

Porcelaines vietnamiennes

La spectroscopie Raman révèle les techniques de fabrication des céramiques anciennes.

Les porcelaines vietnamiennes anciennes sont réputées pour leur finesse et leur fraîcheur, mais leurs techniques de fabrication restaient méconnues. Pour les retrouver, Philippe Colomban et ses collègues, du Laboratoire de dynamique, interactions et réactivité de Thiais en ont analysé des tessons ramassés au Nord du Vietnam et datés des XIII^e, XIV^e et XV^e siècles, d'après les données stratigraphiques des fouilles.

Après la fin de la domination chinoise, qui dure tout le premier millénaire de notre ère, un style original apparaît sur les porcelaines vietnamiennes, sous les dynasties Ly (1009-1225) et Tran (1225-1400). Les décors des jarres, plats, coupes et autres bols sont moins figés que ceux des pièces chinoises de la même époque et dégagent une impression d'harmonie. Comment ces porcelaines étaient-elles fabriquées ?

P. Colomban et ses collègues vietnamiens ont analysé des céramiques provenant de trois fours en activité au Nord du Vietnam, au cours des dynasties Ly et Tran : le four de Ha Lan, le four de Chu Dau et le four de Hop Lê. Les physico-chimistes ont utilisé la spectroscopie Raman. Cette méthode d'analyse est fondée sur la détection des modifications de la lumière diffusée par un objet éclairé par un laser monochromatique. Les lon-

gueurs d'ondes des raies de lumière diffusées sont caractéristiques des constituants de l'objet analysé et de leur état — amorphe ou cristallisé — imposé par les conditions de cuisson.

Les porcelaines analysées contiennent deux phases formées dans le four pendant la cuisson : la mullite (un aluminosilicate qui a cristallisé à partir du kaolin, l'argile réfractaire utilisée comme matière première) et du verre (le produit de la réaction entre du feldspath, du calcaire et des cendres). Elles contiennent aussi du sable qui n'a pas fondu pendant la cuisson et qui était ajouté à l'argile (avant la cuisson). Le sable joue le rôle structural de l'eau en maintenant les feuillets de l'argile écartés, une fois que les molécules d'eau se sont évaporées, de sorte qu'il diminue la fissuration des pièces lors du séchage.

Parmi les échantillons de Ha Lan et de Hop Lê, certains sont des protoporcelaines, ainsi nommées car leur cycle de cuisson ou la préparation du kaolin étaient imparfaits. Ce manque de maîtrise des techniques de fabrication se traduit par le fait que les protoporcelaines contiennent peu de mullite (qui se forment vers 1300 °C) et qu'elles renferment encore des minéraux présents dans l'argile (probablement apportés par les alluvions), qui n'ont pas été complètement éliminés par la décantation. Progressivement, ces deux défauts ont été corrigés. À Ha Lan, la porosité augmente : plutôt que vers des porcelaines, les céramiques évoluent vers des faïences fines, plus légères et d'un blanc plus pur.

La plupart des porcelaines analysées sont recouvertes d'un émail vert, qui imite le jade. Cette coloration est due à la présence d'ions ferreux (bleus) et ferriques (jaunes), dont les proportions variaient en fonction du caractère oxydant ou réducteur de l'atmosphère du four, c'est-à-dire du réglage de l'alimentation en bois. La cuisson était lente (elle durait parfois une semaine), de sorte que des bulles microscopiques libérées par la réaction de l'émail sur le substrat restaient piégées à l'interface, diffusant la lumière et donnant une impression de profondeur.

Les physico-chimistes ont comparé les spectres Raman de l'émail d'une porcelaine ancienne et d'une copie moderne. Leur aspect diffère, car le premier indique que l'émail est entièrement vitreux, tandis que le second révèle la présence de petites cristaux que forment les pigments utilisés pour la coloration. La spectroscopie Raman est non destructive, rapide et depuis peu, réalisable avec un instrument portatif. Ainsi, elle autorise l'authentification des porcelaines anciennes et intéresse les archéologues, notamment pour étudier les pièces récemment mises au jour lors de fouilles en Mer de Chine.



La méthode de fabrication de cette porcelaine vietnamienne daté du XV^e siècle a été reconstituée grâce à son analyse par spectroscopie Raman.

La danse des liquides

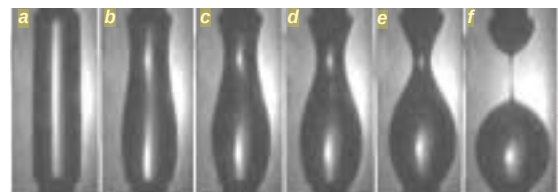
Des liquides magnétiques lévitent.

