

Etude des propriétés rhéologiques de mélanges de poudres d'oxyde d'uranium

A. Madian, K. Saleh, C. Ablitzer, P. Matheron, M. Leturia, G. Bernard-Granger

► **To cite this version:**

A. Madian, K. Saleh, C. Ablitzer, P. Matheron, M. Leturia, et al.. Etude des propriétés rhéologiques de mélanges de poudres d'oxyde d'uranium. Colloque Science et Technologie des Poudres 2018, Jul 2018, Compiègne, France. cea-02338598

HAL Id: cea-02338598

<https://hal-cea.archives-ouvertes.fr/cea-02338598>

Submitted on 9 Dec 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude des propriétés rhéologiques de mélanges de poudres d'oxyde d'uranium

A. Madian^{1,2*}, K. Saleh¹, C. Ablitzer², P. Matheron², M. Leturia¹, G. Bernard-Granger³

¹ Université de Technologie de Compiègne, Centre de recherche de Royallieu, Département de Génie des Procédés Industriels, 60200 Compiègne, France

² CEA, DEN, DEC, Centre de Cadarache, 13108 Saint-Paul-lez-Durance, France

³ CEA, DEN, DMRC, Centre de Marcoule, 30207 Bagnols sur Cèze, France

Mots clés : rhéologie des poudres, oxyde d'uranium, remplissage, fines.

Contexte et problématique

Le combustible nucléaire envisagé pour les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium est constitué de pastilles céramiques fabriquées à partir d' UO_2 et de PuO_2 , suivant un procédé de type métallurgie des poudres. Ce combustible est différent du combustible actuel des réacteurs à eau pressurisée [1]. Il présente des caractéristiques spécifiques (géométrie, microstructure...) qui nécessitent un processus de fabrication adapté. En particulier, les propriétés rhéologiques de la poudre alimentant le poste de pressage doivent être appropriées pour un remplissage reproductible de moules de presse annulaires.

En début de procédé, un co-broyage est réalisé sur un mélange de poudres d' UO_2 et de PuO_2 . Cette opération, destinée à obtenir une microstructure finale homogène, conduit à une poudre dont les propriétés rhéologiques sont généralement médiocres. Une opération de préparation, notamment de tamisage, pourrait précéder la mise en forme des pastilles pour améliorer les propriétés de remplissage des moules. Cette étude a ainsi pour objectif d'évaluer l'influence de la granulométrie sur les propriétés rhéologiques de poudres d' UO_2 , utilisées comme poudres représentatives (figure 1).

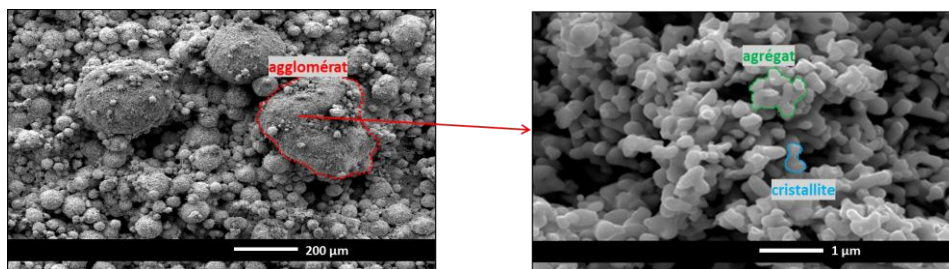


Figure 1 : Images MEB d'une poudre de dioxyde d'uranium UO_2

Pour bien appréhender le comportement des poudres étudiées, il est nécessaire de réaliser différents types de tests. En effet, il n'existe pas de méthode standard et universelle pour caractériser la rhéologie des poudres [2]. Il existe des méthodes dites directes (cellules de cisaillement) et indirectes (mesures d'écoulement dynamiques comme le rhéomètre à poudre FT4) [3]. Nous utilisons les deux méthodes: la mesure par cellule de cisaillement permet de déterminer la mise en écoulement de la poudre dans un système quasi-statique alors que la mesure dite « VFR » caractérise l'écoulement dans un système dynamique.

* Auteur à qui la correspondance devra être adressée : ahmed.madian@cea.fr

Matériaux

Des granulés mécaniques d'UO₂ ont été fabriqués de manière reproductible grâce à un broyeur à tamis (tamisage-forçage) (figure 2). Les poudres obtenues ont subi un tamisage séparant les granulés supérieurs à 100 µm et les granulés inférieurs à 100 µm (appelés aussi fines).

