

6. PLUSIEURS TYPES DE NANOPARTICULES sont synthétisés à partir des mini-émulsions, par exemple des nanoparticules Janus ou divers types de nanocapsules.

Les cristallographes qualifient de réseau hexagonal une telle disposition.

Notre procédé repose sur l'idée de déposer sur un substrat solide des monocouches de colloïde, faites d'une seule couche de sphères. Pour cela, nous recouvrons d'eau un objet et nous versons une dispersion colloïdale. Si l'on procède avec soin, les particules s'ordonnent les unes à côté des autres à la surface de l'eau. De cette façon, on parvient à recouvrir cette dernière d'une couche de particules colloïdales ordonnées selon un réseau hexagonal.

Si ensuite on évacue le liquide, la monocouche arrive au contact du substrat, dont peu importe la nature ; il peut s'agir de céramique, de plastique, de métal ou de tout autre solide non soluble dans l'eau. Il n'est pas nécessaire non plus que la surface soit parfaitement lisse. On peut ainsi déposer une monocouche de particules colloïdales sur du silicium, sur des substrats plastiques souples, sur des surfaces préstructurées, etc. On peut aussi ajouter plusieurs monocouches de sphères de tailles différentes (voir l'encadré page 58).

Une nouvelle forme de lithographie

Des agencements réguliers de particules colloïdales peuvent aussi servir de masque pour graver sur le substrat des motifs faits de cônes de tailles nanométriques. Par exemple, on parvient ainsi à rendre non réfléchissantes des surfaces de verre : grâce aux nanocônes, l'indice optique varie progressivement dans la direction perpendiculaire à la surface. La transition entre le verre et l'air est alors douce, ce qui évite les discontinuités d'indice optique à l'origine des reflets. On peut également fabriquer de cette façon des surfaces autonettoyantes exploitant l'effet lotus.

Nos méthodes de fabrication de nanocapsules peuvent aussi être mises à profit

pour enfermer à l'intérieur de particules de polymère des substances moléculaires riches en métaux, ce que l'on nomme des complexes métalliques. Nous avons appliqué cette idée à nos monocouches, ce qui autorise une nouvelle forme de lithographie. Ces arrangements colloïdaux ne sont qu'une étape vers des motifs constitués uniquement de particules métalliques.

Une fois que ces monocouches de particules métalliques ont été déposées sur un objet, on chauffe leur surface à l'aide d'une torche à plasma, ce qui libère le métal et soude une minuscule particule métallique là où les nanocapsules se trouvaient en contact avec le substrat.

La taille de ces minuscules particules métalliques est ajustée à volonté par la quantité de complexe métallique que contient chaque nanocapsule. Puisque cette dernière peut être aussi petite que l'on veut, on parvient à produire des particules métalliques extrêmement petites, de diamètre inférieur à dix nanomètres.

Des nanoparticules métalliques de diamètre bien précis

La distance entre particules est déterminée par le diamètre des nanocapsules initiales. Elle peut de même être ajustée de façon très précise. Notre procédé allie ainsi les avantages de la lithographie colloïdale – rapidité, utilisation possible sur de grandes surfaces, peu de matériel nécessaire – avec une précision de quelques nanomètres, obtenue d'ordinaire uniquement au moyen de grands et coûteux équipements. Le dépôt ordonné de nanoparticules métalliques permet notamment de réaliser des mémoires informatiques, à base de nanoparticules magnétiques.

Puisqu'on peut encapsuler plusieurs complexes métalliques suivant une proportion fixée, il est aussi possible de réaliser des alliages à proportions fixées. C'est ainsi que notre équipe est parvenue récemment à déposer sur un substrat des nanoparticules faites d'un alliage fer-platine.

Tout cela ne représente que quelques-unes des nombreuses applications possibles des mini-émulsions ou, d'une manière générale, des colloïdes. Un siècle après leur première description, ces systèmes restent très prometteurs. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

N. Vogel *et al.*, *From soft to hard : The generation of functional and complex colloidal monolayers for lithography*, *Soft Matter*, vol. 8, pp. 4044-4061, 2012.

D. Klinger et K. Landfester, *Stimuli-responsive microgels for the loading and release of functional compounds – Fundamental concepts and applications*, *Polymer*, vol. 53, pp. 5209-5231, 2012.

K. Landfester, *Miniemulsionspolymerisation und Struktur von Polymer- und Hybridnanopartikel*, *Ang. Chemie*, vol. 121, pp. 4556-4576, 2009.

H. J. Butt *et al.*, *Physics and Chemistry of Interfaces*, Wiley-VCH, 2006.

S. Nayak et L. A. Lyon, *Weiche Nanotechnologie mit weichen Nanopartikel*, *Ang. Chemie*, vol. 117, pp. 7862-7886, 2005.

La librairie SCIENCE

Le savoir scientifique au fil des pages

La physique surprise



**Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik**

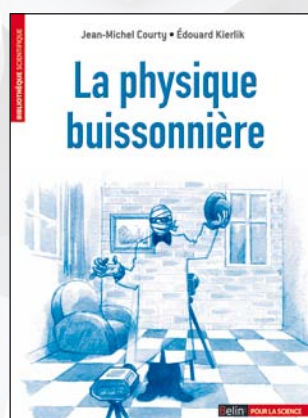
Passionnés de physique et curieux de tout, Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik vous invitent à une nouvelle promenade sur des chemins de traverse dans un langage accessible, simple et imagé, sans jargon ni formules. Avec

eux, laissez-vous surprendre par les phénomènes physiques que vous avez déjà côtoyés sans même les remarquer !