Comment étudier les phénomènes de microgravité à peu de frais ? En utilisant des liquides magnétiques. À l'Université Case Western, le groupe de Charles Rosenblatt fait varier la force gravitationnelle qui s'exerce sur ces milieux en les soumettant à une force magnétique qui s'oppose à la force de gravitation. Ainsi, on simule des conditions de gravité différentes, rencontrées lors des missions spatiales ou sur d'autres planètes.

Que se soit sur la navette spatiale ou dans des avions en vol parabolique, les expériences en microgravité sont onéreuses. Peut-on obtenir les mêmes conditions, ou des conditions voisines, sur Terre, en laboratoire ? Oui, à condition d'utiliser des liquides qui réagissent à un champ magnétique : on utilise des mélanges de glycérol et d'un liquide paramagnétique (le tétrahydrure de chlorure de magnésium). Lorsque le mélange est soumis à un champ magnétique, les moments magnétiques élémentaires s'orientent parallèlement et confèrent à l'ensemble un champ magnétique intrinsèque.

Quand le champ magnétique appliqué est judicieusement choisi, il engendre une force sur le liquide qui, s'opposant à la force de gravitation, le place en impesanteur artificielle : le liquide lévite. En faisant varier le champ magnétique appliqué, on simule des variations de la gravité avec le temps. Or, des variations temporelles de la gravité correspondent à des accélérations. Ainsi, au lieu de se contenter de l'étude statique des liquides magnétiques, les physiciens peuvent étudier leur dynamique.

On obtient une colonne de liquide — encore nommée pont liquide — suspendue entre deux points, comme si aucune force ne s'exerçait sur lui. En modulant le champ magnétique, on arrive même à faire danser le liquide avec un rythme dicté par la gravité et par les propriétés du



Un liquide magnétique est maintenu entre les pôles d'un électroaimant (a). Lorsque l'on coupe le champ magnétique, le pont liquide (la zone centrale étroite, s'effondre (de b à f).

fluide : le liquide entre en résonance. De ce mouvement, les physiciens déduisent les propriétés physiques du pont liquide, notamment sa tension superficielle, lorsque le liquide est en mouvement. Par cette méthode, on peut mesurer la tension de surface dynamique de solutions aqueuses contenant différentes molécules tensioactives.

Le contrôle doit être fin : si l'on fait trop varier la force magnétique, le pont s'effondre. En répétant cette expérience avec

diverses longueurs de pont et avec des forces magnétiques différentes, les physiciens ont montré que le temps que met un pont pour s'effondrer ne dépend pas directement de sa longueur.

Les conditions d'impesanteur obtenues ici sont moins «pures» que dans l'environnement spatial – il reste toujours une faible gravité résiduelle – mais ces méthodes sont bien moins onéreuses que les expériences spatiales et elles permettent aux chercheurs de simuler des

changements brusques d'accélération sans déplacer le fluide. Cette technique peut être utilisée pour simuler les effets des vibrations dues aux tremblements de Terre, le comportement des liquides à bord d'un vaisseau qui se pose sur une autre planète ou encore les fluides biologiques : la tension de surface des fluides qui tapissent les alvéoles pulmonaires varie au cours de la respiration et la méthode permet d'étudier les conditions d'une éventuelle rupture de ce film liquide.

La cartographie de l'espace

Les amas de galaxies se donnent rendez-vous aux carrefours de l'Univers.

Le satellite XMM-Newton de l'Agence spatiale européenne, qui scrute le ciel dans la gamme des rayons X, est en orbite depuis bientôt un an. Mis en place pour observer les phénomènes de haute énergie (où les températures sont élevées), tels que la physique des trous noirs, les restes de supernovae ou encore la nature du fond diffus (l'émission continue de rayonnement X observé dans l'ensemble de l'espace interstellaire), il a récemment fourni ses premières données. Notamment, le satellite a fait des observations inédites sur les amas de galaxies, que l'équipe de Monique Arnaud et Philippe Ferrando, du Commissariat à l'énergie atomique de Saclay, a analysées (l'exploitation de l'ensemble

