

Les premiers outils en os

Les hominidés d'Afrique du Sud utilisaient des fragments osseux pour fouiller les termitières.

Dans les grottes de Sterkfontein, Swartkrans et Drimolen, en Afrique du Sud, des restes d'australopithèques, puis d'*Homo habilis*, ont été découverts au milieu d'autres restes de mammifères. Les premières trouvailles remontent aux années 1920 et 1930. Certains fragments d'os d'animaux associés aux restes d'hominidés étaient-ils des outils? À quoi servaient-ils et quels hominidés les ont utilisés? Nous avons voulu répondre à ces questions en étudiant des os d'animaux fossiles retrouvés dans deux de ces trois sites, Swartkrans et Sterkfontein. Nos analyses confirment que les hominidés Sud-africains utilisaient bien des fragments d'os longs et des chevilles osseuses (les os situés au-dessous des cornes des bovidés) comme outils.

Dans les années 1940, les paléontologues pensaient que les australopithèques avaient ramassé et utilisé ces os d'animaux pour se défendre des prédateurs. Ils réalisèrent bientôt que ces accumulations d'os étaient le fait de carnivores, qui traînaient leurs

proies dans les grottes pour les dévorer. Les hominidés devaient faire partie de ces proies. Dans les années 1970, une autre hypothèse fut émise : les australopithèques robustes de Swartkrans auraient utilisé des os d'animaux pour fouiller le sol à la recherche de tubercules. Toutefois, l'érosion ou d'autres processus naturels d'usure peuvent également modifier la surface des os et leur donner l'aspect d'objets façonnés intentionnellement. Cela aurait pu être le cas des ossements de Swartkrans et Sterkfontein décrits comme des outils.

Nous avons comparé les traces d'usure sur ces objets à celles de 13 300 os altérés par différents agents naturels, découverts dans 35 sites africains et européens. Ces derniers ne présentent pas le même éroussé ni les mêmes stries d'usure que les traces observées sur les extrémités des os découverts dans les gisements d'hominidés, ce qui semble exclure que l'usure résulte d'une dégradation par les agents d'érosion naturels. De plus, ces traces d'usure ne sont présentes que sur les fragments les plus allongés et les plus robustes retrouvés dans les grottes Sud-africaines.

L'analyse microscopique et l'étude par analyse d'image de l'orientation et de la largeur des stries d'usure révèlent que ces fragments n'ont pas été utilisés pour déterrer des tubercules. Des outils expérimentaux ont été utilisés par les paléontologues dans les années 1970, puis par notre équipe pour fouiller le sol ; ces outils présentent des stries d'usure dont l'orientation et la largeur varient. L'usure résulte des impacts répétés de l'extrémité des outils contre de petits blocs calcaires présents dans

le sous-sol à proximité des sites étudiés. Les stries fines et parallèles que l'on observe sur les pièces archéologiques sont identiques à celles qui sont produites expérimentalement sur des fragments d'os utilisés pour fouiller les termitières. Dans ces dernières, constituées de sédiments très fins, aucun obstacle n'arrête le geste de celui qui fouille.

Les termites constituent une source importante de protéines pour les chimpanzés et font encore partie de l'alimentation de plusieurs groupes humains. Nos résultats semblent indiquer que les hominidés Sud-africains en mangeaient aussi. Certains chimpanzés extraient les termites des termitières à l'aide de fines branches, mais d'autres utilisent des bâtons en bois, selon une technique semblable à celle que nous pensons avoir été utilisée par les hominidés Sud-africains.

Ces outils étaient-ils utilisés par les australopithèques ou par *Homo habilis*? La question reste ouverte, car les restes de ces deux hominidés ont été découverts dans les trois sites d'où viennent les outils en os. Les australopithèques sont généralement considérés comme une espèce végétarienne, mais la récente analyse des proportions des différents isotopes stables du carbone dans les os des australopithèques et d'*Homo habilis* a révélé que les proportions de protéines animales dans leur alimentation étaient presque les mêmes, de sorte qu'il sera difficile d'identifier l'utilisateur potentiel des plus anciens outils en os connus.

