

Et pourtant, elles tournent! Les perles



CURIOSITÉS MARINES

Denis Allemand,
directeur scientifique
du centre scientifique
de Monaco



La jeune fille à la perle, peinte vers 1665 par Johannes Vermeer (Mauritshuis collection/CC).

Apanage de l'élégance, les perles sont utilisées depuis l'époque paléolithique pour rehausser les parures des femmes ou des hommes, des rois et des reines, des actrices, etc. Si toutes les perles naturelles ne sont pas rondes, certaines, celles en particulier utilisées en joaillerie, peuvent approcher la sphère la plus parfaite... Comment le mollusque qui forme cette perle arrive-t-il à une telle perfection? Une étude pilotée par des chercheurs d'IFREMER, en Polynésie française, a permis de développer une méthode très ingénieuse pour apporter des éléments de réponse à cette énigme.

La perle, un minéral "biologique"

Tout d'abord, il nous faut présenter le matériau qui forme une perle. Tout comme nos os ou nos dents, le test de l'oursin, le squelette du corail ou la coquille d'œuf, la perle

n'est pas un simple minéral mais un matériau composite complexe. En effet, tous ces "biominéraux" sont produits par un organisme vivant et associent intimement à la fraction minérale une fraction organique plus ou moins importante selon les espèces: c'est pourquoi on parle de biominéral. Cette fraction organique, appelée matrice organique, va conférer au biominéral des propriétés tout à fait originales par rapport à un minéral pur, en particulier une très haute résistance mécanique. Surtout, cette fraction organique va participer au contrôle de la forme cristalline déposée, c'est-à-dire, pour le carbonate de calcium (CaCO_3), le dépôt soit d'aragonite, soit de calcite ou de vaterite. Elle contrôle également la forme générale et la microstructure du biominéral.

La biominéralisation, le processus par lequel un organisme (animal, végétal, bactérie) forme un biominéral, se fait à température et pression ambiantes, alors que pour obtenir les mêmes minéraux, l'homme a besoin d'augmenter les facteurs chaleur et pression. Cet avantage de la biominéralisation par rapport à l'ingénierie humaine est particulièrement vrai pour les squelettes en silice des éponges hexactinellides, des radiolaires ou des diatomées. Quelles économies ferions-nous si on savait imiter ces organismes pour fabriquer le verre! On comprend donc l'enjeu

La face interne de cette huître montre les éléments étrangers recouverts de nacre pour les rendre inoffensifs. Cela constitue un système de défense de l'animal (cliché H. Grobe/AWI/CC).



industriel de la biominéralisation et le potentiel de la bio-inspiration. Pour fabriquer un biominéral, même si le processus est très variable selon l'espèce, l'organisme va tout d'abord délimiter un espace (intra- ou extracellulaire) puis y créer un environnement physico-chimique spécifique. Des molécules organiques vont également y être sécrétées, formant à la fois un gabarit – une structure renforcée similaire au béton armé – mais aussi une matrice bioactive promouvant la formation du biominéral par nucléation*. La fraction minérale peut être du carbonate de calcium (CaCO_3 , c'est à dire du calcaire, sous sa forme cristalline polymorphe: aragonite ou calcite), du phosphate de calcium ou de la silice, mais elle peut aussi être l'un des quelque soixante-dix autres types de formes minérales rencontrées dans le vivant. La composition de la matrice organique, dont l'existence a été longtemps débattue, est encore mal connue en dépit de son rôle majeur: protéines, peptides, polysaccharides,

glycosaminoglycanes, etc. Sa caractérisation ne fait que commencer. Ainsi, pour faire une coquille d'œuf, il faudrait plus de 600 protéines!

Du mollusque à la perle

Revenons donc à la perle. Celle-ci est élaborée par un mollusque bivalve, plus rarement un mollusque gastéropode. Dans le milieu naturel, la formation d'une perle résulte d'un mécanisme de défense: si un parasite ou une particule nocive rentre dans le corps du mollusque, celui-ci se défend en emprisonnant l'agresseur dans un cercueil minéral. La perle est synthétisée comme la nacre qui recouvre l'intérieur de la coquille de certains bivalves. En anglais, la nacre se nomme d'ailleurs *mother of pearl*, la "mère de la perle". La nacre est structurée comme un mur de briques liées au mortier, où les briques seraient la fraction minérale constituée de tablettes d'aragonite d'environ $0,5 \mu\text{m}$ d'épaisseur et le mortier la matrice organique. Mais,

* Nucléation: étape initiale de la formation du germe cristallin à partir d'un fluide. Cette étape nécessite un apport d'énergie.



Perles de l'huître *Pinctada margaritifera* (cliché Y. Gueguen/IFREMER).

contrairement à l'analogie du mur, le mortier n'est ici pas seulement un liant: c'est surtout un véritable système organisateur colonisant même dans la structure cristalline. La couleur "nacrée" résulte d'ailleurs d'un phénomène physique et non chimique: la lumière pénétrant dans les différentes couches de nacre crée des franges d'interférences qui produisent l'iridescence classique de la nacre. Le fait que les franges d'interférences ne se produisent que dans une structure aux couches d'épaisseur régulière démontre la précision dans le temps du processus de biominéralisation.

