

Matériaux à changement de phase

FAIRE FONDRE LA DEMANDE EN ÉNERGIE

De nouvelles substances qui échangent de la chaleur en passant de l'état solide à l'état liquide sont en passe de révolutionner l'efficacité énergétique des bâtiments. État des lieux d'un sujet chaud de la recherche québécoise.

Par Antoine Palangié

Qu'ont en commun les glaçons que vous mettez dans votre verre, la bouillotte que vous placez au fond de votre lit ou le film de transpiration qui se forme sur votre peau? Ce sont tous des moyens de contrôle de la température, artificiels ou naturels, qui font appel à la capacité de la matière d'emmagasiner et de restituer la chaleur. Cet échange de calories entre un système et son environnement peut s'effectuer de deux façons : soit sa température augmente ou diminue tout en restant dans le même état; soit, *a contrario*, sa température ne varie pas, mais son état change.

À quantité de matière égale, la chaleur échangée est beaucoup plus importante dans le cas d'une transition entre phases solide, liquide et gazeuse que dans le cas d'une simple variation de température. Cette seconde avenue est par conséquent bien plus intéressante

pour l'ingénieur, puisqu'elle offre une densité de stockage bien plus forte à température quasi constante.

La nature offre déjà une substance miracle pour prendre et redonner la chaleur : l'eau. Il faut une quantité exceptionnellement élevée de calories pour la chauffer, pour la faire bouillir ou pour faire fondre de la glace. En plus, elle est massivement disponible. Le seul problème, c'est que l'eau passe de l'état solide à l'état liquide à 0 °C, puis à l'état gazeux à 100 °C sous la pression atmosphérique, et que de très nombreuses applications demandent de pouvoir échanger la chaleur à des températures très différentes.

De là est né le concept des matériaux à changement de phase (MCP), par lesquels on cherche à créer des « glaçons » qui fondent à d'autres températures que l'eau. « En théorie, on peut aussi utiliser les transitions liquide-gaz, mais le volume augmente beaucoup lors d'une vaporisation. La plupart des applications que l'on développe s'appuient donc sur une transition solide-liquide au cours de laquelle le volume change très peu », explique Katherine D'Avignon, doctorante et membre

du groupe de recherche en mécanique du bâtiment de Polytechnique Montréal. « Il y a des MCP qui changent de phase à des températures très basses et très hautes. Mais comme le gros de la recherche se fait en thermique des bâtiments, la gamme de températures de fusion visées se situe entre 10 et 80 °C environ. » Les substances mises en œuvre peuvent être aussi diverses que l'acide formique ou la soude caustique, qui fondent à 8 et 64 °C respectivement.

RÉPARTIR LA DEMANDE GRÂCE À L'INERTIE THERMIQUE

L'enjeu d'une gestion plus efficace de la chaleur dans la construction est de taille au Québec, étant donné que le climat joue dans les extrêmes. « Un tiers de l'énergie canadienne est consommée dans les immeubles, et de 70 à 80 % de cette part sert à la production de chaud et de froid », précise Michaël Kummert, ing., Ph. D., professeur adjoint en génie mécanique à Polytechnique Montréal. « Les MCP ne sont pas des isolants, ils ne permettent pas d'économiser l'énergie directement. Ils optimisent sa consommation en

« Les MCP améliorent le confort thermique en stabilisant la température et ils peuvent garder la maison au chaud le temps d'une panne de secteur. »

l'étalant dans le temps, puisqu'ils absorbent la chaleur en excès et la restituent quand on en a besoin. Par exemple, cela rend plus intéressantes d'autres sources d'énergie, notamment les énergies solaire et éolienne dont on ne dispose pas en permanence. » En gros, la chaleur du soleil sur un édifice reste disponible à la fraîcheur de la nuit (et inversement), et le chauffage (ou la climatisation) du matin se fait encore sentir le soir.

De quiconque au pays, c'est sans doute Hydro-Québec qui a le plus intérêt à lisser la demande énergétique, car les pointes d'appel de puissance électrique constituent un vrai casse-tête. « Ces pics nous obligent à surdimensionner les installations de production et de distribution en plus d'augmenter les pertes, puisque les turbines et les réseaux ont un moins bon rendement à plein régime », indique Jocelyn Millette, ing., Ph. D., chef Technologie clientèle à Hydro-Québec.

