

par les glaces d'hiver avait été libéré dans l'atmosphère. Bien qu'isolée, cette mesure montre que la mer d'Okhotsk est une importante source de méthane atmosphérique. Ces mesures pourraient également expliquer les fluctuations saisonnières de la concentration en méthane atmosphérique enregistrées par la station de mesure de l'île Shemya, à l'extrémité Sud-Ouest des îles Aléoutiennes.

Les climatologues admettent aujourd'hui que le méthane libéré à partir des hydrates a eu, dans le passé, de profonds effets sur le climat global. À la fin du Paléocène (il y a environ 55 millions d'années), par exemple, les températures de la terre et de l'océan semblent avoir augmenté brusquement : de nombreuses espèces de foraminifères se sont éteintes, ainsi que d'autres organismes unicellulaires qui vivaient à la surface de l'océan et dans les eaux profondes. L'abondance de l'isotope léger du carbone (le carbone 12) a augmenté dans les coquilles et dans la matière organique de l'époque : manifestement, de grandes quantités de carbone sont apparues dans la biosphère. Cette dernière observation explique l'augmentation de température : les bactéries qui décomposent la matière organique enrichissent le méthane en carbone 12. De ce fait, elles enrichissent aussi les hydrates, de sorte que si ces derniers se décomposent, on retrouve un excès de carbone 12 dans le dioxyde de carbone. La décomposition des hydrates pourrait avoir résulté d'une modification de la circulation océanique, telle qu'il semble y en avoir eu à cette époque.

Gerald Dickens et ses collègues, à Woods Hole, ont utilisé un modèle informatique pour tester cette hypothèse. Ils ont supposé qu'une quantité d'hydrate correspondant à environ huit pour cent des réserves mondiales actuelles s'est décomposée, que le méthane libéré a aussitôt (à l'échelle des temps géologiques) été transformé en dioxyde de carbone. Sur un intervalle simulé de 10 000 ans, ils ont ajouté chaque année à leur atmosphère modélisée 160 kilomètres cubes de dioxyde de carbone renfermant du carbone 12. Les calculs montrent que l'ajout de dioxyde de carbone a provoqué un réchauffement de l'atmosphère inférieure de deux degrés ; simultanément, l'abondance des divers isotopes du carbone s'est établie aux valeurs observées dans les fossiles. Puis, comme



Ch. Fischer et P. Santos, Pennsylvania State University

9. DES EXPLORATIONS effectuées à l'aide d'un sous-marin ont montré des vers de couleur rose, mesurant deux à cinq centimètres de long, qui avaient établi leurs galeries dans des hydrates de gaz qu'ils avaient fondus (en bas). Une espèce inconnue jusqu'ici, *Hesioeca caeca methanolica* (en haut) vit en symbiose avec des bactéries qui se nourrissent du méthane de l'hydrate.

pour les données réelles, cette abondance s'est progressivement normalisée en l'espace de 200 000 ans.

Malgré les risques, les réserves estimées d'hydrate de méthane sont si considérables que de nombreuses sociétés pétrolières s'y intéressent. Des équipes de recherche, notamment en France et au Japon, prévoient leur récupération et leur utilisation, mais l'exploitation de cette prodigieuse source d'énergie à des coûts raisonnables présente des difficultés considérables.

Tout d'abord, les hydrates sont en profondeur et, souvent, sous le fond océanique. Ils sont très instables, voire explosifs. Même si l'on disposait d'un

système de convoyage jusqu'en surface, que faire ensuite des grandes quantités de boue et de calcaire auxquelles l'hydrate est mélangé ? Le gaz libre présent sous la couche d'hydrate n'est pas non plus facile à exploiter : la pression est trop faible pour faire jaillir le méthane à une vitesse suffisante pour le rendre exploitable.

On pourrait améliorer le rendement grâce à des techniques similaires à celles qui servent à récupérer le pétrole, lorsque les puits sont épuisés (on injecterait de la vapeur ou de l'eau chaude afin de fondre l'hydrate et de libérer davantage de méthane, puis ce dernier serait pompé à travers un autre trou de forage), mais, là encore, les coûts seraient élevés. Enfin, comment ramener le combustible à terre ? Les pipelines sous-marins sont très coûteux et exposés, sur le talus continental, aux glissements de terrain. Ce risque serait encore accru par l'extraction de l'hydrate qui stabilise les talus.

Pour éviter ces difficultés, certains ont proposé d'économiser le prix des pipelines en liquéfiant le gaz sur des navires ou sur des plates-formes de forage : le méthane serait d'abord transformé en hydrogène et en monoxyde de carbone ; puis, à l'aide d'un catalyseur, on synthétiserait des hydrocarbures liquides à longue chaîne que l'on pourrait facilement transporter par bateau. Ce type de solution a ses défauts : il fait perdre 35 pour cent de l'énergie. D'autres envisagent une installation de production installée sur le plancher océanique, où le méthane se combinerait avec l'eau pour former de l'hydrate pur. Celui-ci serait alors remorqué dans des réservoirs de stockage en forme de zeppelins. Quels que soient les résultats des recherches dans le domaine des hydrates, le futur sera certainement riche en découvertes et en innovations.