Éditions Belin / Pour la Science
184 pages – 24 euros – ISBN 978-2-8424-5121-9

La physique buissonnière

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



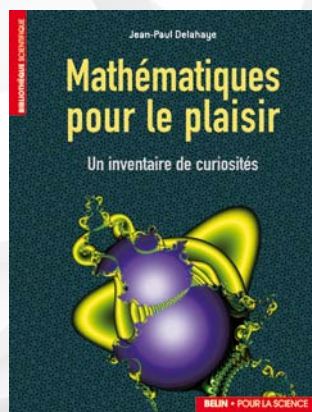
Une plante plus rapide qu'une mouche, un tuyau qui parle, une cape qui rend invisible, etc. La nature est pleine de surprises pour qui veut bien s'aventurer hors des sentiers battus. Passionnés de physique, les auteurs vous invitent à une promenade sur des chemins de traverse pour comprendre cette physique du quotidien.

Éditions Belin/Pour la Science 2009
160 pages – 22,35 euros – ISBN 978-2-8424-5105-9

Mathématiques pour le plaisir

Un inventaire de curiosités

Jean-Paul Delahaye

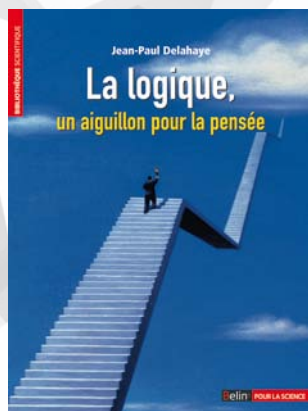


Arts et mathématiques, géométries amusantes, jeux, nombres, casse-tête et énigmes... Les mathématiques sont une source de joie et d'épanouissement pour celui qui sait y consacrer un peu d'attention et d'esprit ludique !

Éditions Belin / Pour la Science 2010
208 pages – 25,40 euros
ISBN 978-2-8424-5104-2

La logique, un aiguillon pour la pensée

Jean-Paul Delahaye



La logique a connu d'incroyables progrès depuis deux siècles : l'incomplétude de Gödel et l'indécidabilité de Turing ; la troublante loi de Benford, etc. Cet ouvrage sur la logique moderne des sciences intéressera autant mathématiciens que philosophes et curieux intrigués par le monde abstrait des raisonnements.

Éditions Belin / Pour la Science
200 pages – 27 euros – ISBN 978-2-8424-5115-8

L'ESSENTIEL

- Les grands carnivores africains ont commencé à décliner il y a 1,5 à 2 millions d'années.
- À cette époque, le régime alimentaire des premiers membres du genre *Homo* s'est enrichi en viande.
- Devenus superprédateurs, les premiers humains ont pu bouleverser l'équilibre qui régnait au sommet de la chaîne alimentaire.
- Cette hypothèse est d'autant plus plausible que les humains restaient des omnivores, donc plus adaptables que leurs concurrents carnivores.

© David Palumbo

1. QUAND LES GRANDS CARNIVORES AFRICAINS
se sont retrouvés en compétition avec les hommes
préhistoriques, leur biodiversité a brutalement chuté.
Coïncidence ou lien de cause à effet ?



Le vrai roi des animaux

**De nombreuses espèces de grands carnivores
foulaient autrefois le sol africain.
Ont-elles disparu parce que les premiers
humains, devenus d'importants prédateurs,
leur faisaient trop de concurrence ?**

Lars Werdelin

Le soleil se lève sur le Serengeti. Tandis que gnous et zèbres paissent l'herbe humide de rosée, les éléphants et les girafes les contemplent en mâchonnant de coriaces feuilles d'acacia. La sérénité n'est même pas troublée par le lent défilement des lions et des hyènes en quête de leur prochain repas... Selon une idée répandue, visiter le parc national tanzanien revient à plonger dans la nature telle qu'elle se présentait à nos ancêtres, bien avant que l'humanité n'ait commencé à bouleverser la planète... Une grande part de l'Afrique de l'Est est souvent vue comme un écosystème intact, pratiquement inchangé depuis que le genre *Homo* est apparu, il y a plus de deux millions d'années.

Rien n'est moins sûr. Mes recherches sur les carnivores africains fossiles montrent que leur diversité a chuté de façon si importante au cours des derniers millions d'années, que les lions, les hyènes et les autres grands prédateurs africains actuels n'en représentent plus qu'une minuscule partie. Or le déclin de ces anciens grands prédateurs coïncide à peu près avec le passage des hominidés à un régime alimentaire plus riche en viande. Cette concordance temporelle suggère

qu'il y a quelque deux millions d'années, c'est-à-dire bien avant l'apparition de *Homo sapiens*, les premiers humains ont déclenché le déclin des grands prédateurs africains.

Si mon hypothèse est correcte, alors l'ascension de ce nouveau mangeur de viande et le déclin des grands carnivores ont eu un impact sur les herbivores et les végétaux dont ils se nourrissaient, bref sur toute la chaîne alimentaire. Dans ce cas, nos ancêtres auraient commencé à transformer radicalement les écosystèmes bien plus tôt qu'on ne le pensait, à une époque où leur population était assez restreinte. Le genre *Homo*, semble-t-il, a été une force de la nature depuis ses débuts!

Les mammifères carnivores constituent l'ordre des Carnivora. Leurs fossiles me fascinent depuis que, adolescent, je les ai découverts dans les ouvrages du paléontologue finlandais Björn Kurtén (1924-1988). Je n'ignorais pas alors leur rôle de régulateur des populations d'herbivores, qui, sans eux, auraient explosé. Ce n'est qu'après avoir commencé à les étudier que je me suis rendu compte que leur relation avec les humains a changé au fil du temps.

