



HAL
open science

Caracterisation d'un reseau de porosite d'une ceramique de dioxyde d'uranium en vue de la modelisation de sa conductivite thermique

Jv. Meynard, R. Masson, M. Garajeu, Michel Bornert, C. Duguay, A. Monnier

► To cite this version:

Jv. Meynard, R. Masson, M. Garajeu, Michel Bornert, C. Duguay, et al.. Caracterisation d'un reseau de porosite d'une ceramique de dioxyde d'uranium en vue de la modelisation de sa conductivite thermique. Colloque National MECAMAT - 2018, Jan 2018, Aussois, France. Colloque National MECAMAT - 2018, 2018. hal-02415306

HAL Id: hal-02415306

<https://hal.science/hal-02415306v1>

Submitted on 18 Dec 2019

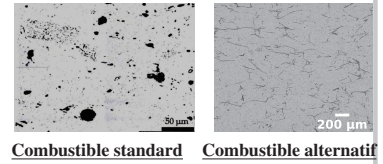
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

Contexte et objectifs

Les céramiques UO_2 obtenues par frittage possèdent une microstructure composée d'une matrice solide d' UO_2 et deux familles de porosités (l'une avec des pores de forme sphérique et l'autre avec des pores lenticulaires). Les paramètres de fabrication des combustibles alternatifs sont différents de ceux des combustibles standards utilisés dans les Réacteurs à Eau Pressurisée (REP), ce qui entraîne une modification de la microstructure du matériau, notamment au niveau du réseau de porosité lenticulaire. Les modèles semi-empiriques usuels de type Maxwell-Eucken (établis pour des combustibles standards) ne sont pas représentatifs de l'influence de la microstructure sur la conductivité thermique des combustibles alternatifs.

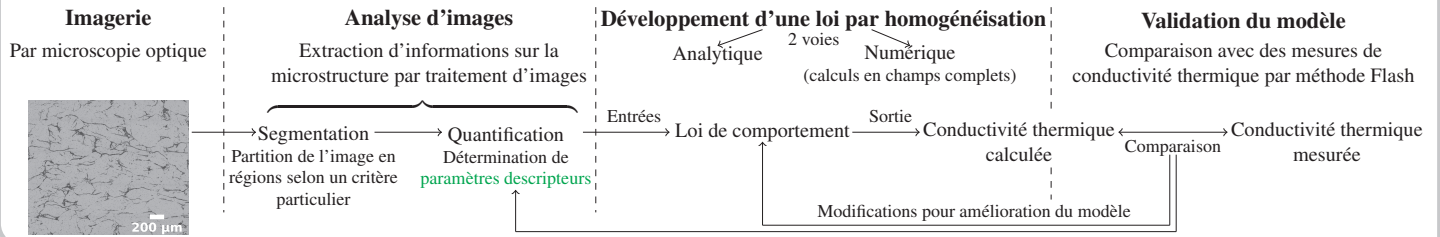
Objectifs : - Étude de l'influence de la morphologie des porosités sur la conductivité thermique d'un combustible alternatif
- Développement d'un modèle pour intégration dans un code de calcul thermomécanique



Combustible standard

Combustible alternatif

Méthodologie



Résultats

Homogénéisation analytique avec le modèle "milieu dilué" [1]

Hypothèse de séparation d'échelle pour l'influence de la porosité lenticulaire (représentée par des ellipses de paramètre de forme $\omega \ll 1$) et celle de la porosité sphérique répartie de façon isotrope

$$\lambda = \kappa(c_s) \kappa(c_l) \lambda_{UO_2} \quad (1)$$

avec λ , λ_{UO_2} les conductivités thermiques respectives du combustible alternatif et de la matrice d' UO_2 100% dense, $\kappa(c_s)$ et $\kappa(c_l)$ les facteurs donnant respectivement l'influence la porosité sphérique c_s et celle de la porosité lenticulaire c_l

Influence de la porosité sphérique, $\kappa(c_s)$ $\kappa(c_s) = \left\{ 1 - \frac{3}{2} c_s \right\} I$

La conductivité thermique de la porosité sphérique est supposée négligeable par rapport à celle de la matrice UO_2 .

