

Des peintures réfléchissantes colorées pour conjuguer économie d'énergie avec esthétique

Comment réduire la consommation d'énergie liée au chauffage en hiver et à la climatisation en été ? Une solution est d'employer des revêtements qui réduisent fortement la transmission de chaleur à travers les murs et les toits. Ils retiennent ainsi la chaleur en hiver lorsqu'ils sont appliqués sur les murs intérieurs et ils empêchent la chaleur de pénétrer en été lorsque les murs extérieurs et les toits en sont recouverts. Cette idée a donné lieu à l'élaboration de divers revêtements efficaces mais dont les couleurs se limitaient au blanc [1-2], à l'argent métallique ou au gris [3]. C'est pourquoi des chercheurs de l'Université de Stanford (États-Unis) ont mis au point de nouvelles peintures qui ont les propriétés requises et se déclinent en plusieurs couleurs afin de satisfaire des critères esthétiques [4].

Deux couches, deux fonctions

Le principe de ces peintures est d'appliquer successivement deux couches (figure 1). La sous-couche renferme des paillettes plates d'aluminium dont la taille n'est que de quelques dizaines de micromètres de large. Initialement dispersées dans un solvant où un polymère joue le rôle de liant, les paillettes s'orientent parallèlement au support lors de l'évaporation du solvant. Cette sous-couche seule agirait comme un miroir qui réfléchit environ 85 % des radiations solaires dans l'infrarouge moyen (principalement dans le domaine de longueur d'onde allant de 7 à 14 micromètres).

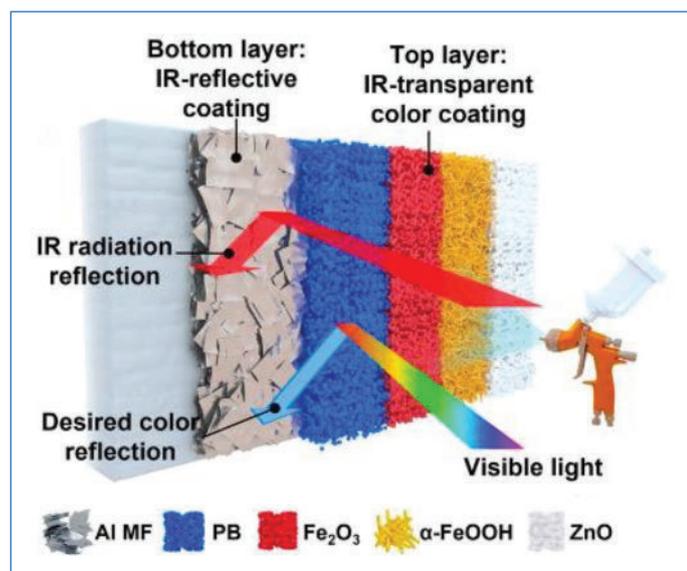


Figure 1 - Schéma de la structure à deux couches conçue pour l'application des peintures réfléchissantes. La couche inférieure à base de paillettes d'aluminium réfléchit le rayonnement infrarouge. La couche supérieure est une couche colorée, transparente dans l'infrarouge, qui confère l'apparence visuelle souhaitée mais diminue à peine la haute réflectance IR résultant de la couche inférieure. Le bleu de Prusse (PB), l'hématite (Fe_2O_3), la goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$) et l'oxyde de zinc (ZnO) sont utilisés respectivement pour les couleurs bleue, rouge, jaune et blanche. (Crédit : Yucan Pen *et al.* [4] - CC BY-NC-ND).

La couche supérieure est obtenue par pulvérisation de particules inorganiques de diverses couleurs (voir ci-après). La taille de ces particules varie de 20 nanomètres à 1 micromètre et est donc très inférieure aux longueurs d'onde de l'infrarouge moyen, ce qui prévient la diffusion de ces radiations et préserve la transparence dans ce domaine de longueur d'onde.

La réflectance de la bicouche dans l'infrarouge moyen atteint 80 %, un pourcentage dix fois supérieur à celui des peintures conventionnelles dans des couleurs analogues. De plus, la couche supérieure pigmentaire réfléchit une grande partie du rayonnement solaire dans le proche infrarouge (65 à 75 %) et contribue ainsi à la réduction des échanges de chaleur avec l'environnement extérieur. En outre, elle protège la sous-couche de l'oxydation.

Par ailleurs, il faut souligner que les performances ne sont pas affectées par la nature du matériau (plastiques, bois, céramiques, métaux et verres) sur lequel les paillettes d'aluminium sont déposées.

