

Sujet de thèse = Etude d'un stockage latent biosourcé intégré à une pompe à chaleur pour l'optimisation des performances énergétiques et acoustiques

1. Contexte

L'objectif national de tripler la production des pompes à chaleur (PAC) s'inscrit dans un ensemble de mesures dont l'objectif est d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. L'intérêt des PAC, outre la consommation d'électricité faiblement carbonée en France, réside dans la réduction de la consommation d'énergie finale par rapport au chauffage avec radiateur électrique ou chaudière. La technologie des PAC progresse sur le plan environnemental avec l'utilisation de fluides frigorigènes à faible potentiel de réchauffement global (Réglementation F-Gas). Les industriels comme la société ATLANTIC commencent ainsi à proposer des PAC au propane (R290). En revanche, peu d'innovations technologiques facilitent le respect de la réglementation relative aux bruits de voisinage, en particulier dans le cas des PAC sur air extérieur qui sont à la fois les plus répandues et les plus bruyantes. Il est donc important de proposer des solutions innovantes réduisant la nuisance sonore et l'impact visuel de l'unité extérieure, en complément des règles d'installation à respecter pour préserver la tranquillité des usagers et du voisinage.

Partenariat : 2 laboratoires universitaires (**LOCIE** et **LGCgE**) et 2 sociétés (**ATLANTIC** et **DATE**) dans le cadre du projet MOTUS financé par l'ANR sur la période 2025-2028

2. Objectifs généraux du projet MOTUS

La solution développée dans le projet MOTUS répond au marché des logements neufs et de la rénovation énergétique en facilitant l'intégration des PAC air-eau grâce à une réduction de l'encombrement et des nuisances sonores de l'unité extérieure. Pour cela, nous retenons une PAC propane située à l'intérieur du logement car cela limite l'encombrement de l'unité extérieure qui intègre uniquement l'aérotherme conçu avec une faible profondeur et positionné contre la façade. De plus, nous associons à la PAC un évaporateur hybride (EH) intégrant un stockage avec matériaux à changement de phase (MCP) de façon à réduire le débit du ventilateur de l'aérotherme tout en facilitant le mode réversible de la PAC pour le rafraîchissement. Dans une configuration de PAC intérieure, la liaison entre les modules extérieur et intérieur est assurée par une boucle d'eau glycolée car la quantité de propane admissible dans les habitations est limitée pour des raisons de sécurité. La boucle d'eau transfère l'énergie puisée sur l'air extérieur à la fois vers le stockage MCP et directement vers le fluide frigorigène (propane) lorsque la PAC fonctionne. La baisse du débit d'air est envisageable car le stockage MCP permet de puiser les calories sur l'air pendant et en dehors des périodes de fonctionnement de la PAC lorsque les conditions sont favorables. La PAC bénéficie ainsi de deux sources froides utilisables simultanément (stockage MCP et air extérieur). Tout l'enjeu du projet sera de déterminer le débit d'air minimum et la capacité de stockage du MCP permettant à la fois de réduire les nuisances extérieures (bruit et encombrement), de préserver la performance énergétique et de respecter des contraintes financières. Le MCP retenu sera biosourcé pour des raisons écologiques.

3. Objectifs scientifiques de la thèse

Le ou la doctorant(e) recruté(e) interviendra comme contributeur scientifique principal sur différentes tâches en lien avec le projet ANR MOTUS. Il s'agira d'une part **de développer et d'identifier des lois de comportement traduisant précisément les cinétiques de fusion/cristallisation des MCP biosourcés** et d'autre part de **modéliser et d'optimiser les**

performances énergétiques (COP saisonnier, flexibilité) **et acoustiques** (bruit de ventilation). Plus précisément, le doctorant recruté travaillera sur les tâches suivantes :

- **Tâche 1 : Etat de l'art scientifique** (en collaboration avec les partenaires du projet MOTUS)
 - Etudes scientifiques sur les performances de PAC couplées à un stockage MCP : classification des installations (stockage côté évaporateur et condenseur), modélisation, COP, flexibilité ;
 - Caractérisation thermo-physique et cinétique de cristallisation des MCP : synthèse des modèles envisageables et méthodes d'identification des paramètres ;
 - Support au Post-doc LGCgE sur les MCP biosourcés (classification, caractéristiques, coût) et l'intensification des échanges (comparaison des solutions avec MCP selon différents critères).
- **Tâche 2 : Caractérisation des MCP biosourcés basée sur le développement de lois décrivant les cinétiques de cristallisation** (banc flux-métrique avec modules thermoélectriques)
 - Caractérisation des MCP sélectionnés qui seront étudiés numériquement dans le système complet : propriétés thermo-physiques (conductivité, densité, chaleur spécifique, chaleur latente) et lois décrivant la cinétique de cristallisation avec modèle non-isotherme ;
 - Caractérisation expérimentale sur des cycles de sollicitation avec sollicitation constante (rampe et palier) et variable (cycles sinusoïdaux) en fusion/solidification complètes et partielles.
- **Tâche 3 : Modélisation/validation et optimisation des performances énergétiques et acoustiques de la PAC avec l'EH**
 - Modélisation/validation de l'EH pour une configuration initiale « V0 ». La modélisation de l'EH-V0 reposera sur une approche nodale définissant les températures dans chacun des composants. Le nombre de nœuds sera un compromis à définir entre précision du modèle et rapidité de calcul. Validation expérimentale à partir de tests réalisés au LGCgE (Post-doc) sur l'EH-V0 sollicité en charge (bain thermostaté) et en décharge (boucle diphasique propane de la PAC) ;
 - Modélisation et simulation annuelle d'une PAC propane air-eau extérieure sans EH (donc sans boucle d'eau glycolée) couplée au bâtiment, permettant l'évaluation du SCOP (chauffage, ECS, rafraîchissement), du coût et du bruit (à partir du débit d'air) dans différentes conditions climatiques. Détermination des périodes de dégivrage en fonction du mode de fonctionnement défini et du comportement de l'aérotherme (modèle simplifié permettant de déterminer l'apparition de givre) ;
 - Conception, dimensionnement et modélisation de la PAC propane intérieure avec l'EH (« solution MOTUS ») couplée aux autres composants (aérotherme, boucle d'eau glycolée, bâtiment), en déterminant les plages de variation possibles des paramètres de décision ;
 - Optimisation multicritère des performances saisonnières de la PAC propane intérieure « MOTUS » couplée au bâtiment pour chaque MCP sélectionné, en considérant le SCOP (chauffage, ECS, rafraîchissement), le bruit/débit de l'aérotherme, l'encombrement et le coût dans différentes conditions climatiques. Conclusions sur la plage de fusion idéale, la flexibilité offerte par le stockage MCP (réduction des pics de puissance électrique par rapport à une configuration standard) et la durée des périodes de dégivrage.

Contact : Pr. Gilles FRAISSE (transmettre un CV + lettre de motivation à l'adresse : gilles.fraisse@univ-smb.fr)