

# Modélisation des phénomènes thermochimiques dans un stockage thermique de très grande capacité

Contrat de thèse CIFRE de 3 ans

Date limite de candidature 20 /06/2025

## SUJET DE THESE

---

La loi Energie Climat et résilience oblige à l'augmentation des énergies renouvelables et récupérables dans les réseaux de chaleur et de froid à plus de 50% (majoritairement à 60%) avec des objectifs de plus de 70% d'ici 2030. Le Net Zero Industry Act, publié en mars 2023 par l'Europe, définit les orientations pour décarboner l'industrie. Dans ces deux domaines, l'usage des énergies renouvelables et intermittentes (solaire thermique, panneau photovoltaïque, éolien, etc.) mais également de la récupération des énergies perdues fait émerger le besoin de développer des stockages d'énergie afin d'optimiser l'équilibre entre la production et la demande qui elle-même fluctue. Pour illustrer les enjeux du stockage, et plus particulièrement le stockage thermique qui est l'objet de cette thèse, on peut mentionner deux projets significatifs développés ou en cours de développement : l'un pour les réseaux de chaleur et l'autre pour l'industrie.

Au Danemark, la ville de Vojens a construit un stockage thermique de 200 000 m<sup>3</sup> d'eau chaude (90°C) afin de stocker la chaleur produite en été, non pas issue des Unités de Valorisation Energétique, mais par 17 000 m<sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques. Cette chaleur permet de fournir en chaleur 2000 habitations durant l'hiver grâce à un complément fossile gaz et couvrir plus de 50% de la chaleur en énergie renouvelable.

En Autriche, la société greenixcloud étudie le développement d'un stockage thermique en eau chaude de 20 000m<sup>3</sup> (90°C), chauffé par 17 000 m<sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques et photovoltaïque permettant d'alimenter une pompe à chaleur à haute température afin de fournir de la chaleur à un industriel du textile.

Ces exemples montrent le besoin d'avoir de grandes quantités d'énergie à stocker ainsi que des besoins saisonniers. Pour répondre à ces enjeux, le stockage de chaleur thermochimique, la physisorption ou la chimisorption, semble plus approprié au regard des densités d'énergie théoriques affichées par ces principes physiques. De plus, les stockages par voie thermochimique semblent mieux convenir au stockage de chaleur à long terme du fait de moindres pertes de chaleur que les stockages par chaleur sensible ou latente.

Récemment, des matériaux composites à base de ciment ont montré des propriétés de hautes densités énergétiques (théoriquement 500 kWh/m<sup>3</sup>) pour des températures de travail autour de 80°C à 100°C. De plus, la taille des particules des matériaux peut être facilement gérée et son coût en matériau serait inférieur à celui de toute autre matériau de stockage thermique.

L'objectif principal de cette thèse est d'étudier numériquement un nouveau système de stockage thermique par voie thermochimique permettant de stocker de grandes quantités d'énergie. Ces simulations numériques seront basées sur des paramètres déterminés par des expérimentations effectuées sur des systèmes de taille significative permettant de mettre en avant les futurs défis des stockages thermiques utilisant un matériau composite à base de ciment comme matériau de stockage.

Pour cela, les tâches suivantes sont envisagées :

Tâche 1. Etude Bibliographique : l'objectif est d'analyser les différents types de stockage thermique déjà étudiés afin d'en déterminer les limites techniques et numériques. Une attention particulière sera donnée aux approches permettant d'atteindre des systèmes de très grandes capacités, notamment celles développées dans le cadre des Centrales Solaires à Concentration (CSP).

Tâche 2. Modélisation du réacteur et aide à la préparation des essais

a. *Modélisation physique du système de stockage thermique basé sur PDE*

Développement d'un nouveau modèle de stockage de chaleur par chimisorption, incluant un comportement entièrement non linéaire et des problèmes spécifiques liés à la réaction physique et chimique de chimisorption.

b. *Modèle de SSET fondé sur l'intelligence artificielle*

Utilisation de réseaux de neurones artificiels d'apprentissage automatique pour dériver un nouveau modèle robuste et précis de la chimisorption TES, assez rapide à des fins d'optimisation à grande échelle. Ce modèle est dédié à dériver les premiers résultats des cas envisagés dans la tâche 3.

c. *Aide à la mise en place de l'installation d'essais*

Des essais sur un pilote du Laboratoire vont être menés et permettront ensuite de fournir des données expérimentales pour valider la modélisation numérique et former le modèle basé sur l'Intelligence Artificielle. L'objectif est de participer à la mise en place de l'installation en simulant le pilote du laboratoire et définir les préconisations et essais à mener sur le pilote.

Tâche 3. Conception préliminaire d'un stockage de grande capacité proche de conditions réelles : Développement d'un module simplifié qui sera intégré dans le logiciel interne basé sur Dymola. Ce module permettra de déterminer les caractéristiques techniques du stockage (capacité, puissance, température, quantité de vapeur d'eau) ainsi que son mode opératoire (temps de charge, de décharge, de temps d'attente entre une charge et une décharge, pertes thermiques, températures restituées) dans des conditions proches de celles opérationnelles.

Tâche 4. Rédaction du manuscrit et valorisation des travaux tout au long de la thèse

## COMPETENCES SOUHAITEES

---

Ce poste est ouvert à un(e) titulaire d'un M2 (ou équivalent) en génie des procédés ou mathématiques appliquées

Savoir-faire :

- Maîtrise scientifique en physique ou en mathématiques appliquées : écoulement des fluides, transferts thermiques, génie des procédés
- Maîtrise de l'outil informatique et d'un langage de programmation (C++, python, C#, etc.)
- Maîtrise de l'anglais en lecture, écriture et discussion

Savoir être :

- Curiosité, adaptabilité, analyse et synthèse, sens de l'engagement, rigueur, autonomie, sens de la communication et de l'organisation collective

## CONDITIONS D'ACCUEIL DE LA THESE

---

Le (la) doctorant(e) sera employé(e) d'ENGIE Lab CRIGEN en CDD doctorant CIFRE de septembre 2025 à septembre 2028 (dates exactes à fixer avec le (la) doctorant(e) )

La thèse sera bi-localisée:

- au sein de ENGIE Lab CRIGEN, situé au 4 rue Joséphine Baker 93240 Stains,
- au sein du CETHIL, situé Bâtiment Sadi-Carnot, 9, rue de la Physique, Campus LyonTech La Doua, 69621 Villeurbanne cedex

## MODALITES DE CANDIDATURE

---

Le (la) candidat(e) intéressé(e) est invité(e) à contacter au plus tôt le directeur de thèse :

Kévy JOHANNES [kevyn.johannes@insa-lyon.fr](mailto:kevyn.johannes@insa-lyon.fr)

Contenu du dossier de candidature :

- le CV du (de la) candidat(e)
- la copie de sa carte d'identité ou de son passeport
- les notes du master (a minima le master 1 si les notes du master 2 ne sont pas disponibles) ou équivalent
- la copie du dernier diplôme (maîtrise, diplôme d'ingénieur, master recherche si validé)
- une lettre de motivation du candidat expliquant son intérêt pour le sujet (1 page recto-verso maximum)
- une ou plusieurs lettres de recommandation

Le (la) candidat(e) transmettra un dossier complet (contenu ci-dessus), par courriel, **avant le 20/06/2025**