Si pendant longtemps on s'est contenté de perles naturelles, appelées perles fines, de nos jours l'homme sait en produire, on parle alors de perles de culture. Ce sont les Chinois qui ont réalisé les premières expériences dans ce domaine, mais c'est le naturaliste suédois, Carl von Linné, qui a produit la première perle de culture en 1761. Elle était issue d'une moule d'eau douce, la mulette des peintres, *Unio pictorum*. Le procédé de greffe utilisé aujourd'hui a été développé et breveté par le japonais Kokichi Mikimoto en 1916. Il consiste à introduire dans la gonade de l'animal un noyau de

nacre (le plus souvent sphérique) enveloppé d'un fragment du manteau du mollusque, le greffon. Le greffon va former autour du nucléus un sac perlier dans lequel se développera la perle. Pour réussir la greffe sans provoquer de dommages à l'animal, celle-ci doit être réalisée très rapidement, une quinzaine de secondes pour les bons greffeurs. Le greffon va former les couches concentriques de nacre autour du noyau. Les pierres organiques comme les perles, mais aussi le corail rouge et l'ambre, sont des biominéraux classés parmi les gemmes où elles côtoient les "vraies" pierres précieuses (diamant, émeraude, rubis et saphirs) et les pierres fines (grenat, lapis-lazuli, etc.)

Comment fabriquer une perle ronde ?

Dans son *Traité des Pierres précieuses*, Jean Rambosson suggérait, en 1870,



L'*Unio (Unio pictorum)*, appelé communément mulette des peintres est un mollusque bivalve d'eau douce. C'est sur cette espèce que Carl von Linné a produit la première perle de culture en 1761 (cliché M. Caballer/MNHN/CC).

que la rondeur de la perle provenait de la zone où elle avait été formée: « si la formation a lieu entre ou dans les manteaux charnus du mollusque, il est certain que les mouvements tendront à donner à la perle une forme arrondie ». L'idée d'une rotation de la perle pendant sa formation dans le sac perlier est cependant toujours restée du domaine de l'hypothèse. Une première tentative de mise en évidence de la rotation est tentée en 2002. Cette étude ne sera malheureusement jamais publiée dans un journal scientifique et ne fera que l'objet d'une note dans le journal des perliculteurs polynésiens, *Te Reko Parau*, en 2005. Les auteurs ont utilisé des noyaux de plomb et après 17 mois d'élevage, ils ont radiographié à intervalles réguliers les huîtres aux rayons X. Cette méthode approximative leur a permis de suggérer que la perle effectue un tour complet en 20 jours.

En 2013, une étude menée par Julyan Cartwright et ses collègues franco-espagnols de l'université de Grenade a proposé une théorie pour expliquer le mécanisme de rotation. Pour ces auteurs, la raison était thermodynamique: le moteur de la rotation serait dû à la précipitation



Le magnétomètre construit par les chercheurs de l'IFREMER pour mesurer la rotation des perles. L'huître greffée par un nucléus magnétique est positionnée dans le dome au centre (cliché C. Soyez/IFREMER).

de CaCO_3 contrôlée par la matrice organique sur le cristal en croissance. Celle-ci libérerait de l'énergie qui réchaufferait les molécules d'eau du fluide environnant, entraînant la rotation de la perle en croissance. La force mise en jeu pour chaque mise en mouvement a été estimée à 0,1 Newton. Si cette hypothèse, appelée théorie du cliquet, donnait une explication au mécanisme sous-tendant la rotation, elle ne démontrerait pas la réalité du phénomène. Mais comment mettre en évidence un processus produit au sein des tissus dans une boîte hermétiquement fermée, la coquille ?

C'est toute l'originalité de l'étude réalisée par Yannick Gueguen et ses collègues du centre IFREMER du Pacifique, en Polynésie française. Afin d'observer de façon précise

cette rotation hypothétique, ces chercheurs ont eu l'idée d'utiliser... le champ magnétique. Pour cela ils ont utilisé comme noyau, non pas un morceau de nacre coquillière, mais une particule magnétique de 6,66 mm de diamètre, puis ils ont attendu que l'animal, une *Pinctada margaritifera*, l'huître perlière dite "à lèvres noires", commence son travail de biominéralisation et recouvre ainsi le noyau de couches concentriques de nacre. Chaque jour, pendant cinquante jours, les chercheurs polynésiens ont positionné l'huître perlière dans un magnétomètre construit par leurs soins et équipé de 25 capteurs, puis ils ont mesuré toutes les demi-secondes le champ magnétique: si pendant les quarante premiers jours le mouvement de la perle a été chaotique, il est devenu plus stable par

la suite avec une vitesse de rotation moyenne de $1,27^\circ$ par minute, soit un tour complet en 4h43!

Si le phénomène de rotation est maintenant confirmé, son mécanisme reste encore inconnu. Est-il uniquement thermodynamique comme le suggèrent Cartwright et ses collègues ou repose-t-il sur des phénomènes biologiques? Il est curieux que la formation d'un objet aussi connu qu'une perle soit finalement si peu étudiée alors que le marché de la perle représente quelques 200 millions de dollars américains par an. La nacre a d'ailleurs d'autres utilisations que les parures et les bijoux: c'est aussi un matériau utilisé en chirurgie orthopédique comme bio-implant... mais ceci est une autre histoire. ■

L'auteur remercie le Dr Yannick Gueguen pour ses commentaires sur cet article.

Retrouvez d'autres chroniques et de nombreuses informations sur www.centrescientifique.mc

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Anonyme, 2005** – "La perle tourne dans la poche", *Te Reko Parau*, le journal des perliculteurs, 18, p. 13.
- **Cartwright J. H. E., Checa A. G. et Rousseau M., 2013** – "Pearls are self-organized natural ratchets", *Langmuir*, 29(26), p. 8370-8376.
- **Gueguen Y. et al., 2015** – "Yes, it turns: experimental evidence of pearl rotation during its formation", *Royal Society open Science*, 2 : 150144.