Les étranges carnivores du passé africain

Afin de comprendre comment les carnivores ont évolué, j'ai passé une vingtaine d'années à étudier des milliers de fossiles trouvés en Afrique de l'Est et australe. Ce registre fossile s'étend sur sept millions d'années, intervalle qui couvre l'histoire évolutive connue des hominidés (*Homo*, australopithèques et autres hominidés non arboricoles). J'ai effectué une grande partie de ces recherches avec Margaret Lewis, de l'Université Richard Stockton dans le New Jersey, spécialiste des os du cou des carnivores, tandis que je suis plutôt spécialiste de leurs dents et de leur crâne. De nos travaux a émergé une vision bien plus précise qu'auparavant des communautés anciennes de carnivores africains.

Ainsi s'est progressivement dégagée une image plus claire des espèces de grands carnivores (ceux de plus d'une vingtaine de kilogrammes) africains qui ont disparu au cours des derniers sept millions d'années. Et nous avons commencé à comprendre que le déclin de ces grands animaux coïncide avec le passage de nos ancêtres d'un régime essentiellement végétarien à un

régime beaucoup plus riche en viande. À notre grande surprise, il est apparu que nos premiers ancêtres ont pu être à l'origine de la disparition des anciens grands carnivores africains.

Des aperçus de quelques sites à fossiles clefs donneront une idée de l'importance des changements intervenus au sein des carnivores africains. Ceux qui vivaient en Afrique il y a environ sept millions d'années étaient très différents de ceux d'aujourd'hui. Ainsi, le site de Lothagam sur la côte Ouest du lac Turkana, au Kenya, a livré des félins à dents de sabre, d'étranges hyènes à longues pattes, des chiens-ours géants (ce n'étaient ni des chiens ni des ours, mais des Amphicyonidés, une famille éteinte de carnivores) et un mustélide de la taille d'un léopard (les Mustélidés d'aujourd'hui comprennent les blaireaux, les martres, les furets...). Des carnivores plus petits, apparentés aux civettes et aux mangoustes actuelles, rodaient également dans les parages de Lothagam.

Il y a quatre millions d'années, cette galerie d'animaux étranges se complète

d'une première figure familière : la hyène. Sur le site voisin de Kanapoi, les félins à dents de sabre et d'autres lignées éteintes aujourd'hui restent présents, mais le carnivore le plus courant devient une sorte de hyène, l'ancêtre de la (rare) hyène brune qui vit aujourd'hui en Afrique australe.

Quelques centaines de milliers d'années plus tard, les carnivores africains sont encore plus reconnaissables. Datant de 3,6 à 4,4 millions d'années, le site de Laetoli, dans le parc national du Serengeti, est célèbre pour les traces de pas laissées par des australopithèques dans de la cendre volcanique tout juste tombée. On y trouve des restes de félins à dents de sabres, mais aussi de félins d'aspect moderne. Des hyènes tachetées, plusieurs espèces de chiens, une civette géante et divers carnivores plus petits y vivaient aussi.

À Hadar, site éthiopien datant de 3,2 millions d'années où l'on a découvert l'australopithèque Lucy, les félins à dents de sabre, les hyènes et les chiens abondaient, en compagnie de loutres géantes qui n'ont pas d'équivalent actuel.



2. LE ROI DES ANIMAUX d'aujourd'hui passe pour être le lion, *Panthera leo*, apparu il y a plus de 3,5 millions d'années [âge du plus vieux fossile africain]. Chassant en groupes, ce félin est un hypercarnivore dont la vie dépend de la présence, sur son territoire, de grands herbivores tels que zèbres, buffles et gnous. Le premier ministre du lion pourrait être la hyène tachetée [*Crocuta crocuta*, à droite], apparue il y a plus de 4 millions d'années. Concurrente du lion, ne

Ces sites, et d'autres occupés de 2,5 à 4 millions d'années, racontent tous la même histoire : si le mélange d'espèces présentes varie quelque peu en fonction des conditions environnementales, on y décèle partout les mêmes types généraux de carnivores. Tous les sites livrent par exemple des hyènes, mais diffèrent quant aux espèces de hyènes présentes. Plus important : aucun n'indique que ces animaux aient pu souffrir de la présence d'homininés.

Il y a environ 3,5 millions d'années, le nombre d'espèces de carnivores a atteint un pic, avant de baisser peu à peu durant le million d'années et demi qui suivit. Pourquoi ? Pour l'essentiel parce que le taux d'extinction des espèces carnivores est resté stable tandis que celui de l'apparition de nouvelles espèces a diminué. Dans l'ensemble cependant, les carnivores ont régné tout au long de la période. Petits, lents et sans défenses, nos ancêtres préhumains (les australopithèques) n'étaient alors que des proies

parmi d'autres, mais le vent allait tourner. Le registre fossile datant de moins de deux millions d'années révèle en effet des changements dans la composition des faunes de carnivores. Les taux d'extinction augmentent tandis que les taux d'apparition de nouvelles espèces restent bas, de sorte que le nombre d'espèces de grands carnivores chute, particulièrement vers 1,5 million d'années. Outre les divers types d'espèces qui s'éteignent, des groupes entiers disparaissent, tel celui des félins

OUTRE LES DIVERS TYPES D'ESPÈCES qui s'éteignent, des groupes entiers disparaissent, tels les félins à dents de sabre.

