Ecole doctorale I-MEP2 - Ingénierie – Matériaux, Mécanique, Environnement, Energétique, Procédés, Production (N° 510)

PROPOSITION D'UN SUJET

CONTRAT DOCTORAL 2025/2026

(à retourner avec l'argumentaire du directeur de laboratoire)

Demi-contrat doctoral : NON

1 - Rattachement administratif

SPECIALITE ❋ : MEP - Mécanique des fluides, Energétique, Procédés

Unité de recherche ❋ : UMR 5821 - LPSC

Etablissement de préparation de la thèse ❋ : UGA

Année universitaire de 1ère inscription en doctorat ❋ : 2025/2026

Date de début de la thèse * : 1/10/2025

Date limite de candidature * : 12/05/2025

Co-tutelle* : NON

2 - Projet Doctoral

Directeur de thèse ❋ : Stéphane Béchu (DR2 – CNRS) – bechu@lpsc.in2p3.fr / Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, 53 avenu des Martyrs , 38026 Grenoble.

Taux d'encadrement % : 60

Co-encadrant :

Martin Kogelschatz (MC – UGA / LTM - Grenoble) – martin.kogelschatz@univ-grenoble-alpes.fr / Laboratoire des Technologies de la Micro-électronique, 17 Av. des Martyrs, 38054 Grenoble.

Taux d'encadrement % : 40

Modalités d'encadrement, de suivi de la formation et d'avancement des recherches du doctorant * :

La thèse se déroulera au **LPSC**, où le dispositif expérimental de production d'espèces (neutres et chargées) **SCHEME- III**[1] est installé et fonctionnel. L'encadrement des travaux de recherche effectués au **LPSC** (60 %) sera assuré par **S. Béchu.** Ils porteront sur l'exposition, essentiellement W, à des flux d'espèces neutres (^1H, ^2H) et chargées ($^1H_2^+$, $^2H_2^+$) avec et sans adjonction de gaz « tampon » N_2. Les principaux diagnostics essentiels à la caractérisation des atomes et des espèces moléculaires produites à la surface des échantillons de W, notamment les spectroscopies haute résolution (0,01 nm) d'émission et d'absorption, sont déjà disponibles au **LPSC** pour ces travaux (lampes VUV et monochromateurs **Jobin Yvon FHR-1000** et **McPherson 225**). Les diagnostics complémentaires, sonde de Langmuir, photodétachement laser sont, eux aussi, opérationnels et disponibles au **LPSC**. S. Béchu sera en charge de la demande d'obtention d'au moins une campagne expérimentale au synchrotron SOLEIL (ligne DESIRS) via une ou plus réponse(s) aux calls semestriels en vue des mesures absolues d'absorption VUV.

L'encadrement de la partie analyse des échantillons de W (40 %) avant et après exposition aux flux d'espèces sera assurée par **M. Kogelschatz** au **LTM**-Grenoble. Cela permettra d'analyser la morphologie et la structure cristallographique des échantillons de W obtenus par différentes méthodes d'élaboration (pulvérisation cathodique, spray-coating, laminage, …) avant et après leur exposition au flux de particules. Le **LTM** dispose en effet de nombreuses techniques de caractérisation, telles que la microscopie à force atomique, la microscopie électronique à balayage avec EDX, la diffraction des rayons X, FIB-STEM et la spectroscopie XPS, indispensables à ces recherches. De plus, ce laboratoire est équipé de dispositifs permettant l'élaboration de couches de W par pulvérisation cathodique et spray-coating**.**

Des **Comités de Suivi Individuel (CSI)** seront organisés régulièrement (années 1, 2 et 3) afin de garantir le bon déroulement de la thèse. Par ailleurs, le doctorant(e) participera à des conférences tout au long de son parcours, favorisant ainsi l'établissement de contacts pour sa future période postdoctorale.

[1] Source of exCited HydrogEn MolEcules (SCHEME), la version III de ce dispositif expérimental utilise un surfatron à la place d'une source plasma ECR (SCHEME-II) pour produire des espèces neutres (^1H, ^2H) et ioniques ($^1H_2^+$, $^2H_2^+$) dans une gamme de pression similaire à celle rencontrée au voisinage du divertor (100 à 500 mTorr).

Titre en français * : Étude expérimentale des interactions tungstène / espèces atomiques, neutres et chargées, en fonction des procédés d'élaboration du matériau. Applications aux matériaux des cibles du divertor et de première paroi d'ITER.

