

SUJETS DE STAGES
CEA/ISEC/DPME

Matériaux
Procédés
Numérique

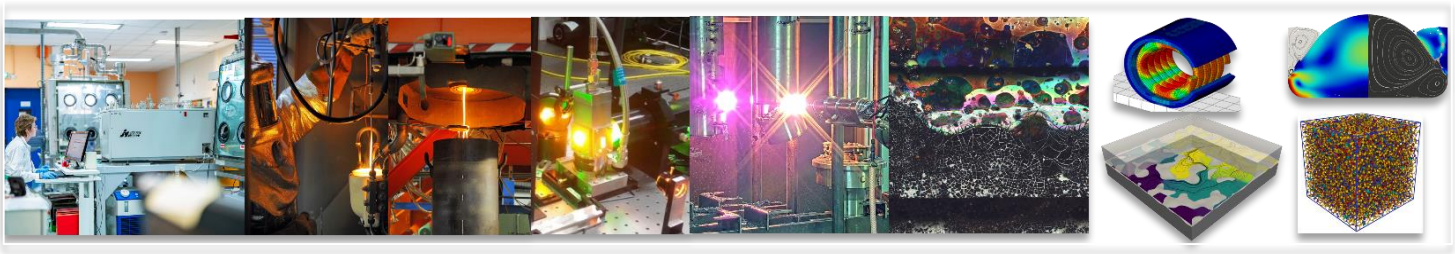
Année universitaire 2027

Département de recherche
sur les procédés et matériaux
pour les environnements complexes (DPME)

ISEC : Institut des Sciences et technologies pour une Economie Circulaire des énergies bas-carbone **– CEA Marcoule 30207 Bagnols-sur-Cèze**

Mise à jour 08/10/2026

Département de recherche
CEA/DES/ISEC/DPME site de Marcoule (Gard)



Au sein de la Direction des Energies (DES) du CEA, l'ISEC (Institut des Sciences et technologies pour une Economie Circulaire des énergies bas-carbone) apporte des réponses aux challenges de la transition énergétique associant nucléaire et nouvelles technologies pour l'énergie. Il met en avant une utilisation durable des ressources primaires et secondaires en développant des procédés de traitement/recyclage, fabrication de matériaux avancés à propriétés contrôlées, dépollution et conditionnement des déchets industriels dans une démarche d'écoconception.

Le département de recherche sur les Procédés et Matériaux pour les Environnements complexes (DPME) réalise des activités de Recherche et Développement, depuis la recherche scientifique amont jusqu'au transfert technologique vers les industriels, pour les besoins de l'industrie des énergies bas carbone, dont le nucléaire. Il s'agit de concevoir, de développer et de qualifier des matériaux, des procédés et des technologies pour les systèmes énergétiques bas-carbone :

- Pour le traitement des déchets (cimentation, incinération, vitrification)
- Pour le recyclage des matières issues de ces déchets
- Pour les opérations d'assainissement et de démantèlement des sites nucléaires anciens
- Pour la séparation isotopique d'isotopes radioactifs ou stables
- Pour les systèmes d'étanchéité haute performance

« Dans le cadre de ses activités de R&D, le département accueille chaque année des stagiaires universitaires dans ses laboratoires sur le site de Marcoule au sein de l'institut ISEC »

Proposition de stage 2027

MODELISATION NUMERIQUE D'UN CREUSET FROID BIFREQUENCE

CEA, DES, ISEC, DPME - Département de recherche sur les procédés et matériaux pour les environnements complexes

Laboratoire : L3PI

Niveau : Master 2 ou équivalent	**Période (Février à Septembre 2027)**

Contacts : QUINTAS ARNAUD – arnaud.quintas@cea.fr

Contexte :

Au sein du projet ENRII (ENRIchissement Isotopique), le CEA est en charge du développement d'une filière de valorisation/recyclage de l'uranium de retraitement (URT) visant à permettre la production de nouveaux assemblages combustibles à partir des stocks d'URT disponibles en France. Dans ce cadre, un certain nombre de procédés de conversion de l'uranium sont nécessaires en amont et en aval de l'étape d'enrichissement et le laboratoire L3PI étudie en particulier un procédé de conversion du tétrafluorure d'uranium en uranium métallique dans un four métallothermique. Ce procédé s'appuie sur une technologie de creuset froid bi-fréquence développée dans les années 80 par le CEA pour la production de différents métaux. Le laboratoire L3PI est actuellement en train de s'équiper d'installations expérimentales qui permettront d'étudier les performances de ce procédé. Une modélisation multiphysique est déployée en support à la conception de ces équipements et pour accompagner les futurs travaux de R&D. Une thèse est actuellement en cours sur le sujet. Elle vise à développer un modèle numérique en intégrant progressivement les différentes briques phénoménologiques.