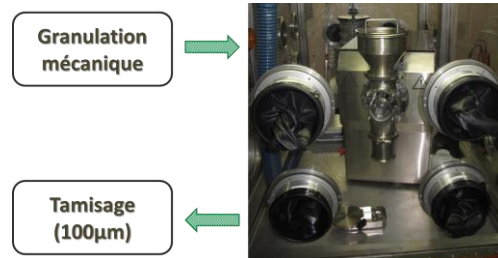


Figure 2 : Broyeur à tamis en boîte à gants

Différents mélanges granulométriques ont ensuite été réalisés en faisant varier les proportions des deux populations. Le mélange se fait par brassage doux dans un mélangeur. Cinq lots de granulés d'UO₂ ont été fabriqués, correspondant à différents taux de fines (tableau 1).

Tableau 1 : Constitution des lots

Lot	A	B	C	D	E
Taux de fines (%m)	0	10	30	50	100

Les distributions granulométriques correspondantes, mesurées par granulométrie laser en voie sèche, sont présentées en figure 3.

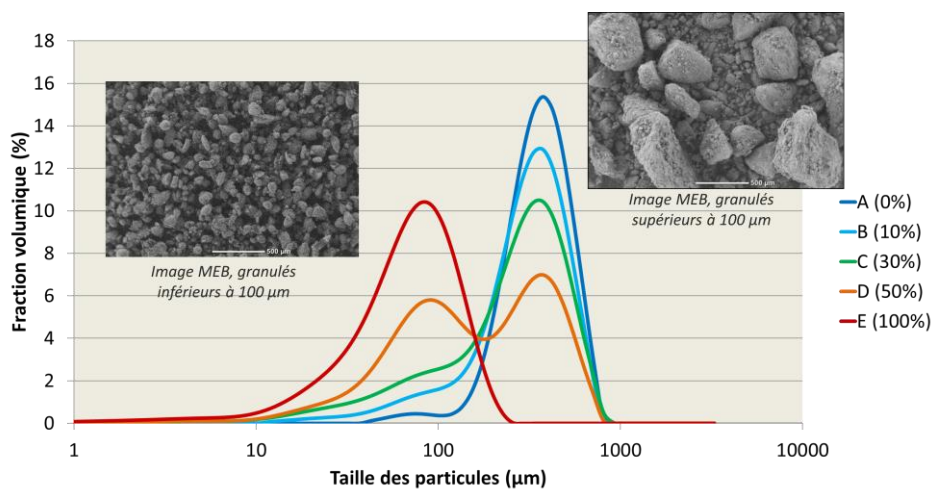


Figure 3 : Distributions granulométriques des lots

Tests de mise en écoulement

Des mesures de cisaillement ont été réalisées avec un rhéomètre à poudre FT4 de Freeman Technology, pour des volumes d'échantillon de 10 mL. Chaque mesure est répétée trois fois, sur trois prises d'échantillon différentes. Les fonctions d'écoulement obtenues pour les cinq lots sont présentées en figure 4.

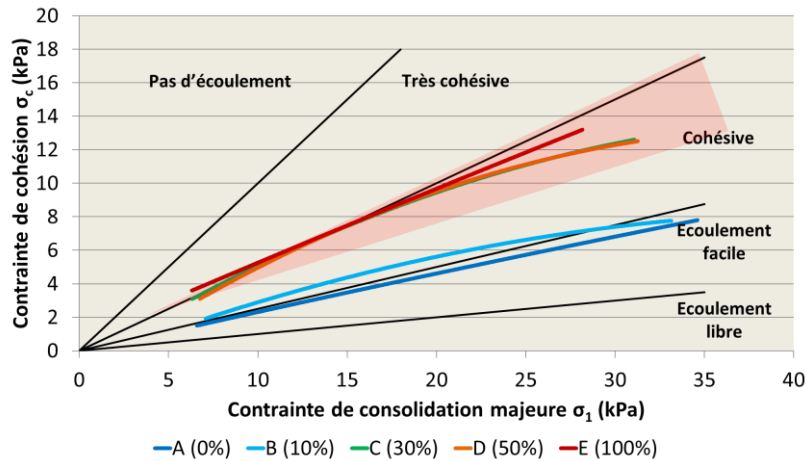


Figure 4 : Fonctions d'écoulement des cinq lots étudiés

Les fonctions d'écoulement se répartissent en deux catégories : les poudres à écoulement plutôt facile (0 et 10% de fines) et les poudres plutôt cohésives (30, 50 et 100% de fines).

