

Titre de la thèse	DfAM pour les applications thermiques de pièces métalliques pour les drones fabriquées par L-PBF
Ecole Doctorale	ED548
Laboratoire	COSMER
Discipline	Mécanique
Directeur(s) de Thèse & Encadrant(s)	Dominique Millet Myriam ORQUERA

Description du sujet de recherche

Contexte, originalité et pertinence par rapport à l'état de l'art :

La gestion thermique est aujourd'hui un enjeu central dans de nombreux secteurs industriels que ce soit aéronautique (refroidissement de turbines), spatial, marin, électronique de puissance, énergie (hydrogène, nucléaire) ... Les procédés conventionnels atteignent leurs limites pour améliorer le rapport performance/masse des systèmes thermiques. C'est pourquoi les études de conception d'échangeurs thermiques se tournent vers la fabrication additive (voir la Figure 1).



Figure 1. Echangeur thermique fabriqué par L-PBF aluminium (Source : Addup)

La fabrication additive permet plusieurs apports clés.

- Optimisation topologique et géométries complexes

La FA permet de concevoir des échangeurs avec des structures internes innovantes (canaux tortueux, treillis, surfaces gyroïdes) qui :

Maximisent le rapport surface/volume pour améliorer le transfert thermique.

Réduisent les pertes de charge grâce à des designs fluidiques optimisés, diminuant la consommation énergétique des pompes.

Intègrent des fonctions multifonctionnelles, comme des supports structurels agissant aussi comme dissipateurs.

- Réduction de masse et compacité

Les échangeurs imprimés en 3D, comme ceux en aluminium AlSi10Mg, allient légèreté (réduction de masse jusqu'à 50 %) et résistance mécanique, idéal pour les AUV.

Exemple : L'échangeur Conflux Core™ atteint une densité de puissance de 26,6 W/cm³, permettant une miniaturisation critique pour les systèmes embarqués.

- Résistance à la corrosion et durabilité

Les alliages métalliques compatibles avec la FA (titane, Inconel, aluminium anodisé) offrent une excellente résistance à la corrosion marine.

La fabrication monobloc élimine les joints, réduisant les risques de fuite et augmentant la fiabilité en milieu sous-marin.

- Personnalisation et rapidité de prototypage

La FA permet d'adapter rapidement le design des échangeurs aux spécifications des AUV (puissance thermique, dimensions) sans outillage coûteux.

Exemple : Le projet 3DCALOR explore des architectures biomimétiques (structures TPMS) pour améliorer l'efficacité énergétique.

<u>Potentialités de la FA</u>	<u>... dans le domaine des Drones</u>
1. Réduction de masse	=====> Flottabilité/résistance pressions
2. Intégration fonctionnelle	=====> Compacité /hydrodynamisme
3. Personnalisation	=====> Petites séries/adaptabilité
4. Maintenabilité JAT	=====> Pas de stocks
5. Réduction de coûts	=====> Suppression outillage




Figure 2: Potentialités de la Fabrication Additive pour le domaine des drones sous-marins

L'optimisation d'échangeur thermique pour les drones sous marins (DSM) peuvent avoir différentes applications:

- Systèmes de refroidissement pour batteries : Des dissipateurs thermiques imprimés en 3D optimisent la gestion thermique des batteries lithium-ion, cruciale pour la sécurité des AUV.
- Échangeurs pour moteurs électriques : Des designs compacts permettent de dissiper la chaleur générée par les propulseurs, augmentant l'autonomie.
- Intégration de capteurs : La FA facilite l'incorporation de capteurs de température ou de pression directement dans la structure de l'échangeur.

Les échangeurs thermiques ont pour rôle d'assurer le transfert de flux de chaleur entre deux fluides sans que ces derniers ne se mélangent à travers une paroi sans contact direct. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides. De nombreuses études ont été menées pour réaliser des échangeurs thermiques par FA en exploitant les TPMS (Çalışkan, 2026), et plus particulièrement les gyroïdes. Ce lattice permet d'acheminer les fluides dans les trois directions. Ce lattice est utilisé afin d'obtenir un transfert de flux avec le moins de pertes de charges possible (Kruzel et al., 2025). Ainsi la vitesse du fluide est quasiment maintenue tout au long du circuit

L'objectif de cette recherche est de développer un Design for Additive Manufacturing orienté performance thermique en service. C'est-à-dire d'intégrer la performance thermique comme variable de conception principale en couplant l'optimisation topologique, la simulation thermique (CFD), les contraintes L-PBF ainsi que la gestion des fonctions secondaires de la pièce.

Des études de cadre de conception ont déjà été menées permettant d’allier les contraintes de la FA avec les besoins fonctionnels (Shekh & Vora, 2026) ciblés. Toutefois, ces études sont une généralisation et non ciblées pour une application immédiate.

Les applications envisagées dans le cadre de cette thèse sont (entre autres) les PODS d’AUV contenant des systèmes électriques ayant un besoin d’une gestion thermique efficace et essentielle pour garantir la fiabilité, les performances et la durée de vie.