Mots clés * :

1* -	Matériaux	2 *-	Analyse de surfaces
3 -	Spectroscopie d'absorption	4 -	Spectroscopie d'émission
5 -	Interactions plasma / surfaces	6 -	Plasmas

English title * : Experimental study of tungsten interactions with atomic, neutral, and charged species as a function of material fabrication processes. Applications to divertor target and first wall materials in ITER.

Keys words * :

1* -	Material	2 *-	Surface analysis
3 -	Absorption spectroscopy	4 -	Emission spectroscopy
5 -	Plasma/ Surface interactions	6 -	Plasmas

Résumé du projet de thèse * :

Ce programme de recherche a pour objectif d'étudier les interactions entre des espèces neutres (^1H, ^2H) et chargées ($^1H_2^+$, $^2H_2^+$), issues d'un plasma ($^1H_2$, $^2H_2$), et des surfaces de tungstène (W) élaborées selon différents procédés (pulvérisation cathodique, spray-coating, laminage, …). Ces méthodes de fabrication confèrent au tungstène (W pur à 99,97%) des morphologies cristallographiques variées, influençant ses propriétés de rétention, d'adsorption et de chimie-sorption vis à vis des espèces incidentes [1]. Ces interactions se produisent sur une large gamme d'énergies, allant de quelques centaines de kelvins pour les espèces neutres (^1H, ^2H) à plusieurs dizaines d'électron-volts pour les ions ($^1H^+$, $^2H^+$, $^1H_2^+$, $^2H_2^+$).

Une source commerciale d'espèces (Surfatron S-Wave, commercialisée par SAIREM) sera mise en œuvre sur le dispositif expérimental SCHEME-III, spécialement conçu pour cette étude. Ce dispositif permettra d'exposer des échantillons de tungstène (W) de petite taille (disques de 15 mm de diamètre) à une température et un potentiel précisément contrôlés. Cette taille réduite offre plusieurs avantages : elle facilite l'accès à différentes méthodes d'élaboration et de post-traitement (notamment le recuit sous vide) et permet des analyses de surface approfondies (AFM, microscopie électronique, XRD, spectroscopie XPS) sans altération de l'échantillon.

Lors de l'exposition de ces échantillons aux flux d'espèces, des diagnostics non intrusifs, tels que la spectroscopie d'émission et d'absorption seront employés pour caractériser à la fois les espèces incidentes — principalement monoatomiques (série de Balmer) et moléculaire triplet Q(v',v'): $d^3\Pi_u \rightarrow a^3\Sigma_g^+$ — ainsi que celles produites par recombinaison de surface ($^1H_2/^2H_2$ $X^1\Sigma_g^+(v'', J'')$). Ces dernières seront quantifiées de manière absolue par spectroscopie d'absorption VUV au synchrotron SOLEIL, via un diagnostic développé par le LPSC sur la ligne DESIRS au cours des dix dernières années [2, 3]. En complément, des diagnostics intrusifs, tels que les sondes de Langmuir et le photodétachement laser, permettront d'affiner la caractérisation de l'environnement plasma ($^1H^+$, $^2H^+$,$^1H_2^+$, $^2H_2^+$, $^1H^-$, ^2H) dans lequel les échantillons de W seront immergés.

La comparaison des analyses de surface effectuées avant et après l'exposition aux flux de particules permettra d'identifier et de quantifier d'éventuelles modifications morphologiques. En effet,^1H, ^2H sont connus pour leur capacité à s'insérer dans la maille cristalline, provoquant des altérations irréversibles susceptibles de modifier les propriétés de surface des matériaux vis-à-vis des espèces incidentes.

Ce projet de recherche vise à approfondir la compréhension des interactions entre des matériaux en tungstène (W) de différentes morphologies et des flux d'espèces représentatifs, en termes de nature et d'énergie, de ceux présents à proximité de la paroi des tokamaks (plasma de bord) et des cibles du divertor d'ITER. À terme, ces connaissances améliorées et les données expérimentales associées contribueront à une modélisation plus réaliste des interactions entre les espèces issues du plasma de fusion et les surfaces exposées.

