

Campagne d'allocations de recherche MNERT 2009

Titre de la thèse

MODELISATION MATHEMATIQUE
DU FLUAGE DU VERRE MULTI-PLIS PAR CHAUFFAGE RADIATIF

Mots clé : modélisation, thermique, rayonnement, fluage, verre.

Laboratoires et équipes d'accueil

LAMIH Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines
Equipe MSM (Matériaux, Surfaces et Mise en Forme)
UMR CNRS 8530 – Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France.

LAMAV Laboratoire de Mathématiques et leurs Applications de Valenciennes

Equipe Equations aux Dérivées Partielles

EA 4015, FR CNRS 2956 – Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France.

ITWM – Fraunhofer Institut Techno- und Wirtschaftsmathematik

Department Transport Processes

Kaiserslautern – Allemagne.

Directeur de thèse et co-encadrants

Pr Dominique Locheignies LAMIH, France. Tel : +33 327511380 Dominique.Locheignies@univ-valenciennes.fr	Pr Serge Nicaise LAMAV, France. Tel : +33 327511927 Serge.Nicaise@univ-valenciennes.fr	Dr Norbert Siedow ITWM, Kaiserslautern. Tel : +49 631/31600-4247 siedow@itwm.fhg.de
---	---	--

Sujet

La réalisation d'éléments structuraux en verre dédiés par exemple aux faces avant des véhicules dans les applications aéronautiques et ferroviaires est pour la majorité des cas réalisée par fluage sous poids propre. Pour cela, plusieurs feuilles de verre (désignées plis) d'épaisseurs différentes, empilées horizontalement les unes sur les autres et supportées sur la périphérie du pli inférieur par un support annulaire sont chauffées simultanément. Sous l'action principale de la gravité, l'ensemble des plis de verre se déforme par fluage lorsque la température du verre dans le four de formage atteint le seuil critique. Le refroidissement contrôlé de l'ensemble des plis après fluage permet de réduire notablement les contraintes résiduelles, problématiques pour la rectification finale du contour de l'ensemble des plis.

Les travaux de recherche précédents sur la modélisation du fluage de verre se sont limités à l'étude d'une seule feuille de verre à l'aide de progiciels commerciaux. Dans ces études, les températures dans la feuille introduites dans la modélisation sont issues de mesures par caméra infrarouge juste avant le fluage par gravité. Aucune approche couplée n'a été proposée à ce jour selon nos connaissances de l'état de l'art.

L'objectif de la thèse serait de développer une modélisation fiable du fluage de verre multi-plis par chauffage radiatif localisé dans une approche couplée, intégrant les échanges thermiques par convection et par rayonnement et la déformation mécanique du verre. Du fait de la complexité des couplages multi-physiques, les travaux de thèse seraient limités dans un premier temps à une approche bi-dimensionnelle. Une première modélisation sera réalisée par la voie analytique s'appuyant sur les équations liées à la mécanique de la déformation et la thermique du verre et de son environnement. La seconde approche s'appuiera sur la méthode des éléments finis pour la résolution des équations de la mécanique.

Laboratoires de recherche partenaires du projet

Les travaux de recherches proposés dans le cadre de la thèse s'appuient sur les compétences de plusieurs

laboratoires européens.

Le Département Transport Processes du Fraunhofer ITWM (Fraunhofer Institut Techno- und Wirtschaftsmathematik) a développé des modèles de rayonnement très performants qui lui ont permis d'estimer avec des temps de calculs réduits les températures de refroidissement dans des blocs de verre, milieu semi-transparent où les échanges thermiques par rayonnement sont complexes [1]. Dans le cadre des travaux menés au LAMIH (Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines) sur la trempe thermique des verres [2], une première collaboration entre le Fraunhofer ITWM, le LAMIH et le LME (Laboratoire de Mécanique et d'Energétique) a permis de modéliser de manière découplée la trempe thermique du verre. Les modélisations des échanges thermiques par convection [3] et par rayonnement [4] respectivement développées par le LME et le Fraunhofer ITWM ont permis d'estimer les températures lors du refroidissement brutal du verre. Ces résultats ont conduit, par le biais de modèles mécaniques développés par le LAMIH pour prendre en compte la relaxation des contraintes et la relaxation de structure dans le verre, d'estimer les contraintes résiduelles de trempe [5]. Le LAMAV (Laboratoire de Mathématiques et leurs Applications) et son thème 'Equations aux Dérivées Partielles' rejoint le groupement européen [LAMIH, LME, ITWM] afin d'apporter dans ce projet ses compétences sur les Méthodes d'Eléments finis et de Volumes finis raffinées nécessaires à la modélisation mathématique du fluage de verre multi-plis par chauffage radiatif localisé.

Ce projet de thèse est proposé dans le cadre d'un cotutelle de thèse entre l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis et l'Université de Kaiserslautern. La cotutelle et la délivrance des diplômes de Doctorat en Mathématiques de l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis et de l'Université de Kaiserslautern dépendra du curriculum académique en Mathématiques du (de la) candidat(e) au moment de sa candidature à l'allocation de recherche

Références en rapport avec le projet

[1] Lentès, F., & Siedow, N. (1999). Three-dimensional radiative heat transfer in glass. *Glass Sci. Technol.*, Vol. 72, N° 6, p. 188-196.

[2] Locheignies, D., Siedow, N., Monnoyer, F., Aben, H., Ourak, M., & Langlais, R.(2008c). Modelling of the thermal tempering of flat glass: determination of radiative and convective heat transfer enabling prediction and control of residual stresses. *European Journal of Glass Science and Technology, Part A Glass Technology*, 49, 1, 1-7.

[3] Monnoyer, F., & Locheignies, D. (2008a). Heat transfer and flow characteristics of the cooling system of an industrial glass tempering unit. *Applied Thermal Engineering*, in press. ISSN 1359-4311.

[4]Siedow, N., Locheignies, D., Grosan, T., & Roméro, E. (2005). Application of a new method for radiative heat transfer to flat glass tempering. *J. of American. Ceramic Society*, 88, 8, 2181-2187. ISSN 0002-7820.

[5] Locheignies, D., & Monnoyer, F (2008b). Heat transfer and residual stresses in thermal tempering of flat glass. *European Journal of Glass Science and Technology, Part A Glass Technology* in press. ISSN 0017-1050.

Compétences souhaitées :

Solides connaissances en analyse numérique : équations aux dérivées partielles, méthodes des différences finies, méthode des éléments finis.

Candidature et modalités :

Ce projet de thèse est proposé dans le cadre de la campagne 2009 d'allocations de recherches MNERT.

Les candidatures doivent être envoyées avant le 04 mai 2009 à l'un des directeurs de thèse, sous la forme d'un CV et d'une lettre de motivation manuscrite.

Les meilleurs candidats seront retenus et participeront à l'étape d'attribution des allocations, basée sur la qualité des sujets et des candidats.

La notification des bénéficiaires aura lieu à la mi-juin, pour un démarrage au 1^{er} octobre 2009.

Montant de l'allocation :

Allocation de recherche MNERT 2009: 1650 euros/mois (durée : 36 mois)

Cette allocation de recherche peut être accompagnée par un monitorat (335,39 euros/mois avec obligation d'enseignement de 64 H Eq. TD)