



COMMENT RESPIRER SOUS L'EAU ? Grâce à des branchies situées à la base du cou. Cette « sirène » rappelle l'axolotl, salamandre cavernicole qui conserve des traits larvaires, dont des branchies externes.

ne pourrions-nous pas, comme d'autres personnages de science-fiction, respirer dans l'eau à l'aide de branchies ? L'idée n'est pas totalement absurde : l'embryon humain présente, à la quatrième et à la cinquième semaine, des arcs branchiaux qui donneraient des poches et des fentes branchiales. Ces fentes avaient déjà été observées par les embryologistes du XIX^e siècle, qui y voyaient une trace d'un ancien stade « poisson ». Hélas, ces arcs branchiaux se résorbent au cours de l'embryogenèse.

Suffirait-il alors d'inhiber le gène à l'origine de cette régression pour conserver les branchies ? C'est loin d'être aussi simple. Une cascade complexe de gènes, et non un gène unique, intervient dans le processus : modifier un élément chamboulerait l'ensemble de la chaîne... Si certains états de caractères morphologiques sont réversibles au cours de l'évolution, ce n'est pas le cas de complexes anatomiques entiers.

Pour disposer de branchies, il nous faudrait plutôt retarder une partie de notre développement, ce qui nous permettrait peut-être de conserver nos fentes branchiales embryonnaires tout en atteignant la maturité. Ce phénomène nommé néoténie est fréquent chez les amphibiens : l'exemple le plus connu est l'axolotl, une salamandre cavernicole et aquatique qui ne se métamorphose pas et conserve de belles branchies externes présentes dès son stade larvaire.

Cependant, le port de branchies n'est pas sans inconvénient non plus : lorsqu'il n'est pas dans son bassin, Abe Sapien, l'homme-poisson bleu dans la série de comics *Hellboy* de Mike Mignola, doit se promener à l'air libre avec une imposante combinaison munie de capsules d'eau au niveau du cou pour ne pas mourir asphyxié. Mark Harris, lui, commence à suffoquer après seulement quelques heures passées à l'air libre...

Une solution serait alors d'être muni à la fois de branchies et de poumons, comme cela s'est déjà produit au cours de l'évolution : si beaucoup d'amphibiens, au cours de leur développement, respirent par des branchies puis par des poumons, les polyp- tères et les dipneustes sont deux groupes de « poissons » qui jouissent des deux systèmes à la fois !

Une symbiose avec une algue

Comment pourrions-nous alors respirer un jour sous l'eau ? Regardons du côté du héros de *Harry Potter et la coupe de feu* (roman de J. K. Rowling adapté à l'écran en 2005) qui, en avalant simplement une algue magique, se voit pousser des branchies, mais aussi des pieds et des mains palmés.

Certes, la magie défie ici toute logique, mais il semble que chez certaines espèces, l'interaction avec certaines algues aide réellement à respirer sous l'eau : Ryan

Kerney, du *Gettysburg College* aux États-Unis, et ses collègues ont montré que des algues vertes (*Oophila amblystomatis*) vivent en symbiose dans des œufs et des embryons de salamandres maculées (*Ambystoma maculatum*) en cours de développement. On parle ici d'endosymbiose, la première observée entre des algues et des vertébrés ! Ces algues, qui colonisent les tissus et cellules des amphibiens avant que leur système immunitaire ne se forme et ne les rejette, se transmettraient même sous forme de kystes de génération en génération. Elles aident l'embryon à fixer l'oxygène (ce qu'il effectue déjà par la peau) et, en retour, se nourrissent de ses déchets riches en azote. Vivre en symbiose avec des algues serait-il donc la solution ?

Le fantasme de l'homme ou de la femme-poisson ne date pas d'hier. Dans l'Antiquité, le grand voyageur et géographe Pausanias imaginait le dieu Triton de la mythologie grecque comme un monstre subaquatique : « À la place de ses oreilles, il a des branchies et le nez d'un homme, mais la bouche est plus large et les dents sont celles d'une bête. » Ne désespérons pas. Un jour peut-être, nous écrirons ces lignes et vous les lirez... comme un poisson dans l'eau ! ■

J.-S. STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.

