COLLEGE ED SCIENCES
DOCTORAL DE L'INGENIERIE
PAYS DE LA LOIRE ET DES SYSTEMES

Nantes Université

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602
Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes
Spécialité : Energétique-Thermique-Combustion

Par
Augustin de la Vauvre

Optimisation topologique d'absorbeur solaire volumique

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 27/11/2026
Unité de recherche : LTeN CNRS UMR 6607

Rapporteurs avant soutenance :

Richard Fournier	Professeur	Université Paul Sabatier
Elie Hachem	Professeur	Ecole des Mines de Paris

Composition du Jury :

Président	François Jouve	Professeur	Université Paris Cité
Examinateur	Richard Fournier	Professeur	Université Paul Sabatier
Examinateur	Elie Hachem	Professeur	Ecole des Mines de Paris
Examinateur	Henda Djeridi	Professeure	Grenoble INP-UGA
Examinateur	Jérome Vicente	Professeur	Aix-Marseille Université
Directeur de thèse	Benoit Rousseau	Directeur de recherche	CNRS
Encadrant de thèse	Laurent Cangemi	Ingénieur de recherche	IFPEN
Encadrant de thèse	Yann Favennec	Maitre de Conférences	Nantes Université

COLLEGE DOCTORAL PAYS DE LA LOIRE
ED SCIENCES DE L'INGENIERIE ET DES SYSTEMES

Nantes Université

Titre : Optimisation topologique d'absorbeur solaire volumique

Mots clés : Thermique, Radiatif, Optimisation, Milieux poreux, Eléments finis

Résumé : Les absorbeurs solaires volumiques à haute température (> 1000 K) rencontrent des défis liés à la formation de fissures et à la dégradation de leur efficacité, causées par d'importants gradients de température (200 $K \cdot cm^{-1}$) et des pertes radiatives. Pour répondre à ces problèmes, un outil d'optimisation topologique à l'échelle homogénéisée a été développé. Celui-ci s'appuie sur une simulation conducto-convecto-radiative par éléments finis permettant d'obtenir les champs de température du fluide et du solide. L'écoulement est traité par l'équation de Darcy-Forchheimer, tandis que le transfert radiatif repose sur le modèle P1, dont la validité a été étudiée par comparaison avec des solutions de l'équation de transfert radiatif. L'outil permet d'obtenir les champs de porosité et de diamètre de pores optimaux selon la fonction de coût choisie, notamment pour maximiser le rendement tout en minimisant les gradients thermiques internes. Le choix des corrélations des paramètres thermophysiques a également été analysé, menant au développement d'une nouvelle corrélation pour le coefficient d'extinction. Les résultats montrent des gains significatifs, en particulier pour la réduction des gradients thermiques dans les milieux isotropes. L'introduction d'un paramètre d'anisotropie contrôlant l'orientation des brins permet par ailleurs d'augmenter significativement le rendement théorique. Enfin, un outil de génération de milieux poreux a été développé afin de produire des géométries au format STL destinées à l'impression 3D. Des essais expérimentaux sur des échantillons fabriqués par SUPSI ont été réalisés sur le banc OPTISOL du laboratoire PROMES afin d'évaluer les gains réels apportés par l'optimisation topologique.

Title : Topologic optimization of volumetric solar absorber

Keywords : Thermal, Radiative, Optimization, Porous Media, Finite Elements

Abstract : Volumetric solar absorbers operating at high temperatures (> 1000 K) face challenges related to crack formation and efficiency degradation, caused by large temperature gradients (200 $K \cdot cm^{-1}$) and radiative losses. To address these issues, a topology optimization tool at the homogenized scale was developed. It is based on a coupled conductive–convective–radiative finite element simulation, enabling the determination of the temperature fields in both the fluid and solid phases. Fluid flow is modeled using the Darcy–Forchheimer equation, while radiative transfer is described using the P1 model, whose validity was assessed through comparisons with solutions of the radiative transfer equation. The optimization tool makes it possible to determine optimal porosity and pore diameter fields according to the selected objective function, typically aiming to maximize thermal efficiency while minimizing internal temperature gradients. The choice of correlations for the thermophysical parameters was also investigated, leading to the development of a new correlation for the extinction coefficient. The optimization results show significant improvements, particularly in reducing temperature gradients in isotropic porous media. Furthermore, the introduction of an anisotropy parameter controlling the orientation of the struts makes it possible to significantly increase the theoretical efficiency. Finally, a porous media generation tool was developed to produce STL geometries suitable for 3D printing. Experimental tests were conducted on samples manufactured by SUPSI using the OPTISOL test bench at the PROMES laboratory to evaluate the actual performance improvements provided by topology optimization.