

SUJET DE THESE

« Conception innovante des moules verriers »

- **Formation/ Niveau d'études requis :**

Ingénieur ou Master mécanique/énergétique

- **Nature du travail**

Etude sur les transferts thermiques des moules verriers, modélisation, simulation numérique, validation expérimentale, étude des transferts thermiques couplés, identification de modèles réduits, jumeaux numériques, méthode de conception innovante, méthodes inverses.

- **Contexte scientifique général**

Pour rester leader sur son marché, en gardant à la fois une avance en termes de produits fabriqués, mais aussi de performance, Pochet investit dans l'industrie 4.0, avec comme objectif d'optimiser la production notamment au travers de la création de jumeaux numériques. Une des difficultés avec cette approche est qu'elle se base sur des corrélations pour identifier des paramètres influents sans pour autant disposer de la compréhension des phénomènes physiques ou d'explications suffisantes. Un bon moyen de compléter cette approche est de l'appuyer par des modèles de calcul scientifique, pour disposer d'un jumeau numérique plus pertinent pour une analyse détaillée.

En parallèle Pochet a développé une modélisation de formage du verre lui permettant de valider l'empreinte des moules en contrôlant son influence sur la répartition de verre obtenu sur le produit final. Les modèles mis en œuvre doivent être enrichis pour aller plus loin dans les compréhensions des phénomènes physiques et de leurs influences dans un objectif d'optimisation de la production.

En effet, l'industrie du flaconnage produit avec un taux de rebut moyen avoisinant les 30 %. Disposer d'un jumeau numérique basé sur de l'IA couplé à de la modélisation physique serait un très bon outil pour rendre plus performante la fabrication de ces produits et réduire ainsi le taux de rebut.

- **Sujet de Thèse (résumé)**

La Thèse proposée s'intéresse à la mise en place d'une méthode innovante pour concevoir les moules verriers dans un objectif de réduction du taux de rebut et de maîtrise des répartitions du verre. L'aspect premier qui sera étudié sera la thermique des moules (ébaucheurs et finisseur) par la mise en place d'une modélisation puis d'un jumeau numérique. Cette modélisation se basera principalement sur les lois thermiques avec un couplage thermofluidique possible pour la prise en compte des refroidissements internes ou externes des moules. La validation de ces modèles nécessitera des essais expérimentaux que ce soit au LEMTA sur des prototypes ou sur ligne de fabrication chez Pochet du Courval. Une fois le jumeau numérique validé, la thèse s'orientera vers la mise en place de méthode innovante de conception des moules à la fois passive, en jouant sur la géométrie, qu'active en rajoutant des moyens de refroidissement interne dans les moules par exemple. Il n'est pas exclu qu'en plus des méthodes classiques d'optimisation quelques modèles d'IA puissent être testés.

- **Objectifs détaillés de la thèse**

Il s'agira dans un premier temps de reprendre les travaux déjà réalisés entre le LEMTA et Pochet du Courval qui ont permis d'étudier l'échange entre le moule et la goutte de verre. Un état de l'art sur les transferts thermiques dans le milieu verrier sera nécessaire pour compléter les études précédentes notamment pour l'échange entre l'air et le moule. Enfin une revue bibliographique sur les méthodes de conception avancées des systèmes devra être faite.

Pour la suite, la thèse pourra être découpée en trois phases. Premièrement la mise en place d'un jumeau numérique du moule ébaucheur. Ce moule a été étudié durant les précédentes prestations entre le LEMTA et Pochet. Une fois la modélisation validée par des essais expérimentaux, des premières méthodes passives (géométrie) de conception pour améliorer le fonctionnement seront mises au point.

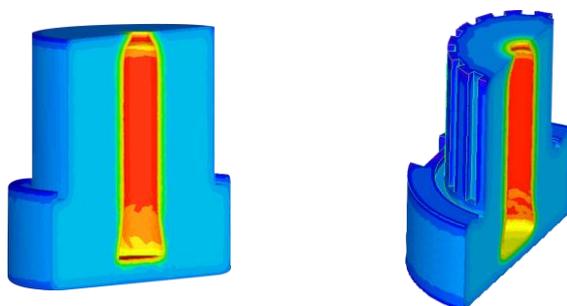


Figure 1 : Exemple d'optimisation géométrie du moule ébaucheur

Dans un deuxième temps, la thèse s'intéressera au moule finisseur pour avoir un jumeau numérique total de la thermique sur machine. Pour cette phase, il sera nécessaire de comprendre et de simuler le fonctionnement du moule finisseur. La principale différence entre les deux moules est la présence de canaux de refroidissement à l'intérieur. Enfin, comme pour la première partie, des méthodes d'optimisation géométrique peuvent être envisagées.