Sujet :

Le modèle numérique actuellement développé dans le cadre de la thèse est une simulation électromagnétique (réalisée sous Elmer) couplée à une simulation hydrodynamique de type VOF (réalisée sous OpenFoam) décrivant le comportement du système biphasique métal/laitier fondu par induction électromagnétique. Ce modèle se focalise pour l'instant sur l'étude du couplage électromagnétique entre les deux inducteurs du système bifréquence. Il intégrera à terme la prise en compte de la présence de gouttelettes métalliques au sein de la phase laitier et les phénomènes de sédimentation/coalescence couplés aux mouvements de brassage des phases sous champ électromagnétique. Ce modèle vise à mieux comprendre le comportement de ce système multiphasique haute température et à déterminer les leviers d'actions pour optimiser le rendement du four. Un second modèle électromagnétique (réalisé sous Comsol) est actuellement utilisé en assistance au travail de conception des réacteurs inductifs, notamment pour le dimensionnement de ces installations expérimentales.

L'objectif du stage est d'utiliser ces modèles numériques afin de réaliser des études paramétriques permettant d'évaluer l'effet d'un certain nombre de paramètres du système. La mission du stagiaire se déroulera en plusieurs étapes. Pour commencer, l'étudiant effectuera une lecture approfondie de la documentation technique associée au procédé afin de comprendre les grands principes de fonctionnement et d'appréhender l'ensemble des spécificités technologiques du four de fusion. Après une phase d'appropriation des modèles numériques, l'étudiant travaillera à l'analyse de l'impact de la variation de différents paramètres physiques (géométrie du système, propriétés des phases…) dans le cadre de cette étude de sensibilité. Des échanges avec les différents ingénieurs intervenant sur le projet permettront à l'étudiant de comprendre les principaux enjeux techniques et de définir une stratégie d'études en adéquation avec les besoins de R&D.

Profil du candidat recherché :
Niveau : Bac+5
Compétences techniques et/ou spécifiques : Procédés. Des connaissances en modélisation des systèmes multiphysiques et simulation magnéto/thermo/hydraulique constituent un plus. L'étudiant doit disposer de capacités d'analyse et de synthèse. Il devra également faire preuve d'esprit critique. L'objectif principal du stage est de faire fonctionner un modèle existant pour en extraire des informations visant à évaluer la sensibilité du

procédé à différents paramètres mais en fonction de ses capacités et s'il le souhaite, l'étudiant aura l'opportunité de contribuer au développement de modèle.
Outils et logiciels utilisé : Elmer, OpenFoam, Comsol
Environnement : Linux / Windows

Apport pour le candidat :

Ce sujet de stage s'inscrit dans un projet à portée nationale puisqu'il est associé à une stratégie déployée sous impulsion gouvernementale visant à assurer la fermeture du cycle du combustible. A ce titre, ce sujet offrira à l'étudiant l'opportunité de développer une bonne vision des enjeux contemporains dans le domaine du nucléaire civil mais également plus spécifiquement des activités de R&D du CEA en matière de traitement/valorisation des matières issues du cycle. Sur un plan plus technique, ce sujet permettra à l'étudiant de consolider ses acquis et compétences en simulation numérique et procédés industriels. Enfin, l'étudiant sera amené à échanger avec des profils métiers variés (ingénieurs, doctorants…) ce qui lui permettra d'affiner son projet professionnel.