Francesco D'ERRICO, CNRS-Université Bordeaux I et Lucinda BACKWELL, Université de Witwatersrand, Afrique du Sud



Des stries d'usure ont été observées au microscope (avec un grossissement environ égal à 10). Un des objets étudiés est un outil en os découvert dans la grotte de Swartkrans, en Afrique du Sud (en haut). Ses stries (en bas, à gauche) ont la même largeur et la même orientation que celles produites expérimentalement sur des fragments d'os

utilisés pour fouiller dans des termitières (au centre). En revanche, elles diffèrent de celles que l'on obtient en fouillant le sol à la recherche de tubercules (à droite). Ainsi les objets découverts en Afrique du Sud étaient sans doute utilisés pour extraire les termites dont se nourrissaient les australopithèques ou *Homo habilis*.

Le picoplancton

L'océan continue de révéler sa diversité et sa richesse sous forme d'organismes inconnus.

L'océan regorge d'une vie insoupçonnée. Le plancton en est la preuve par sa diversité et son abondance. Il est composé de deux types d'organismes. Les eucaryotes, des organismes évolués, tels que les algues capables de photosynthèse, parmi lesquelles on trouve les diatomées et les dinoflagellés. Les procaryotes, des organismes plus simples, telles les bactéries, représentent le deuxième type de ces micro-organismes. Le plancton se divise aussi en deux groupes selon la taille des organismes : ceux dont la taille est inférieure à deux micromètres constituent le picoplancton.

L'équipe de Seung Yeo-Moon-van der Staay et de Daniel Vaulot, du Centre d'études d'océanographie et de biologie marine de Roscoff, et celle de Rupert De Wachter, de l'Université d'Anvers, ont identifié dans le picoplancton de nombreux groupes d'eucaryotes inconnus jusqu'alors.

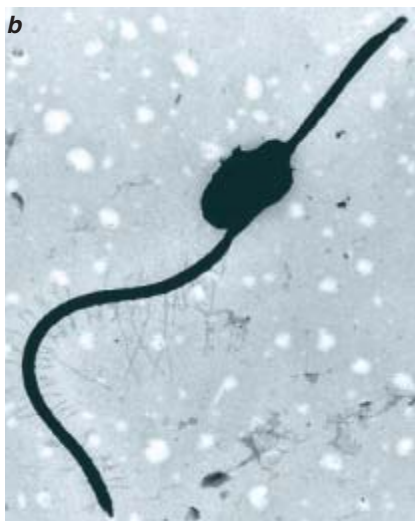
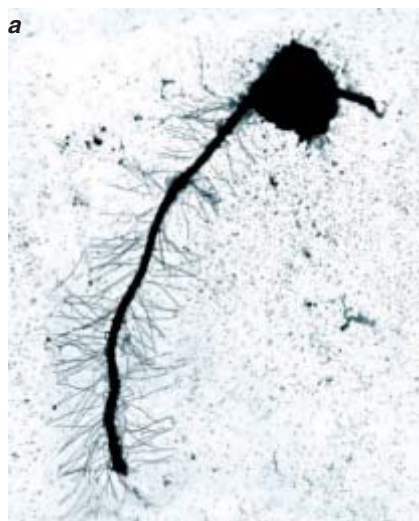
Jusque vers 1980, on pensait le plancton uniquement composé de grosses cellules, visibles au microscope, voire à l'œil nu. Toutefois, lorsque les océanographes analysaient de l'eau de mer débarrassée des micro-organismes connus, ils continuaient à détecter de la chlorophylle (le pigment grâce auquel la photosynthèse est possible) : il restait donc des micro-organismes plus petits,

le picoplancton. Puis, celui-ci a été mis en évidence avec l'avènement de la microscopie par fluorescence.