à dents de sabre. À mesure de ces disparitions, la proportion de formes modernes – lions, léopards, chacals, etc. – au sein des carnivores augmente. Il y a environ 300 000 ans, les carnivores archaïques ont tous été balayés en Afrique de l'Est, alors que la population des carnivores actuels se mettait en place.

Ce schéma général correspond à notre intuition de ce qu'a pu être l'histoire évolutive des carnivores africains, à savoir une très probable décroissance de la diversité des Carnivora. Pour autant, nous ne nous attendions pas à la baisse brutale des effectifs de grands carnivores, survenue il y a 1,5 million d'années. C'est l'époque à laquelle s'est produite cette chute qui suggère que nos ancêtres y ont peut-être joué un rôle.

Pendant les quelques premiers millions d'années de l'évolution qui a conduit aux humains, les représentants de la famille des hominins avaient la taille de chimpanzés et, comme eux, consommaient des aliments d'origine essentiellement végétale. Mais il y a environ 1,5 million d'années, *Homo erectus* – que de nombreux paléontologues nomment aujourd'hui *Homo ergaster* – entre en scène. Plus intelligent, capable de se fabriquer des outils en pierre, ce premier membre du genre *Homo* à nous ressembler est aussi le premier à manger davantage de viande. Naturellement, M. Lewis et moi nous sommes demandé si l'arrivée de ce nouveau prédateur avide de protéines animales pouvait expliquer le déclin des grands carnivores.

Cette thèse semblait prometteuse, mais l'enchaînement temporel des événements me tracassait. Si la concurrence de *Homo*

erectus était vraiment responsable du déclin brutal des espèces de grands carnivores d'Afrique de l'Est, ses effets sur la diversité des Carnivora auraient dû se faire sentir plus tôt, notre ancêtre étant apparu il y a environ 1,9 million d'années.

En fait, le nombre d'espèces ne traduit l'évolution d'un ordre entier de mammifères que de façon très imparfaite. Il peut par exemple se produire que la diminution de l'un des groupes appartenant à cet ordre s'accompagne de l'augmentation d'un autre groupe, de façon telle que le nombre total d'espèces reste constant. Ainsi, quand deux espèces de félins à dents de sabre s'éteignent, le nombre total d'espèces carnivores reste le même si elles sont remplacées par les lions et des léopards. Or un tel remplacement est une évolution notable de la faune carnivore, car les lions et les léopards prélèvent une gamme plus vaste de proies que ne pouvaient le faire les grands félins à dents de sabre, dont les étonnants attributs suggèrent qu'ils étaient plus spécialisés (voir l'encadré page 68).

Prendre en compte la diversité écologique

Il m'est donc apparu que, pour me forger une meilleure idée de l'évolution de l'ordre des Carnivora en Afrique de l'Est et du Sud, il fallait prendre en compte non seulement le nombre d'espèces de carnivores, mais aussi la diversité de leurs rôles écologiques. En effet, les carnivores ont des régimes alimentaires très divers. Les félins, par exemple, sont des hypercarnivores, surtout adaptés à la consommation de viande (plus de 70 pour cent). Les chiens sont plutôt des omnivores, appréciant la viande, mais capables de se nourrir d'une grande variété d'aliments. D'autres encore, comme les rats, sont des hypocarnivores, qui se nourrissent de fruits et de végétaux et seulement de temps en temps de viande (moins de 30 pour cent).

Pour prendre en compte ces aspects, je décidai d'employer les méthodes mises au point par mon ancienne postdoctorante Gina Wesley-Hunt, aujourd'hui à l'Université Montgomery dans le Maryland, qui avait étudié les carnivores nord-américains des derniers 60 millions d'années. Au cours de ses recherches, G. Wesley-Hunt a défini un ensemble de caractéristiques



négligeant pas de lui voler ses prises, elle est comme lui sociale et hypercarnivore, bien qu'elle chasse davantage des proies moyennes. Elle occupe exactement la même aire de répartition que le lion.

fonctionnelles des mâchoires et des dents de carnivores. Elle a ainsi pu quantifier les différences entre régimes alimentaires des espèces d'une faune donnée de carnivores. J'ai appliqué sa méthode aux mâchoires et dents de mes fossiles africains afin de situer les préférences alimentaires de leurs propriétaires.

Pour ce faire, j'ai choisi 29 espèces de carnivores de grande taille et 49 espèces de petite taille dans le registre fossile des sept derniers millions d'années. J'ai intégré les caractéristiques de leurs mâchoires et de leurs dents à la grille de lecture établie par G. Wesley-Hunt, avant d'analyser les données produites, qui prennent la forme de deux nombres: l'un traduit la proportion relative de dents postérieures et antérieures (cela reflète le type de carnivore) et l'autre traduit la proportion de viande dans son régime alimentaire.

Lorsque les données sont représentées dans le plan défini par ces deux grandeurs, on peut effectuer une analyse statistique qui fait apparaître la diversité des formes (et des fonctions associées) et des régimes alimentaires caractérisant un groupe d'organismes apparentés, ici les membres de Carnivora des 3,5 derniers millions

d'années. La comparaison des résultats donne une idée de la façon dont l'anatomie des carnivores et leurs habitudes alimentaires ont changé. En particulier, l'« espace morphologique », c'est-à-dire l'espace occupé par la répartition statistique des formes, traduit la biodiversité au sein de l'ordre Carnivora.

