

TITRE	<b><i>Modélisation des contraintes résiduelles et déformations de verres ophtalmiques réalisés en matériaux thermodurcissables thermiquement polymérisés</i></b>
Acronyme du projet	LENS
Contexte	<p>La société ESSILOR est spécialisée dans la conception, la fabrication et la commercialisation de verres correcteurs. Dans le cadre de leur fabrication, la société souhaite mieux appréhender les déformations qui peuvent apparaître sur ses verres semi-finis après surfaçage dont une très grande partie est liée aux contraintes résiduelles générées pendant le procédé de polymérisation lié entre-autres au retrait du polymère thermodurcissable. Après polymérisation, les verres sont recuits afin de libérer les tensions internes résiduelles.</p> <p>Le Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF) a de fortes compétences en caractérisation expérimentale et en modélisation des comportements fluide et solide de matériaux polymères qui permettent de contribuer au sujet proposé.</p> <p>Dans ce contexte, le CEMEF et ESSILOR portent un projet commun sur la thématique de la modélisation des contraintes résiduelles et déformations de verres ophtalmiques réalisés en matériaux thermodurcissables thermiquement polymérisés.</p> <p>Les objectifs de l'étude seront :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) De caractériser les paramètres nécessaires à la compréhension du développement de contraintes lors du cycle de polymérisation et leurs évolutions pendant le cycle de recuit standard,</li> <li>2) De modéliser l'évolution du matériau pendant son cycle de polymérisation et pendant son cycle de recuit standard,</li> <li>3) De rechercher les voies de contrôle du procédé et du cycle de recuit susceptibles de réduire, idéalement de supprimer, les contraintes résiduelles.</li> </ol>
Présentation détaillée avec si possible figure(s)	<p>Ces activités pourront s'appuyer sur les méthodologies de caractérisation développées au CEMEF concernant la phase de polymérisation et la caractérisation de la matière à l'état solide. Elles feront également intervenir l'expertise en modélisation des couplages multiphysiques du laboratoire.</p> <p>Le logiciel Thercast commercialisé par TRANSVALOR sera utilisé pour cette étude. Ce dernier permet de simuler les processus de solidification couplés à la mécanique.</p> <p>Le travail de thèse visera à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proposer des protocoles d'essais de caractérisation des cinétiques de polymérisation mais également des propriétés thermiques et mécaniques des différents matériaux de l'étude ;</li> <li>• Modéliser la phase de polymérisation du polymère dans le moule et dans la phase de cycle de recuit afin de mettre en évidence les</li> </ul>

	<p>niveaux de contraintes résiduelles mises en jeu ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mener une réflexion en collaboration avec ESSILOR sur les méthodes de caractérisation des contraintes internes dans le matériau ;</li> <li>• Analyser la capacité du modèle à reproduire les différentes étapes du procédé. Cette analyse sera associée à une étude de sensibilité des paramètres du modèle dans le but de proposer des conditions de cycles de recuit susceptibles de réduire, idéalement de supprimer, les contraintes résiduelles.</li> </ul>
Outils	Plateforme expérimentale et librairie C++ du CEMEF, logiciel TherCast
Mots-clés	Polymérisation de résine, cinétique de réticulation, modélisation thermomécanique, contraintes résiduelles induites
Type projet/ collaboration	ESSILOR
Profil & compétences	Diplômé d'une école d'ingénieur ou titulaire d'un Master2, le candidat devra posséder des compétences en mécanique des matériaux. Il devra présenter des connaissances dans le domaine de la modélisation numérique. Un goût prononcé pour l'expérimentation et l'analyse par des techniques expérimentales est également souhaitable. Son dynamisme, sa rigueur, sa capacité à travailler en équipe dans un contexte multidisciplinaire et ses compétences en anglais seront également des qualités importantes pour la sélection.
Lieu	CEMEF, MINES ParisTech, Sophia-Antipolis (06), France
Equipe(s) de recherche	Mécanique physique des polymères industriels (MPI) Calcul Intensif et Mécanique des Fluides (CFL)
Dir. de thèse	Jean-Luc Bouvard (jean-luc.bouvard@mines-paristech.fr) Franck Pigeonneau (franck.pigeonneau@mines-paristech.fr)
TITLE	<b><i>Modeling of residual stresses and deformations of ophthalmic lenses made of thermosetting thermally polymerized materials</i></b>
Project acronym	<b>LENS</b>
Global objective of work	The global objective of the current work is to numerically investigate the forming of ophthalmic lenses by the thermal polymerization and identify the occurrences of residual stresses.
Context	<p>ESSILOR company is specialized in the design, manufacture and marketing of corrective lenses. As part of their manufacturing process, the company wishes to better understand the deformations that may appear on its semi-finished glasses after surfacing. Such deformations are linked to the residual stresses generated during the polymerization process related, among other things, to the shrinkage of the thermosetting polymer. After polymerization, the glasses are annealed in order to release the residual internal tensions.</p> <p>The Center for Material Forming (CEMEF) has strong skills in experimental</p>