De par sa taille, les océanographes ont cru que ce picoplancton était principalement constitué d'organismes procaryotes. Or, à partir d'un échantillon d'eau de mer prélevé dans l'océan pacifique équatorial, ils ont extrait l'ADN, puis étudié les gènes de l'ARN ribosomal (l'ARN est une molécule cousine de l'ADN et les ribosomes sont les éléments cellulaires qui fabriquent les protéines). Ces ARN existent dans toutes les espèces : on peut les utiliser pour distinguer les espèces et établir des liens de parenté.

La comparaison avec des banques de données mondiales a montré que la plupart des séquences obtenues ne correspondent à aucune classe connue. Les organismes de l'échantillon appartiennent à des groupes nouveaux. Parmi eux, on trouve des Bolidophycées (leur nom évoque la vitesse à laquelle ils se déplacent grâce à leur flagelle), des Prasinophycées (des algues vertes primitives) et des Chrysophycées avec leurs nombreux flagelles.

Alors que l'on pensait le picoplancton surtout constitué de procaryotes, beaucoup des nouveaux groupes sont des eucaryotes. De plus, beaucoup ne fabriquent pas de chlorophylle et sont donc incapables de photosynthèse. Ces découvertes remettent en cause une répartition couramment admise : les eucaryotes sont photosynthétiques, tandis que les procaryotes se nourrissent de déchets. Ainsi, de nombreux eucaryotes du picoplancton seraient des prédateurs et participeraient, comme les procaryotes, au recyclage et à la dégradation des matières organiques.



Ces micro-organismes ont été découverts récemment. Ce sont des eucaryotes qui appartiennent au picoplancton (la partie renflée mesure moins de deux micromètres) : *Picophagus flagellatus*, du groupe des Chrysophycées (a) et *Bolidomonas mediterranea*, du groupe des Bolidophycées (b). Les organismes du picoplancton seraient des prédateurs, qui participeraient au recyclage et à la dégradation des matières organiques.

Fluides turbulents

Grâce aux simulations numériques, les physiciens expliquent mieux les mélanges dans un fluide turbulent.

Un fluide est turbulent dès qu'il se déplace d'une façon à la fois tumultueuse et tourbillonnante. À l'écoulement turbulent, on oppose l'écoulement laminaire, où le fluide s'écoule, tel un empilement de lames qui coulissent les unes sur les autres. Les deux types d'écoulements se mêlent dans les fluides turbulents. Nous avons simulé sur ordinateur ce phénomène, nommé intermittence, afin d'en percer les mystères. L'intermittence se produit quand des particules sont transportées au sein d'un fluide turbulent. Le transport du plancton dans la mer, celui des molécules de gaz dans l'atmosphère ou encore des pigments dans un solvant en sont des exemples. Ainsi, nous avons simulé un écoulement fortement turbulent, puis étudié par une méthode statistique l'évolution des figures formées par des groupes de particules. Nos calculs mettent en évidence que la forme de certaines figures persiste dans le temps, malgré l'agitation due à la turbulence.

Notre objectif était de caractériser les effets de la turbulence sur les variations de concentrations. Nous avons produit un mélange turbulent en injectant de l'encre à débit constant sur le côté d'un réservoir où de l'eau s'écoulait de façon turbulente, à vitesse moyenne constante ; le débit était choisi pour qu'une quantité constante d'encre soit toujours contenue dans le réservoir. Dans un liquide au repos, le phénomène de diffusion fait évoluer la concentration en encre en tout point du volume vers la valeur moyenne. Dans un écoulement turbulent, l'agitation devrait *a priori*, rédui-

re plus efficacement les écarts de concentration. Il n'en est rien. Des «plateaux de concentration» se forment ou les variations de concentration sont faibles (le mélange s'est fait de façon efficace). Ces plateaux sont séparés par des «falaises de concentrations», des zones où sur de courtes distances, la variation de concentration est notable. Tandis que les «falaises» sont rares, les «plateaux» sont fréquents. Leur coexistence est une manifestation de l'intermittence, c'est-à-dire de la façon dont, au sein du liquide, le régime laminaire (où les variations de concentrations sont faibles) alterne avec le régime turbulent (les variations de concentrations y sont élevées).

