

Offre de thèse CIFRE Saint-Gobain en collaboration avec le Laboratoire Énergies et Mécanique Théorique et Appliquée (LEMTA, UMR 7563, CNRS, Université de Lorraine) : « Mesure de températures et de flux thermiques sur des matériaux semi-transparents à haute température par méthodes multi-spectrales »

Contexte

La problématique de la mesure fiable et robuste de grandeurs physiques dans des procédés industriels, à l'ère de l'industrie 4.0, est centrale. La connaissance fine, souvent empirique, des procédés pourrait gagner à s'appuyer davantage sur la mesure de grandeurs pertinentes à leur pilotage afin de diminuer la consommation énergétique et l'emprunte carbone associée.

Par ailleurs, le développement de nouveaux matériaux s'appuie fortement sur la modélisation des procédés de fabrication. La physique des phénomènes mis en jeu est, le plus souvent, assez bien connue. Les principales problématiques industrielles portent sur l'adéquation entre les modèles développés (« *fit for purpose model* ») et leur mise en œuvre pour répondre aux questions de dimensionnement ou d'assistance technique avec un délai raisonnable. Les grandeurs physiques mesurées *in situ* ou *in operando* peuvent alors servir à valider ou calibrer des modèles, avoir des conditions limites ou initiales réalistes pour des simulations numériques de procédés.

Dans le cadre de la thèse CIFRE proposée par Saint-Gobain Research Paris en collaboration avec le LEMTA, on s'intéresse à la mesure de températures et de flux thermiques sur des matériaux semi-transparents (verres, vitro-céramiques, céramiques...) lors de leur fabrication dans des procédés industriels à haute température. On pourra citer notamment la trempe thermique du verre plat, le formage de pare-brises automobiles, le fibrage de laines minérales, l'élaboration de céramiques électro-fondues...

Objectif

L'objectif de la thèse est de mettre au point une méthode de mesure à haute résolution spatiale et temporelle de températures et de flux thermiques (pariétaux) sur des matériaux semi-transparents à haute température. L'outil métrologique privilégié sera la thermographie infrarouge multi-spectrale. Des travaux antérieurs menés au sein du LEMTA [1-4] ont permis la mise au point d'une approche valide pour les matériaux opaques. Il conviendra ici d'étendre l'approche pour les matériaux-semi-transparents en portant une attention toute particulière à l'incertitude associée, la résolution spatiale, la résolution temporelle. L'originalité des travaux proposés dans le cadre de cette thèse réside dans l'estimation de températures à la surface et dans l'épaisseur d'un échantillon afin de déterminer les flux thermiques (conductifs, convectifs et radiatifs) pariétaux à la surface de l'échantillon. L'objectif final est de développer une méthode de caractérisation qui puisse être mise en œuvre dans des procédés industriels dans le cadre de diagnostics ou bien pour le pilotage.

Méthodologie et contenu scientifique

La méthodologie générale envisagée consistera à combiner la thermographie infrarouge dite « multi-spectrale » avec des techniques inverses [5, 6] afin d'estimer les températures à la surface et au sein de matériaux semi-transparents. Il conviendra de mettre au point une optimisation dynamique des longueurs d'ondes en fonction du niveau de température du matériau que l'on souhaite caractériser.

La première phase du travail consistera à développer un modèle prenant en compte les transferts de chaleurs couplés, notamment le couplage fort conduction-rayonnement dans un milieu participant (émettant-absorbant et/ou diffusant), dans une géométrie complexe. Le modèle direct développé permettra de simuler l'évolution des températures et des flux thermiques au cours de l'expérience.

La deuxième phase du travail consistera à concevoir le dispositif de mesure permettant de minimiser l'incertitude associée à l'estimation des températures et des flux thermiques (conception optimale d'expérience). Un montage expérimental dédié dans un environnement contrôlé sera ainsi mis en œuvre afin de valider la méthode proposée. On pourra également envisager de comparer les valeurs de températures obtenues avec d'autres techniques de mesures, reposant sur des principes physiques différents, afin d'apprécier la justesse des valeurs estimées avec l'approche retenue.

Enfin, la troisième phase du travail consistera à réaliser des mesures *in situ* ou *in operando* dans un procédé industriel (ou pilote) afin de valider l'applicabilité de la méthode.

Références

- [1] Ch. Rodiet. Mesure de Température par Méthodes Multi-Spectrales et Caractérisation Thermique de Matériaux Anisotropes par Transformations Intégrales : « Aspects Théoriques et Expérimentaux ». Thèse de doctorat, Université de Lorraine, 2014. <http://theses.fr/2014LORR0283>
- [2] Ch. Rodiet, B. Rémy, A. Degiovanni and F. Demeurie. Optimisation of wavelengths selection used for the multi-spectral temperature measurement by ordinary least squares method of surfaces exhibiting non-uniform emissivity. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, vol. 10, issue 2, pp. 222-236, 2013. URL: <https://doi.org/10.1080/17686733.2013.812816>
- [3] Ch. Rodiet, B. Remy and A. Degiovanni. Optimal wavelengths obtained from laws analogous to the Wien's law for monospectral and bispectral methods, and general methodology for multispectral temperature measurements taking into account global transfer function including non-uniform emissivity of surfaces. *Infrared Physics & Technology*, vol. 76, pp. 444-454, 2016. URL: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.04.006>
- [4] Ch. Rodiet, B. Rémy, T. Pierre and A. Degiovanni. Influence of measurement noise and number of wavelengths on the temperature measurement of opaque surface with variable emissivity by a multi-spectral method based on the flux ratio in the infrared-ultraviolet range. *High Temperatures – High Pressures*, vol. 44, issue 3, pp. 211-226, 2015.
- [5] J. V. Beck and K. J. Arnold. *Parameter Estimation in Engineering and Science*. John Wiley and Sons, New York, 1977.
- [6] H. Orlande, O. Fudym, D. Maillet and R. Cotta. *Thermal Measurements and Inverse Techniques*, CRC Press, Boca Raton, 2011

Profil / Compétences souhaitées

- Modélisation des transferts thermiques
- Utilisation de codes de simulation numérique (Comsol, etc.)
- Utilisation de techniques inverses
- Programmation (Matlab et/ou C++)
- Notions de métrologie thermique et thermographie infrarouge
- Bonne maîtrise de la langue anglaise
- Esprit d'initiative, adaptabilité et bon relationnel

Lieux de travail

- LEMTA, Vandœuvre-lès-Nancy, France
- Des déplacements ponctuels à SGR Paris (Aubervilliers) sont à prévoir

Contrat

- Début de la thèse à l'automne 2020
- Financement CIFRE, durée de 36 mois

Encadrement de la thèse / Contacts

Pour plus d'informations sur le poste proposé et pour candidater (lettre de motivation et CV), contactez par e-mail :

- Johann MEULEMANS, Saint-Gobain Research Paris, Aubervilliers
johann.meulemans@saint-gobain.com
- Benjamin REMY, Vincent SCHICK, LEMTA – Université de Lorraine
benjamin.remy@univ-lorraine.fr, vincent.schick@univ-lorraine.fr