ART & SCIENCE

Claude à la plage

*Des astronomes détectives ont reconstitué les faits et gestes de Claude Monet l'après-midi du 5 février 1883 : il était sur la plage d'Étretat et peignait *Coucher de soleil* à Étretat.*

Loïc MANGIN

Que faisait Claude Monet le 13 novembre 1872, vers 7 h 35 du matin ? Il peignait *Impression, soleil levant*, la toile qui allait donner son nom au mouvement impressionniste. L'artiste était installé au Havre, à la fenêtre de sa chambre à l'Hôtel de l'Amirauté, face au port. Il a par ailleurs beaucoup visité la Normandie et notamment la région d'Étretat où il a séjourné au moins à sept reprises de 1864 à 1886 : au total, on lui connaît près de 80 œuvres exécutées dans les environs de la station balnéaire.

En janvier 1883, Monet y passe trois semaines durant lesquelles il peint 19 toiles où, bien sûr, figurent en bonne place les célèbres falaises sculptées en une arche

et une aiguille. *Coucher de soleil à Étretat* (voir la représentation page ci-contre) est l'une de ses œuvres les plus connues. Elle est aujourd'hui conservée au Musée d'art de Caroline du Nord, à Raleigh, aux États-Unis. De quel endroit a-t-elle été peinte ? À quel moment ?

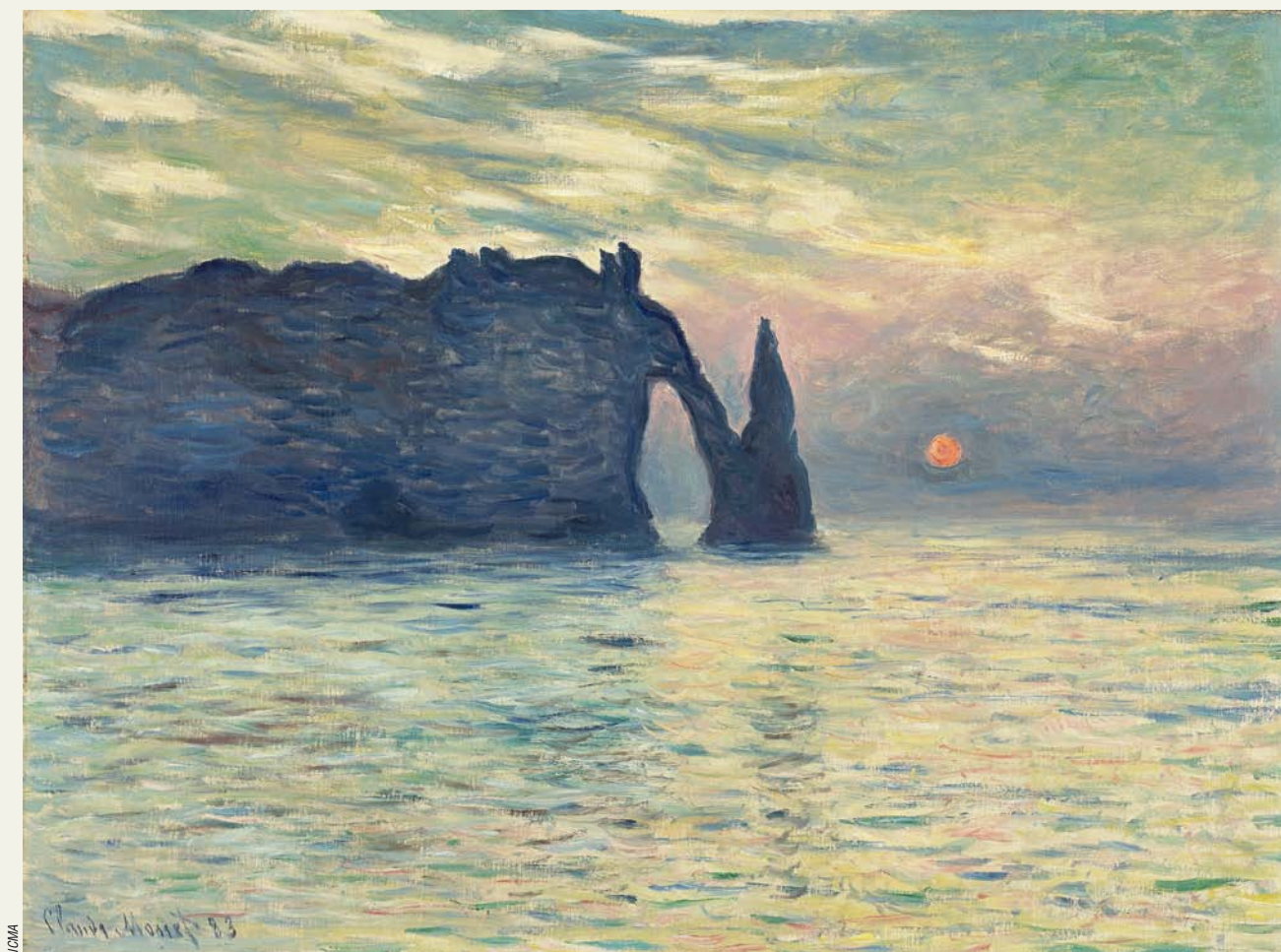
Donald Olson de la *Texas State University*, à San Marcos, aux États-Unis, et ses collègues ont répondu. Ils se sont d'ailleurs fait une spécialité de ce genre d'interrogations, puisque c'est à eux que l'on doit de savoir précisément quand et où a été peinte *Impression, soleil levant*. Ils se sont également intéressés à d'autres œuvres de Monet, mais aussi de Vincent van Gogh et d'Edvard Munch.