Comment mettre de l'ordre dans ce chaos apparent? En mécanique des fluides, les écoulements turbulents sont décrits par les équations de Navier-Stokes. Bien qu'elles datent du XIX^e siècle, les physiciens ne savent pas résoudre que dans quelques cas très simples d'écoulements pas ou peu turbulents ; dans tous les autres cas, ils ignorent même si elles ont des solutions.

Parce que les mélanges turbulents sont très chaotiques, nous avons recouru à une approche statistique : nous nous sommes intéressés à l'évolution dans le temps de «grappes de points». Un ensemble de telles grappes de points évolue très vite au sein du mélange turbulent. Les propriétés statistiques des différentes figures formées par ces grappes sont caractérisées par leurs «fonctions de corrélation». La fonction de corrélation d'une figure est égale au produit des concentrations en chacun de ses points ; elle donne la probabilité d'observer cette figure à un instant donné. Après avoir reproduit sur ordinateur un mélange turbulent, nous nous sommes servis de ce milieu virtuel pour étudier l'évolution temporelle des fonctions de corrélation des concentrations. Nous avons été surpris d'en trouver qui sont invariantes dans le temps!

Cette découverte prouve que dans le milieu turbulent, certaines figures persistent. On montre que la valeur de la fonction de corrélation d'un groupe de points est proportionnelle au temps que met ce groupe de particules à atteindre une taille comparable à celle du réservoir, en d'autres termes à se disperser dans tout le volume disponible. Les fonctions de corrélation de concentrations invariantes dans le temps désignent donc les groupes de points qui persistent un certain temps. Elles fournissent un précieux outil d'étude de la dynamique des structures d'un mélange turbulent, et du phénomène de l'intermittence.

Massimo VERGASSOLA
et Antonio CELANI, CNRS

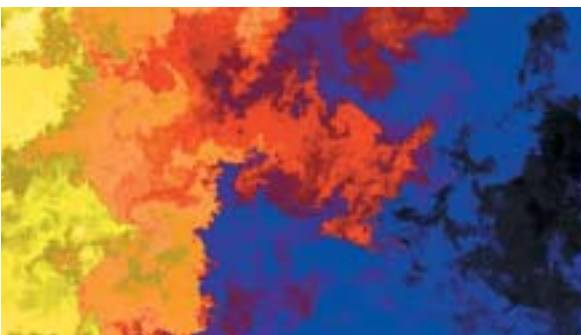
L'amélioration de la chaîne alimentaire

Si les veaux, les vaches et les cochons mangeaient du lin, l'homme devrait être en meilleure santé.

Dans le Midi, on dénombre moins de maladies cardio-vasculaires, de diabète et de certains cancers. C'est sans doute en partie grâce au régime alimentaire. Doit-on, pour autant, généraliser la cuisine provençale? Persuadés que les habitudes alimentaires de leur région sont indéracinables, plusieurs nutritionnistes bretons cherchent à améliorer la chaîne alimentaire traditionnelle. Bernard Schmitt, qui dirige le service de diabétologie, d'endocrinologie et de nutrition de l'Hôpital de Lorient et Philippe Legrand de l'INRA de Rennes ont enrichi de lin l'alimentation de certains animaux. Le lin est un oléagineux riche en un «acide gras indispensable», l'acide alpha linoléique. Ces acides gras doivent être présents en quantité suffisante dans la nourriture parce que l'organisme ne les synthétise pas. On a ainsi constaté que la concentration en acide alpha linoléique dans le sang augmente chez les personnes nourries avec la viande, le lait ou les œufs issus des animaux élevés au lin.

