



GEMaC

Groupe d'Étude de la Matière Condensée

DES MATÉRIAUX INNOVANTS POUR DES BÂTIMENTS PLUS FRAIS ET PLUS ÉCONOMES EN ÉNERGIE

Dans le cadre d'un projet IEA (International Emerging Action) du CNRS, des chercheurs du GEMaC, en collaboration avec des chercheurs de Sorbonne Université à Abu Dhabi, ont mis au point un modèle numérique inédit pour concevoir des revêtements intelligents à base de matériaux à transition de spin, capables de réguler naturellement la température des bâtiments. Cette avancée ouvre la voie à des façades qui limitent la surchauffe en été et réduisent les besoins en climatisation.

Face aux défis du changement climatique, des chercheurs du GEMaC ont développé un modèle numérique inédit permettant d'évaluer le potentiel des matériaux dits à transition de spin comme revêtements de bâtiments intelligents, capables de réguler la température de manière autonome. Le modèle simule des cycles jour-nuit réalistes, en combinant la transition de spin (qui absorbe ou libère de la chaleur latente), la diffusion

thermique et le rayonnement solaire (effets photothermiques). Ils ont identifié les paramètres permettant de maximiser l'efficacité de revêtements « froids ». Un premier pas prometteur dans la lutte pour limiter la surchauffe des bâtiments et réduire drastiquement l'usage de la climatisation.

Les matériaux à transition de spin (SCO pour « spin cross-over ») sont bien connus pour leurs propriétés de commutation (magnétiques, optiques, mécaniques) qui les rendent attractifs pour le stockage de l'information, ou comme capteurs pour la détection. Pourtant, une application jusqu'ici peu explorée consiste à exploiter leurs propriétés thermodynamiques uniques (forte variation d'entropie à la transition) et ainsi les utiliser comme revêtements thermorégulateurs passifs pour les bâtiments.

Pour limiter la surconsommation liée à la climatisation dans les régions à fort ensoleillement, comme le Moyen-Orient, les façades des bâtiments subissent d'importantes variations de température au cours du cycle jour-nuit. Ce travail évalue les performances de matériaux à transition de spin intégrés dans des polymères comme revêtement de façade. Pendant la journée, la conversion de l'état bas-spin (LS) à l'état haut-spin (HS) absorbe une partie de l'énergie solaire sous forme de chaleur latente, tandis que la transition inverse la restitue de manière différée pendant la nuit. Ce mécanisme, combiné à l'effet thermochromique bien établi des matériaux à transition de spin, permet d'atténuer les flux thermiques entrants et d'assurer un déphasage efficace du pic thermique.

Pour concevoir ces revêtements intelligents, des chercheurs du GEMaC ont couplé un modèle du type Ising (dédié à la transition de spin) avec des équations de diffusion de la chaleur et la loi d'absorption de Beer-Lambert. Le modèle a permis de simuler la réponse d'une couche active soumise à un forçage solaire et thermique réaliste sur plusieurs jours consécutifs. Deux paramètres clés ont été optimisés : l'épaisseur de la couche et le champ de ligands (les ligands sont les molécules entourant le spin actif, qui contrôlent la température de transition). Les résultats mettent en évidence deux configurations hautement performantes : (i) une monocouche d'épaisseur 40-50 mm, associée à des valeurs de champ de ligands autour de 3020-3100 K, qui permettent de minimiser la charge thermique quotidienne transmise au bâtiment ; (ii) une architecture bicouche symétrique (environ 25 mm par couche) qui maximise le tampon thermique, avec des déphasages temporels pouvant atteindre 9 à 10 heures entre le pic d'ensoleillement et le flux de chaleur entrant.

Ces résultats fournissent des règles de conception claires pour des revêtements

thermorégulateurs SCO passifs : l'épaisseur contrôle principalement l'inertie thermique et l'atténuation du flux, tandis que la chimie du matériau (via le champ de ligands) ajuste la fenêtre d'activation de la transition de spin. La stabilité des performances, même sous des variations modérées de ces paramètres, confirme le fort potentiel applicatif de cette technologie passive pour la thermorégulation des bâtiments.

