

Écologie

Le devenir des déchets plastiques en mer

Plus de 5 000 milliards de débris plastiques flottent à la surface des océans, selon une récente étude internationale, soit plus de 260 000 tonnes. Ces chiffres ne correspondraient qu'à une infime part de la pollution plastique océanique. Éclairage de François Galgani, océanographe à l'Ifremer, à Bastia, et coauteur de l'étude.

une mesure analogue à celle requise dans l'expérience d'Einstein.

C. Miron et ses collègues ont étudié un système qui est une réalisation fidèle, à l'échelle atomique, de l'idée de transfert de quantité de mouvement entre la particule et la fente suggérée par Einstein : des molécules de dioxygène (O_2) bombardées par des rayons X du synchrotron *Soleil*.

Quand un photon X frappe une molécule de dioxygène avec une énergie de 541,8 électronvolts, la molécule absorbe le photon et est excitée. En se désexcitant, elle émet un électron. Il est alors impossible de savoir lequel des deux atomes de la molécule a émis l'électron. La mesure de l'énergie de l'électron éjecté en fonction de l'angle d'émission présente des motifs d'interférence similaires à ceux de l'expérience des fentes de Young.

A contrario, lorsque l'énergie du photon X est de 539 électronvolts, la molécule se dissocie et l'un de ses deux atomes émet un électron, mais la mesure du recul de l'atome permet de déterminer duquel il s'agit. Cela revient à savoir par quelle fente la particule est passée dans l'expérience de Young. Or en faisant les mêmes mesures, on n'obtient plus d'interférences.

Ainsi, dans le cas où il est possible de déterminer la « voie de passage » par la mesure du recul (c'est-à-dire du transfert de quantité de mouvement), la figure d'interférence n'est plus visible, contrairement à ce que pensait Einstein. Le principe de complémentarité de Bohr est donc vérifié – une confirmation de plus de notre compréhension du monde quantique.

Sean Baillly

Xiao-Jing Liu et al., *Nature Photonics*, en ligne le 1^{er} décembre 2014

Qu'apporte votre étude par rapport aux précédentes ?

François Galgani : C'est une compilation de données issues de 24 expéditions entre 2007 et 2013 à travers les cinq gyres (tourbillons) océaniques subtropicaux, aux abords de l'Australie, dans la baie du Bengale et en Méditerranée. Avec ces données, nous avons validé un modèle de transport de surface des particules plastiques et montré que les accumulations correspondent aux prévisions du modèle. C'est la première étude d'une aussi grande envergure et effectuée en fonction de la taille des débris.

Comment a été construit le modèle utilisé ?

F. G. : On est parti d'un modèle de circulation développé par la Marine américaine dans les années 1970. Le modélisateur de l'étude, Laurent Lebreton, en a extrait la partie qui concerne la couche de surface – les quelques mètres de profondeur où flottent les débris plastiques – et l'a couplée à des outils de simulation du comportement de particules dans un fluide.

L'étude a détecté moins de microplastiques – inférieurs à 4,5 micromètres – qu'attendu. Pourquoi ?

F. G. : Plusieurs pistes sont possibles. Lucy Woodall, du Muséum britannique d'histoire naturelle, et ses collègues ont récemment proposé que des microparticules couleraient au fond de la mer. Cette

idée ne fait pas l'unanimité. La plupart des microplastiques ont une faible densité et on comprend mal comment ils sédimenteraient. Autre piste : les procellariiformes, oiseaux dont l'albatros fait partie, avalent des débris, alors stockés dans une poche de l'estomac. Une espèce en mer du Nord prélève ainsi quelques dizaines de tonnes de déchets par an. Mais cela n'explique pas tout. En fait, la seule explication convaincante est liée à la dégradation des débris. Plus les particules se



François Galgani est océanographe à l'Ifremer.

fragmentent, plus le rapport surface sur poids des déchets est important. Cela augmente leur accessibilité à des bactéries qui contribuent à leur fragmentation en les digérant, ce qui accélère le processus.

Quel est l'impact des déchets plastiques marins ?

F. G. : La dégradation des microdéchets n'est pas dangereuse, car leurs constituants principaux, des polymères de propylène, éthylène, etc., sont inertes, et les quantités d'additifs toxiques libérés, infimes. Le danger chimique vient des macrodéchets, bien

plus importants en poids. Les microdéchets, plus nombreux, transportent des organismes sur de longues distances, déséquilibrant ainsi des écosystèmes ou disséminant des agents pathogènes. Après le tsunami de 2011, 120 espèces sont passées du Japon au Canada par ce biais. De plus, des espèces sont particulièrement sensibles aux déchets, et même le tourisme, la santé humaine (blessures), la pêche et la navigation sont touchés.

Observe-t-on les mêmes effets en Méditerranée ?

F. G. : En pire ! Les déchets ne peuvent pas en sortir. À Gibraltar, les eaux sont entrantes en surface et sortantes en profondeur. Or les déchets sont en surface... Des collègues slovénes ont mesuré jusqu'à cinq millions de microplastiques par kilomètre carré.

Que faire pour enrayer cette pollution ?