Le «régime méditerranéen» comprend beaucoup de fruits et de légumes, peu de viande, du poisson et de l'huile d'olive ; il assure une prise quotidienne équilibrée d'acides gras indispensables. Il existe deux familles de ces acides gras : celle des acides oméga-6 issus de l'acide linoléique ; celle des acides oméga-3, dérivés de l'acide alpha linoléique. Ce sont des acides insaturés qui réagissent facilement et interviennent dans de nombreuses réactions métaboliques : les acides gras oméga-6 et oméga-3 sont notamment les précurseurs d'hormones qui interviennent dans la coagulation du sang, l'immunité ou encore le cycle hormonal de la femme. Ils représentent aussi une bonne part des acides gras qui constituent les membranes cellulaires. Or, la qualité de ces membranes est vitale.

Au cours des années 1990, les nutritionnistes ont établi que l'efficacité métabolique des acides gras indispensables est maximale quand le rapport des apports en acides oméga-6 sur ceux d'acides oméga-3 avoisine cinq dans l'alimentation. Ce rapport, conseillé par



Dans un mélange turbulent, de larges domaines se forment, où la concentration est constante (les domaines en couleur). Ils sont séparés par de sauts de concentration, des «falaises» (les frontières entre ces domaines).



les autorités sanitaires françaises et internationales est précisément celui qu'assure le régime méditerranéen. En revanche, dans l'alimentation de la population française, la valeur moyenne de ce rapport est le plus souvent supérieure à 15, car le maïs, le soja et le tournesol de l'alimentation animale contiennent beaucoup d'acide linoléique.

Afin d'augmenter la proportion d'acides oméga-3 dans l'alimentation animale, les agronomes de l'INRA ont convaincu plusieurs éleveurs bretons de nourrir leurs animaux avec un supplément de cinq pour cent de graines de lin. Pierre Weill, de la société *Valorex* à Combourtille, a mis au point un procédé d'extrusion des graines de lin qui en facilite la digestion. Après quelques mois, les agronomes ont établi que la viande, le lait et les œufs produits contenaient plus d'acides gras insaturés oméga-3 que des produits témoins. Ainsi, le rapport des acides oméga-6 sur les acides oméga-3 est abaissé de 54 pour cent dans le beur-

re, de 60 pour cent dans les viandes et de 86 pour cent dans les œufs.

Les nutritionnistes ont ensuite recruté 75 familles qu'ils ont réparties en deux groupes : un «groupe témoin» et un «groupe d'essai». Pendant les trois mois de l'expérience, chacun des deux groupes a reçu une alimentation strictement identique, sauf que l'un d'entre eux recevait sans le savoir les protéines issues de la «filière lin». Des dosages des concentrations en acides gras ont été régulièrement effectués : les concentrations en acides gras oméga-3 doublent en 15 jours dans le sérum des volontaires nourris par les produits de la «filière lin».

La concentration en acide alpha linoléique augmente de 110 pour cent ; dans les membranes des hématies, la concentration en acides gras oméga-3 augmente de 10 pour cent tandis que les acides gras oméga-6 diminuent d'autant. Or, la concentration en acides gras dans les membranes des globules rouges reflète celle des membranes de toutes les cellules. La valeur du rapport entre les apports d'acides oméga-6 et les apports d'acides oméga-3 des personnes qui bénéficient d'une alimentation enrichie en lin, donc en acide gras alpha linoléique, a baissé pendant l'étude de 14,7 à 10,4. Elle se rapproche de la valeur conférée par le régime méditerranéen. Il reste à vérifier que les personnes nourries avec les protéines de la «filière lin» auront moins de maladies cardio-vasculaires!

L'odorat des fœtus

Dans l'utérus, le fœtus apprend à reconnaître les odeurs, notamment celle des aliments que consomme sa mère.

Les preuves d'une communication entre la mère et l'enfant qu'elle porte se multiplient. Les échanges s'établissent très tôt au cours de la grossesse : Benoist Schaal, Luc Marlier et Robert Soussignan du CNRS, au Centre des sciences et du goût, à Dijon, ont montré que la communication olfactive est déjà établie avant la naissance.

