

Les vraies dents du filtreur

Un ptérosaure utilisait un dispositif à fanons pour retenir les animalcules dont ils se nourrissaient.

Apparentés à la fois aux crocodiles et aux dinosaures, les ptérosaures, ou reptiles volants, furent les premiers vertébrés supérieurs à acquérir la maîtrise du vol aérien. L'un d'entre eux, *Pterodaustro*, avait une mandibule portant de très nombreux fanons, avec lesquels il filtrait les animalcules aquatiques. On croyait que ces fanons étaient des expansions cornées, mais des études histologiques, au microscope électronique à balayage, ont montré que ces fanons étaient des dents allongées.

Pterodaustro fait partie de ce groupe animal qui apparut il y a 220 millions d'années et qui prospéra, avec des tailles et des morphologies variées, pour disparaître avec les dinosaures, il y a 65 millions d'années. *Pterodaustro*, étymologiquement l'«aile du Sud», fut découvert en 1970 dans des terrains datés de 140 millions d'années, en Amérique du Sud. C'était un animal de taille moyenne, d'une envergure de 1,50 mètre environ. Il se nourrissait en filtrant l'eau à l'aide d'un bec fortement courbé vers le haut et portant, sur

toute sa longueur, une extraordinaire quantité de longs «fanons», fines baguettes juxtaposées, très serrées : 25 par centimètre en moyenne, soit plus de 1 000 sur toute la mandibule.

Extrêmement fines, ces baguettes, plus de 100 fois plus hautes que larges, semblaient être des formations cornées plutôt que des dents. De surcroît, chez les vertébrés supérieurs filtreurs (certains reptiles, oiseaux et mammifères), les dents assurent rarement la fonction de filtration. Aujourd'hui, seul le phoque crabier *Lobodon carcinophagus* filtre, dans une certaine mesure, les petits crustacés dont il se nourrit grâce à de vraies dents, mais celles-ci sont larges et découpées. Le plus souvent, la filtration est réalisée par des structures de remplacement cornées, en grand nombre, qui ont l'avantage d'atteindre des tailles considérables tout en conservant une souplesse (les fanons des cétacés mysticètes, les lamelles du bec de certains oiseaux limicoles). La disparition des dents et la présence d'un bec corné étant connues chez certains ptérosaures, on avait imaginé que *Pterodaustro* était muni de fanons cornés flexibles.

Grâce à une étude histologique sur un nouveau spécimen argentin, L. M. Chiappe, du Muséum d'histoire naturelle de New York, et A. Chinsamy, au Cap, ont prouvé que la mandibule de *Pterodaustro* portait de vraies dents : l'observation au microscope de coupes fines a mis en évidence une structure typiquement dentaire, avec une mince couche d'émail entourant la dentine, elle-même creusée d'une cavité pulpaire. La dentine est percée de nombreux canaux qui s'organisent radialement autour de la cavité pulpaire.

Certains poissons filtreurs, tel le requin pèlerin, possèdent également des dents modifiées, très allongées, mais aucun vertébré supérieur n'a des dents aussi fines que *Pterodaustro*, qui détient également le record du nombre des dents. La dentition de *Pterodaustro* est d'autant plus originale et étonnante que les quelque 500 dents portées par la mâchoire supérieure sont nettement différentes des dents inférieures, de forme spatulée, plus classique et de petite taille.

Cette découverte amènera à réinterpréter le fonctionnement de cet appareil filtreur pour expliquer comment ces dents, qui mesurent moins de deux dixièmes de millimètre à la base pour une hauteur de plusieurs centimètres, résistaient aux contraintes mécaniques et assuraient leur fonction de filtre.

Sylvain DUFFAUD, Laboratoire de paléontologie des vertébrés et de paléontologie humaine, Université Paris VI



Fossile de *Pterodaustro* complet. Le quatrième doigt des ptérosaures, allongé, servait à soutenir la membrane ailaire.



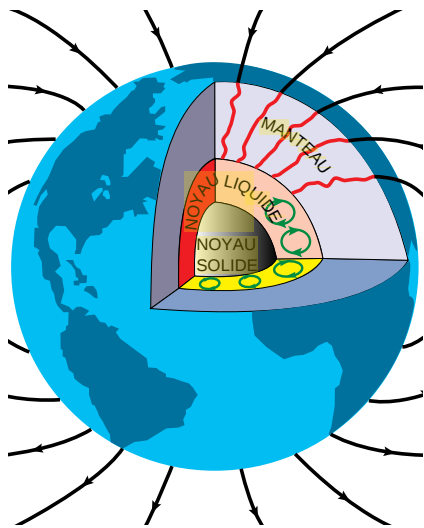
Reconstitution classique, mais désormais caduque, du crâne de *Pterodaustro*, avec ses fanons souples.

