrumentation de mesure des rayonnements X.

Durée du contrat :	2-3 mois
Démarrage souhaité :	04/01/2027
Poursuite en thèse :	Non
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : Connaissances en Python.
	Autres compétences : -

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	BONNEAU Marie	marie.bonneau@cea.fr
	MARTINEZ Bertrand	bertrand.martinez@cea.fr

Sujet : Transfert radiatif dans les plasmas hors d'équilibre thermodynamique local

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).

Objectif : 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, Hohlräume). 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.

Durée du contrat : 6 mois

Démarrage souhaité : 03/01/2027

Poursuite en thèse : Possible

Lieu de travail : CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché : Niveau d'étude préparé : Bac+5

Méthodes ou logiciels : -

Autres compétences : 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.

Contacts : CEA DAM Île-de-France

01 69 26 40 00
stage.dif@cea.fr

PIRON Robin

robin.piron@cea.fr

Sujet : Éjection de matière sous choc : des défauts isolés aux surfaces aléatoires

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 ?

Objectif : 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 du contrat :	5-6 mois
Démarrage souhaité :	15/02/2027
Poursuite en thèse :	Possible
Lieu de travail :	CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel - 91297 Arpajon

Profil recherché :	Niveau d'étude préparé : Bac+4/+5
	Méthodes ou logiciels : Python.
	Autres compétences : 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.

Contacts :	CEA DAM Île-de-France	01 69 26 40 00 stage.dif@cea.fr
	BURIE Jean-René	jean-rene.burie@cea.fr
	DUBOIS Alizée	alizee.dubois@cea.fr