Ce projet se distingue par :

1. **Une caractérisation précise et absolue des flux atomiques incident et des espèces moléculaires produites**
   L'association de diagnostics complémentaires permettra une quantification rigoureuse du flux d'atomes incidents ainsi que des espèces moléculaires générées par recombinaison à la surface des matériaux.
2. **Un suivi détaillé de l'évolution de la morphologie et des endommagements des matériaux W**
   Des analyses de surface approfondies seront menées avant et après exposition aux flux de particules, en utilisant des techniques de pointe telles que l'AFM, la microscopie électronique, la diffraction des rayons X (XRD) et la spectroscopie XPS, afin d'évaluer l'impact des interactions atome-surface.
3. **Des conditions d'exposition fidèles aux environnements réels**
   Le dispositif expérimental SCHEME-III permet de reproduire des conditions expérimentales proches de celles du plasma de bord d'un tokamak (~0,3 MW/m³), garantissant ainsi une exploitation fiable des résultats pour la modélisation du comportement des surfaces exposées à un flux de particules neutres et chargées.

Summary of the thesis project * :

This research program aims to study the interactions between neutral species (^1H, ^2H) and charged species ($^1H_2^+$, $^2H_2^+$), originating from a plasma ($^1H_2$, $^2H_2$), and tungsten (W) surfaces fabricated using different processes (cathodic sputtering, spray-coating, rolling, etc.). These manufacturing methods impart varied crystallographic morphologies to tungsten (99.97% pure W), influencing its retention, adsorption, and chemisorption properties with respect to incident species [1]. These interactions occur over a wide energy range, from a few hundred kelvins for neutral species (^1H, ^2H) to several tens of electron volts for ions ($^1H^+$, $^2H^+$, $^1H_2^+$, $^2H_2^+$).

A commercial species source (Surfatron S-Wave, marketed by SAIREM) will be implemented on the SCHEME-III experimental setup, specifically designed for this study. This setup will allow the exposure of small tungsten (W) samples (15 mm diameter disks) at precisely controlled temperature and potential. The small sample size offers several advantages: it facilitates access to various fabrication and post-processing methods (notably vacuum annealing) and enables in-depth surface analyses (AFM, electron microscopy, XRD, XPS spectroscopy) without altering the sample.

During the exposure of these samples to species fluxes, non-intrusive diagnostics such as emission and absorption spectroscopy will be employed to characterize both the incident species—primarily monoatomic (Balmer series) and molecular triplet Q(v′,v′′): $d^3\Pi_u \rightarrow a^3\Sigma g^+$—as well as those produced by surface recombination ($^1H_2/^2H_2$ $X^1\Sigma g^+(v'', J'')$). The latter will be quantified in absolute terms using VUV absorption spectroscopy at the SOLEIL synchrotron, via a diagnostic developed by LPSC on the DESIRS beamline over the past ten years [2, 3]. Additionally, intrusive diagnostics such as Langmuir probes and laser photodetachment will complement the characterization of the plasma environment ($^1H^+$, $^2H^+$, $^1H_2^+$, $^2H_2^+$, $^1H^-$, $^2H^-$) in which the tungsten samples will be immersed.

Comparing surface analyses before and after exposure to particle fluxes will help identify and quantify potential morphological modifications. Indeed, ^1H and ^2H are known for their ability to integrate into the crystalline lattice, causing irreversible alterations that may modify the surface properties of materials concerning incident species.

This research project aims to deepen the understanding of interactions between tungsten (W) materials with different morphologies and fluxes of species representative in type and energy of those present near the tokamak wall (edge plasma) and ITER divertor targets. Ultimately, this enhanced understanding and the associated experimental data will contribute to a more realistic modeling of interactions between fusion plasma species and exposed surfaces.

This project stands out for:

1. **A precise and absolute characterization of incident atomic fluxes and produced molecular species**
   The combination of complementary diagnostics will enable a rigorous quantification of the incident atomic flux as well as the molecular species generated by recombination at the material surfaces.
2. **A detailed monitoring of the morphological evolution and damage of tungsten materials**
   In-depth surface analyses will be conducted before and after exposure to particle fluxes using advanced techniques such as AFM, electron microscopy, XRD, and XPS spectroscopy to assess the impact of atom-surface interactions.
3. **Exposure conditions representative of real environments**
   The SCHEME-III experimental setup allows for the reproduction of experimental conditions similar to those of the edge plasma in a tokamak (~0.3 MW/m³), ensuring reliable exploitation of the results for modeling the behavior of surfaces exposed to a flux of neutral and charged particles.

