

Modalités de candidature à ce sujet de thèse de doctorat :

Si vous estimez que votre profil est en parfaite adéquation avec le sujet et les compétences demandées et que vous êtes très motivé par une thèse de Doctorat, votre candidature sera envoyée pour **le 21 mai 2020 à 12h00** aux directeur et Co-directeur de la thèse (voir § encadrements). Passé ce délai, votre candidature ne sera pas étudiée. Elle devra comporter les éléments suivants à transmettre par voie électronique (en .pdf) :

- un **Curriculum Vitae**;
- une **lettre de motivation en anglais** argumentée sur le sujet;
- les **Résultats académiques (Bac+3 à Bac+5)** avec **copies des diplômes et des relevés de notes**;
- une **attestation de niveau d'anglais** (i.e., TOEIC);
- une (des) **lettre(s) de recommandation**.

Les **auditions** prévues entre le **25 Mai et le 5 Juin 2020** pour le **classement des candidats retenus** seront définies selon des modalités relatives à l'évolution sanitaire du SARS COV 2. La décision n'appellera à aucun recours possible, le jury étant souverain. **Les candidats seront informés du résultat des auditions par l'Ecole Doctorale à compter du 24 Juin 2020.**

Conception systémique de machines électriques pour la réfrigération magnéto-calorique **- Phénomènes couplés électro-magnéto-aéro-thermo-fluidiques -**

Type de thèse

Type de financement : Contrat Doctoral (CD) sur allocation du Ministère.

École doctorale : Sciences Pour l'Ingénieur et Microtechniques (SPIM).

Spécialité : Sciences pour l'Ingénieur.

Durée : 36 mois | Septembre/Octobre 2020 à Septembre/Octobre 2023).

Moyens financiers :

- Salaire assuré par le ministère de l'éducation supérieure et de la recherche (MESR);
- Complément de salaire pouvant être octroyé à partir de la deuxième année à travers des vacances d'enseignement (avenant au CD);
- Frais de fonctionnement pris sur le budget du Dép. ÉNERGIE.

Localisation

Université/Laboratoire/Dép./Éqp. : UBFC/Femto-ST/ÉNERGIE/SHARPAC-THERMIE.

Pôle(s) : Actionneurs électriques / Thermiques des systèmes énergétiques.

Pôle transverse entre SHARPAC et THERMIE : Dispositifs magnétocaloriques.

Lieu : Territoire de Belfort (90) | Bourgogne Franche-Comté | France.

Encadrements

Directeur de thèse : Raynal GLISES, MCF - HDR, raynal.glises@univ-fcomte.fr,

Co-directeur de thèse : Frédéric DUBAS, MCF, frederic.dubas@univ-fcomte.fr,

Encadrant : Nouveau MCF 63/62 UTBM (N° 4067),

Qualifications et compétences attendues

Niveau : Master ou Ingénieur (de niveau Bac+5).

Formations : Énergie électrique; Ingénierie thermique et énergétique; Génie électrique; Mathématiques.

Composantes requises : Électrotechnique; Magnétisme, Thermique; Multi-physique; Modélisation (semi-) analytique; Conception systémique; Calcul scientifique; Traitement de données expérimentales.

Logiciels :

- *Bureautique* : Word, Latex.
- *Scientifique* : Matlab, Python, Mathcad, Flux2D/3D, FEMM.

Scientifique

Mots clés : Réfrigération magnétocalorique; Machines électriques; Modélisation semi-analytique; Optimisation; Conception systémique.

Description :

Aujourd'hui, la réfrigération représente $\approx 15\%$ de la consommation mondiale d'électricité et $> 23\%$ de la consommation nationale d'électricité en France. Les domaines d'application liés à la réfrigération sont : les bâtiments (climatisation, thermo-pompage...), l'alimentation (réfrigération, congélation, lyophilisation...), le biomédical (conservation biologique,...), les transports (climatisation des véhicules, navires frigorifiques,...), etc.

La plupart des dispositifs de réfrigération actuels utilisent des technologies basées sur des cycles de compression détente de fluides frigorigènes, dont l'impact négatif sur l'environnement (gaz à effet de serre virulents) est avéré. Aujourd'hui, une technologie innovante et prometteuse est la réfrigération magnétocalorique. Celle-ci utilise des matériaux ferromagnétiques à points de Curie proches de la température ambiante tels que le gadolinium (Gd) ou des matériaux magnétocaloriques composites micro-structurés pour accroître l'efficacité des échanges thermiques [1]. Cette technologie nécessite des connaissances multidisciplinaires, telles que l'électromagnétisme, la thermodynamique, la physique quantique, la mécanique des fluides, les transferts thermiques, et les processus de fabrications des matériaux.