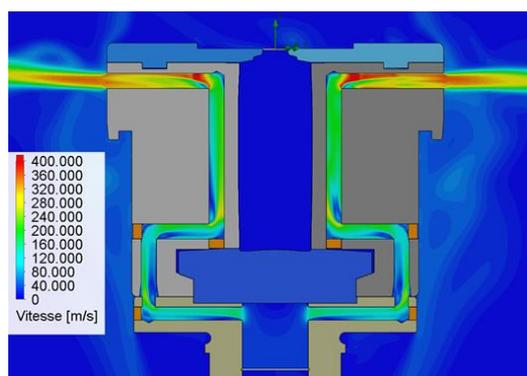


Figure 2 : Exemple des refroidissements internes des moules finisseurs

Enfin la dernière partie de la thèse se concentrera sur la mise en place de méthode de conception innovante. Il faudra explorer les méthodes d'optimisation classique mais aussi étudier les possibilités des nouvelles technologies mises au point à l'aide des IA. Dans cette partie en plus des optimisations géométriques, un élargissement des critères est à envisager

comme par exemple les matériaux constituant le moule, le nombre de canaux de refroidissement, ...



Figure 3 : Exemple de flacons parfaitement réalisés

- **Compétences requises :**
 - ✓ Connaissances avancées en transfert thermique, plus particulièrement en transferts couplés rayonnement/conduction et convection ;
 - ✓ Connaissances en méthodes inverses appliquées aux transferts thermiques (identification de système) ;
 - ✓ Connaissances en métrologie thermique (mesures de température, flux et propriétés thermophysiques) ;
 - ✓ Maîtrise d'outils de calculs numériques par éléments finis (COMSOL, FLEXPDE) et MATLAB ;
 - ✓ Instrumentation et gout pour l'expérimentation ;
 - ✓ Rigueur, méthodologie et capacité à communiquer dans un environnement industriel et universitaire.

- **Nature du Financement :**

La Thèse bénéficie d'un financement de 3 ans de type « Contrat CIFRE » financé par Pochet du Courval.

- **Date de démarrage :**

La date de démarrage souhaitée est octobre 2023.

- **Environnement de la Thèse**

La Thèse se déroulera au sein du LEMTA, en collaboration avec Pochet du Courval, avec une répartition 80% laboratoire, 20% entreprise. Le ou la doctorant(e) effectuera une visite mensuelle chez l'industriel, notamment dans le cadre des campagnes expérimentales sur site.

Laboratoire d'accueil

LEMMA - UMR 7563 (CNRS – Université de Lorraine)
ENSEM - 2 avenue de la Forêt de Haye
BP 90161- 54505 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

Encadrement et contact

Directeurs de thèse (LEMMA) :

Benjamin REMY (Pr UL) : benjamin.remy@univ-lorraine.fr

Nicolas BLET (MCF UL) : nicolas.blet@univ-lorraine.fr

Directeurs Industriels (Pochet du Courval) :

Romuald GUILBAUT (Responsable innovation) : romuald.guilbaut@pochet.fr

Antoine LOPEZ (Chef de projet innovation) : antoine.lopez@pochet.fr

Références bibliographiques

[1] B. Sahnoun, B. Remy, V. Schick, A. Lopez, R. Guilbaut. *Modélisation et simulation du transfert thermique verre-moule dans un procédé de soufflage verrier*, Congrès de la Société Française de thermique, Juin 2019, Nantes, France.

[2] B. Pfortner, W. Al Hadad, V. Schick, D. Maillet, C. Zacharie et al., *Transient detection of either maldistribution or flowrate change in a counter current plate-fin heat exchanger using an ARX model*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2022, 182, pp.121987.

[3] A. v. s. Oliveira, C. Zacharie, B. Remy, V. Schick, D. Maréchal et al. *Inverse ARX (IARX) method for boundary specification in heat conduction problems*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2021, 180, pp.121783.

[4] B. Remy, C. Zacharie, V. Schick, G. Bergin, T. Mazet et al., *Identification of Transfer Functions in a Vacuum Brazed Load with ARX Models*, Instrumentation, Mesure, Métrologie, 2020, 19 (3), pp.229-234.

[5] T. Loussouarn, D. Maillet, B. Remy, V. Schick, D. Dan., *Indirect measurement of temperature inside a furnace, ARX model identification*, Journal of Physics: Conference Series, 2018, 1047, pp.012006.

[6] F. Uriz Jauregui, B. Remy, A. Degiovanni, O. Verseux, *Model identification for temperature extrapolation in aircraft powerplant systems*, International Journal of Thermal Sciences, 2013, 64, pp.162 - 177.