Thématique
Physique des matériaux et interactions espèces atomiques/matériaux.

Domaine
Physique des interactions espèces atomiques /surfaces – Caractérisation des matériaux

Objectifs :

Ce projet vise à caractériser expérimentalement l'environnement immédiat de surfaces en tungstène (W), en fonction de leur procédé de fabrication (laminage, frittage, spray-coating), lorsqu'elles sont exposées à un flux d'espèces neutres et chargées issues d'un plasma (^1H, ^2H). Il s'attache également à analyser les espèces désorbées au voisinage de ces surfaces sous l'effet de cette exposition. L'évolution morphologique des matériaux sera suivie par des analyses de surface approfondies (AFM, microscopie électronique, XRD, spectroscopie XPS) effectuées avant et après traitement, permettant d'évaluer les modifications induites par ces interactions.

Contexte * :

La fusion nucléaire contrôlée pourrait fournir aux générations futures une source d'énergie illimitée sans événements incontrôlables, déchets nucléaires ou sous-produits à prendre en compte. Extraire l'énergie du plasma de fusion afin de produire de l'électricité est l'une des difficultés majeures à résoudre pour envisager une production industrielle d'énergie. Un dispositif complexe appelé "divertor" équipé de cibles en tungstène (W) refroidies activement devrait remplir cette fonction. Ces cibles ou composants en contact avec le plasma (PFC) doivent rester intacts malgré le fort flux d'ions positifs canalisé par les surfaces de champ magnétique ouvertes. Toutefois, la charge thermique dans les futurs réacteurs à fusion - ITER et DEMO - devrait dépasser significativement la limite matérielle de 10-20 MW/m^2 (pour la surface de tungstène la plus activement refroidie) [4, 5]. Une solution pour atténuer cette charge thermique serait la création d'une zone tampon de **particules neutres** entre les surfaces magnétiques fermées et ouvertes - la couche de détachement (SOL) - et les PFC afin de "détacher" le plasma des cibles. Cela peut être obtenu soit par l'injection d'un gaz neutre (N_2) [6], soit par la neutralisation des particules chargées heurtant les surfaces du divertor, processus de recyclage[7]. Parmi les innombrables réactions chimiques et physiques qui se produisent dans la SOL, les mécanismes de recombinaison activés par les molécules (MAR) qui convertissent les ions moléculaires positifs énergétiques en **particules neutres énergétiques**, non piégées dans les surfaces magnétiques, sont les plus prometteurs pour surmonter l'obstacle scientifique de l'évacuation de chaleur [8, 9].
La recombinaison dissociative du NH^+ obtenue avec adjonction d'azote, les réactions N-MAR, pourrait représenter les deux tiers de la neutralisation totale des ions positifs. Cependant, cela crée - via une réaction de surface - de l'ammoniac et de l'ammoniac tritiée. Le premier est nocif pour la fabrication de tritium par réactions nucléaires avec le lithium (toléré à 1-10 ppm) et le second pourrait être absorbé par les cryopompes du tokamak et affecter son entretien [10]. Pour le processus de recyclage, r-MAR, la première réaction possible est un échange de charge entre un ion positif (H^+, H_2^+, H_3^+) et une molécule excitée ro-vibrationnellement $^1H_2\ X^1\Sigma_g^+(v'', J'')$, suivi d'une recombinaison dissociative de H_2^+. La deuxième réaction possible est la neutralisation mutuelle entre les ions positifs et négatifs. Les taux de réaction des processus r-MAR peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur [11] selon le niveau de ro-vibration des molécules. Ces niveaux (v",J") sont largement inconnus dans les plasmas, et sont produits à la fois dans le volume du plasma (réaction E-V), et sur **les surfaces** des parois du réacteur, via la désorption recombinative [12, 13]. La réaction E-V implique des molécules dans leur état fondamental et des électrons chauds ($T_e > 10$ eV) pour produire les états singulets B et C qui donnent des états $X^1\Sigma_g^+(v'', J'')$ via une désintégration radiative. La désorption recombinative implique que les atomes provenant du plasma heurtent les surfaces, déjà couvertes d'atomes adsorbés, et soient convertis en molécules excitées ro-vibrationnellement via des mécanismes Eley-Rideal, Langmuir-Hinshelwood[13] dans des états $X^1\Sigma_g^+$ (v'', J'') identiques.
Ce projet de thèse permettra, par des mesures absolues de la densité des espèces atomiques et moléculaires (chargées ou non), par l'analyse des surfaces exposées aux neutres dans des conditions représentatives de la SOL de fournir des données expérimentales pour déterminer le ou les matériaux les plus à même de supporter ces flux d'atomes et de promouvoir ces réactions de surfaces en vue de la réduction de la charge thermique.