Proposition de stage 2027

ÉTUDE DE L'IMPACT DES PLATINOÏDES SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DE LA FONTE VERRIERE

CEA, DES, ISEC, DPME - Département de recherche sur les procédés et matériaux pour les environnements complexes

Laboratoire : LFCM (Laboratoire de formulation et de caractérisation des matériaux minéraux)

Niveau : Master 2 ou équivalent	**Période (Février à Septembre 2027)**

Contacts :	**Alexandre Barone DE OLIVEIRA MIRANDA (Doctorant) : Alexandre-Barone.DEOLIVEIRAMIRANDA@cea.fr, Cloé LAURIN (Ingénieure-chercheuse) : cloe.laurin@cea.fr**

Contexte : En France, le combustible nucléaire usé issu des réacteurs de fission nucléaire est retraité par le procédé PUREX avant d'être conditionné. Le but de ce procédé est de récupérer les éléments valorisables du combustible usé, comme l'uranium et le plutonium, via des étapes de dissolution dans l'acide nitrique et extraction par solvant. Les déchets de haute activité restants sont récupérés dans une solution d'acide nitrique. Pour conditionner ces déchets dans une matrice solide et durable, la France à fait le choix de la vitrification. Dans le procédé français de vitrification compte 2 étapes : la solution de déchet est d'abord calcinée pour transformer les nitrates en oxydes, puis ce calcinat est mélangé à une fonte verrière chauffée par induction puis coulé en conteneur pour former un verre. Les éléments présents dans les déchets nucléaires sont solubilisés dans la matrice de verre alumino-borosilicaté, exceptés les éléments platinoïdes (PGM), notamment le Pd, Rh et Ru, associés ou non au Te et à l'O. Ces particules se présentent généralement sous forme de phases intermétalliques sphériques Pd-Rh-Te, liquides à la température d'élaboration du verre, pour le Pd et le Rh, et sous forme d'aiguilles solides pour le Ru et le Rh sous leur forme oxydée (Ru, Rh)O_2 [1], [2], [3] (Figure 1a). En conditions de fonctionnement dégradées, ces particules peuvent parfois s'agréger et former des regroupements de particules (Figure 1b), voire plus rarement de gros amas contenant du ruthénium métallique (Figure 1c) [4].

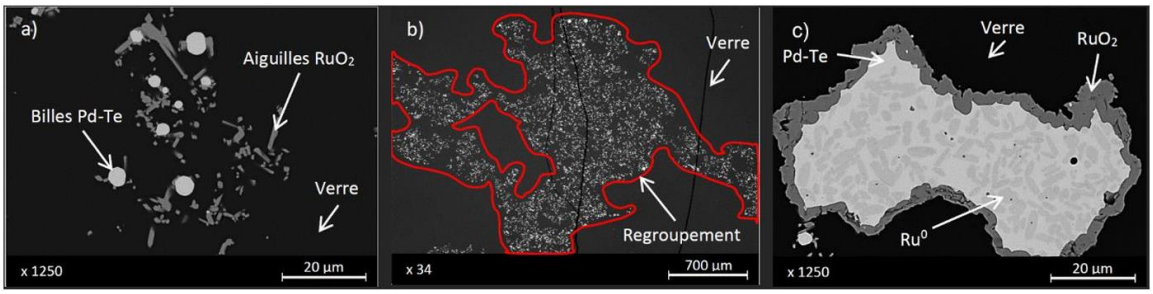


Figure 1: Images MEB a) de morphologies classiques de particules de PGM au sein d'une matrice de verre, b) de regroupement de particules de PGM, c) d'un amas contenant du ruthénium métallique [3].

Ces particules insolubles présentent une densité élevée (entre 7 et 12 g/cm³ environ) et une conductivité électrique importante. Or, la conductivité électrique du ruthénium et du rhodium est plus importante sous leur forme métallique que sous leur forme oxyde. La spéciation des PGM peut donc influencer, par la morphologie des particules ou par la spéciation des éléments, la conductivité globale de la fonte [5], [6].

Sujet : Dans ce contexte, ce stage vise à établir un lien entre la microstructure (aiguilles, sphères, amas…) et l'état d'oxydation (métal, oxyde) du système Pd-Rh-Ru-Te-O et la conductivité électrique du verre fondu. Pour cela, le ou la stagiaire préparera différents échantillons de verre contenant des PGM à pression d'oxygène, température et/ou composition du verre variables, puis caractérisera la microstructure des PGM dans ces échantillons (MEB-EDS, diffraction des rayons X…) et enfin, mesurera la conductivité électrique de ces verres.

