

Aérogels : légers mais costauds...

Ces matériaux constitués d'un gaz emprisonné dans un solide offrent de nombreuses applications. Des procédés innovants permettent d'abaisser leurs coûts de fabrication.

L'IMAGE EST IMPRESSIONNANTE : un bloc noir de la taille d'une tasse à café est posé sur une graminée... qui ne ploie même pas ! Et pour cause : ce matériau, présenté en mai 2013 par une équipe chinoise dans la revue spécialisée *Advanced Materials*, est le plus léger du monde. Sa densité est de $0,16 \text{ mg/cm}^3$. Un mannequin de taille humaine fabriqué avec ce matériau ne pèserait ainsi que 13 grammes, moins que trois feuilles de papier standard ! Le précédent record ($0,18 \text{ mg/cm}^3$), détenu par une équipe allemande, aura tenu moins d'un an. Signe que la course aux matériaux superlégers est bel et bien lancée, aussi passionnante qu'une compétition sportive... Joliment surnommés « *fumées gelées* », ces aérogels ont en effet tout pour susciter l'enthousiasme, tant du côté des laboratoires que des industriels grâce à leur faible densité puisqu'ils contiennent jusqu'à 99,9 % d'air. Ce qui leur confère d'excellentes propriétés d'isolation thermique et phonique. De plus, ils ne sont composés que de matériaux très abondants et peu coûteux : carbone, silicium, oxygène... Enfin, certains aérogels sont également capables d'éponger plusieurs centaines de fois leur masse d'hydrocarbure, d'autres conduisent l'électricité, d'autres encore absorbent remarquablement les chocs. De quoi envisager de multiples applications.



Robuste et isolant : un aérogel en silice peut soutenir une brique de 2,5 kg ou préserver une fleur de la destruction par une flamme intense.



Tout a démarré dans les années 1920 aux États-Unis, lorsque deux chimistes américains, Charles Learned et Samuel Kistler, se sont demandé : « *Pourrait-on remplacer le liquide d'une gelée par un gaz, sans que tout s'effondre ?* ». Kistler a relevé le pari. Et en 1931, il publie le premier article décrivant un « aérogel » ainsi qu'il nomme ce nouveau matériau.

Principale difficulté : éviter l'effondrement de la structure

La recette semble simple : prendre un gel, c'est-à-dire un liquide emprisonné dans un solide. Extraire le liquide et le remplacer par un gaz. Mais toute la difficulté de fabrication est d'ôter le liquide « *sans que tout s'effondre* ». En effet, il existe de nombreuses tensions capillaires dans le gel, des forces entre le liquide et le

gaz. Ces tensions étant d'autant plus fortes que la taille des pores est petite, elles sont donc très élevées dans les aérogels. Pour éviter l'effondrement de la structure, Samuel Kistler a remplacé l'eau de son gel de silice (un polymère de silicium et d'oxygène) par de l'éthanol qu'il a chauffé à haute pression jusqu'à atteindre l'état « supercritique », ni liquide ni solide, où il n'existe donc plus de tension capillaire.

Ces aérogels ont été commercialisés dès les années 1940 et jusqu'aux années 1970, sous le nom de Santocel, avant d'être abandonnés à cause des coûts de fabrication. Ce n'est qu'au début des années 2000 que des industriels se sont à nouveau enthousiasmés pour ce matériau. En France, la société Enersens, créée en 2010 par le groupe



Ce matériau composé de carbone est le plus léger au monde : le bloc posé sur une graminée ne fait même pas plier les poils de l'extrémité de la plante.

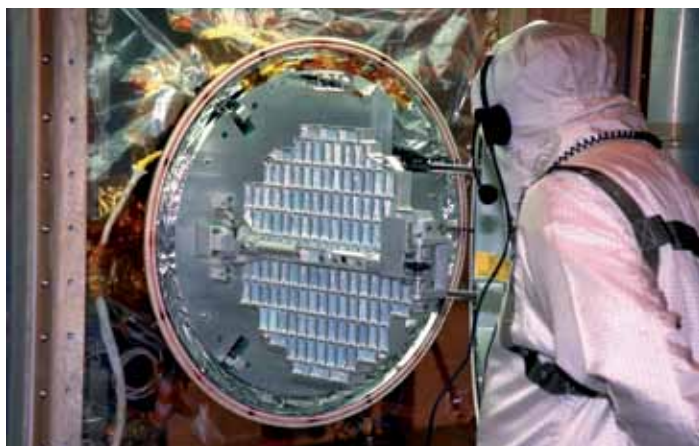
chimique PCAS, prévoit de lancer dès 2014 la production à large échelle d'aérogel de silice, avec l'ambition de devenir le leader européen de cette famille de matériaux. Principale difficulté : sécher le gel. En effet, la technique mise au point par Samuel Kirsler était trop lente, mais aussi trop dangereuse, car utilisant de l'alcool inflammable à haute pression et à température élevée. D'où l'intérêt de la méthode révolutionnaire évitant les hautes pressions mise au point par la société Enersens, en collaboration avec le centre Procédés, énergies renouvelables et systèmes énergétiques (Persée) de l'École des mines de Paris à Sophia-Antipolis, et brevetée en 2004. Leur idée : traiter chimiquement la surface du polymère

de silice afin que l'affaissement du gel lors du séchage par évaporation soit réversible. « *Pour cela, il faut éviter que les atomes liés au silicium dans le réseau de silice réagissent chimiquement les uns avec les autres durant l'effondrement*, indique Arnaud Rigacci, directeur de Persée. *C'est pourquoi on remplace ces atomes par d'autres, qui ne forment pas de liaisons chimiques entre eux dans ces conditions. On rend ainsi l'effondrement réversible : un véritable "effet ressort" est observé dès la fin du séchage lorsque les tensions capillaires se relâchent.* » Cette méthode peut se dérouler à pression ambiante et température inférieure à $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Une innovation qui devrait permettre à l'aérogel de silice de connaître le succès commercial.