«Voir» le noyau

Le manteau terrestre est très transparent au champ magnétique produit dans le noyau.

Le champ magnétique mesuré à la surface de la Terre reflète-t-il le champ créé dans le noyau ? Grâce à l'étude des enregistrements magnétiques obtenus depuis une cinquantaine d'années, nous avons montré que le manteau terrestre est un bon isolant électrique : il est donc très «transparent» aux signaux magnétiques, ce qui confirme le fait que nous sommes en mesure de voir «en direct» ce qu'il se passe à la surface du noyau.

Parce que, jusqu'à aujourd'hui, aucun forage n'a dépassé 15 kilomètres de profondeur, nous n'avons accès qu'à des informations indirectes sur la Terre profonde, fournies par la sismologie, la géodésie ou la géochimie. L'exploitation combinée de ces informations indique qu'à la suite de sa formation la Terre s'est différenciée en un manteau de silicate et un noyau de fer et de nickel liquide. Le refroidissement de cet alliage fait lentement croître une graine solide et engendre des mouvements de convection dans le liquide. Ces mouvements d'un liquide conducteur électrique à travers le champ magnétique



Le champ magnétique de la Terre est engendré à l'intérieur du noyau liquide par les mouvements du fer. L'altération de certains signaux magnétiques par le manteau terrestre permet de mesurer sa conductivité électrique.

terrestre induit un courant électrique qui permet d'entretenir ce champ magnétique, extraordinaire témoin de la dynamique terrestre.

Avant de parvenir à la surface de la Terre, le champ magnétique est altéré par la traversée du manteau, faiblement conducteur. En régime variable, le champ magnétique et le champ électrique sont couplés : une variation du champ magnétique dans le manteau fait donc apparaître un champ électrique. Dans le manteau conducteur, ce champ électrique induit un courant électrique qui crée à son tour un champ magnétique, qui s'ajoute au champ initial. Pour apprécier l'importance de cette altération du champ magnétique, il est essentiel d'estimer la conductivité électrique du manteau.

On mesure, en laboratoire, la conductivité électrique du silicate du manteau à très hautes pression et température (plusieurs dizaines de milliers d'atmosphères, 400 °C). Le comportement semi-conducteur des silicates permet alors d'extrapoler les mesures aux conditions du manteau profond (100 000 atmosphères, 2 000 à 3 000 °C). C'est ainsi qu'une autre équipe de notre Institut avait déjà estimé une conductivité électrique d'environ 10 siemens par mètre pour le manteau profond, 10 000 fois inférieure à celle du fer.

Avec des collègues de l'Université de Rennes, nous avons maintenant estimé cette conductivité en étudiant directement la façon dont le manteau déforme un signal magnétique qui provient du noyau. Nous avons exploité le fait que le champ principal présente à intervalles irréguliers de brusques changements de tendance, les «secousses magnétiques». Reprenant 50 années d'observations magnétiques, nous avons caractérisé la secousse magnétique qui se produisit en 1970 : celle-ci peut être décrite presque parfaitement au moyen de ce que les mathématiciens nomment une singularité (l'apparition d'un pic ou d'une marche dans un signal sont des exemples de singularités, la secousse magnétique étant d'une nature un peu différente). Comme la conductivité du manteau ne pouvait qu'atténuer ces signaux et non les engendrer, la secousse a été créée dans le noyau. Nous avons alors mesuré le champ parasite résultant qui correspond à l'écart, par rapport à une singularité parfaite, de la secousse magnétique observée. Cela nous a permis d'estimer une conductivité moyenne pour le manteau inférieur (15 siemens par mètre), en remarquable accord avec la valeur obtenue en laboratoire.

M. ALEXANDRESCU et G. HULOT,
Institut de Physique du Globe de Paris

Poumon et fluor

Des liquides fluorés pour soigner les poumons.

