

## Offre de thèse CIFRE SAINT-GOBAIN en collaboration avec le LEMTA (UMR 7563, CNRS, Université de Lorraine)

### *« Modélisation des transferts couplés conducto-advecto-radiatifs dans des systèmes de récupération de chaleur fatale à haute température »*

#### Contexte

Dans le contexte actuel de réduction des gaz à effet de serre, l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les industries mettant en œuvre des procédés à haute température passe par le développement de solutions de récupération, de stockage et de transport de chaleur à haute température (i.e. pour des températures supérieures à 500°C). La récupération de la chaleur fatale générée par les procédés industriels de production, transformation et mise en forme du verre, de céramiques et de métaux constitue ainsi un potentiel d'économie d'énergie, d'amélioration de la compétitivité, de maîtrise des émissions [1-3].

La thèse CIFRE proposée ici s'inscrit dans le cadre du projet collaboratif CAPSULE (CAPtation et Stockage de la chAleUr fataLE de procédés industriels à haute température) du dispositif LUE (Lorraine Université d'Excellence) mené en collaboration entre Saint-Gobain Research Paris et le LEMTA. Les travaux proposés dans le cadre de cette thèse s'inscrivent également dans le programme de recherche du laboratoire commun Saint-Gobain, CNRS et Université de Lorraine « Canopée »<sup>1</sup>.

#### Objectif

L'objectif du projet est d'étudier les aspects liés à la captation de chaleur fatale par des échangeurs volumiques poreux (mousses aléatoires ou structurées) mais aussi l'interaction avec un système de stockage/déstockage dans des matériaux poreux (sables, granulats ou résidus recyclés) étudié dans le cadre d'une autre thèse du projet LUE « CAPSULE ». L'originalité des travaux à mener réside dans la modélisation des transferts de chaleur dans le système de captation (couplage fort conducto-advecto-radiatif) et aussi dans le système complet captage/stockage *via* un lit de sable fluidisé. L'objectif final est de développer une gamme d'outils théoriques, numériques et expérimentaux pour le dimensionnement et le pilotage de systèmes de récupération de chaleur fatale à haute température.

#### Méthodologie et contenu scientifique

Le code de calcul Star-Foam, basé sur la bibliothèque libre Star-Engine<sup>2</sup>, actuellement développé au LEMTA dans le cadre de la thèse de R. Konduru [4] tire parti de la formulation en espace de chemins (approche de type Monte Carlo) afin de prendre en compte les transferts de chaleur couplés en géométrie complexe [5, 6]. La prise en compte du couplage captage/stockage induit des effets sur les vitesses d'écoulement dans l'échangeur poreux. Ces effets, actuellement non pris en compte dans la

---

<sup>1</sup> <https://www.cnrs.fr/fr/des-procedes-hautes-temperatures-et-bas-carbone-le-challenge-du-nouveau-laboratoire-canopee>

<sup>2</sup> <https://www.meso-star.com/projects/star-engine/star-engine.html>

chaîne de modélisation existante, feront l'objet d'une extension des modèles utilisés. De plus, les transferts de chaleur conjugués se basent sur un couplage faible entre un code de mécanique des fluides numériques (SPH pour *Smooth Particle Hydrodynamics*) et le code de thermique couplé Star-Foam. Le passage à un couplage fort permettant de traiter finement les effets rétroactifs sera au cœur de la thèse. Enfin la validation des modèles développés sera menée à partir de données issues d'un banc expérimental au LEMTA [4] (cf. figure ci-dessous) et d'une installation pilote à SGR Paris.

La première phase du travail consistera à développer un solveur traitant le couplage fort des transferts conducto-advecto-radiatifs dans le système de captation. La deuxième phase du travail consistera à modéliser le système complet de captage et de stockage. Enfin, la troisième phase du travail consistera à réaliser des campagnes de mesures sur des bancs expérimentaux au LEMTA et à SGR Paris afin d'apprécier le domaine de validité des modèles développés.

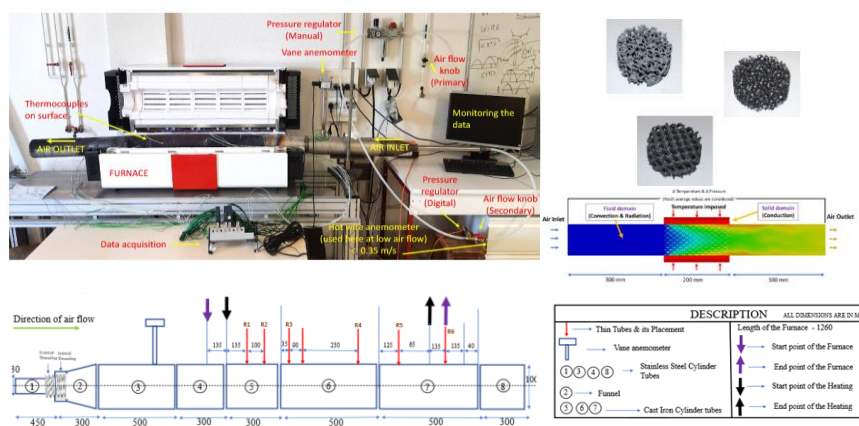


Fig - Dispositif de récupération de la chaleur fatale par des mousses volumiques poreuses [LEMETA]