Tests dynamiques

Les tests dynamiques ont également été réalisés sur un rhéomètre à poudre FT4, en configuration « VFR » (Variable Flow Rate). Les énergies d'écoulement mesurées (énergies « BFE », Basic Flow Energy) sont présentées figure 5.

A nouveau, on distingue une répartition des poudres en deux catégories. Les énergies d'écoulement mesurées sont plus faibles dans le cas des teneurs en fines supérieures ou égales à 30%, ce qui paraît surprenant. Ceci pourrait en fait traduire une modification de la zone d'influence de la pale du rhéomètre pour les teneurs en fines élevées, du fait du caractère cohésif de ces poudres (cf figure 4). Ces mesures sont donc à considérer avec précaution.

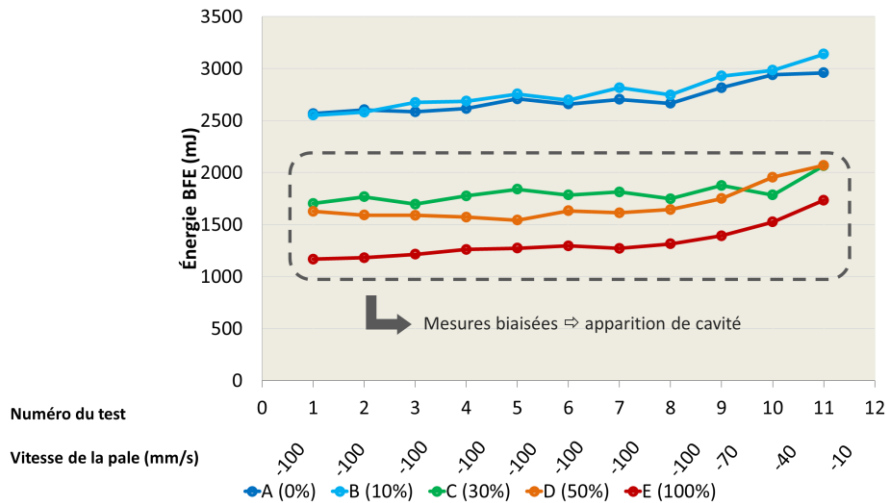


Figure 5 : Mesures d'énergies d'écoulement

Des mesures de perméabilité sur le même équipement montrent quant-à-elle une nette diminution de la perméabilité en passant de 0 à 10% de fines (figure 6).

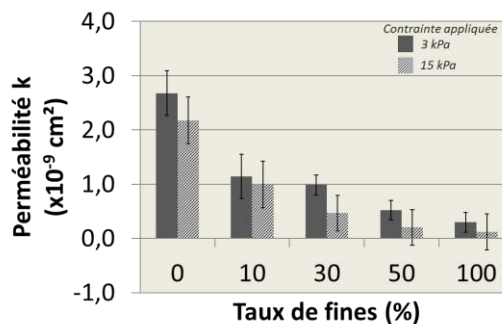


Figure 6 : Mesures de perméabilité

Conclusion

Le comportement du mélange dépend fortement de la quantité de fines qu'il contient. Au-dessous du seuil de 10-30 %m de fines, il est gouverné par la fraction grossière. Au-delà de ce seuil critique, les particules remplissent petit à petit les espaces vides entre les grosses particules, ce qui réduit le nombre de contacts directs entre grosses particules et provoque la formation d'une poudre compacte et cohésive. Des tests de remplissage permettront d'évaluer la quantité de fines acceptable pour le procédé de fabrication de combustible.

1. Nuclear Energy Division Monograph (CEA), "Sodium-Cooled Nuclear Reactors", Le Moniteur, 2016.
2. P. Juliano, B. Muhunthan, and G. V. Barbosa-Canovas, "Flow and shear descriptors of preconsolidated food powders", *J. Food Eng.*, vol. 72, no 2, p. 157-166, Jan. 2006.
3. J. Schwedes and D. Schulze, "Measurement of flow properties of bulk solids", *Powder Technol.*, vol. 61, no 1, p. 59-68, Apr. 1990.
4. R. Freeman, "Measuring the flow properties of consolidated, conditioned and aerated powders - a comparative study using a powder rheometer and a rotational shear cell", *Powder Technol.*, 2007.