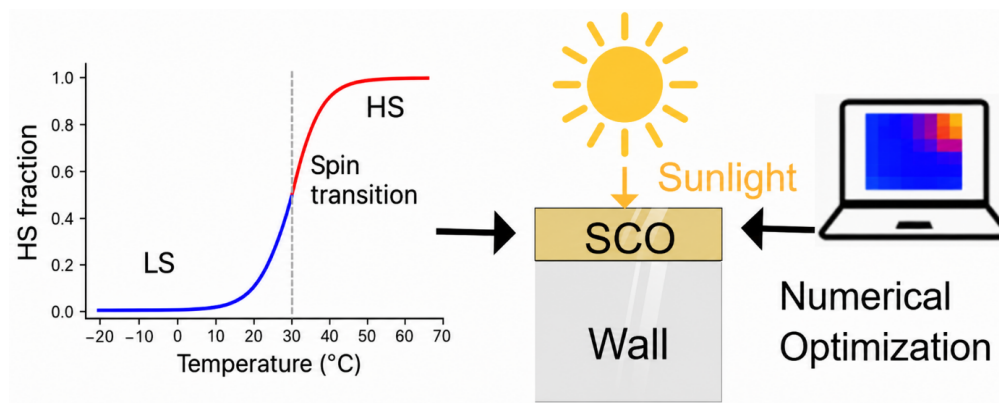
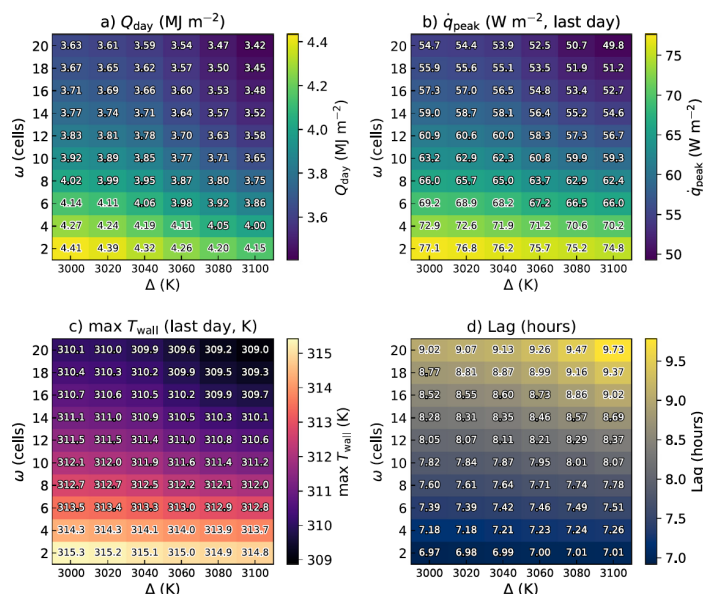


Schéma de principe du revêtement thermorégulateur à base de matériau à transition de spin SCO. (Gauche) Courbe de transition de spin illustrant la conversion entre l'état bas-spin (LS, associé à l'état « froid ») et l'état haut-spin (HS, associé à l'état « chaud »). (Centre) Réponse passive de la couche SCO sous forçage solaire : la chaleur latente associée à la transition limite la surchauffe du bâtiment en réduisant le flux thermique à travers la paroi. (Droite) Optimisation numérique des paramètres structuraux (épaisseur) et électroniques (champ de ligands) pour maximiser les performances thermiques.



Cartes de performance thermique d'un revêtement à transition de spin en fonction de l'épaisseur de la couche (ω) et la force du champ de ligands (Δ), qui contrôle la température de transition. (a) Charge thermique totale transmise à l'intérieur du bâtiment sur une journée. (b) Flux de chaleur maximal entrant dans la journée. (c) Température maximale atteinte par la paroi intérieure. (d) Déphasage (en heures) entre le pic d'ensoleillement et

le pic de chaleur pénétrant à l'intérieur du bâtiment.

Référence

A. Slimani, K. Boukheddaden,

“Numerical optimization of the physical properties of thermochromic layers based on spin transition materials for cold coating applications”,

Materials & Design **263**, 115514 (2026).

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

- > Groupe d'étude de la matière condensée (GEMAC-UVSQ/CNRS)
- > Laboratoire Léon Brillouin (LLB-CEA/CNRS)