On sait que, chez divers animaux, tels le rat, le lapin et le mouton, l'introduction de substances odorantes dans le liquide amniotique de la mère par infusion directe ou par ingestion, influe sur la perception de ce stimulus par l'animal nouveau-né. Ces expériences sur des mammifères non primates ont montré que les stimulations chiomi-

sensorielles font partie de l'expérience spontanée des fœtus. Comment montrer que cet «apprentissage olfactif prénatal» existe aussi chez l'homme?

B. Schaal et ses collègues ont mis à profit l'odeur prononcée et caractéristique de l'anis. À la clinique Sainte-Anne, à Strasbourg, ils ont comparé les réactions



Quand on fait respirer à un nouveau-né de quelques heures une odeur d'anis, il fait une moue de dégoût (il fronce le nez), sauf si sa mère a mangé des bonbons à l'anis avant l'accouchement.

de nouveau-nés dont la mère avait consommé, au cours des deux dernières semaines de grossesse, des sucreries et du sirop à l'anis, et celles de nouveau-nés dont la mère n'en avait pas consommé. Une douzaine de femmes enceintes ont participé à l'essai «anis» et une douzaine à l'essai «sans anis». La consommation d'anis a été interrompue juste avant l'accouchement.

Après la naissance, on a testé les réactions des nouveau-nés à l'anéthole, qui confère son odeur à l'anis. L'anéthole a été dilué dans de l'huile de paraffine, de sorte que sa concentration était ajustée à celle du liquide amniotique. Deux types de tests ont eu lieu quelques heures après la naissance et le quatrième jour. Dans le premier test, les enfants étaient filmés pendant qu'on les exposait successivement pendant 10 secondes à un coton imbibé d'anéthole, puis à un coton imbibé d'huile de paraffine. À partir des films, on a décelé des mimiques «négatives» (abaissement des sourcils, plissement du nez, abaissement de la commissure des lèvres, détournement de la tête) et «positives» (succions, léchages). Alors qu'ils étaient âgés en moyenne de trois heures, les bébés des femmes non consommatrices d'anis ont manifesté plus de mimiques de dégoût que les autres, lesquels ont présenté plus de réactions positives à l'anis. Lorsque l'expérience est reproduite au quatrième jour, les différences de réactions disparaissent. Ainsi, la relation entre un odeur prénatale et une réaction faciale est très labile, sans doute parce que la familiarisation avec les odeurs environnantes est rapide.

Le second test a consisté à exposer les enfants simultanément à l'odeur d'anis et à l'odeur témoin de l'huile de paraffine et à les laisser choisir. Que ce test ait été réalisé quelques heures ou quatre jours après la naissance, les enfants nés de mère «anisée» ont orienté leur nez nettement plus longtemps vers l'odeur d'anis. En revanche, les autres n'ont manifesté aucune orientation préférentielle. Cette étude confirme que l'appétence pour une odeur peut être influencée, chez le nouveau-né, par une exposition prénatale. On en déduit que le nouveau-né peut enregistrer les informations olfactives que lui transmet sa mère à travers ses aliments, et que cette mémoire reste accessible au moins pendant quatre jours. On ignore encore si l'expérience olfactive fœtale influe sur les préférences olfactives et alimentaires à long terme. Si de tels effets existent pour les arômes alimentaires, pourquoi n'en irait-il pas de même pour les substances odorantes associées à la consommation d'alcool ou de tabac?

Le grand vert

Les mammifères marins sont les moins bien lotis en matière de vision des couleurs : leur rétine n'a que des cônes sensibles au vert.