Erwin SUESS, Gerhard BOHRMANN et Jens GREINERT travaillent au Département de géologie de l'environnement marin du Centre de recherche GEOMAR, à Kiel. Erwin LAUSCH est membre du conseil d'administration de GEOMAR.

K. KVENVOLDEN et al., *Worldwide Distribution of Subaquatic Gas Hydrates*, in *Geo-Marine Letters*, vol. 13, pp. 32-40, 1993.

E. SUESS et al., *Methanhydratfund von FS Sonne vor der Westküste Nordamerikas*, in *Geowissenschaften*, vol. 15, pp. 194-199, juin 1997.

E. SUESS et al., *Fluid Venting in the Eastern Aleutian Subduction Zone*, in *Journal of Geophysical Research*, vol. 103, n° 2, pp. 2597-2614, 10 février 1998.

J.-P. HENRIET et J. MIENERT, *Gas Hydrates : Relevance to World Margin Stability and Climatic Change*, in *Geological Society Special Publication*, vol. 137, 1998.

G. BOHRMANN et al., *Authigenic Carbonates from the Cascadia Subduction Zone and their Relation to Gas Hydrate Stability*, in *Geology*, vol. 26, pp. 647-650, 1998.

Le vrai et le faux en peinture de chevalet

PATRICK LE CHANU

À l'aide de techniques d'examen et d'analyse, le scientifique peut discerner les indices d'une falsification artistique. Pour d'autres questions, telle l'attribution d'une œuvre, les progrès sont plus lents

Qui êtes-vous pour prétendre posséder un Picasso ?
Richard Weiss, 1998.

Pourquoi les débats sur les faux sont-ils aussi passionnés ? Essentiellement en raison d'une récupération commerciale, préjudiciable à l'étude sereine d'une œuvre. Au-delà de ces débats, le statut du chercheur qui étudie les peintures en laboratoire reste de définition délicate : les historiens de l'art et les conservateurs de musée doivent guider son travail, mais le scientifique doit respecter la méthodologie des sciences exactes. De quels outils disposent le scientifique pour étudier une œuvre ?

Les méthodes d'examen consistent à réaliser des images des œuvres à l'aide de divers rayonnements. Les images dans l'infrarouge, par exemple, révèlent le dessin sous-jacent, tandis que les images dans l'ultraviolet font ressortir des repeints récents. Les méthodes d'analyse physico-chimique quant à elles, visent plutôt à l'identification des matériaux constitutifs, indices précieux pour reconstituer l'histoire de la création d'un tableau.

À partir de quelques exemples, nous verrons comment ces méthodes sont utilisées et quelles sont

leurs limites. Le plus souvent, ce n'est pas l'authenticité qui pose problème, mais l'attribution. Là, le laboratoire reste encore assez démuné.

Qu'est-ce qu'un faux ?

Les médias relatent régulièrement des affaires de falsifications artistiques. Sous cette rubrique, on trouve en fait des cas de nature très diverse, dont certains n'ont rien à voir avec le faux. D'ailleurs, qu'est-ce qu'un faux ? C'est un objet créé d'emblée pour tromper

et passer pour ce qu'il n'est pas, du point de vue de son auteur ou de l'époque de sa création.

L'efficacité et l'intérêt des méthodes de laboratoire diffèrent selon les questions que l'on se pose. Première question : à qui est attribué le tableau ? Cette question porte exclusivement sur la paternité d'une œuvre créée en toute sincérité par un artiste, mais dont le lien avec celui-ci n'a pas été scellé par une signature ou par un monogramme. Ces cas de tableaux anonymes sont très nombreux dans la peinture antérieure au XIX^e siècle.

Vient ensuite la question des copies. Souvent peintes à des fins pédagogiques par des artistes en cours de formation, elles sont innombrables, et leur quantité dépasse de beaucoup celle des faux avérés. Ainsi, lors de son séjour en Italie, Pierre Paul Rubens (1577-1640) copia les grands maîtres italiens. En raison de la célébrité de leurs auteurs, les copies peintes par des maîtres lors de leur apprentissage sont aujourd'hui bien plus recherchées que bien des œuvres originales. Lorsqu'elles ne portent pas la signature de leur auteur, les copies peuvent être ensuite frauduleusement présentées comme des œuvres de celui ou de celle qu'elles imitent.



1. CETTE PIÉTA que l'on prit d'abord pour un tableau de l'école rhénane du XV^e siècle serait un faux. Le tableau aurait été peint au début du XX^e siècle par le «Fausaire pathétique» qui a été trahi par l'utilisation d'un style différent de celui du XV^e siècle.