Richesse fonctionnelle : une chute brutale

Les résultats se sont révélés saisissants (voir l'encadré ci-dessous). Comme M. Lewis et moi l'avons rapporté en mars 2013 dans la revue *PloS One*, les grands carnivores actuels de l'Afrique de l'Est occupent moins de 1,5 pour cent de l'espace morphologique des carnivores ayant vécu à l'époque du pic de biodiversité des Carnivora, il y a 3 à 3,5 millions d'années. La richesse fonctionnelle des Carnivora en Afrique, c'est-à-dire la diversité des aliments consommés et des niches écologiques occupées par les carnivores africains, a été réduite de presque 99 pour cent de sa valeur entre l'époque de Lucy et aujourd'hui.

La chute de la richesse fonctionnelle mesurée se situe entre 1,5 et 2 millions

d'années, ce qui implique que le processus a démarré avant. Cela fait à peu près coïncider dans le temps le déclin de la diversité des carnivores africains avec l'apparition de *Homo erectus*.

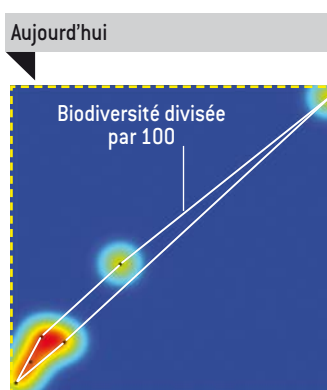
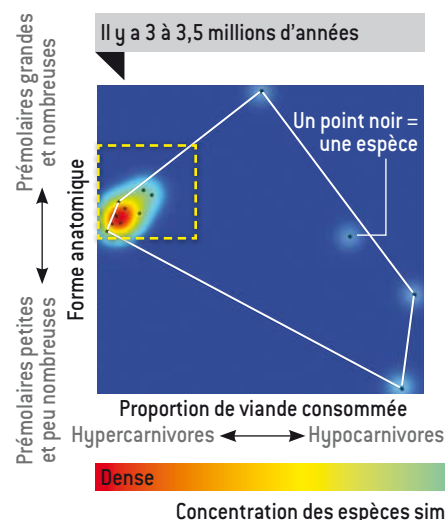
Bien que nos recherches se soient focalisées sur les carnivores de l'Afrique de l'Est, les grands carnivores actuels sont les mêmes à travers tout le continent. Il est donc probable que la spectaculaire perte de richesse fonctionnelle mise en évidence soit représentative de ce qui est arrivé à tous les grands carnivores d'Afrique.

L'activité humaine n'est pas la seule cause possible de cette disparition des carnivores en Afrique. Au cours des derniers millions d'années, les changements climatiques sur le grand continent ont été impliqués dans de nombreuses modifications de la faune, de sorte qu'ils pourraient aussi expliquer la diminution du nombre d'espèces. Mais l'étude des faunes carnivores actuelles suggère que le climat n'a qu'une faible influence sur leur richesse fonctionnelle. Contrairement aux mammifères herbivores, qui dépendent de la répartition de la nourriture végétale, elle-même en grande partie déterminée par le climat, les carnivores sont peu sensibles au climat et aux

LE DÉCLIN PRÉHISTORIQUE DES CARNIVORA EN AFRIQUE

L'analyse statistique des formes de mammifères carnivores africains des derniers 3,5 millions d'années et de leurs régimes révèle un déclin spectaculaire des animaux de grandes tailles, tant s'agissant du nombre d'espèces que de leur richesse fonctionnelle, c'est-à-dire de la diversité d'aliments que les animaux pouvaient consommer. La population ancienne des grands carnivores africains allait d'animaux hypocarnivores, davantage adaptés aux aliments d'origine végétale,

aux hypercarnivores, dont l'alimentation est carnée à plus de 70 pour cent. Il ne reste aujourd'hui qu'un tout petit échantillon de la diversité passée des hypercarnivores africains, qui a décliné à la même époque qu'augmentait la part carnée de l'alimentation de *Homo erectus*. La coïncidence suggère que c'est la compétition entre les hominés et les animaux hypercarnivores qui a conduit à l'extinction de nombreuses espèces animales.



Les indices d'une chute de la biodiversité

Le changement de la biodiversité au sein des Carnivora africains ressort de la répartition des points représentant les espèces carnivores dans un plan, où l'on reporte sur l'axe horizontal la proportion de viande consommée par une espèce et sur l'axe vertical le nombre de prémolaires de cette espèce. L'espace morphologique, c'est-à-dire l'aire du polygone contenant les points représentatifs des espèces est un indicateur de la biodiversité régnant au sein de l'ordre des Carnivora. On note que la diversité des carnivores africains et de leurs spécialisations a été divisée par 100 entre le moment où l'ordre des Carnivora est passé par un pic de diversité (entre 3 et 3,5 millions d'années) et l'installation des communautés modernes d'hypercarnivores africains.

changements environnementaux associés. En outre, si l'évolution du climat avait été responsable de la disparition des espèces de carnivores, alors les petits carnivores auraient dû disparaître autant que les gros, ce qui n'a pas été le cas. Tant leur richesse en espèces que leur richesse fonctionnelle se sont maintenues pendant la plus grande partie des 3,5 derniers millions d'années, et pourraient même avoir augmenté.