13 g

C'est la masse qu'aurait un mannequin de taille humaine fabriqué en aérogel.

Plus de quatre-vingts ans après la découverte de ces matériaux, les industriels parient en effet aujourd'hui sur de nombreuses applications. La principale visée : l'isolation. « *L'aérogel de silice est constitué de cages semi-ouvertes de très petite taille, 20 nanomètres environ. Pour traverser le matériau, les flux de chaleur doivent faire des zigzags, beaucoup parviennent dans des "impasses", d'où la très faible conduction thermique* », explique Pierre-André Marchal, directeur d'Enersens. Il suffit ensuite de le conditionner sous forme de panneaux isolants à poser sous les toits ou sur les murs. Si l'aérogel reste largement plus cher que les isolants classiques, il est aussi deux à trois fois plus efficace que la laine de verre ou le polystyrène expansé. Les premiers



NASA

ESPACE

Ils ramassent la poussière des comètes

Voici l'une des applications les plus insolites des aérogels de silice. La sonde Stardust de la Nasa, lancée le 7 février 1999, comportait un collecteur rempli d'aérogel (photo) qui a traversé la queue de la comète Wild 2 le 24 janvier 2004. Mission accomplie le 15 janvier 2006, lorsque ce collecteur rempli de plusieurs milliers de particules de comète a atterri dans le désert de l'Utah aux États-Unis. La grande porosité des aérogels leur permet en effet d'incorporer facilement ces poussières que l'on repère aisément dans ce piège transparent. Enfin, sa grande légèreté est évidemment un atout dans le spatial où l'on traque le moindre gramme superflu. Les aérogels ont également été utilisés pour protéger de la chaleur les robots explorateurs de Mars, et pour isoler les réservoirs de carburant des navettes spatiales.

► marchés visés seront donc l'isolation dans les installations industrielles (tuyauteries, équipements cryogéniques, réservoirs de stockage sensibles...), où les exigences sont élevées, mais aussi la rénovation thermique des bâtiments, lorsqu'on n'a pas la place d'installer de grandes épaisseurs d'isolants, ce qui oblige à avoir recours aux matériaux les plus performants. À condition de réduire leurs coûts.

Dernier obstacle : les aérogels sont fragiles et friables. Il faut donc les renforcer mécaniquement, par exemple en les combinant avec des matériaux protecteurs. C'est ce que fait l'américain Aspen en imprégnant une matrice de fibres avec des aérogels de silice, pour former un isolant souple. L'autre solution est de fabriquer des aérogels hybrides à base de silice mais

aussi de carbone, intrinsèquement plus résistants. Ces matériaux n'en sont encore qu'au stade de laboratoire (Enersens a déposé deux demandes de brevets), mais, pour Arnaud Rigacci, « ce type de matériau "composites" est probablement la clé capable de faire sauter ce verrou de la fragilité mécanique des aérogels ».

Les applications potentielles de ces matériaux sont nombreuses : adjuvants dans les peintures (pour les rendre plus mates ou changer leur viscosité), électrodes de batteries à base d'aérogel de carbone, stockage de gaz... Cependant, l'isolation thermique et, dans une moindre mesure, acoustique, est clairement l'application reine, celle qui permettra aux aérogels de devenir un vrai matériau industriel. ■

Cécile Michaut



Amory B. Lovins
et le Rocky Mountain
Institute,
Rue de l'Échiquier,
672 p., 29 €

Réinventer le feu

Bill Clinton, ancien président des États-Unis, en est fan : voici la bible des énergies durables, efficaces, économes développée par l'inventeur du concept Négawatt (lire S. et A. n° 774, août 2011). Pour entrer dans une nouvelle ère énergétique, il propose de réinventer le feu, autrement dit d'user de solutions économiques novatrices, y compris high-tech. Fruit de trente années de recherche et de pratique, cet essai concret et détaillé veut convaincre les entreprises des secteurs les plus énergivores — transports, bâtiment, industrie et production électrique — qu'elles peuvent faire du profit et se passer complètement de charbon, pétrole et gaz d'ici à 2050. Pour concilier utilement écologie et économie. ■ Rachel Mulot



Loïc Le Pallec,
Sarbacane,
320 p., 16 €

No Man's land

Après une catastrophe qui a éliminé les humains de la surface de la Terre, des robots se regroupent dans une petite ville. Ils acquièrent peu à peu une conscience, puis émergent l'amitié, le sentiment amoureux, l'art, l'angoisse de mort. Ces robots nous interrogent sur ce qui fonde l'individu, entre l'inné (ici, le programme initial) et l'acquis (comment ce programme évolue). Un roman séduisant, mais on aurait aimé que le comportement des robots soit moins calqué sur celui des humains, afin de voir émerger des sentiments purement robotiques. ■ Cécile Michaut



Stéphane Vial,
PUF, 333 p., 20 €

L'Être et l'écran

Facebook, Google, Tweeter... Depuis une quinzaine d'années, le monde numérique a pris une place de plus en plus importante dans nos vies, bouleversant jusqu'à notre conception et notre perception du réel. Recherche philosophique sur la révolution numérique en cours, cet ouvrage s'interroge sur le devenir de notre être aux prises avec les technologies actuelles. Est-on en train d'assister à la naissance d'un nouvel être dont le numérique serait alors la matrice ontologique ? Pour public averti. ■ Hervé Rateil