Les sociétés pharmaceutiques Alliance Pharmaceutical et Hoechst Marion Roussel s'allient pour mettre au point un nouveau traitement des syndromes de détresse respiratoire. Pourquoi cet intérêt ? L'histoire commence en 1966, quand Leland Clark plonge un rat dans un fluorocarbure liquide (dont les molécules sont composées d'atomes de carbone, d'hydrogène et de fluor), saturé d'oxygène : l'animal survit, parce qu'il trouve dans le liquide assez d'oxygène pour respirer : l'acte de respirer, c'est-à-dire de gonfler les poumons, ne sert qu'à y faire entrer de l'air, enrichi en oxygène, puis à faire sortir de l'air chargé de dioxyde de carbone. Les absorptions d'oxygène et les rejets de dioxyde de carbone, au contact des alvéoles pulmonaires, sont des diffusions de molécules sans relation avec l'acte mécanique de la respiration. Or le fluorocarbure utilisé était inerte, bon solvant des gaz respiratoires, et il s'étalait bien sur les alvéoles pulmonaires, ce qui facilitait les échanges des gaz dissous en grande quantité.

Pendant que diverses équipes cherchaient à utiliser les composés fluorés afin d'obtenir du «sang artificiel», quelques équipes cherchaient à utiliser des fluorocarbures pour véhiculer des médicaments jusqu'aux alvéoles pulmonaires. Comme de nombreux médicaments ne sont pas solubles dans les fluorocarbures, Jean Riess, Marie-Pierre Krafft et Véronique Sadtler, à Nice, ont cherché des émulsions inverses, où l'eau est dispersée dans le fluorocarbure sous la forme de gouttelettes séparées par des molécules tensioactives, avec une extrémité soluble dans l'eau et une extrémité soluble dans le fluorocarbure.

De telles émulsions inverses stables ont été obtenues en mars 1996, grâce à des molécules tensioactives composées d'une longue chaîne constituée seulement d'atomes de carbone et de fluor, liée à une partie rendue très soluble dans l'eau par l'association d'atomes d'oxygène, d'azote et de phosphore. Diverses substances actives (antibiotiques, bronchodilatateurs, corticostéroïdes, agents mucolytiques ou anticancéreux) y ont déjà été incorporées. Les émulsions inverses formées sont aujourd'hui évaluées chez l'animal. □

Sacs gonflables

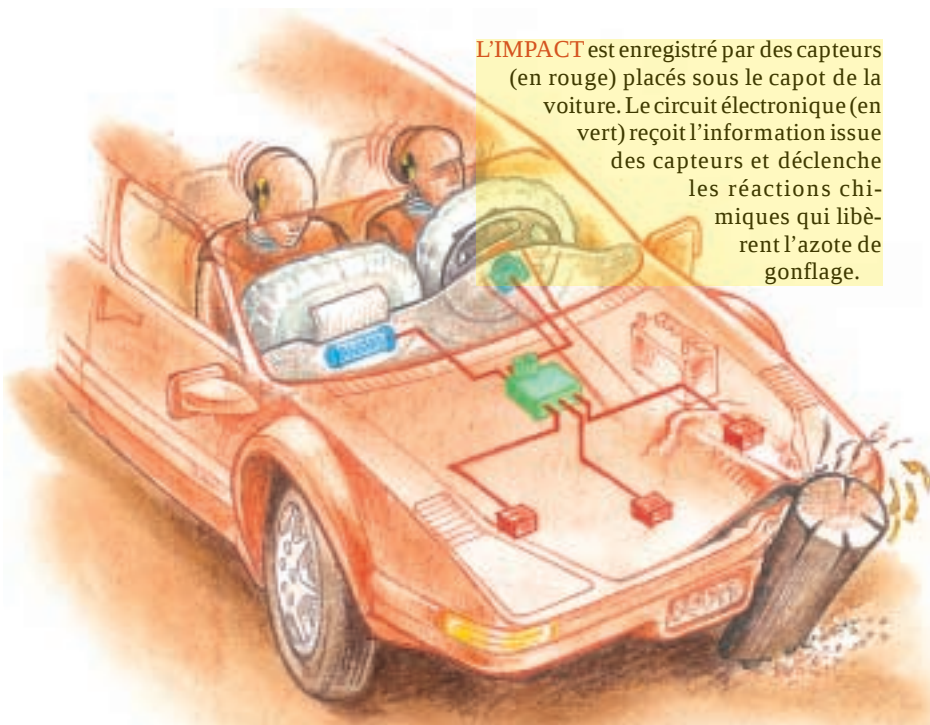
ROBERT RESH

L'idée de protéger les automobilistes des chocs par un coussin gonflable date de la Seconde guerre mondiale. Un premier brevet américain porte sur un «dispositif gonflable pour les atterrissages brutaux».