Ce champ de recherche nécessite d’élaborer des modélisations permettant de rendre compte à la fois des pertes de charges et des transferts thermiques dans une optique d’optimisation topologique afin d’aboutir à des géométries explorant les potentialités des nouveaux TPMS (Kruzel et al., 2025) (type de TPMS, taille de maille x,y,z, épaisseurs...) ainsi qu’une exploration sur les nouveaux matériaux exploitables en FA (Chastand, 2015; Tsavdaridis et al., 2019; Zakaria, 2017) pour une optimisation du rendement thermique théorique.

Un second aspect essentiel de cette recherche porte sur la fabricabilité des géométries obtenues selon deux directions. Le premier concerne la « dépouvrabilité » des pièces obtenues. La complexité des géométries au niveau micro combinée à une géométrie macro 3d engendrent des " stockages" de poudre qui peuvent grandement altérer le rendement thermique théorique. Le second concerne la sensibilité de ce rendement théorique à l’état de surface obtenue par le procédé de FA : sur ce point un premier levier à investiguer porte sur la hauteur de couche d’impression et la taille des poudres utilisées en FA. Un second levier concerne toutes les techniques de finition des pièces en FA, notamment les procédés autour de la tribologie de substances plus ou moins abrasives en phase plus ou moins liquide.

En résumé, ce projet de recherche concerne la conception pour la FA (notamment la L-PBF) de pièces ayant une fonction d’échange thermique tout en prenant en compte les fonctions supplémentaires de la pièce (telle que la tenue mécanique), des objectifs supplémentaires (comme la diminution de la masse, diminution des pertes de charges), et des contraintes de fabrication (comme la dépouvrabilité et surfaces auto-supportantes) comme le montre la Figure 3.

Des applications dans le domaine des drones sous-marins, des écrans durcis, des échangeurs de chaleur compacts... sont envisageables avec des partenaires industriels.

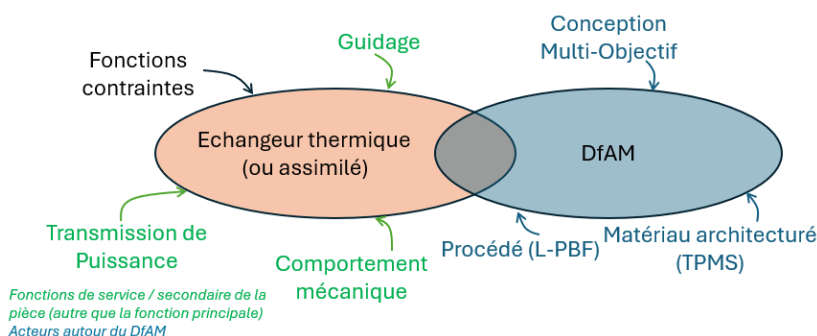


Figure 3. Champ de recherche pour la conception de pièce de type échangeur thermique pour les drones sous-marin

Mots clefs :

Fabrication additive – Conception multi-physique – TPMS- échangeur thermique- Optimisation topologique – Méthodologie de conception – L-PBF Aluminium

Encadrement et conditions matérielles pour le doctorant

Encadrants :

Directeur de thèse : Dominique MILLET

Co-Encadrante de thèse : Myriam ORQUERA

Cette recherche bénéficiera des ressources (ingénieur d'étude et technicien) et équipements de la plateforme FA Drones qui regroupe des moyens importants pour imprimer des pièces en aluminium 3D complexes, notamment une L-PBF Eplus 3D de 260x260x320mm, avec système de dépoudrage et four thermique.

Compétences attendues et personnes à contacter

Compétences attendues :

Le/la candidat(e) doit avoir de solides compétences en calcul FEM et avoir été sensibilisé(e) au calcul des structures soumises aux gradients thermiques. Des compétences en conception, fabrication additive ainsi qu'en optimisation topologique sont souhaitées.

Personne à contacter : Dominique MILLET dominique.millet@univ-tln.fr; 06 67 90 07 09

Références

- Çalışkan, C. İ. (2026). Design for additive manufacturing and lattice structures: opportunities, limitations, and future perspectives. *Progress in Additive Manufacturing*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s40964-025-01477-8>
- Chastand, V. (2015). *Mechanical characterization of Aluminium specimens produced by Additive Manufacturing*.
- Kruzel, M., Dutkowski, K., & Bohdal, T. (2025). Experimental Studies of Fluid Flow Resistance in a Heat Exchanger Based on the Triply Periodic Minimal Surface. *Energies*, 18(1). <https://doi.org/10.3390/en18010134>
- Shekh, M. J., & Vora, H. D. (2026). Design-for-additive-manufacturing (DfAM) framework for advanced heat sink architectures. In *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00170-026-17914-z>
- Tsavidaridis, K. D., Efthymiou, E., Adugu, A., Hughes, J. A., & Grekavicius, L. (2019). Application of structural topology optimisation in aluminium cross-sectional design. *Thin-Walled Structures*, 139(February), 372–388. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.02.038>
- Zakaria, M. H. (2017). Fabrication of aluminium internally cooled cutting tool by means of selective laser melting (SLM). *Journal of Mechanical Engineering*, 3(1), 187–200.