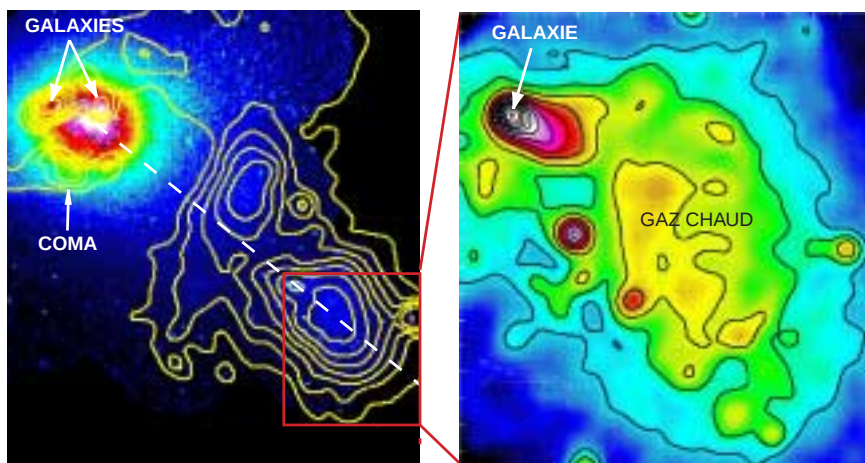
des données transmises par XMM-Newton occupe plus de 150 équipes de recherche dans le monde).

Les amas de galaxies sont les plus grandes structures de l'Univers. Ils sont constitués de quelques dizaines à plusieurs milliers de galaxies liées par leur propre attraction gravitationnelle. Ils se trouvent aux croisements de filaments, le long desquels la matière est répartie dans l'Univers, et qui forment une gigantesque toile d'araignée. Au cours du temps, la matière s'écoule le long des filaments et converge vers les intersections où se forment les amas de galaxies. Les galaxies émettent des rayons X, ainsi que le gaz chaud qui les entoure (dont la température atteint 10 à 100 millions de degrés).

Le satellite XMM-Newton a observé l'amas de galaxie Coma, situé dans notre «voisinage», à 400 millions d'années-lumière. Coma est un grand amas, dont la masse est 20 000 fois supérieure à celle de la Voie Lactée. Les rayons X, qui renseignent sur la température dans l'amas, ont révélé de grandes différences thermiques en son sein. Celles-

ci indiquent que l'amas est le siège de vastes mouvements de matière. Pour les comprendre, les astrophysiciens ont reconstruit la carte d'émission X de Coma telle qu'elle serait s'il était au repos et l'ont soustraite de la carte obtenue avec XMM-Newton : ils disposent ainsi d'une carte des régions où la matière est en mouvement. Elle révèle plusieurs zones d'émission X intense. Le cœur de Coma est principalement composé de deux galaxies. Une seconde zone d'émission intense correspond à une structure filamentaire (un groupe de galaxies) attirée par Coma. C'est la première fois que ce filament est détecté avec une telle précision dans le domaine X. Les deux extrémités du filament sont orientées vers des amas de galaxies, ce qui confirme que les amas se forment au croisement des filaments. Dans l'équipe de M. Arnaud et Ph. Ferrando, Doris Neumann a étudié en détail le voisinage d'une galaxie qui se trouve à la frontière entre Coma et le filament. Elle est plus proche de l'amas que le gaz chaud du groupe de galaxies auquel elle appartient, car elle tombe plus vite que ce dernier, ralentit par le gaz chaud de l'amas.

Ces observations font partie de la phase de vérification de XMM-Newton, qui vient de s'achever. Elles montrent le bon fonctionnement du satellite, dont les résolutions spatiale et spectrale sont conformes aux prévisions. En outre, le satellite a bien résisté aux deux éruptions solaires qui se sont produites depuis son lancement (grâce à un système de filtres qui le protège des particules émises), laissant présager que sa durée de fonctionnement sera effectivement de dix ans, comme prévu. Cela suffira aux astronomes pour observer l'état dynamique d'autres amas de galaxies, ce qui nous éclairera sur la formation des grandes structures de l'Univers. Les prochains résultats sont d'autant plus attendus que XMM-Newton, sorti de sa phase de test, sera pointé vers des objets moins bien connus des astrophysiciens.



Cartes de la matière en mouvement (l'intensité de l'émission X augmente du bleu au rouge) dans l'amas de galaxies Coma. Son cœur est formé de deux galaxies (image de gauche). Cet amas se trouve à l'extrémité d'un filament (sa direction est celle des pointillés blancs) le long duquel un groupe de galaxies tombe vers lui. La galaxie de l'image de droite (en rouge) tombe vers l'amas Coma, mais moins vite que le gaz chaud qui l'entoure (en jaune et en vert).