Ce stage se déroulera au Laboratoire de formulation et de caractérisation des matériaux minéraux (LFCM) au CEA de Marcoule. Le stagiaire sera encadré par Cloé LAURIN (ingénieure R&D) et Alexandre Barone DE OLIVEIRA MIRANDA (doctorant). L'ensemble des travaux sera mené dans un environnement non radioactif.

References:

[1] P. B. Rose, D. I. Woodward, M. I. Ojovan, N. C. Hyatt, et W. E. Lee, « Crystallisation of a simulated borosilicate high-level waste glass produced on a full-scale vitrification line », J. Non-Cryst. Solids, vol. 357, no 15, p. 2989-3001, 2011, doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2011.04.003.

[2] T. Sugawara, T. Ohira, S. Komamine, et E. Ochi, « Partitioning of rhodium and ruthenium between Pd-Rh-Ru and (Ru,Rh)O2 solid solutions in high-level radioactive waste glass », J. Nucl. Mater., vol. 465, p. 590-596, 2015, doi: 10.1016/j.jnucmat.2015.06.040.

[3] C. Laurin, C. Laurin, et D. E. L. U. D. E. Montpellier, « Transformations physico-chimiques du ruthénium lors de la vitrification des déchets nucléaires To cite this version : HAL Id : tel-03380712 Transformations physico-chimiques du ruthénium lors de la vitrification des déchets nucléaires Présentée par Cloé L », 2021.

[4] C. Hanotin, J. Puig, M. Neyret, et P. Marchal, « Platinum group metal particles aggregation in nuclear glass melts under the effect of temperature », J. Nucl. Mater., vol. 477, p. 102-109, 2016, doi: 10.1016/j.jnucmat.2016.04.033.

[5] B. Luckscheiter, « Properties and behavior of the platinum group metals in the glass resulting from the vitrification of simulated nuclear fuel reprocessing waste », J. Mater. Res., vol. 6, no 12, p. 2535-2546, 1991, doi: 10.1557/JMR.1991.2535.

[6] C. Simonnet et A. Grandjean, « Mixed ionic and electronic conductivity of RuO2-glass composites from molten state to glassy state », J. Non-Cryst. Solids, vol. 351, no 19-20, p. 1611-1618, 2005, doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2005.04.049.

Profil du candidat recherché : Étudiant(e) en Master 2 ou équivalent en chimie, sciences des matériaux ou domaine similaire, intéressé(e) par l'élaboration et la caractérisation des verres. Rigoureux(se), curieux(se) et à l'aise avec les manipulations expérimentales, notamment les mesures de conductivité électrique.

Apport pour le candidat : Approfondissement des méthodes d'élaboration et de caractérisation des verres, ainsi que des mesures de conductivité électrique, avec mise en pratique de l'analyse et de l'interprétation des résultats expérimentaux.

Proposition de stage 2027

Séparation automatique de la radioactivité naturelle et artificielle dans des spectres gamma par apprentissage profond

CEA, DES, ISEC, DPME - Département de recherche sur les procédés et matériaux pour les environnements complexes

Laboratoire : Laboratoire d'étude des technologies du Numérique et des Procédés Avancés (LNPA)

Niveau : Master 2 ou équivalent	**Période : Février à Septembre 2027**

Contacts :	ANTONSANTI Pierre-Louis pierre-louis.antonsanti@cea.fr VENARA Julien julien.venara@cea.fr HAYEK Antoine antoine.hayek@cea.fr

Contexte :

Au sein du Département de recherche sur les Procédés et Matériaux pour les Environnements complexes, le LNPA a pour mission d'évaluer, de développer et de qualifier des technologies destinées à soutenir les opérations d'assainissement et de démantèlement des installations nucléaires en fin de vie. Dans ce cadre, une équipe spécialisée en mesures nucléaires de terrain développe et qualifie des méthodes et des instruments dédiés à la caractérisation radiologique in situ de procédés, d'équipements et de structures de génie civil, notamment par spectrométrie gamma.

