

Laboratoire d'Automatique, de Mécanique, d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH), Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, UMR CNRS-UVHC 8530, Valenciennes



PRÉSENTATION DU LABORATOIRE

Les membres de l'équipe de recherches sur la mise en forme et la trempe des verres effectuent leurs recherches dans le thème Matériaux, Surfaces et Mise en Forme qui est un des 11 thèmes du Laboratoire d'Automatique, de Mécanique, d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH) à Valenciennes [1]. L'activité de recherches sur les verres a débuté au LAMIH dans les années 90 et est essentiellement centrée sur des recherches en étroite liaison avec les applications et préoccupations industrielles.

Autour de la mise en forme des verres, le premier objectif est de développer un modèle numérique du procédé qui soit un véritable clone du procédé indus-

triel, à savoir qu'il se comporte comme le procédé industriel, face à tout changement d'une donnée d'entrée comme une modification de la température du verre, de la pression de soufflage, etc. Une fois le procédé cloné numériquement, le second objectif est de développer l'ingénierie inverse qui va consister à rechercher, par le biais du modèle numérique et avec une procédure complètement automatisée pour l'utilisateur, les réponses aux exigences imposées par le design. Pour exemple, la recherche de la géométrie du moule ébaucheur dans une opération soufflé-soufflé de flacons de parfum par le biais de l'ingénierie inverse a permis de respecter la répartition d'épaisseur de verre dans le produit final [2].

La trempe thermique des verres est une activité qui a débuté en 1995. Modéliser une telle opération est complexe car elle comporte différents aspects comme l'écoulement de l'air dans l'installation, l'échange thermique par convection en surface du verre et par rayonnement à cœur du verre, le calcul des contraintes transitoires et résiduelles, la validation de l'approche numérique par la mesure des contraintes dans le verre trempé. Pour cette thématique, les activités de l'équipe se sont focalisées actuellement sur le clonage numérique du procédé industriel.

THÉMATIQUES DE RECHERCHES

Les activités de l'équipe du LAMIH sont centrées sur 3 axes scientifiques majeurs :

LE COMPORTEMENT RHÉOLOGIQUE ET TRIBOLOGIQUE DES VERRES À HAUTE TEMPÉRATURE

La modélisation d'un procédé de mise en forme ou de trempe de verres repose sur la connaissance des propriétés thermiques et mécaniques des verres dans la gamme de température concernée par l'opération. L'équipe a développé un essai permettant la mesure de la résistance thermique à l'interface verre/moule. Ce paramètre évolue très fortement sur les premières secondes de contact. Il dépend du niveau de pression, des températures du verre et du moule au moment du contact, des conditions de lubrification et de l'état de surfaces des outils. Sa connaissance est essentielle pour modéliser le procédé de mise en forme tout comme il a son importance pour le fabricant verrier dans la réussite de son procédé.

LA CARACTÉRISATION ET LA MODÉLISATION DES COUPLAGES MULTI-PHYSIQUES EN FORMAGE ET TREMPÉ DES VERRES

La modélisation concerne la thermique du verre (conduction, rayonnement dans le verre, convection en surface), l'écoulement de l'air dans l'installation de trempe, l'écoulement du verre dans le moule, le contact

verre/moule (gestion du contact verre/moule, intégration des valeurs mesurées de la résistance thermique de contact). Le clonage d'une opération industrielle est lié au développement de modèles numériques pour la thermique, pour la mécanique des fluides et pour la mécanique des solides (relaxation du verre, relaxation des contraintes). Il nécessite également le couplage entre ces modèles numériques.