Influence de la porosité lenticulaire, $\kappa(c_l)$

Étude de deux distributions de pores de rapport d'aspect ω :

1) Alignement des pores (approximation au premier ordre en c_l)

$$\kappa(c_l) \approx I - c_l (e_1 \otimes e_1 + e_2 \otimes e_2) - \frac{2}{\pi \omega} c_l e_3 \otimes e_3 \quad (2)$$

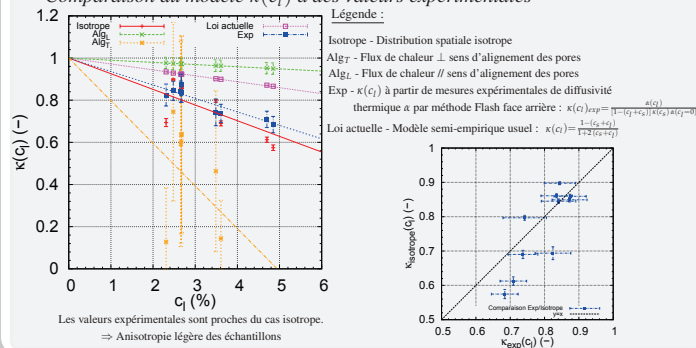
avec I la matrice unité de l'espace, (e_1, e_2, e_3) une base orthonormée de l'espace telle que e_3 soit parallèle à l'axe de révolution des ellipses et c_l la fraction volumique de porosité lenticulaire.

2) Distribution isotrope (approximation au premier ordre en c_l)

$$\kappa(c_l) = \left\{ 1 - \frac{2}{3} \frac{4 + 3\pi\omega}{\pi\omega(4 - \pi\omega)} c_l \right\} I \approx \left\{ 1 - \frac{2}{3} \frac{1}{\pi\omega} c_l \right\} I \quad (3)$$

⇒ Paramètres descripteurs de la microstructure : Fraction volumique des deux familles de porosités, forme des pores lenticulaires

Comparaison du modèle $\kappa(c_l)$ à des valeurs expérimentales

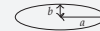


Développement du traitement d'images [2]

Objectif : Détermination des paramètres descripteurs décrivant la porosité lenticulaire

Caractérisation du paramètre de forme ω sur des images 2D

Définition du paramètre de forme ω d'une ellipse : $\omega = \frac{b}{a}$



Hypothèses :

a) Les objets observés sont considérés comme des coupes transversales d'ellipses.

$$c_{V,mes} = \beta c_{V,obs} = \beta c_{s,obs} = \beta \frac{\pi N a_m b_m}{S_{img}} \quad (4)$$

avec $c_{V,mes}$ la fraction volumique de porosité lenticulaire mesurée par immersion, $c_{V,obs}$ et $c_{s,obs}$ les valeurs respectives des fractions volumique et surfacique obtenues par analyse d'images, N le nombre d'objets présents sur l'image, a_m et b_m les valeurs moyennes des demi-axes des ellipses, S_{img} la surface totale de l'image étudiée et β un facteur donnant la correspondance entre la fraction surfacique d'objets observés et la mesure de porosité réalisée.

b) Le demi-grand axe d'une ellipse est approximé pour des pores branchés à la taille de la branche mère du squelette de cette porosité.

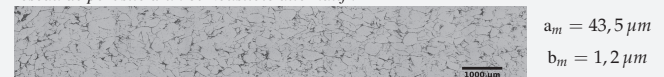
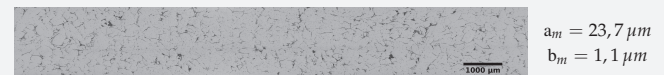
$$N a_m \approx L_{tot} \quad (5)$$

avec L_{tot} la longueur totale des branches mères des objets après squelettisation

D'où,

$$\omega = \frac{c_{V,mes} S_{img} N}{\pi \alpha L_{tot}^2} \quad (6)$$

Détermination du paramètre de forme ω des ellipses équivalents représentant le réseau de porosité d'un combustible alternatif :

Combustible alternatif A ($\omega = 0,03 \pm 0,03$)Combustible alternatif B ($\omega = 0,05 \pm 0,03$)

Les interconnexions des pores ne sont pas prises en compte dans la représentation actuelle du réseau de porosités comme un ensemble d'ellipses. Cela se traduit par de fortes variations du rapport d'aspect pour représenter au mieux le réseau.

Résultats de la caractérisation du paramètre de forme des ellipses représentant les porosités lenticulaires ⇒ Données d'entrée des modèles développés

Perspectives

- Détermination d'un modèle "milieu dilué" avec une fonction de distribution d'orientation pour prendre en compte l'anisotropie
- Détermination du caractère interconnecté du réseau 3D pouvant participer à l'écart entre le modèle développé (ne prenant pas en compte ce paramètre) et les points expérimentaux
- Caractérisations expérimentales complémentaires de la microstructure (microtomographie, MEB, MEB-FIB, ...)
- Développement d'une approche en champs complets (FFT)

Références

- [1] S. Torquato, "Random Heterogeneous Materials : Microstructure and Macroscopic Properties", Interdisciplinary Applied Mathematics, 16, Springer-Verlag, New York, 1^{ère} édition, 2002.
- [2] W. Burger et M. J. Burge, "Digital Image Processing : An Algorithmic Introduction Using Java", Texts in Computer Science, Springer-Verlag, London, 1^{ère} édition, 2008.