Les sacs gonflables (*air-bags*) des automobiles incorporent de multiples composants mis au point pendant les vingt dernières années. Toutefois les premiers dispositifs étaient peu fiables et coûteux. La principale difficulté portait sur le stockage et la libération du gaz comprimé. Y avait-il assez de place pour une capsule de gaz comprimé? Pouvait-on maintenir le gaz sous pression pendant toute la durée de vie de la voiture? Comment faire pour qu'il se dilate très vite? Comment assurer une grande fiabilité à toutes températures? Et surtout comment éviter que le bruit de la détonation n'assourdisse les passagers?

La solution est apparue dans les années 1970 : les dispositifs de gonflage à propulseurs solides. Une réaction chimique libère de l'azote chaud dans le sac. Ces dispositifs ont été commercialisés dans les années 1980 sur les voitures de sport américaines.

Aux États-Unis, on évalue à 600 le nombre de vies préservées grâce à ces sacs gonflables, et ce nombre augmentera à mesure qu'un plus grand nombre d'automobiles seront équipées. Les ingénieurs poursuivent les recherches sur des appareils réutilisables, plus petits et assurant une meilleure protection.



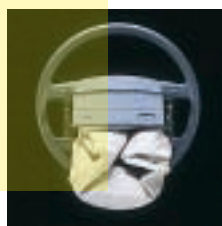
L'IMPACT est enregistré par des capteurs (en rouge) placés sous le capot de la voiture. Le circuit électronique (en vert) reçoit l'information issue des capteurs et déclenche les réactions chimiques qui libèrent l'azote de gonflage.

LES CAPTEURS utilisent soit un interrupteur mécanique qui se ferme quand le déplacement d'une masse établit un contact ou un interrupteur électronique déclenché par un petit accéléromètre disposé sur une puce.

MÉCANIQUE



ÉLECTRONIQUE



25 MILLISECONDES



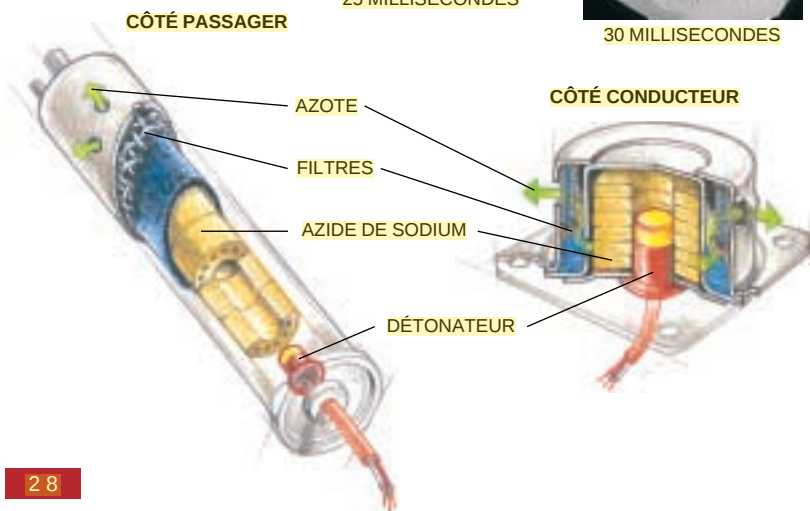
30 MILLISECONDES



40 MILLISECONDES



55 MILLISECONDES



LES GONFLEURS sont constitués d'un détonateur qui enflamme des grains d'azide de sodium et d'oxydant. Ces éléments brûlent dans la boîte métallique produisant une bouffée d'azote chaud. Les particules d'oxyde de sodium sont arrêtées par un filtre. Les dispositifs sont cylindriques du côté passager et en forme de disque du côté conducteur pour tenir au centre du volant.



L'alliance
du sport et de la science est pourtant fructueuse pour les deux partenaires. Les pages suivantes en donnent un aperçu : les sportifs bénéficient des progrès scientifiques, et la science apprend beaucoup en observant les sportifs, de tous niveaux. Les diverses activités sportives offrent un champ d'expérimentation original pour de nombreuses disciplines scientifiques et sont un terrain privilégié d'interdisciplinarité.