Cependant, pour déterminer si l'homme a été à l'origine du déclin de ces grands carnivores, il serait utile de connaître la consommation de viande des premiers *Homo*. Les paléontologues en débattent depuis longtemps. Certains pensent que la viande et la chasse ont joué un rôle essentiel dans l'alimentation de nos premiers ancêtres; d'autres, que la viande y a au mieux joué un rôle marginal, car, selon ces chercheurs, les hominins se contentaient de manger les restes laissés par les grands carnivores. Toutefois, les paléontologues admettent généralement que les membres du genre *Homo* ont bien commencé à se procurer davantage de protéines animales (poissons et coquillages compris) il y a 1,5 à 2 millions d'années, c'est-à-dire au Pléistocène inférieur.

La vision qu'a l'anthropologue Henry Bunn, de l'Université du Wisconsin à Madison, de la transition vers une alimentation plus riche en viande s'accorde bien avec l'idée que la compétition entre hommes et grands carnivores a fait disparaître de nombreuses formes de vie. Il conçoit cette transition en trois étapes: tout d'abord, les hominins auraient occasionnellement exploité les carcasses abandonnées à l'aide d'éclats naturels ou des premiers outils lithiques; ils auraient ensuite acquis la capacité de dépecer, de briser les os pour accéder à la moelle, ainsi que celle de ramener au camp des quartiers de viande; enfin, les hominins sont devenus des équarisseurs experts, qui disposaient manifestement de carcasses entières dans leurs foyers.

En s'appuyant sur les preuves archéologiques disponibles, H. Bunn situe la première étape entre 2,5 et 2,6 millions d'années: habitués à se nourrir de charognes, les hominins n'avaient alors qu'une faible capacité à se procurer de la viande. Selon lui, la deuxième étape a été atteinte entre 1,9 et 2,3 millions d'années, et implique déjà une capacité accrue à se procurer de la viande de charogne et, peut-être, en chassant. Quant à la troi-

sième étape, que H. Bunn situe entre 1,6 et 1,8 million d'années, elle implique la capacité de voler des carcasses entières aux grands carnivores ou de se les procurer par la chasse.

Ainsi, même sans les dents, les griffes et la force des félins à dents de sabre et des autres grands carnivores, les hominins pouvaient déjà rivaliser avec eux grâce à leur intelligence et à leur capacité à coopérer. Et dans les périodes de disette, ils avaient un net avantage sur les carnivores, tout particulièrement sur les hypercarnivores tels les félins à dents de sabre, puisqu'ils étaient omnivores. Quand leur aliment préféré – la viande – était indisponible, ils pouvaient se contenter d'autre chose. En cas de disette, les hominins avaient donc un avantage adaptatif considérable.

Comme toute théorie naissante, la nôtre n'est pas dépourvue de problèmes à résoudre. Le principal concerne la coïncidence temporelle des évolutions discutées. Deux questions se posent, en particulier. Quand exactement a commencé la régression des grands carnivores? Quand les humains ont-ils commencé à représenter pour eux une concurrence? Nous avons besoin de clarifier ce qui est arrivé et quand, sinon il restera difficile de tirer la moindre conclusion quant aux causes et aux effets. Qui plus est, les paléontologues ignorent si les hominins étaient assez nombreux et assez efficaces pour entraîner un changement notable dans la vie des carnivores.

Dater le début du déclin des carnivores

Situer dans le temps le début du déclin des carnivores implique soit de découvrir de nouveaux fossiles de la période comprise entre 2 et 2,5 millions d'années, soit d'employer des techniques plus précises pour analyser les fossiles dont nous disposons. Je travaille actuellement au développement de telles techniques. Au point où j'en suis rendu, je peux affirmer que chez les carnivores, le changement avait déjà commencé il y a 1,8 million d'années; les analyses plus poussées que nous menons suggèrent en outre qu'il a peut-être débuté il y a 2 millions d'années.

Il est cependant difficile d'établir une correspondance précise entre la régression des carnivores et l'évolution humaine.

■ L'AUTEUR



Lars WERDELIN est conservateur de la collection des fossiles de vertébrés au Muséum

d'histoire naturelle de Stockholm, en Suède.

■ BIBLIOGRAPHIE

L. Werdelin et M. E. Lewis, *Temporal change in functional richness and evenness in the Eastern African Plio-Pleistocene carnivore guild*, *PLoS One*, vol. 8(3), pp. 1-11, 2013.

M. E. Lewis et L. Werdelin, *Patterns of change in the Plio-Pleistocene carnivores of Eastern Africa, implications for Hominin evolution*, dans *Hominin Environments in the East African Pliocene: An Assessment of the Faunal Evidence*, Springer, 2007.

S. Grange, *La remarquable constance des zèbres du Serengeti*, *Pour la Science*, n° 357, pp. 70-75, 2007.

J. Robbins, *Le retour forcé du loup*, *Pour la Science*, n° 323, 2004.

Comment les félins à dents de sabre tuaient

Des espèces de félins dotées de longues canines supérieures ont vécu sur tous les continents. Les dernières, tel le *Smilodon* américain (*ci-dessous*), n'ont disparu que quelque 10 000 ans avant notre ère, bien après les espèces africaines, qui ont sans doute été éliminées par des concurrents il y a plus de 1,5 million d'années.

Les félins à dents de sabre tuaient en poignardant de leurs dents le ventre ou la gorge de leur proie, afin d'y provoquer hémorragies et autres lésions importantes. Cette mise à mort spécialisée limitait la variété des proies qu'ils étaient aptes à tuer. Par ailleurs, en raison de leurs longues dents, ces félins ne pouvaient consommer que la viande de leurs proies, ce qui fournissait des os et de la charogne à leurs concurrents, tels les hyènes ou les humains. Ces particularités ont sans doute joué un rôle dans l'extinction de ces félins.



