



HAL
open science

Modelisation multiphysique de l'elaboration de verre en creuset froid

G. Barbarossa, E. Sauvage

► **To cite this version:**

G. Barbarossa, E. Sauvage. Modelisation multiphysique de l'elaboration de verre en creuset froid. Les 17èmes Journées Scientifiques de Marcoule, Jun 2017, Bagnols Sur Ceze, France. hal-02417802

HAL Id: hal-02417802

<https://hal.science/hal-02417802v1>

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.

Modélisation multiphysique de l'élaboration de verre en creuset froid

Nom, Prénom : Barba Rossa, Guillaume
Responsable CEA : Sauvage, Emilien
Directeur universitaire : Gagnoud, Annie
Laboratoire d'accueil : DE2D/SEVT/LDPV
Date de début de thèse : 17/11/2014

Contrat : Thèse CFR
Organisme co-financeur : /
Université d'inscription : Grenoble Alpes
Ecole doctorale : I-MEP2
Master : X-ENSTA, UPMC Mécanique des
Fluides Fondements & Applications

I. La vitrification des déchets nucléaires et sa modélisation

1. Le choix de la vitrification

Les isotopes des déchets Haute activité et Vie Longue (HAVL) représentent environ 4% du spectre des nucléides présents dans le combustible usé. C'est dans le cadre du confinement à long terme de ces déchets HAVL que les procédés de vitrification ont été conçus et développés au CEA, visant une incorporation à l'échelle atomique au sein d'une matrice vitreuse. Afin de proposer une solution technique à l'élaboration de nouvelles matrices capables de contenir la diversité des déchets rencontrés, le CEA a développé une technique dite de vitrification « en creuset froid » où la charge de verre en fusion est contenue dans un creuset refroidi par une circulation interne d'eau pressurisée et chauffée par induction électromagnétique directe.

Si le procédé de vitrification en creuset froid (cf. Fig. 1) est fonctionnel depuis 2010 à l'usine de retraitement de la Hague, les équipes du CEA continuent la R&D propre à ce procédé et assure le soutien industriel en particulier grâce à l'utilisation de prototypes à l'échelle 1:1 et de la simulation numérique.

2. La modélisation multiphysique

Depuis les premières études de conception, un intérêt particulier a été porté à l'utilisation intensive de techniques de modélisation et simulation numérique [1]. Aujourd'hui, le but des études de modélisation est principalement de bénéficier d'une simulation numérique du procédé prédictive et prenant en compte les trois physiques fondamentales en présence :

- L'induction électromagnétique ;
- La mécanique des fluides ;
- Les échanges thermiques.

II. Approche multi-échelle multiphysique

1. Impact des particules de platinoïdes sur la conductivité électrique du verre

Dans le cadre de la vitrification future des déchets nucléaires de type UOx, notre étude de modélisation multiphysique s'est attachée à prendre en compte la nature complexe du matériau, constitué d'une matrice de verre borosilicate chargée en particules micrométriques insolubles de platinoïdes. Ces particules possédant une conductivité électrique électronique importante, la prise en compte de leur impact sur la conductivité effective du verre constitue un point critique de nos travaux. Grâce à une démarche de simulation multi-échelle [2], une loi de conductivité électrique dépendante du taux de platinoïdes contenu dans le verre a pu être établie (cf. Fig. 2), basée sur la simulation à petite échelle de courants de conduction dans des échantillons de simulants de verre nucléaire préalablement numérisés par microtomographie aux rayons X.



Figure 1 - Surface du bain de verre en fusion

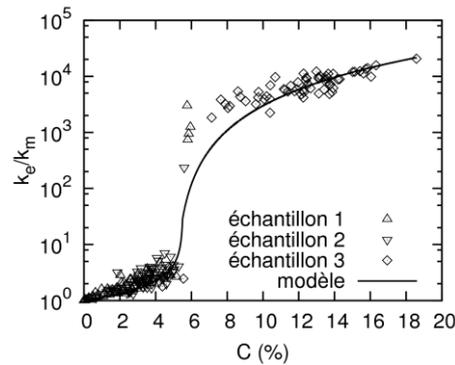


Figure 2 - Conductivité électrique normalisée fonction du taux de platinoïdes - comparaison entre simulation et modèle de percolation

2. Modélisation macroscopique

2.2.1. Induction électromagnétique et transport de l'énergie thermique

La modélisation du champ électromagnétique généré par l'inducteur entourant le creuset se base sur la résolution des équations de Maxwell dans l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS) magnétique. La résolution numérique de ces équations permet de quantifier précisément la densité de puissance Joule dissipée dans le verre et permettant sa fusion, associée au développement de courants induits de Foucault au sein même du verre. La résolution simultanée du transport de l'énergie thermique assure la prédiction de la température atteinte au sein du verre ainsi que la valeur des flux thermiques passant du verre en fusion vers les éléments refroidis du creuset.

2.2.2. Mouvement du verre et des particules

Notre modélisation incorpore naturellement la résolution de la dynamique du verre en fusion à travers les équations de Navier-Stokes. Un intérêt tout particulier a également été porté au développement d'une modélisation Eulérienne du transport des particules de platinoïdes en suspension afin de prédire leur répartition spatiale à tout instant. Ce modèle prend notamment en compte le phénomène de sédimentation.

III. Simulation numérique et comparaisons expérimentales

Notre étude comporte également le développement de techniques de résolution numérique parallélisée de l'ensemble du modèle multiphysique et multi-échelle proposé. L'utilisation des moyens de calcul haute performance proposés par le CEA permet une résolution relativement rapide et précise du problème. Enfin, la validation de la modélisation est basée notamment sur la comparaison qualitative et quantitative des résultats obtenus avec des résultats expérimentaux issus des prototypes de four mis en œuvre à Marcoule.

Références

- [1] E. Sauvage : *Modélisation numérique thermo-hydrodynamique et inductive d'une fonte verrière élaborée en creuset froid inductif*. Thèse de doctorat, Grenoble INP, 2009.
- [2] E. Rognin, G. Barba Rossa et al. : Computation of eddy currents in highly conductive particles dispersed in a moderately conductive matrix. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 53:103–110, 2017.