Méthode :

Ce projet est organisé en trois sections interconnectées. **S1** est dédiée aux mesures des densités absolues des atomes $^1H/^2H$ et des états $^1H_2/^2H_2$ $X^1\Sigma_g^+(v'', J'')$ produits par réaction de surface, désorption recombinative (via mécanismes Langmuir-Hinshelwood, Eley-Rideal et Harris-Kasemono) au synchrotron SOLEIL [2, 14, 15]. Ces mesures, absorption VUV très haute résolution (0.5 cm^{-1}), fourniront des données de références permettant de calibrer les mesures de spectroscopie d'absorption VUV à plus faible résolution (20 cm^{-1}) et de température de gaz par spectroscopie d'émission (bande Fulcher-α) effectuées au LPSC. Pour la section **S2**, les mêmes conditions expérimentales seront étudiées pour obtenir des caractéristiques complémentaires - densités d'électrons et d'ions négatifs, EEDF, température du gaz, densités d'atomes H/D - avec les diagnostics plasma disponibles au LPSC. Dans **S1** et **S2**, les diagnostics mentionnés ci-dessus seront effectués d'abord en mode continu et ensuite en mode pulsé impliquant la résolution temporelle pour les diagnostics pour étudier la dynamique des espèces de plasma (coefficients d'adhérence et durées de vie) impliquées dans les mécanismes de surface. Ensuite, dans les sections **S1** et **S2**, l'adjonction de N_2 sera considérée et son effet sur les réactions de surfaces évaluée. L'adjonction de N_2 dans le plasma de fusion est, pour le moment, un moyen de créer une zone tampon entre le plasma de fusion et les cibles du divertor et d'obtenir ainsi un mode détaché qui satisferait plus à des conditions de fonctionnement permettant à ces cibles de supporter la charge thermique imposée. La section **S3** est consacrée à la caractérisation des matériaux avant et après leur exposition au flux de neutres. Ces caractérisations seront effectuées sur les trois types de matériaux considérés, W, Ta et carbone (servant de référence car de nombreuses études traitent des interactions entre atomes ^1H et ^2H avec ce matériau). Ainsi, les techniques de caractérisation suivantes seront employées : MEB-EDX, AFM, XRD, FIB-STEM et XPS. Pour ce projet, le dispositif SCHEME-III a été entièrement conçu au LPSC sur la base du dispositif SCHEME-II+, mais est capable d'atteindre un rapport plus élevé de puissance déposée dans le plasma par rapport aux matériaux en contact avec le plasma ; 1,3 MW/m^2 au lieu de 0,008 MW/m^2 précédemment.

Résultats attendus :

Au-delà de la possibilité d'examiner les réactions de surfaces entre atomes ^1H et ^2H et des matériaux destinés à recouvrir les cibles de protection du divertor d'ITER, ces résultats pourraient servir : i) de références pour la modélisation du divertor dans le régime détaché (lors de l'injection de N_2) pour les applications de fusion ; ii) d'offrir à la communauté scientifique de nouvelles possibilités de mesures car, dans le cadre de ce projet, des mesures résolues dans le temps seront mises en œuvre sur la ligne de faisceau DESIRS VUV-FTS pour d'autres utilisateurs du faisceau synchrotron.

Références bibliographiques * :

