

STAID

TITRE DU PROJET: Stockage Inter Saisonnier de l'Énergie Thermique dans les Bâtiments

IDENTIFICATION DU PROJET

Edition : 2010

Partenaire (organisme) coordinateur : Laboratoire CETHIL, INSA de Lyon

Autres partenaires (organismes) du projet : IRCELYON, LOCIE, EDF, CETIAT

Projet labellisé par le(s) pôle(s) de compétitivité : AXELERA, TENERDIS

Contact : mail : kevin.johannes@insa-lyon.fr

Date de début / date de fin du projet : 2 février 2011 / 2 février 2014

ELEMENTS FINANCIERS

Budget total du projet (M€)	dont Aide ANR (M€)	Nombre de personnes.an
1722 k€	750k€	15,5

RESUME DU PROJET

Le projet STAID (Stockage Inter Saisonnier de l'Énergie Thermique dans les Bâtiments) a pour objectif la mise au point et l'évaluation d'un système compact de stockage de chaleur inter saisonnier pour une utilisation dans les bâtiments. Le matériau de stockage de l'énergie thermique est basé sur un composite zéolite et sulfate de magnésium, mais sera optimisé dans le cadre du projet pour augmenter la densité d'énergie stockable. L'intérêt du choix de ces matériaux réside à la fois dans leur prix et leur impact environnemental très faible. L'intégration du matériau dans le système de stockage est un point clé du projet. Pour cela, un réacteur sera conçu afin de répondre aux problèmes de puissance de chaleur nécessaire ainsi que de quantité d'énergie à stocker. Ce réacteur sera couplé à un capteur solaire sous vide à air. Pendant les périodes ensoleillées, l'air chauffé provenant du capteur passera dans le réacteur afin de provoquer les réactions permettant le stockage de l'énergie thermique. En période de froid, l'air humide extrait du bâtiment sera utilisé comme vecteur afin de déstocker la chaleur dans le réacteur. Une fois les réactions terminées, l'air chaud et sec passera par un échangeur de chaleur et chauffera ainsi l'air neuf provenant de l'extérieur. Le système ainsi conçu permettra un stockage de chaleur à long terme sans pertes thermiques.

ILLUSTRATIONS

Ce programme a été divisé en 6 tâches principales :

- Tâche 1 : Management du projet
- Tâche 2 : Etudes préliminaires
- Tâche 3 : Caractérisation et développement de matériaux
- Tâche 4 : Modélisation du réacteur et optimisation
- Tâche 5 : Prototype et test
- Tâche 6 : Modélisation numérique du système global intégré à son environnement

Un résumé succinct des différents travaux accomplis jusqu'ici dans chaque tâche est présenté ci-après.



Etudes préliminaires

Ce travail a été mené conjointement par les équipes du CETHIL et d'EDF. L'objectif de cette partie est d'évaluer un certain nombre de grandeurs telles que les puissances et l'énergie nécessaires pour le système de chauffage, la quantité d'eau disponible dans un local ou encore les volumes de stockage en fonction des matériaux utilisés.

Ce travail a été mené principalement dans l'environnement de simulation numérique TRNSYS. Deux types d'habitation individuelle ont été modélisés et, sur la base de densités de stockage théorique des matériaux analysés, différents scénarii ont été étudiés. Ce travail a été également mené dans le cadre des différents climats déterminés dans la réglementation thermique. Les résultats de ce travail ont été en partie publiés dans une communication au congrès ISES 2011 à KASSEL en Allemagne.

Caractérisation et développement de matériaux

Depuis le début du projet STAID, IRCELYON s'est investi dans la tâche 3 qui implique le développement, l'optimisation et la caractérisation de matériaux composites pour le stockage thermo-chimique de la chaleur, basés sur la combinaison d'un adsorbant de type zéolithe et de sulfate de magnésium.

