

Influence de la composition des mélanges de poudres MOX sur les étapes de densification des comprimés

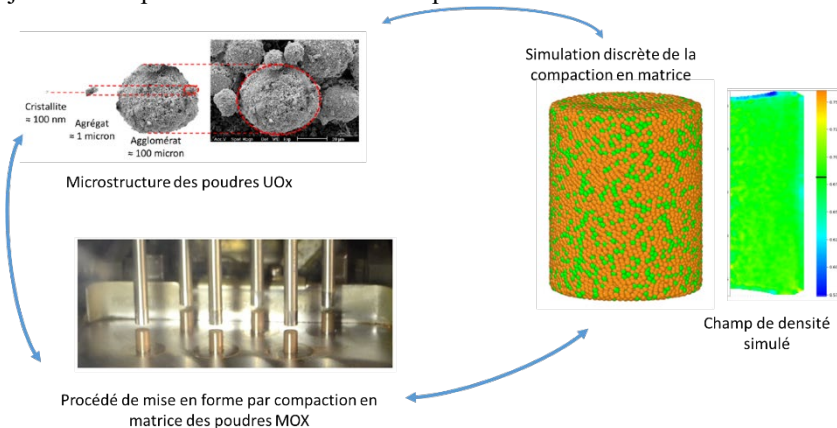
Début de la thèse prévu pour : hiver 2024/2025

Laboratoire : [SIMaP](#)

Partenaire industriel : Orano

Sur le site de MELOX, la société Orano réalise la fabrication de pastilles céramiques de combustible MOX (oxyde mixte d'uranium et de plutonium). La fabrication comprend tout d'abord les étapes de broyage de poudres UO_2 , PuO_2 et chamotte, dit mélange primaire. Le mélange primaire est ensuite dilué avec une poudre UO_2 à une teneur cible en plutonium. Ce mélange dit secondaire, est homogénéisé et mis en forme par pressage uni-axial double effet, avant l'étape de densification par frittage sous atmosphère contrôlée. Après rectification et contrôles qualité, ces pastilles sont engainées dans des tubes, soudés et assemblés en faisceau régulier pour constituer un assemblage MOX qui sera chargé en REP (Réacteur à eau pressurisé) pour produire de l'électricité.

L'objectif général de la thèse est de proposer une solution robuste pour anticiper les déformations des pastilles cylindriques à toutes les étapes du procédé de fabrication. La démarche repose à la fois sur un enrichissement expérimental des connaissances sur l'étape de compaction en matrice et sur un outil de simulation numérique Odp3D développé lors d'une thèse précédente. Il s'agira tout d'abord de comprendre le process industriel mis en jeu à Orano pour la fabrication des comprimés.



La première partie expérimentale de la thèse reposera sur une campagne de compactations instrumentées avec les partenaires du SCK CEN en Belgique sur des mélanges d'UOx. Les effets du taux de lubrifiant, de la composition en particules dures (chamotte) et de la cinématique de compaction seront étudiés en particulier. Ces informations seront analysées et viendront nourrir le code dédié Odp3D, basé sur un dialogue entre simulations discrètes et

apprentissage machine.

Les déformations de la pastille conduisent à un champ de densité (ou de porosité) hétérogène. C'est cette hétérogénéité qui est à l'origine des déformations de la pastille et à l'écart à la cylindricité qui impose une étape de rectification finale. Il est donc important de mesurer le champ de densité en 3D de la pastille. C'est un problème qui reste ouvert et dont la résolution intéresse l'ensemble de la communauté de la métallurgie des poudres. Il s'agira de développer, en utilisant des travaux préliminaires, une méthode de mesure de ce champ à partir de la tomographie aux rayons X. Cette deuxième partie expérimentale de la thèse sera développée au laboratoire SIMaP qui dispose d'un nano-tomographe. Elle utilisera un matériau modèle, l'YSZ (Yttria-Stabilized Zirconia) pour simuler les poudres d'UOx et de MOX.

Ces informations expérimentales seront intégrées dans le code Odp3D, basé sur la méthode des éléments discrets, pour alimenter une base de données et améliorer la qualité des simulations numériques permettant ainsi d'anticiper les déformations de la pastille tout au long du procédé industriel (remplissage, compaction, décharge, éjection, frittage). L'originalité des codes de simulation discrète (Discrete Element Method, DEM) est de prendre en compte de manière explicite la nature granulaire donc discrète du matériau à mettre en forme. Chaque agglomérat (quelques dizaines de μm) du comprimé est simulé ainsi que ses interactions mécaniques avec ses voisins. Le dialogue entre données expérimentales et simulations discrètes repose sur un apprentissage machine (deep learning) déjà mis en place mais qui pourra être revisité.

Même si le sujet de thèse concerne la compaction et le frittage des poudres uranifère et plutonifère, il permettra d'aborder plus généralement la simulation numérique des procédés de mise en forme des poudres avec de multiples



Laboratoire Science et Ingénierie des Matériaux et des Procédés

applications possibles (carbures, poudres composites, fabrication additive, ...). La thèse se déroulera essentiellement au laboratoire SIMaP à [l'Univ. Grenoble Alpes](http://www.univ-grenoble-alpes.fr).

Profil du ou de la candidate:

Cette offre de thèse s'adresse à un ou une étudiante de Master2/école d'ingénieur dans le domaine de la mécanique et/ou des matériaux. Une expérience dans l'utilisation des techniques de simulation numérique sera appréciée.

Contact : Christophe.Martin@grenoble-inp.fr