## Références

- [1] ADEME 2017. La chaleur fatale - Faits & chiffres. 2017 ed. Angers (France): Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2312-chaaleur-fatale-9791029708954.html>
- [2] M. Papapetrou, G. Kosmadakis, A. Cipollina, U. La Commare & G. Micale. Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country. *Applied Thermal Engineering*, 138, 207-216, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.043>
- [3] D. Vance, S. Nimbalkar, A. Thekdi, K. Armstrong, T. Wenning, J. Cresko & M. Jin. Estimation of and barriers to waste heat recovery from harsh environments in industrial processes. *Journal of Cleaner Production*, 222, 539-549, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.011>
- [4] R. N. Konduru. Échangeur poreux pour la récupération de chaleur à haute température. Thèse de doctorat, Université de Lorraine, 2023. <https://www.theses.fr/fr/s287878>
- [5] M. Tregan, L. Amestoy, M. Bati, J-J. Beziau, S. Blanco. Coupling radiative, conductive and convective heat-transfers in a single Monte Carlo algorithm: A general theoretical framework for linear situations. *PLOS ONE* 18(4): e0283681., 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283681>
- [6] L. Ibarrart *et al.* Advection, diffusion and linear transport in a single path-sampling Monte-Carlo algorithm: getting insensitive to geometrical refinement. 2022. [https://cnrs.hal.science/INSTITUT\\_PASCAL/hal-03818899v2](https://cnrs.hal.science/INSTITUT_PASCAL/hal-03818899v2)

### Profil / Compétences souhaitées

- Diplôme d'ingénieur et/ou Master 2 dans l'un des domaines suivants : mécanique des fluides, énergétique, physique, mathématiques appliquées
- Connaissances avancées en transferts thermiques, plus particulièrement en transferts couplés conduction/rayonnement et convection
- Connaissances avancées en calcul scientifique (résolution numérique d'EDP, calcul parallèle)
- Maîtrise d'un langage de programmation (C/C++)
- Instrumentation et goût pour l'expérimentation
- Bonne maîtrise de la langue anglaise
- Rigueur, esprit d'initiative et capacité à communiquer dans un environnement industriel et universitaire

### 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 2023
- Financement CIFRE, durée de 36 mois

### Encadrement de la thèse / Contacts

Pour plus d'informations sur le poste proposé et pour candidater (CV, lettre de motivation, lettres de recommandation et notes M1 et M2), contactez par e-mail :

- Johann MEULEMANS, Saint-Gobain Research Paris, Aubervilliers

[johann.meulemans@saint-gobain.com](mailto:johann.meulemans@saint-gobain.com)

- Benjamin REMY, Vincent SCHICK, Olivier FARGES, LEMTA – Université de Lorraine

[benjamin.remy@univ-lorraine.fr](mailto:benjamin.remy@univ-lorraine.fr), [vincent.schick@univ-lorraine.fr](mailto:vincent.schick@univ-lorraine.fr), [olivier.farges@univ-lorraine.fr](mailto:olivier.farges@univ-lorraine.fr)



*Leader mondial de la construction durable, **Saint-Gobain** conçoit, produit et distribue des matériaux et services pour les marchés de l'habitat et de l'industrie. Développées dans une dynamique d'innovation permanente, ses solutions intégrées pour la rénovation des bâtiments publics et privés, la construction légère et la décarbonation du monde de la construction et de l'industrie apportent durabilité et performance. L'engagement du Groupe est guidé par sa raison d'être « MAKING THE WORLD A BETTER HOME ».*

***Saint-Gobain Research Paris** est l'un des huit grands centres de recherche de Saint-Gobain. Basé en région parisienne, ses grands domaines de recherche sont liés au verre, aux couches et revêtements de surface, aux matériaux de construction et à l'habitat en général. Préparer le futur en imaginant les produits et procédés de demain autour de l'habitat, l'énergie et l'environnement, tel est le quotidien de ses équipes de recherche.*

*Pour en savoir plus : [www.sqr-paris.saint-gobain.com/](http://www.sqr-paris.saint-gobain.com/)*

*Unité Mixte de Recherche de l'université et du CNRS, le **LEMTA** (Laboratoire Energies et Mécanique Théorique et Appliquée, UMR 7563) concentre ses recherches autour de la Mécanique et de l'Energie. Les activités de recherche s'articulent autour de la mécanique des fluides, de l'énergie et des transferts thermiques. La thèse se déroulera au sein du groupe Vecteur Energétiques dans l'équipe de recherche gestion de la chaleur.*

*Pour en savoir plus : <https://lemta.univ-lorraine.fr/>*