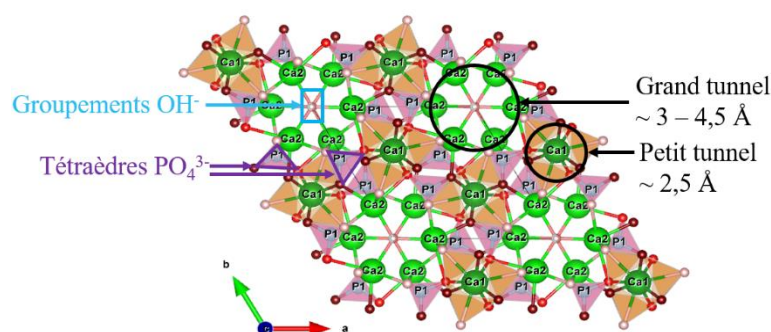


## Etude minéralogique et cristallographique d'hydroxyapatites frittées substituées aux ions iodate et carbonate

L'iode 129 et le carbone 14 sont deux radionucléides à vie longue, issus du combustible nucléaire usé. Actuellement, leur gestion inclut des traitements complexes et un rejet réglementé dont les conditions sont susceptibles d'évoluer. Ainsi, de nouveaux systèmes de conditionnement pour ces radionucléides sont à l'étude. Ces systèmes ne doivent pas contenir d'éléments toxiques, être chimiquement stables, et doivent permettre une mise en œuvre robuste et industrialisable à relativement basse température. Le projet D-CLIC, financé par France 2030, et issu d'un consortium entre le CEA-ISEC, le CIRIMAT, l'ICB et le LSI, vise à développer une matrice de conditionnement pour  $^{129}\text{I}$  et  $^{14}\text{C}$ , qui réponde aux critères précédemment cités. Pour cela, l'hydroxyapatite  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , qui est un analogue du minéral majoritaire des tissus osseux, s'avère prometteur. Son importante flexibilité structurale lui permet d'incorporer des anions dans les tunnels de sa structure cristalline. Dans le cadre du projet, la synthèse des



échantillons d'hydroxyapatite substituée avec différents anions est confiée au CIRIMAT et au CEA-ISEC, selon deux voies de synthèse : la précipitation aqueuse et la cimentation. Suite à ces synthèses, les poudres obtenues sont frittées par Spark Plasma Sintering (SPS) à l'ICB. Le LSI intervient afin d'étudier finement la cristallographie des matériaux, depuis l'étape de synthèse jusqu'aux matériaux frittés.

### OBJECTIFS DU STAGE

Les travaux de stage s'inscriront dans les activités confiées au LSI à l'Ecole Polytechnique, relatives au projet D-CLIC. Ils consisteront à étudier la cristallographie des hydroxyapatites, substituées avec des anions inertes, représentatifs des radionucléides  $^{129}\text{I}$  et  $^{14}\text{C}$ . L'étude portera sur les matériaux frittés et obtenus à partir de poudres synthétisées par les deux voies étudiées (précipitation aqueuse ou cimentation). Pour cela, la structure cristalline des échantillons avant et après frittage sera finement déterminée par DRX. Une attention particulière sera portée à l'identification des phases, y compris mineures, ainsi qu'à leur quantification et à la détermination de leurs paramètres structuraux au moyen d'affinements Rietveld des diagrammes de diffraction. Ces affinements permettront également de travailler sur de l'analyse microstructurale, avec l'étude des cristallites. En complément, des observations en microscopie électronique (MEB) couplées à des analyses chimiques par EDS, permettront d'étudier la taille et forme des grains ainsi que l'homogénéité des matériaux frittés. Finalement, le lien entre le procédé de synthèse (précipitation aqueuse ou cimentation), les paramètres de frittage et les paramètres structuraux et microstructuraux sera établi afin d'optimiser les protocoles de mise en œuvre des matériaux.

### PROFIL SOUHAITE

M1 ou M2 et/ou équivalent en école d'ingénieurs

Formation en sciences des matériaux, chimie du solide, cristallographie

Goût pour l'expérimentation, travail en équipe, intérêt pour les enjeux sociétaux, bonne maîtrise de l'anglais

**Laboratoire d'accueil :** Laboratoire des Solides Irradiés (LSI), Ecole Polytechnique, 91120 Palaiseau

**Durée du stage :** 3-6 mois, démarrage printemps 2026

**Rémunération :** financement CEA

<https://lsi.ip-paris.fr/>

**CONTACTS :** CV + lettre de motivation à envoyer à :

[lisa.audouard@polytechnique.edu](mailto:lisa.audouard@polytechnique.edu); [marie-noelle.de-noirfontaine@polytechnique.edu](mailto:marie-noelle.de-noirfontaine@polytechnique.edu)