La recherche magnétocalorique au sein du dép. ENERGIE a été lancée il y a plus de 10 ans en lien avec certains partenariats industriels [2]-[4]. Le département a atteint une maturité scientifique et

technologique (inter)nationale suffisante dans ce domaine. **Maintenant, il doit capitaliser ses connaissances acquises durant ces dernières années (expérimentations et bancs d'essais déjà développés au département) en proposant une avancée technologique de rupture dans le domaine des machines électriques pour la réfrigération magnétocalorique en améliorant l'efficacité des dispositifs actuels de réfrigération.**

Objectifs :

Ce projet de thèse vise à **modéliser et optimiser de nouveaux dispositifs de réfrigération magnétocalorique intégrés** comprenant la production du champ magnétique d'aimantation, le mouvement relatif régénérateur magnétocalorique/aimants permanents (ou autres), les régénérateurs magnétocaloriques à points de Curie multiples, etc. **Les objectifs intermédiaires de cette thèse à recherche fondamentale** seront :

1. **Étude bibliographique** sur les différentes technologies existantes en vue de synthétiser leurs avantages et leurs problèmes, afin de définir/développer des machines électriques dédiées à la réfrigération magnétocalorique.
2. **Développement d'un outil d'analyse multi-physique** de machines électriques basé sur des **modèles (semi-)analytiques à granularité fine** :
 - **électromagnétique** en utilisant la méthode en sous-domaines [5] en magnétostatique et/ou magnétodynamique en considérant :
 - i) l'effet de saturation magnétique $B(H)$ [6]-[7] ;
 - ii) les propriétés physiques du Gd $B(H,T)$ [8]-[9] ou d'un nouveau matériau magnétocalorique [1] ;
 - **magnétocalorique** : lien entre l'aimantation et le flux de puissance thermique échangés par le régénérateur magnétocalorique ;
 - **aéro-thermo-fluidique** :
 - i) *thermique* dans les différentes parties actives de la machine électrique afin de prédire les transferts de chaleur en régime permanent et/ou dynamique [10] ;
 - ii) *aéro-thermique* dans l'entrefer de la machine (avec stator/rotor denté ou lisse) en vue de clarifier les pertes aérauliques.
 - iii) *thermo-fluidique* dans le régénérateur mais aussi dans la machine électrique nécessitant à moyen terme d'inclure la pompe de circulation alternée du fluide caloporteur [11]-[11] ;
3. **Optimisation** multi-critères/-contraintes d'une **machine électrique classique, améliorée ou/et réversible** avec insertion des blocs régénérateurs dans l'entrefer (ou dans un autre endroit de la machine) à champ magnétique (quasi-)trapézoïdal ou sinusoïdal [2].

Les outils numériques serviront à quantifier des phénomènes physiques locaux précis et pertinents par rapport à l'outil d'analyse multi-physique développé.

Références :

- [1] Projet "COMPOsites MAGnétocaloriques innovants pour des générations de machines de froid et pompe à chaleurs écologiques" (**COMPOMAG**),
- [2] C. KIEFFER, Thèse de doctorat "Conception optimale d'un système de refroidissement magnétocalorique à actionneur automobile", Université de Franche-Comté, 12 Décembre 2012.
- [3] A. MIRA, Thèse de doctorat "Modélisation et conception optimale d'un système de réfrigération magnétocalorique", Université de Franche-Comté, 03 Novembre 2016.

- [4] A. MEUNIER, Thèse de doctorat "Contribution théorique et expérimentale à l'étude d'un système magnétocalorique : Application au développement d'un prototype industriel de pompe à chaleur", Université de Franche-Comté, 28 Septembre 2016.
- [5] **F. DUBAS**, and C. ESPANET, "Analytical solution of the magnetic field in permanent-magnet motors taking into account slotting effect: No-load vector potential and flux density calculation", *IEEE Trans. Magn.*, 45: 5, pp. 2097-2109, May 2009.
- [6] **F. DUBAS**, and K. BOUGHRARA, "New scientific contribution on the 2-D subdomain technique in polar coordinates: Taking into account of iron parts", *Math. Comput. Appl.*, 22: 4, pp. 01-30, October 2018.
- [7] L. ROUBACHE, K. BOUGHRARA, **F. DUBAS**, and R. IBTIOUEN, "Elementary Subdomain Technique for Electromagnetic Performance Calculation in Rotating Electrical Machines with Local Saturation Effect", *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 38: 1, pp. 24-45, June 2018.
- [8] A. MIRA, C. ESPANET, T. de LAROCHELAMBERT, S. GIURGEA, and P. NIKA, "Influence of computing magnetic field on thermal performance of a magnetocaloric cooling system", *Electric European Journal of Electrical Engineering*, 17: 3-4, pp. 151-170, Jul. 2014.
- [9] A. PLAIT, S. GIURGEA, T. de LAROCHELAMBERT, P. NIKA, and C. ESPANET, "Low computational cost semi-analytical magnetostatic model for magnetocaloric refrigeration systems", *AIP Advances*, 8: 9, pp. 01-15, 095204, Sep. 2018.
- [10] K. BOUGHRARA, **F. DUBAS**, and R. IBTIOUEN, "2-D Exact Analytical Method for Steady-State Heat Transfer Prediction in Rotating Electrical Machines", *IEEE Trans. Magn.*, 54: 9, pp. 01-19, 8104519, September 2018.
- [11] A. PLAIT, P. NIKA, S. GIURGEA, T. de LAROCHELAMBERT, and C. ESPANET, "Modélisation thermo-fluidique d'un écoulement alterné de fluide pour le couplage multiphysique", *Congrès SFT 2017*, Marseille, France, 11-14 Mai 2017.
- [12] A. MEUNIER, J.C. ROY, **R. GLISES**, Y. BAILLY, T. de LAROCHELAMBERT, and P. NIKA, "Study of heat transfers in a magnetocaloric regenerator with an oscillating flow", *7th IIF-IIR Thermag VII*, Torino, Italy, 11-14 Sep. 2016.