Les premières expériences ont été réalisées sur un matériau composite de zéolithe 13X imprégnée par 15 % en masse de MgSO₄ (noté ZM15 et préparé par EDF). La technique d'analyse principalement utilisée pour mesurer son potentiel en tant que matériau de stockage de la chaleur a été la calorimétrie à balayage couplée à une thermobalance (TG-DSC). Les chaleurs d'hydratation et de déshydratation ont été mesurées à la fois pour la zéolithe 13X et pour le matériau composite ZM15, montrant qu'en fait MgSO₄ présent dans le composite n'augmente pas significativement la chaleur dégagée, comparativement à la zéolithe seule. Les propriétés physico-chimiques de ces matériaux ont été caractérisées par différentes techniques telles que isothermes d'adsorption d'azote pour la surface et le volume poreux, analyse chimique par ICP-OES, DRX pour l'identification des phases cristallines et microscopie électronique.

Bien que la présence de la phase MgSO₄ anhydre ait été détectée dans le matériau en quantité voisine de 17% en masse, les chaleurs d'hydratation / déshydratation restent faibles. Ce résultat a été attribué au blocage des pores de la matrice zéolithique par le sel qui empêche la diffusion des molécules d'eau dans le composite et ne permet pas d'utiliser pleinement le potentiel de stockage de MgSO₄.

Les études suivantes ont concerné l'utilisation de toute une série de zéolithes à larges pores (13X, Mordenite, H-Y et Na-Y) qui ont été imprégnées par des quantités variables, de 5 à 15% en masse, de MgSO₄ (échantillons préparés à IRCELYON). Les propriétés physico-chimiques et les chaleurs d'hydratation / déshydratation de ces matériaux ont été étudiées. Il a été montré que pour les composites à base de 13X et Mordenite, une augmentation de la quantité de MgSO₄ conduit à une diminution significative du volume poreux et de la chaleur d'hydratation produite. Par contre les matériaux à base de zéolithe Y (H et Na) ont conservé leur grande surface spécifique et important volume poreux, conduisant à une augmentation relative de la chaleur d'hydratation avec la quantité de MgSO₄, accompagnée d'une excellente cyclabilité. Ces résultats montrent l'importance de la nature et de la taille des canaux et cages de la zéolithe qui héberge MgSO₄ pour valoriser tout son potentiel de stockage.

D'autres sels que MgSO₄ sont actuellement en cours d'étude afin de former des matériaux composites à plus haut potentiel de stockage de chaleur.

Modélisation du réacteur et optimisation

L'objectif est de réaliser un modèle simplifié du réacteur de stockage thermo-chimique afin que le système global puisse être optimisé par la suite. Ce travail est mené dans le cadre de la thèse de Syntia Metchueng Kamdem encadrée par le CETHIL qui a été recrutée sur une bourse CIFRE EDF en décembre 2011. L'étude bibliographique menée sur la modélisation du réacteur thermo-chimique a mis en évidence que l'optimisation des transferts de chaleur et de masse dans ce dernier afin d'atteindre les performances requises est un processus qui a lieu à plusieurs niveaux : le choix du matériau, le choix du type de réacteur, l'organisation du matériau dans le réacteur, etc...



L'identification des paramètres sur lesquels il faut s'appuyer pour réaliser l'optimisation des transferts thermiques et massiques dans le système de stockage de chaleur est donc nécessaire.

A cet effet, un modèle CFD représentatif des phénomènes physico-chimiques dans un réacteur à lit fixe est en cours de réalisation; modèle qui sera ensuite optimisé afin d'obtenir les meilleurs rendements possibles selon l'application et de la source de chaleur utilisées. Le lit fixe contiendra tour à tour des billes de verre, d'aérogel de silice et de zéolite, afin d'étudier progressivement les processus s'y produisant. En parallèle, un modèle 1D simplifié (le modèle CFD permettra de déterminer l'importance facteurs tels que l'effet de paroi, la dispersion massique ou la conductivité thermique du solide sur les transferts massiques et thermiques et de les prendre en compte ou non) hétérogène des transferts couplés de chaleur et de masse dans un lit fixe contenant des billes de zéolite est en cours de développement.

Prototype et test

L'objectif de cette tâche est d'une part de caractériser le potentiel du matériau au sein d'un réacteur à une échelle proche de l'échelle 1 d'autre part de valider le fonctionnement d'un système complet en lien avec un climat naturel. Cette tâche débute et aucun résultat n'est disponible pour le moment.