Smilodon
américain



Restitution du *Smilodon* américain

Certes, le calendrier de H. Bunn est parfaitement compatible avec mon scénario, mais il est contesté par certains, qui pensent que les deux premières étapes qu'il propose se sont produites bien plus tard.

On ne pourra peut-être jamais estimer correctement les populations d'homininés, ni la concurrence qu'elles ont représentée pour les carnivores. Pour l'heure, ces deux points sont affaire d'opinion. Incontestablement, la population humaine en Afrique était peu dense, mais ce continent étant immense, ses effectifs restent inconnus. Sans doute sera-t-il possible de simuler la concurrence entre les humains et les carnivores à partir de valeurs raisonnables des effectifs humains et de la compétitivité de l'homme face aux carnivores. Mais il pourrait être difficile d'aller plus loin.

J'espère que les chercheurs qui sont sceptiques vis-à-vis de ma thèse trouveront des façons ingénieuses de l'éprouver. À cette fin, mon idée mérite d'être envisagée sous un autre angle. Les tentatives d'explication

des changements écologiques procèdent typiquement d'une approche ascendante, c'est-à-dire que l'on examine comment le climat influe sur les végétaux, puis quel est l'impact de l'évolution de ces organismes sur le reste de la chaîne alimentaire, et ce jusqu'aux superprédateurs qui la dominent.

Un impact plus fort que la réintroduction du loup

Mon approche est au contraire descendante: elle donne un aperçu des changements intervenus chez les grands prédateurs, puis conduit à se demander quelle est leur influence sur les producteurs primaires situés en bas de la chaîne alimentaire, tels les herbes et les arbres.

La réintroduction du loup dans le parc de Yellowstone, aux États-Unis, et ses effets sur les herbivores qui y vivent fournit un exemple frappant de l'impact d'un changement portant sur les grands prédateurs. Comme les loups, en se multipliant, tuaient

plus de daims et de bisons, les populations de ces espèces se sont mises à diminuer; cela a réduit la pression sur les végétaux; ainsi, là où les herbivores étaient auparavant nombreux, la végétation est devenue plus luxuriante.

De même, l'entrée des premiers *Homo* dans la niche des carnivores pourrait avoir déclenché une cascade de bouleversements écologiques plus spectaculaires encore que celle qui s'est produite à Yellowstone. Contrairement aux loups de Yellowstone, dont l'espèce faisait déjà partie de l'écosystème du parc – ce qui implique que les autres espèces étaient déjà plus ou moins adaptées à leur présence – les premiers *Homo* n'avaient pas de tels prédécesseurs. Leur arrivée a donc bien pu avoir des conséquences plus importantes que la réintroduction d'un prédateur. Étudions les populations anciennes d'herbivores africains: cela nous révélera peut-être que le développement du goût des premiers humains pour la viande a tout changé. ■



CHAQUE MOIS



CHAQUE TRIMESTRE

Retrouvez vos magazines en kiosque ou directement chez vous

POUR LA SCIENCE

La référence de l'actualité scientifique internationale



VERSION NUMÉRIQUE
en format PDF



APPLICATION

sur votre smartphone ou tablette



Retrouvez Pour la Science
également sur :



WWW.POURLASCIENCE.FR



La Vie sous le microscope

Ferris Jabr

Une sélection d'images révèle diverses facettes colorées, surprenantes et spectaculaires du monde vivant observé au microscope.

Au XIX^e siècle, le poète anglais William Blake rêvait de « Voir un monde dans un grain de sable ». C'est aujourd'hui possible. Avec l'amélioration des dispositifs optiques, les microscopes révèlent des univers étonnants dans une feuille d'arbre, un grain de poussière, du sang ou des os.

Nous vous présentons une sélection d'images de chercheurs, de photographes professionnels et de passionnés récompensés lors de l'édition 2013 du concours *Olympus BioScapes International Digital Imaging*. Les photographies invitent à plonger dans le piège d'une plante carnivore, à regarder droit dans les yeux... d'une tige de palmier ou encore à admirer les détails d'un os de dinosaure.

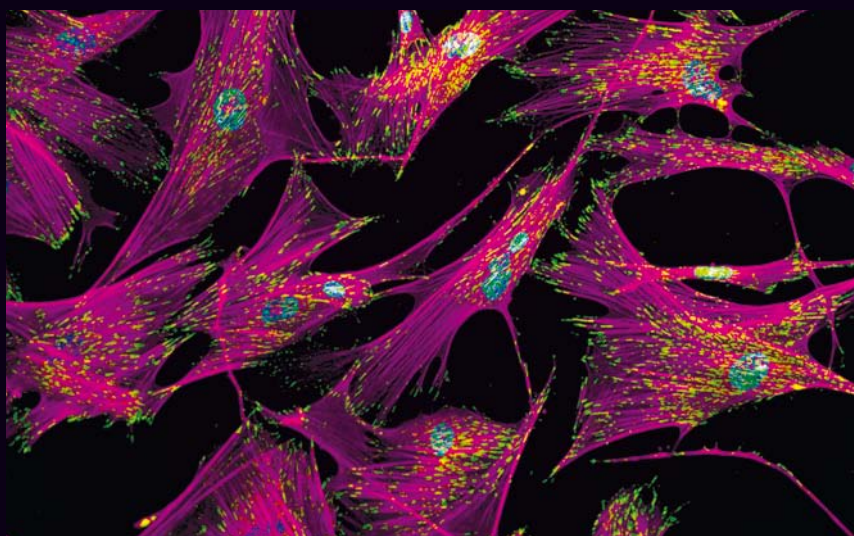
LE PIÈGE DE L'UTRICULAIRE



Les utriculaires sont des plantes carnivores, généralement aquatiques, pourvues de petites poches qui se referment sur leurs victimes, des daphnies par exemple.