Dans le cas des structures de génie civil contaminées, les spectres gamma mesurés in situ peuvent contenir à la fois la contribution de la radioactivité naturelle du béton, principalement liée à l'U-238, au Th-232 et au K-40, et celle des radionucléides artificiels liés à la contamination. Ces différentes contributions se superposent dans le spectre mesuré et peuvent être difficiles à distinguer, en particulier lorsque les niveaux de radioactivité artificielle sont proches de ceux de la radioactivité naturelle. Cette situation, fréquemment rencontrée sur le terrain, peut ainsi limiter la capacité à détecter et à caractériser de faibles niveaux de contamination artificielle.

La contribution naturelle observée dans le spectre dépend des teneurs en U-238, Th-232 et K-40 présentes dans le béton, mais également de la géométrie de mesure et des caractéristiques du béton, notamment son épaisseur, sa densité et sa composition. Or, ces différents paramètres ne sont pas toujours connus avec précision lors des mesures in situ, ce qui peut rendre l'estimation de la contribution naturelle plus incertaine. Il est donc intéressant de disposer d'une méthode capable d'estimer directement cette contribution naturelle à partir du spectre mesuré, sans nécessiter une connaissance précise des caractéristiques du béton et de la configuration de mesure.

Sujet :

L'objectif du stage est d'étudier une approche basée sur l'intelligence artificielle permettant de séparer automatiquement la composante naturelle de la composante artificielle d'un spectre gamma. Un autoencodeur [1-3] sera entraîné sur une base de spectres de radioactivité naturelle simulés par Monte Carlo. Cette base couvrira différentes teneurs en U-238, Th-232 et K-40 susceptibles d'être rencontrées dans les bétons, ainsi qu'une large gamme de configurations de mesure et de caractéristiques du béton (épaisseur, densité, composition, etc.). L'objectif est ainsi d'entraîner le modèle à reconstruire la composante naturelle pour une large diversité de configurations susceptibles d'être rencontrées sur le terrain. Dans un second temps, des spectres contenant différentes contaminations artificielles (par exemple Cs-137) seront utilisés pour évaluer la capacité du modèle à reconstruire uniquement la composante naturelle et ainsi à isoler la contribution de la contamination artificielle.

Le stagiaire aura en charge les actions suivantes, susceptibles d'évoluer en fonction des résultats obtenus :

- Mise en place des simulations Monte Carlo (PHITS ou MCNP) nécessaires à la construction de la base de données d'entraînement de l'autoencodeur, en s'appuyant sur un modèle validé de détecteur HPGe déjà développé au laboratoire.
- Sélection, entraînement et optimisation d'une architecture de réseau de neurones de type autoencodeur.
- Développement d'une méthode permettant d'extraire la composante naturelle d'un spectre contenant une contribution liée à une contamination artificielle.
- Évaluation globale des performances de la méthode développée.

[1] Bandstra, M. S., et al. "Background and anomaly learning methods for static gamma-ray detectors." IEEE Transactions on Nuclear Science 70.10 (2023): 2352-2363.

[2] Karafasoulis, Konstantinos, and Aristotelis Kyriakis. "Anomaly detection in gamma-ray spectra using autoencoders with small form factor CZT detectors." Applied Radiation and Isotopes 229 (2026): 112409.

[3] Chanho Kim, A denoising autoencoder for dual-target radionuclide quantification robust to unseen contamination and high background, Nuclear Engineering and Technology, Volume 59, Issue 1, 2027, https://doi.org/10.1016/j.net.2026.104667.

Profil du candidat recherché :

Le profil recherché est un(e) candidat(e) issu(e) d'une école d'ingénieur ou d'un Master 2, disposant de bonnes compétences en programmation Python pour le traitement et l'analyse de données. Un intérêt pour le machine learning est également recherché. Une première expérience en simulation Monte Carlo appliquée au transport des particules (MCNP, PHITS ou équivalent) serait appréciée. Des connaissances en interactions rayonnement-matière constitueraient également un plus.

Apport pour le candidat :

Ce stage permettra au candidat de développer des compétences en simulation Monte Carlo et en intelligence artificielle appliquées à la spectrométrie gamma. Il lui permettra également de mettre en œuvre une démarche complète, de la modélisation physique au traitement des données, sur une problématique concrète de caractérisation radiologique in situ.