Modélisation numérique du système global intégré à son environnement

Ce travail est mené conjointement entre le LOCIE et EDF. Le travail de modélisation a porté en particulier sur le capteur solaire à air qui sera utilisé pour le fonctionnement du procédé. En effet, un capteur à air innovant, fonctionnant sur le principe des tubes sous vide sera nécessaire afin de permettre la régénération du réacteur à des températures suffisamment élevées. L'étude dynamique d'un tel composant est nécessaire, en fonction des conditions météorologiques, du dimensionnement et des paramètres de fonctionnement du système. Un modèle dynamique nodal est à présent utilisable et a été codé dans l'environnement Dymola. La modélisation du capteur est effectuée en deux parties : une modélisation optique suivie d'un équivalent thermique. Chaque tube a été discrétisé en n éléments pour un suivi fin de la température. Les résultats issus des simulations numériques ont permis de mettre en avant la non-linéarité du profil de température du fluide caloporteur au sein des tubes du capteur, le maximum étant localisé dans la région située à la base du tube, dans le cadre de la géométrie actuelle du capteur.

Par ailleurs, un modèle simplifié du bâtiment BBC sur lequel le prototype du système sera testé a été développé, en collaboration avec EDF. De plus, un travail a été effectué pour disposer dans Dymola d'un modèle d'air humide suffisamment précis et valable sur un domaine de température assez large correspondant au domaine dans lequel va fonctionner le système. Ce modèle est actuellement finalisé et permettra de représenter l'ensemble des composants du système (ventilateur, filtres, capteur, échangeurs de chaleur, réacteur...).

Concernant les expérimentations, EDF a construit un prototype du capteur sous vide à air. Le LOCIE a travaillé sur la caractérisation de ce composant, en se rendant sur le site des Renardières pour les expérimentations. Le capteur a fonctionné pendant plusieurs journées en conditions climatiques réelles. L'exploitation des résultats expérimentaux est en cours. Ces résultats permettront, de plus, de valider et d'affiner le modèle numérique du capteur précédemment cité.

PUBLICATIONS – COMMUNICATIONS MAJEURES

Communication

V.Bricka, F.Kuznik and K.Johannes. EVALUATION OF THERMAL ENERGY STORAGE POTENTIAL IN LOW-ENERGY BUILDINGS IN FRANCE. ISES 2011 CONFERENCE, Kassel, Germany.

'Development of thermochemical heat storage materials' Gareth Whiting, D. Grondin, S. Bennici and A. Auroux at 'Calorimetry and thermal effects in catalysis' (CTEC 2012, 26-29 juin 2012, Lyon)



Poster

‘Development of zeolite-salt hydrate composite materials for thermochemical heat storage’ Gareth Whiting, D. Grondin, S. Bennici and A. Auroux at ‘Calorimetry and thermal effects in catalysis’ (CTEC2012 , 26-29 juin 2012, Lyon.)

‘Heat and mass transfer in a thermo-chemical heat storage system: development and experimental verification of a simplified model’ S. Metchueng-Kandem (Séminaire ECLEER, 30-31 septembre 2012 , Les Renardières)

Publication

‘Heats of water sorption studies on zeolite-MgSO₄ composites as potential thermochemical heat storage materials’ Gareth Whiting, D. Grondin, S. Bennici and A. Auroux. - Submitted to Solar Energy Materials and Solar Cells.

FAITS MARQUANTS

On notera ici la remise des différents livrables correspondants aux travaux menés dans les tâches. Il est également important de souligner la collaboration active entre les différentes entités du projet.

RETOMBEES PREVISIBLES

Le consortium a en particulier les objectifs *i*) de développer un prototype à l’échelle 1:1 d’un réacteur thermochimique *ii*) de disposer de modèles numériques validés de tels réacteurs.

Ces objectifs sont et seront soutenus par des publications en journal scientifique ainsi que par différentes communications.

Plusieurs brevets sont également envisagés durant le projet.

VERROUS RESTANT A LEVER

Les principaux verrous restant à lever sont de :

- Déterminer le matériau optimal au coût idéal et compatible avec l’application
- Concevoir et optimiser le réacteur thermochimique
- Gérer et réguler de façon optimale le système global