Coucher de soleil à Étretat montre un soleil un peu au-dessus de la mer, près de la porte d'Aval (l'arche en calcaire) et l'Aiguille (voir la carte ci-dessous). La ligne d'horizon est visible à travers la porte tandis que les deux formations rocheuses se superposent. Selon l'historien d'art Robert Herbert, Monet s'était installé à l'extrémité Nord de la plage d'Étretat, tout près d'une autre arche, plus petite, nommée porte d'Amont.

Pour le vérifier, D. Olson et son équipe se sont rendus sur place en août 2012. Très vite, à mesure qu'ils arpentaient la plage avec des reproductions sur carte postale des peintures de Monet, les « détectives » ont compris que l'historien s'était trompé : de l'endroit qu'il proposait, l'Aiguille se détache de la porte d'Aval, à l'inverse de ce que l'on observe sur la toile. En parcourant la plage d'une extrémité à l'autre, ils ont localisé un point plus vraisemblable au regard de l'œuvre (le point jaune sur la carte). Ses coordonnées sont 49,7112 degrés Nord et 0,2044 degré Est. Lors de votre prochain séjour à Étretat, avec un GPS, vous pourrez vous mettre à la place du peintre.

La question de l'endroit étant réglée, restait à déterminer la date et l'heure. Pour ce faire, les Américains ont utilisé plusieurs séries de photographies, dont certaines ont été prises par Jean Langlois, un membre de la Société astronomique du Havre. Il est venu plusieurs fois en février et a multiplié les points de vue sur la plage d'Étretat pour prendre ses clichés. L'analyse de ces





images a révélé que, pour correspondre à celui représenté, le soleil devait avoir une déclinaison de -16° . La déclinaison d'un astre est l'équivalent de la latitude terrestre projetée sur la sphère céleste. Un programme informatique en a déduit que *Coucher de soleil à Étretat* a été peint le 5 février 1883, avec une incertitude d'environ deux jours. Cinq jours restaient donc en lice, du 3 au 7.

Affiner la datation a nécessité de reconstituer les marées de cette époque et de les faire coïncider avec le niveau de la mer peint par Monet. Des relevés météorologiques ont aussi été précieux, ainsi que la correspondance de l'artiste.

Une lettre nous apprend que le 3 février, il arpentait la plage de Jambourg, de l'autre côté de la porte d'Aval. Une autre missive

indique qu'il passa la journée du 4 février avec son frère. Il se promet d'ailleurs une dure journée de travail le lendemain. Les 6 et 7 février peuvent aussi être écartés en raison de la météo et des marées. Le 5 février s'impose donc.

L'heure exacte fut déterminée grâce à la mesure de la hauteur de l'aiguille (quasi inchangée depuis un siècle), qui permet de rendre compte de la hauteur du Soleil dans le ciel. Partant, quelques calculs donnent enfin la réponse : Monet a peint *Coucher de soleil à Étretat* le 5 février 1883, à 16 h 53. Le mois prochain, n'hésitez pas à aller vérifier sur place, avec une reproduction du tableau dans la main. ■

D. W. Olson et al., *Dating an impressionist's sunset*, *Sky and Telescope*, pp. 34-41, février 2014.

La position du Soleil dans le ciel et la hauteur de la marée dans *Coucher de soleil à Étretat*, de Claude Monet, ont aidé à dater l'œuvre : elle a été peinte le 5 février 1883, peu avant 17 heures.