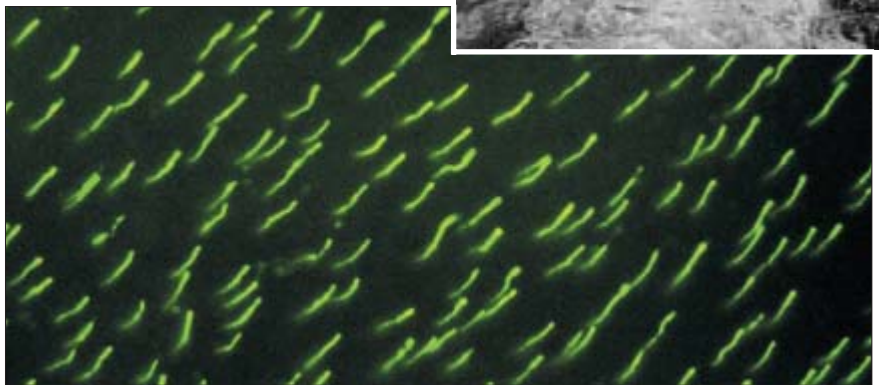
Tous les mammifères voient-ils le même arc-en-ciel? Non, loin s'en faut, car, selon les espèces, les rétines diffèrent, notamment par les types de cellules sensibles aux couleurs qu'elles contiennent : ce sont les cellules en cônes pourvues de pigments qui détectent des gammes spécifiques de longueurs d'ondes. La rétine des êtres humains et des primates est dotée de trois types de cônes qui captent respectivement la lumière bleue, rouge et verte. La plupart des autres espèces de mammifères n'ont que deux types de cônes : le plus souvent ceux sensibles au bleu et au vert, et, plus rarement, ceux qui détectent le rouge et le bleu. En étudiant 14 espèces de dauphins, d'otaries et de phoques, Léo Peichl, de l'Institut Max Planck, à Francfort, Günther Berhmann, de l'Institut Alfred Wegener, à Brème et Ronald Kröger, de l'Université de Lund en Suède, ont montré que la rétine des mammifères marins n'a qu'un seul type de cônes, ceux qui perçoivent le vert.

Outre les cônes, la rétine contient des cellules en bâtonnets sensibles à l'intensité lumineuse. Toutefois, la distinction des couleurs résulte non pas des longueurs d'ondes perçues, mais de la comparaison par le cerveau des informations émises par des objets proches perçus différemment : au moins deux types de cônes sont donc nécessaires. Grâce à des anticorps dirigés contre les pigments des cellules rétinienne, marqués

par des molécules fluorescentes, les zoologistes ont ainsi mis en évidence que les mammifères marins, dont la rétine n'a que des cônes qui détectent le vert, ne voient qu'en noir et blanc.

Le monde du silence est un monde quasi monochromatique et la vision des couleurs n'y apporte sans doute que peu, ou pas, d'avantage. Cependant, la détection du contraste et de la brillance dans des couleurs éloignées du spectre de sensibilité des cônes (le vert) est faible, et l'océan est bleu! La rétine des poissons qui vivent dans des conditions similaires ne contient que des cônes sensibles au bleu.

Ce paradoxe est renforcé par l'évolution convergente des ancêtres des différents types de mammifères marins. L'ancêtre des baleines à dents, tels les dauphins, est un artiodactyle (un ongulé à nombre pair de doigts) voisin de l'hippopotame, tandis que les pinnipèdes, tels les otaries ou les phoques, dérivent d'un ancêtre commun au loup, au furet et à la loutre. Or, la rétine de ces mammifères terrestres est dotée de cônes sensibles au bleu et au vert. Ainsi, lors du retour à la mer, les ancêtres des deux lignées marines ont toutes deux perdu les cônes sensibles au bleu. Quel peut-être l'avantage évolutif d'une telle perte?



Les dauphins, ainsi que les autres mammifères marins, ne voient qu'en noir et blanc. L'absence de vision des couleurs est due à la perte des cônes sensibles au bleu. Ainsi, la rétine de ces animaux n'a qu'un seul type de cônes. On les identifie grâce à des anticorps fluorescents. Les cônes sont fluorescents (en vert ci-dessus) et les espaces entre les cônes (en noir) sont occupés par les cellules en bâtonnets, qui détectent l'intensité lumineuse.

Léo Peichl