Igor Siwanowicz, du Centre de recherche agricole de Janelia, aux États-Unis, a observé ce piège de 730 micromètres de large avec un microscope à balayage laser. Grâce à des colorants fluorescents, on distingue la paroi d'une cellule (en bleu et vert) et des chloroplastes (en rouge). Des algues flottent dans cette poche. Cette image a reçu le premier prix.





CELLULES PULMONAIRES

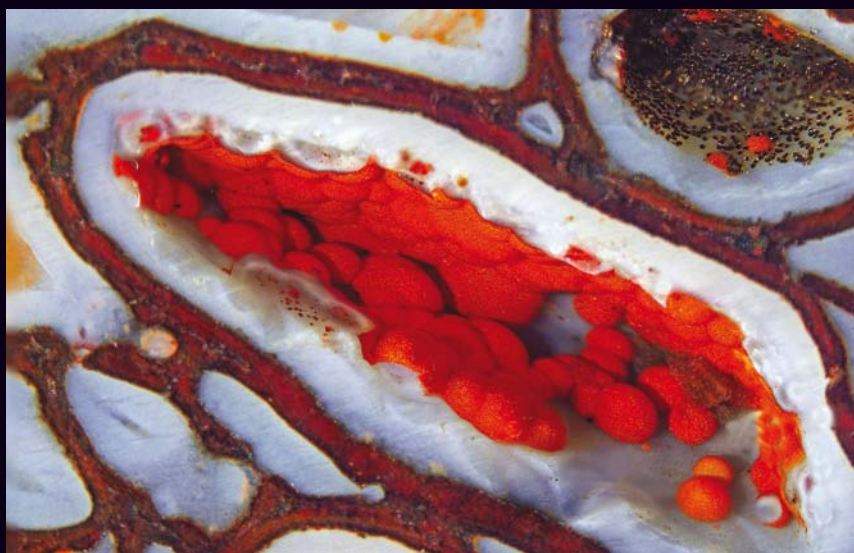
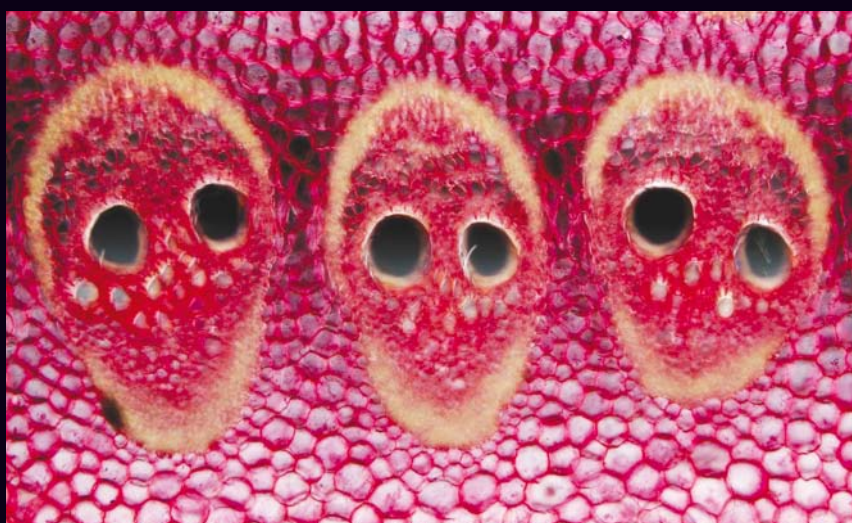


Au lieu d'utiliser des cellules souches embryonnaires pour obtenir différents types de tissus, certains chercheurs y parviennent avec des cellules adultes qui reviennent à un stade indifférencié. Ankur Singh, de l'Université Cornell, illustre une telle transformation avec des cellules humaines de poumon, d'environ 130 micromètres de longueur. Grâce à des protéines fluorescentes, on distingue la vinculine (*en vert*) – une protéine qui aide les cellules à adhérer aux surfaces – et des fibres d'actine (*en violet*) qui confèrent leur forme aux cellules. Les noyaux cellulaires apparaissent en bleu.



LES MASQUES DES PALMIERS

Si vous coupez une tige de palmier *Syagrus comosa* et que vous l'observez au microscope, vous aurez peut-être l'impression que c'est elle qui vous regarde. L'anglais David Maitland a photographié cette coupe préparée avec un colorant rouge probablement au début du XX^e siècle. Le réseau vasculaire, qui transporte des fluides, du sucre et des nutriments dans la plante, évoque des masques mortuaires. Les « yeux » sont des tubes de xylème qui véhiculent de l'eau. Chaque visage mesure 620 micromètres, du sommet du « crâne » au « menton ».



UN OS DE DINOSAURE



Douglas Moore, de l'Université du Wisconsin, a placé un os de dinosaure vieux de 150 millions d'années sous un stéréomicroscope pour voir de plus près sa structure spongieuse (*en blanc, grossie 32 fois*). Les bulles rouges ressemblent à des globules rouges, mais il s'agit en fait d'oxydes de fer mélangés à de l'agate, une forme cristalline de silice. L'agate est souvent à l'origine de la couleur du bois pétrifié et des géodes. Suivant un processus chimique qui a longtemps intrigué les géologues, la silice a réagi avec l'os et a « agatisé » l'échantillon.