

Offre de thèse :

Procédé innovant de stockage de chaleur haute densité énergétique – projet ANR Stock-HD

Contexte et enjeux :

Le [laboratoire LOCIE](#), unité mixte de recherche de l'Université Savoie Mont Blanc et du CNRS, et membre de l'Institut National de l'Energie Solaire ([INES](#)), axe ses activités de recherche sur l'énergie et le bâtiment durables. L'étude des procédés de stockage de chaleur de nouvelle génération s'inscrit dans un objectif d'amélioration des performances énergétiques des systèmes et des bâtiments et dans un contexte de développement durable.

Dans le cadre du projet de recherche [ANR](#) Stock-HD fédérant 2 laboratoires académiques et une entreprise, l'enjeu scientifique est de développer un stockage de chaleur thermochimique haute densité (basé sur la sorption chimique) permettant un stockage à des températures compatibles à son intégration en réseau de chaleur (RC) et d'étudier l'architecture, le dimensionnement et le pilotage de son intégration optimale en réseau de chaleur.

En effet, le stockage par chaleur sensible reste la technologie la plus utilisée. Or, ce système présente des densités énergétiques de stockage de l'ordre de 15 à 60 kWh/m³ [1] et le stockage est limité dans le temps en raison de ses pertes thermiques. Pour limiter ces inconvénients, deux options sont actuellement considérées : d'une part du stockage de courte durée dans des réservoirs d'eau [2], et d'autre part du stockage de longue durée (jusqu'à l'inter-saisonnier) enterré [3], de plusieurs milliers voire dizaines de milliers de m³. Plus récemment, des possibilités mettant en œuvre des stockages par matériau à changement de phase ont également été étudiées [4] pour des densités énergétiques de l'ordre de 100 kWh/m³, mais elles présentent les mêmes contraintes de pertes thermiques que le stockage sensible et des difficultés liées à la faible conductivité thermique du matériau, en lien avec les puissances nécessaires en charge et décharge du système.

Au-delà des stockages existants, le stockage thermochimique ou par sorption semble donc être une excellente alternative. En effet, des densités énergétiques nettement supérieures peuvent être atteintes (entre 100 et 700 kWh/m³ [1]) ce qui représente un fort enjeu en milieu urbain dense, et le stockage est réalisé sous forme de potentiel chimique diminuant de ce fait l'impact des pertes thermiques. Or, les systèmes de stockage thermochimique peinent à faire leur place, et peu d'installations sont commercialisées. Afin d'être compétitif par rapport aux systèmes de stockage sensible actuels, il convient de mettre en œuvre des systèmes soit permettant un cyclage fréquent (stockage quotidien) soit des stockages de grand volume. Actuellement, les systèmes de démonstration existants sont basés sur la sorption physique solide (adsorption) ou liquide (absorption) qui présentent des densités de stockage moindre que la sorption chimique.

Le LOCIE a notamment déjà participé à 3 projets ANR sur ces systèmes :

- Le projet ANR [STAD](#) sur un procédé adsorption pour du stockage de courte durée (stockage quotidien de 2h à l'échelle d'une maison individuelle), qui a montré l'intérêt de ce type de système mais la difficulté de gestion du stockage ;
- Les 2 projets ANR [PROSSIS](#) et [PROSSIS2](#) sur un procédé absorption pour du stockage inter-saisonnier (stockage à l'échelle d'une maison individuelle), qui ont permis la démonstration de la faisabilité technique et scientifique de ce concept innovant de stockage avec des densités énergétiques intéressantes, mais ont également mis en évidence la très grande complexité technologique des procédés fermés à sorption liquide, impliquant des temps de retour économiques irréalistes à l'échelle d'une maison individuelle.

Le principe d'un réacteur thermochimique ouvert, sous pression atmosphérique, mettant en jeu des sorbants solides semble donc plus réaliste d'un point de vue technico-économique : c'est ce mode de fonctionnement qui sera retenu ici.

L'enjeu de cette thèse est donc de concevoir, modéliser, simuler, construire et expérimenter un procédé innovant de réacteur thermochimique pour le stockage de chaleur, d'en caractériser le comportement et les performances thermiques.