F. G. : C'est l'objet de la conférence internationale organisée à Monaco en mars prochain, mais déjà une directive européenne pour réduire les déchets est prévue et des gouvernements l'ont anticipée. En France, les sacs plastiques seront interdits dès 2016. L'industrie propose de favoriser le recyclage. Enfin, l'éducation jouera un rôle important : la plupart des déchets en mer sont issus de la grande consommation...

Marie-Neige Cordonnier

M. Eriksen et al., *PLoS One*, 2014

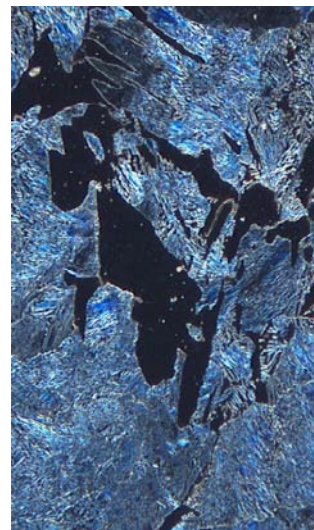
Archéologie

L'acier des cathédrales : squelette ou béquille ?

La datation des renforts métalliques de cathédrales gothiques révèle qu'ils ont parfois été prévus dès la conception.



Dans la cathédrale de Beauvais, des tirants métalliques empêchent les arcs-boutants qui soutiennent les murs du chœur de s'écarter. À droite, un fragment d'acier de la cathédrale vu au microscope (les parties bleues renferment un mélange de fer et de carbone).



Dans les années 1960, l'architecte Jean-Pierre Paquet a fait retirer les barres métalliques fixées entre les arcs-boutants (les piliers courbes soutenant les murs à l'extérieur) de la cathédrale de Beauvais. Il les trouvait inutiles et disgracieuses, et ne les pensait pas d'origine.

À l'instar de celle de Beauvais, la plupart des cathédrales gothiques intègrent des éléments en acier, tels des tirants (des barres fixées entre les piliers ou les murs pour éviter qu'ils ne s'écarterent). Ont-ils été prévus dès la conception ou bien intégrés plus tard pour renforcer la structure ? La question faisait débat. Une équipe interdisciplinaire menée par Stéphanie Leroy, du Laboratoire archéomatériaux et prévision de l'altération (LAPA, CNRS), a daté au carbone 14 les renforts métalliques des cathédrales de Beauvais et de Bourges, et montré que, pour la première, ces renforts ont été utilisés dès le début de la construction.

L'histoire des cathédrales est mouvementée. La construction de celle de Beauvais débuta en 1225 et s'est étalée sur plus d'un siècle. Du fait de la durée des travaux, des réparations successives et des

divers ajouts, il est parfois difficile de savoir quand certains éléments architecturaux ont été mis en place.

Après une analyse de la structure et de la disposition des renforts métalliques, S. Leroy et ses collègues ont effectué des microprelevements, qu'ils ont datés au carbone 14. Cet élément radioactif, dont la désintégration progressive révèle le temps écoulé depuis la mort d'un organisme, provenait du charbon de bois brûlé dans les fourneaux où le minerai avait été transformé ; une petite quantité s'était alors incorporée aux métaux.

La difficulté, selon S. Leroy et Emmanuelle Delqué-Kolic, du Laboratoire de mesure du carbone 14 (CEA / CNRS / IRD / IRSN / MCC), est que « le carbone contenu dans les métaux anciens peut provenir d'autres sources et n'est présent qu'à l'état de trace ». Grâce à une étude fine de la structure des métaux ferreux et à une préparation spécifique des échantillons, les chercheurs ont réussi à extraire des quantités infimes de carbone et à les dater de façon fiable.

L'équipe de S. Leroy a d'abord validé sa méthode avec des

éléments datés par ailleurs grâce à des sources historiques et archéologiques. Puis elle l'a appliquée aux cathédrales. Les chercheurs ont trouvé qu'à Beauvais, certains renforts métalliques dataient du début de la construction, vers 1225-1240, et auraient donc été pensés dès la conception. À Bourges, cathédrale un peu plus ancienne (le chœur remonte à 1195-1214), les renforts semblent plutôt avoir été imaginés en cours de construction pour stabiliser l'édifice inachevé.

Ainsi, pour réaliser des performances architecturales inédites, les bâtisseurs de cathédrales devaient innover et tester de nouvelles techniques de construction. Les renforts métalliques sont sans doute l'un des éléments qui ont permis à ceux de la cathédrale de Beauvais d'édifier le plus haut chœur gothique du monde (46,3 mètres). J.-P. Paquet n'a pas eu une bonne idée en les retirant : lors d'une tempête en 1989, les piliers supportant les arcs-boutants se sont mis à osciller dangereusement. Des tirants de remplacement ont alors été mis en place dans les années 1990.

Guillaume Jacquemont

S. Leroy et al., *Journal of Archaeological Science*, vol. 53, pp. 190-201, 2015

46
mètres environ

C'est la hauteur du chœur

de la cathédrale

de Beauvais, le plus

haut chœur gothique

du monde.