LE CONTRÔLE DES CONTRAINTES RÉSIDUELLES DE TREMPÉ THERMIQUE

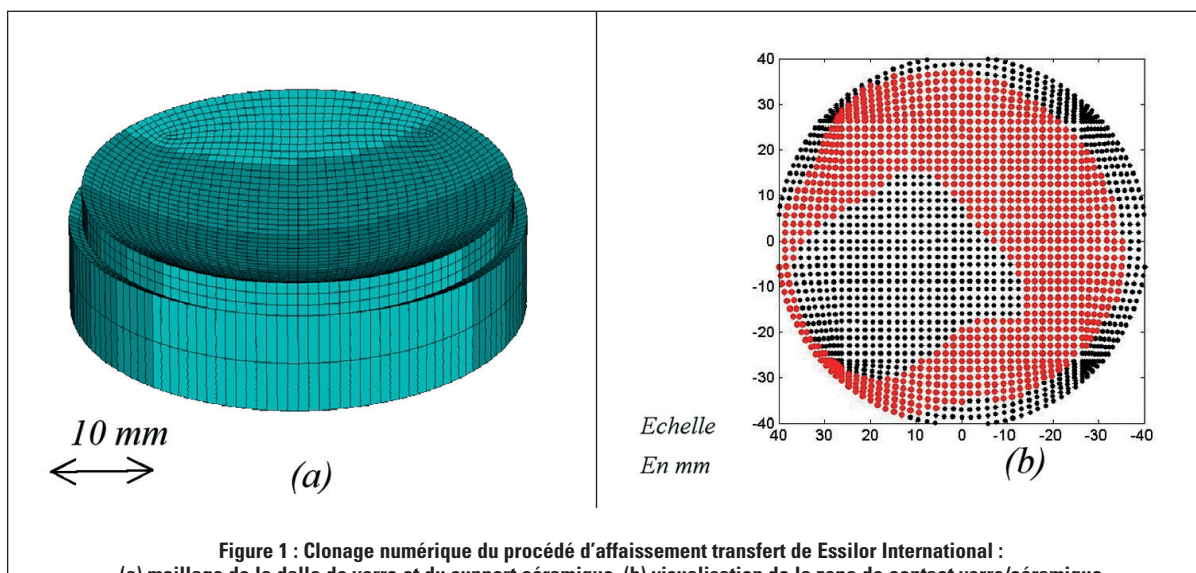
Sur la base des modèles numériques développés pour la trempe thermique, l'équipe a développé des partenariats académiques avec des équipes spécialisées dans la mesure des contraintes de trempe. Plus que la validation des contraintes mesurées, la disponibilité de résultats numériques en terme de contraintes dans des configurations 3D industrielles permet d'améliorer les techniques de mesures et de développer de nouvelles méthodologies de mesures, voir de nouvelles techniques non destructives de mesures.

Les champs d'application sont la trempe thermique des verres (l'industrie du transport avec les éléments structuraux en verre trempé, l'industrie du bâtiment,

l'emballage, l'industrie optique, l'éclairage urbain, etc.), la mise en forme des verres (toute l'industrie du verre plat et du verre creux, du verre optique et du verre architectural, etc.). D'autres secteurs sont concernés comme les fabricants de lubrifiants et de moules, les transformateurs de verre, etc.

EXEMPLES RÉCENTS ET PERSPECTIVES

L'équipe Mise en Forme et Trempe des Verres a collaboré avec le Centre de Recherches d'Essilor International sur le développement de modèles 3D (Fig. 1-a) pour l'affaissement transfert en vue de l'obtention de moules en verre progressif [3]. Le challenge était de pouvoir simuler dans la gamme de précision du micron la réplication de la topologie 3D du support céramique sur lequel s'affaisse le verre lors de la montée en température. Le clonage numérique a permis d'analyser finement le procédé comme le montre la Figure 1-b avec une vue du contact verre/céramique après T_g (température de transition vitreuse). Associées à 2 équipes de recherches européennes, l'équipe a développé la modélisation complète de l'installation de trempe thermique de la société canadienne Prelco, leader nord



américain dans le verre trempé [4]. Le couplage des modèles de mécanique des fluides aux modèles mécaniques a permis sur cette installation industrielle d'estimer l'hétérogénéité du transfert thermique par convection et les conséquences sur les répartitions des contraintes de trempé.

Une première perspective actuelle des recherches sur les verres au LAMIH concerne le développement d'une plateforme technologique pour la mesure des transferts thermiques verre/moule en condition cyclique et la mesure du frottement verre/moule. Une seconde perspective concerne la trempé thermique des verres utilisés dans les transports. Le but est de poursuivre les investigations par l'analyse de nouveaux types de jets impactant les surfaces courbes dans le but final d'homogénéiser les contraintes résiduelles de trempé. L'analyse des

contraintes en bord de disques utilisés dans l'industrie optique est également un champ d'investigation en cours.

QUELQUES RÉFÉRENCES

[1] Laboratoire d'Automatique, de Mécanique, d'Informatique Industrielles et Humaines UMR CNRS 8530 : Thèmes de recherches, Activités de recherches, Publications des membres sur <http://www.univ-valenciennes.fr/LAMIH/>.

[2] Lohegnies, D., Moreau, P., & Guibaut, E. (2005). Reverse engineering for the blank mould in the glass blow and blow process. *Glass Tehnology*, 46, 2, 116-120.

[3] Soulié, F., Lohegnies, D., Hanriot, F., Moreau, P., & Hugonnet, P. (2007). 3D modelling of thermal replication for the design of progressive glass moulds. *Proceedings of ICG2007, XXIst International Congress on Glass*

(pp.156). Strasbourg, F France, 1 th-6th July.

[4] Lohegnies, D., Siedow, N., Monnoyer, F., Aben, H., Ourak, M., & Langlais, R. (2008). 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.

CONTACT

Pr. Dominique LOHEGNIES -
Université de Valenciennes et
du Hainaut-Cambrésis
LAMIH UMR CNRS-UVHC
8530 - Le Mont Houy - Bât.
Jonas 2 - 59313 Valenciennes
Cedex 9, France
Tél: + 33 (0) 3 27 51 14 11 -
Mobile: + 33 (0) 6 85 39 60 09 -
Fax: + 33 (0) 3 27 51 13 17
Mail: dominique.lohegnies@univ-valenciennes.fr ■