1 Boutard, J.-L. *(2014) Reflets de La Physique, **38**, 22–27.*
2 Béchu, S., *et al.* (2020) *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **257** 107325.
3 Taccogna, F *et al.* (2021) The European Physical Journal D, 75(8), 227. https://doi.org/10.1140/epjd/s10053-021-00228-y
4 Pitts, R. A., *et al.* (2019) *Nucl. Mater. Energy*, **20**, 100696.
5 Asakura, N., *et al*. (2022). *Processes*, **10**(5), 872.
6 Perillo, R., *et al.* (2019) *Nucl. Mater. Energy*, **19,** 87–93.
7 Matthews, G. F. (1995) *J. Nuc. Mat.,* vol. **220-222**, 104–116
8 Verhaegh, K., *et al.* (2021) *Nuc. Mat. and Energy*, **26**, 100922.
9 Verhaegh, K., *et al.* (2021) *Nuc. Fus*., **61**(10), 106014.
10 Laguardia, L. *et al.* (2017) *Nucl. Mater. Energy*, **12**, 261.
11 Janev R.K., *et al*. (2003) *Report Forschungszentrum Jülich* JUEL 4105
12 Rutigliano, M., *et al.* (2011) *Phys. Chem. Chem. Phys*., **13**(16), 7475.
13 Jackson, B., *et al.* (2001) *J. Chem. Phys.*, **114**(1), 474.
14 de Oliveira, N. *et al.* (2011) *Nat. Photonics*, **5,** 149–53.
15 Béchu, S., *et al.* (2017) *App. Phys. Lett*., **111**(7), 074103.

Conditions scientifiques matérielles (conditions de sécurité spécifiques) et financières du projet de recherche * :

Le dispositif SCHEME-III est assemblé et est en cours de validation opérationnelle avec des plasmas Ar puis $1H_2$ et $^2H_2$. Il sera donc pleinement opérationnel à la rentrée de Septembre 2025. Les diagnostics du LPSC évoqués dans cette proposition (sonde de Langmuir, photodétachement laser, spectroscopie optique visible et VUV) sont tous opérationnels en mode continu et pulsé (résolution temporelle effective). L'utilisation d'un laser sera précédée d'une formation spécifique aux risques d'd'utilisation d'un laser classe-4.

Les caractérisations de surfaces microscopie électronique, AFM, MEB-EDX, XRD, FIB-STEM et XPS ainsi que les outils de dépôt (pulvérisation cathodique et spray coating) sont tous opérationnels au LTM.

L'accès à la ligne de lumière DESIRS du synchrotron SOLEIL sera assujettie à la réussite de demande de temps de faisceau (2 calls/year) ; entre 2016 et 2023 sept « beam time allocation » ont été obtenues pour des projets similaires ce qui laisse entrevoir au moins deux campagnes expérimentales au synchrotron.

Cette thématique est co-financée, chaque année, depuis 2008 par EUROFusion et la fédération de recherche Fusion par Confinement Magnétique (FCM/ITER - FR 3029).

Un projet ANR intitulé VIAGRA pour « VUV absorption spectroscopy to assist plasma engineering of Graphene" est en cours (2024-2027) et permettra à cette étude de bénéficier d'une source de lumière VUV pour les mesures d'absorption VUV efféctuées au LPSC.

Ouverture Internationale :

Une collaboration de longue date (2014) est en place avec la Grèce (Université de Patras) sur cette thématique et des échanges pourraient être envisager pour confronter et/ ou compléter les mesures expérimentales effectuées à Grenoble au LPSC.

Collaborations envisagées :

Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM – UPR3407) – Villetaneuse (co-encadrement)
Université de Patras - High Voltage Laboratory (Plasma Technology Room), Electrical and Computer Engineering Department, 26 504 Rion-Patras, Greece

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,... * :

Le doctorant sera inscrit à des conférences internationales lors de cette formation IEEE International Conference on Plasma Science (**ICOPS 2025**), International Conference on ion sources (**ICIS2025**),…

La rédaction au moins d'une publication sera engagée(s) entre la deuxième et troisième année de thèse sur les résultats obtenus.

Caractère confidentiel des travaux * : non

3 - Financement du projet doctoral

Type de Financement du projet doctoral* : Concours pour un contrat doctoral

4 - Candidature

Profil et compétences recherchées* :

Ce travail nécessite des compétences en science des matériaux, spectroscopie, physique des plasmas et un fort intérêt pour le travail expérimental. Des qualités de rigueur et d'autonomie seront très fortement appréciées.

Profile and skills required* :

This work requires skills in materials science, spectroscopy, plasma physics and a strong interest in experimental work. Qualities such as rigor and autonomy will be highly valued.

Niveau de français requis (aucun ou niveau de A1 à C2) : C2

Niveau d'anglais requis (aucun ou niveau de A1 à C2) : C2

Candidature en ligne du sujet sur le site ADUM* : OUI

Avez-vous un candidat et souhaitez-vous lui réserver ce projet ? NON