Une variété de couleurs à partir de trois pigments

Selon le principe de la synthèse soustractive des couleurs [5], il est possible de produire une multitude de couleurs en mélangeant, en proportions adéquates, trois pigments possédant les couleurs primaires de la peinture, à savoir le bleu, le rouge et le jaune. Les chercheurs de l'Université de Stanford ont choisi les pigments suivants [4] :

- pour le bleu : bleu de Prusse (hexacyanoferrate(II) de fer(III) : $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$) [6] ;
- pour le rouge : hématite (oxyde de fer(III) : $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) ;
- pour le jaune : goethite (oxyhydroxyde de fer(III) : $\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$).

Ainsi, des mélanges de ces pigments permettent de produire les teintes supplémentaires présentées sur les figures 2 et 3 : vert (jaune + bleu), orange (rouge + jaune), violet (rouge + bleu) (en réalité plutôt marron), gris foncé (bleu + rouge + jaune). Quant au blanc, il est obtenu avec l'oxyde de zinc (ZnO). L'effet esthétique en termes de couleurs est comparable à celui des peintures conventionnelles.

Des économies d'énergie substantielles

Appliquées sur les murs extérieurs et les toits, ces nouvelles peintures diminuent considérablement la pénétration de la chaleur extérieure en été. Inversement, durant la période hivernale, elles retiennent efficacement la chaleur intérieure lorsqu'elles sont appliquées sur les murs intérieurs.

Les chercheurs ont effectué des tests dans des conditions artificielles simulant des environnements chauds et froids [4]. Ils ont ainsi prouvé une réduction de 36 % de la consommation d'énergie de chauffage dans des environnements froids, et une réduction de près de 21 % de la consommation d'énergie de refroidissement dans des conditions chaudes.



Figure 2 - Photographie des solutions formulées pour la couche inférieure (à l'extrême gauche) et pour la couche supérieure en différentes couleurs : blanc, bleu, rouge, jaune, vert, orange, violet et gris foncé, de gauche à droite, respectivement. Barre d'échelle : 5 cm. (Crédit : Yucan Pen *et al.* [4] - CC BY-NC-ND).



Figure 3 - Photographies du revêtement de la couche inférieure (à l'extrême gauche) et des revêtements bicouches de différentes couleurs. (Crédit : Yucan Pen *et al.* [4] - CC BY-NC-ND).

Pas seulement pour les bâtiments

Les nouvelles peintures peuvent être appliquées sur d'autres surfaces que celles des bâtiments lorsqu'une régulation thermique est requise : les wagons de trains, les camions réfrigérés transportant des produits alimentaires périssables – a fortiori quand ces derniers sont surgelés – ou des médicaments. La consommation d'énergie pour maintenir des températures acceptables est ainsi réduite et les couleurs contribuent à l'aspect esthétique.

En conclusion, sachant que les dépenses énergétiques liées à la climatisation et au chauffage représentent environ 13 % de la consommation annuelle mondiale, ces nouvelles peintures présentent le grand intérêt de diminuer ces dépenses en conjuguant efficacité et variété de couleurs.

Cet article est inspiré d'un billet du blog de l'auteur, « Questions de couleurs » (<https://questionsdecouleur.wordpress.com>).

- [1] X. Li, J. Peoples, P. Yao, X. Ruan, Ultrawhite BaSO₄ paints and films for remarkable daytime subambient radiative cooling, *ACS Appl. Mat. Interfaces*, **2021**, 13(18), p. 21733-739.
- [2] B. Valeur, Une peinture ultra-blanche pour réduire l'échauffement des murs et des toits, *Blog Questions de couleurs*, <https://tinyurl.com/4zfafaxu>.
- [3] A. Joudi, H. Svedung, M. Cehlin, M. Rönnelid, Reflective coatings for interior and exterior of buildings and improving thermal performance, *App. Energy*, **2013**, 103, p. 565-570.
- [4] Y. Peng, J.-C. Lai, X. Xiao, Y. Cui, Colorful low-emissivity paints for space heating and cooling energy savings, *PNAS*, **2023**, 120(34), e2300856120, <https://tinyurl.com/bnd6bc8e>.
- [5] B. Valeur, *La couleur dans tous ses éclats*, Belin, **2011** ; Quand naissent les couleurs, la règle de trois s'impose, *Blog Questions de couleurs*, <https://tinyurl.com/yjfh6u6>.
- [6] G. Fornasieri, A. Bleuzen, Toutes les couleurs du bleu de Prusse, *L'Act. Chim.*, **2019**, 444-445, p. 16-21.

Bernard VALEUR,

Professeur honoraire du Conservatoire national des arts et métiers.

* bernard.valeur@gmail.com