	<p>characterization and in modeling of the fluid and solid behaviors of polymer materials which allow to contribute to the proposed subject.</p> <p>In this context, CEMEF and ESSILOR are carrying out a joint project on the topic of modeling residual stresses and deformations of ophthalmic lenses made from thermosetting thermally polymerized materials.</p> <p>The objectives of the study will be:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) To characterize the parameters necessary for understanding the development of stresses during the polymerization cycle and their changes during the standard annealing cycle,</li> <li>2) To model the evolution of the material during its polymerization cycle and during its standard annealing cycle,</li> <li>3) To find the ways of controlling the process and the annealing cycle likely to reduce, ideally eliminate, the residual stresses.</li> </ol>
Detailed presentation with figure(s)	<p>These activities will be based on the characterization methodologies developed at CEMEF concerning the polymerization phase and the characterization of matter in the solid state. They will also involve expertise in the modeling of multiphysics couplings in the laboratory.</p> <p>TherCast software marketed by TRANSVALOR will be used for this study. The latter makes it possible to simulate solidification processes coupled with mechanics.</p> <p>The thesis work will aim:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• To propose test protocols for the characterization of polymerization kinetics but also of the thermal and mechanical properties of the various materials in the study;</li> <li>• To model the polymerization phase of the polymer in the mold and in the annealing cycle phase in order to highlight the levels of residual stresses involved;</li> <li>• To conduct a reflection in collaboration with ESSILOR on methods for characterizing internal stresses in the material;</li> <li>• To analyze the capacity of the model to reproduce the different steps of the process, analysis associated with a study of the sensitivity of the model parameters with the aim of proposing parameters of annealing cycles likely to reduce, ideally to eliminate, the residual stresses.</li> </ul>
Tools	<i>Experimental Platform, C++ library of CEMEF, TherCast software</i>
Key-words	Resin polymerization, crosslinking kinetics, thermomechanical modeling, induced residual stresses
Project type/ cooperation	Ph. D. project with ESSILOR
Skills, abilities requested	Graduated of an engineering school or holding a Master 2, the candidate must have skills in solid and fluid mechanics and in heat transfer. He or She will have to present knowledge in the field of numerical modeling and more particularly in finite element techniques. A strong taste for experimentation and analysis by experimental techniques is also desirable. His or Her dynamism, rigor, ability to work in a team in a multidisciplinary context and his or her English skills will also be important qualities for the selection.

Location	CEMEF, MINES ParisTech, Sophia-Antipolis (06), France
CEMEF team(s)	Physical mechanics of Industrial Polymers (MPI) Computing & Fluids (CFL)
Supervisor(s)	Jean-Luc Bouvard ( <a href="mailto:jean-luc.bouvard@mines-paristech.fr">jean-luc.bouvard@mines-paristech.fr</a> ) Franck Pigeonneau ( <a href="mailto:franck.pigeonneau@mines-paristech.fr">franck.pigeonneau@mines-paristech.fr</a> )