IDÉES DE PHYSIQUE

L'œuf dur et la toupie-bascule

Un œuf dur que l'on fait tourner rapidement se redresse spontanément. Un phénomène étonnant, où le frottement se conjugue à des effets gyroscopiques.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Comment distinguer un œuf dur d'un œuf cru ? Facile ! Posez votre œuf sur la table et faites-le tourner à grande vitesse autour de lui-même. Vous constaterez que l'œuf cru poursuivra sa rotation « à plat », tandis que l'œuf dur se dressera spontanément sur l'une de ses extrémités. Ce comportement est apparenté à celui de la toupie tippe-top, popularisée au début des années 1950 et constituée d'une tige emmanchée sur une calotte sphérique : une fois lancée, cette toupie finit par se renverser et part tourner sur son manche ! Le redressement est contre-intuitif, car le centre de gravité de la toupie s'élève. Comment l'expliquer ?

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

une rotation rapide autour de son axe de symétrie (voir la figure ci-dessous). La toupie se retourne et son centre de masse se retrouve au plus haut, la rotation s'effectuant à nouveau autour de l'axe de symétrie. Puisque le centre de masse s'est élevé, l'énergie potentielle de la toupie a augmenté ; et comme aucune énergie n'a été fournie, la hausse de l'énergie potentielle ne peut se faire qu'au détriment de l'énergie cinétique de rotation.

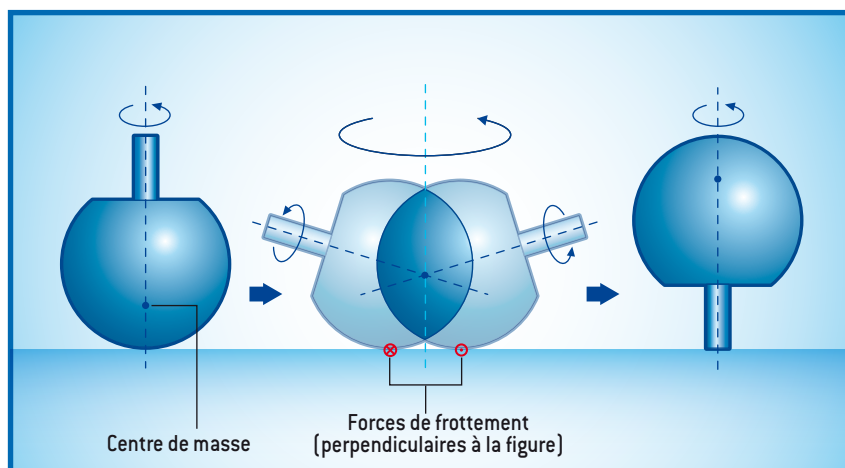
La vitesse de rotation de la toupie a ainsi diminué, ce qui a nécessité l'action d'un couple. Lequel ? Ce couple ne peut provenir du poids, qui est vertical, donc perpendiculaire à la direction de rotation ; le coupable est donc

Frottements redresseurs

Immobile, reposant sur son ventre sphérique et sa petite tige pointant vers le haut, la toupie tippe-top paraît banale. À l'époque de sa diffusion, elle a pourtant attiré l'attention des physiciens, et non des moindres : une photographie célèbre montre ainsi Wolfgang Pauli et Niels Bohr, des lauréats du Nobel, penchés sur la toupie et en pleine interrogation.

Pour comprendre le retournement inattendu et l'élévation du centre de masse, les physiciens se sont rapidement mis d'accord sur le rôle essentiel des frottements entre la toupie et le sol. Un bilan d'énergie va nous en convaincre.

Initialement, la tippe-top repose à l'équilibre sur sa base, le centre de masse étant au plus bas. Dans cette position, on lui imprime



UNE TOUPIE TIPPE-TOP EN ROTATION RAPIDE s'incline peu à peu et finit par se renverser pour tourner sur sa tige. Au cours de ce processus, la hauteur du centre de masse de la toupie augmente. Dans la phase intermédiaire, l'objet donne l'impression de flotter au-dessus du support, car le volume commun aux positions successives de la toupie au cours de son mouvement est légèrement surélevé par rapport au support.