Objectifs de la thèse :

Pour comprendre et maîtriser le comportement du réacteur lors du cyclage, une modélisation dynamique du réacteur sera développée. Plusieurs architectures du système global seront étudiées numériquement, en fonction des sels thermochimiques choisis. Le modèle développé permettra à la fois le test numérique de la stratégie de contrôle du système, et la modélisation de l'intégration du système en RC. Ici, à l'échelle du réacteur, une modélisation 2D tenant compte à la fois de l'écoulement de l'air humide et de celui de la poudre sera développée. À l'échelle du procédé de stockage global, un modèle simplifié (de type nodal 0D, ou 1D en fonction des composants) sera développé. Il tiendra compte des composants extérieurs au lit : humidification, échangeurs de chaleur et réservoir notamment, et permettra d'étudier la conception globale du système en interaction avec le RC. Le fonctionnement de l'ensemble du système sera ainsi simulé dans des conditions représentatives des conditions de fonctionnement envisagées.

Parallèlement, un prototype de taille représentative du système final (plusieurs kW et plusieurs kWh) sera conçu, dimensionné et expérimenté afin d'étudier le comportement réel et les performances de celui-ci lors de différentes sollicitations externes représentatives d'un fonctionnement de stockage couplé à un RC (fluctuation de la ressource ou de la demande, différentes conditions aérauliques entrantes...) et des stratégies de contrôle. Une instrumentation suffisante sera mise en place pour permettre la validation du modèle 2D. Ce prototype sera l'occasion, à échelle représentative :

- de mesurer la coulabilité du sel sur un système où l'évolution des propriétés mécaniques provient des conditions opératoires (temps de séjour dans le réacteur, flux et humidité relative de l'air dans le réacteur,...)
- de tester les stratégies de contrôle
- de quantifier les performances du réacteur et du sel choisi (puissance, densité énergétique...)
- d'évaluer le vieillissement du sel (frittage, ségrégation,...) en cyclage répété.

Compétences nécessaires :

Le.la candidat.e, de niveau Master 2 ou ingénieur, devra posséder des connaissances solides en énergétique et/ou génie des procédés. Il.elle devra montrer un intérêt fort à la fois pour le travail expérimental et la modélisation/simulation. Une capacité à mener un projet collaboratif, à travailler en autonomie et à porter des propositions seront nécessaires. Un niveau d'anglais suffisant pour la communication scientifique écrite et orale sera demandé.

Lieu : La thèse se déroulera au laboratoire LOCIE (LabOratoire proCédés énergle bâtimEnt), laboratoire à taille humaine situé sur le campus épanouissant et stimulant de Savoie Technolac.

Laboratoire LOCIE

Université Savoie Mont Blanc, CNRS UMR 5271

Bâtiment Hélios – INES - 60 rue du Lac Léman – Savoie Technolac

73370 Le Bourget-Du-Lac - FRANCE

Début de thèse : octobre 2024

Directrices de thèse : [Nolwenn Le Pierrès](#) et [Florine Giraud](#)

Contact et candidatures :

faire parvenir :

- CV détaillé
- relevés de notes et classements M1 et M2 (a minima semestre d'automne pour le M2)
- lettre de motivation

avant le 31 mars 2024

à N. Le Pierrès (nolwenn.le-pierres@univ-smb.fr) et F. Giraud (florine.giraud@univ-smb.fr)

Références :

[1] International Energy Agency (2014) Technology roadmap - energy storage.

[2] Li, Hou, Hong, Nord, Distinguish between the economic optimal and lowest distribution temperatures for heat-prosumer-based district heating systems with short-term thermal energy storage, Ener. 248 (2022) 123601

[3] Guo, Zhu, Li, Yang, Low-grade industrial waste heat utilization in urban district heating: Simulation-based performance assessment of a seasonal thermal energy storage system, Ener. 239 (2022) 122345

[4] Ghazaie, Sadeghi, Chebac, Sokolova, Fedorovich, Cammi, Ricotti, Shirani, On the use of advanced nuclear cogeneration plant integrated into latent heat storage for district heating, Sust. Ener. Techno. and Assess. 50 (2022) 101838.