Le Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE) de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) est donc un chef de file de l'utilisation des MCP dans le bâtiment au Québec. « Nous étudions des maisonnettes construites avec des panneaux de gypse qui intègrent une paraffine dont la température de fusion tourne autour de 21-22 °C, proche de celle visée dans un logement, signale Ahmed Daoud, Ph. D., chercheur au LTE. Quand la température dépasse cette limite, la paraffine absorbe la chaleur du mur en fondant. Quand on repasse en dessous de 22 °C, elle restitue cette chaleur en se solidifiant. »

Ahmed Daoud a pu observer le comportement des matériaux en conditions climatiques réelles, et valider un modèle qui sera mis à l'échelle sur deux maisons grandeurs nature équipées de 500 points de mesure. « Nous cherchons à optimiser la quantité et la position des panneaux MCP. Mais nous n'avons pas encore évalué les gains énergétiques réels », mentionne-t-il.



Michaël Kummert, ing.



Jocelyn Millette, ing.



Katherine D'Avignon



MCP dans les galettes pour les réservoirs
MCP encapsulés et immergés dans des réservoirs

« Nos recherches n'ont pas de l'intérêt que pour Hydro-Québec, déclare par ailleurs Jocelyn Millette. Nos clients ont aussi beaucoup à gagner dans l'utilisation des MCP. Ces matériaux améliorent le confort thermique en stabilisant la température et ils peuvent garder la maison au chaud le temps d'une panne de secteur. »

UNE RECHERCHE DYNAMIQUE, MAIS...

L'IREQ collabore avec deux établissements d'enseignement québécois qui s'intéressent aux MCP, Polytechnique Montréal et l'Université Concordia. Les trois laboratoires sont intégrés au Réseau de recherche stratégique du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada sur les bâtiments intelligents à consommation énergétique

« L'absence d'incitatifs financiers freine la recherche sur l'efficacité énergétique en général, et sur les MCP en particulier. »



Daniel Rousseau, ing.

nette zéro. La Chaire de recherche industrielle en technologies de l'énergie et en efficacité énergétique de l'École de technologie supérieure, autre acteur québécois dans le domaine, fait quant à elle partie d'un consortium allemand, espagnol, français et tunisien. Son titulaire, Daniel Rousseau, ing., Ph. D., considère que la recherche québécoise sur les MCP se situe dans une « bonne moyenne » à l'international. Mais les MCP resteraient toutefois un domaine marginal chez nous, une opinion que partage Michaël Kummert : « Notre électricité est très bon marché, et il n'existe pas de tarif de pointe pour les clients résidentiels. Cette absence d'incitatifs financiers freine la recherche sur l'efficacité énergétique en général, et sur les MCP en particulier. »

« Les MCP commencent tout juste à être en vue parce que les ingénieurs et les bureaux d'études ne disposent pas encore d'outils adaptés. Les logiciels de modélisation et de conception sont encore en développement dans les laboratoires », ajoute Katherine D'Avignon, dont le projet de doctorat consiste à modéliser les échanges de chaleur d'un MCP encapsulé immergé dans une cuve.

Et ce n'est là qu'un problème à régler parmi bien d'autres. Toute recherche comporte son lot d'aléas; celles qui portent sur les MCP ne font pas exception. Par exemple, « quand la paraffine fond, son volume augmente, et nous avons observé des fuites de capsules dans les murs », souligne Daniel Rousseau. Ce défaut devrait être réglé par l'emploi de poches plastiques plutôt que de contenants rigides, précise Ahmed Daoud.

La cinétique de changement de phase des MCP réserve aussi des surprises. « Quand le matériau recristallise, il se forme en surface une couche solide de faible conductivité thermique qui retarde le refroidissement du cœur, explique Daniel Rousseau. Du coup, la solidification d'un MCP peut prendre jusqu'à quatre fois plus de temps que sa fusion. C'est aussi parfois très difficile de prévoir la température de fusion d'une substance complexe. En plus, il y a des problèmes de stabilité des propriétés thermiques à long terme. Les coûts de production sont encore élevés, et mettre de la paraffine potentiellement inflammable dans les murs soulève des questions de sécurité et de normalisation. »

Trouver des matériaux ayant des chaleurs de fusion plus grandes pour augmenter leur capacité de stockage, des matériaux dont les conductivités thermiques sont meilleures pour améliorer la puissance du transfert ou ayant de nouvelles températures de fusion, puis faire la démonstration de leur rentabilité, optimiser la forme des contenants et développer des logiciels de conception sont donc autant de recherches à poursuivre avant de généraliser l'emploi des MCP dans le bâtiment. « Leur utilisation passera d'abord par le secteur commercial, car les tarifs actuels encouragent la réduction de la puissance électrique appelée », prédit Ahmed Daoud. « Mais dans cinq ans, on en sera encore aux programmes de démonstration », croit Daniel Rousseau. Car changer de phase, cela prend du temps. ◀