**LE SPORT
ET LA SCIENCE
SONT-ILS
COMPATIBLES?**

Aveuglés par la futilité du sport, les chercheurs des sciences «sérieuses» ont peur de se fourvoyer, par une médiatisation qui les cantonnerait dans un domaine non reconnu par leurs confrères. Ils ont l'impression que les recherches sur le sport, dirigées uniquement vers les applications, interdiraient toute avancée des connaissances fondamentales. Du côté des sportifs, entraîneurs et pratiquants, la recherche, parce que mal connue, est souvent perçue comme une perte de temps. Dans bien des cas, le scientifique apparaît comme un concurrent avec lequel on doit partager le pouvoir. Un certain obscurantisme fait même conclure parfois que la science serait préjudiciable à l'entraînement et aux résultats en compétition.

La science étudie surtout des phénomènes reproductibles, créés ou simplement observés. Pour comparer des événements, afin d'en déduire les mécanismes ou de vérifier des hypothèses, les chercheurs mesurent ou règlent le plus précisément possible les paramètres importants. Les sports, grâce aux règles qui les codifient, simplifient et normalisent des activités humaines, qu'elles permettent ainsi d'étudier. Une série de courses de 100 mètres constitue une série d'expériences comparables entre elles : le départ est toujours donné de la même façon, la piste a toujours la même forme, la vitesse du vent est mesurée et la distance parcourue est toujours la même. Les recherches sur la coordination des mouvements, la physiologie de l'effort, l'activité musculaire ou l'élasticité des sols y trouvent de précieuses données.

SPORT ET SCIENCE : UNE ALLIANCE

En outre, la pratique du sport crée des situations extrêmes, physiques, psychologiques ou sociales, plus difficilement accessibles dans d'autres conditions. Des individus soumettent leur corps à des exercices intenses qui les transforment ; on peut créer, afin d'en comprendre les mécanismes, des situations de stress ou de coopération dans des équipes ; la fiabilité de matériaux nouveaux est éprouvée par les fortes contraintes de la compétition.

Comment, en retour, la science profite-t-elle aux sportifs ? Les scientifiques qui comprennent mieux la mécanique du corps humain au cours d'un saut à la perche, l'acquisition des gestes de l'expert en escalade, les mécanismes de l'imagerie mentale ou l'aérodynamisme des coureurs cyclistes autorisent de meilleures pratiques sportives. La recherche fait progresser le sport en améliorant la compréhension de ce qu'il est, et en accroissant le plaisir et le confort de tous les sportifs amateurs, qu'ils essaient de battre leur record personnel au marathon, qu'ils jouent au rugby tous les dimanches entre amis ou qu'ils nagent occasionnellement pendant l'été. La progression des records n'est qu'une conséquence, somme toute mineure.

ROGER BAMBUCK, président du Groupe de recherches sur le sport du CNRS, ancien ministre.

CONTRE NATURE?



Le mythe olympique

Le sport moderne est né à Rome.

La flamme olympique qui brillera à Atlanta du 19 juillet au 4 août prochains a été indûment allumée à Olympie : si le Comité international olympique était fidèle à l'histoire, cette flamme viendrait de Rome. Contrairement à la légende créée par Pierre de Coubertin, fondateur des Jeux olympiques modernes, les précédents antiques au sport contemporain sont en effet plus romains que grecs. C'est seulement à Rome que l'on trouve la conception du sport-spectacle et le rôle parfois démesuré de l'argent dans les compétitions. C'est aussi à Rome que l'on constate l'existence d'organisations structurées semblables à nos grands clubs de football, les factions, qui se distinguaient par leurs couleurs : les Bleus, les Verts, les Blancs et les Rouges. On y criait déjà «Allez les Verts!» (ou plutôt «*præsini felicitare*») des siècles avant que les supporters du club de football de Saint-

Étienne ne reprennent la formule. Les nombreuses sources littéraires, iconographiques et épigraphiques nous informent en détail de ces pratiques.

Les jeux du cirque (*ludi circenses*) ne sont pas les combats de gladiateurs (*munera*) ni les chrétiens jetés aux lions : ce sont, pour l'essentiel, des compétitions hippiques et athlétiques. Elles se disputent dans un édifice approprié, le cirque. Le plus connu est le Grand Cirque de Rome, Circus Maximus, situé dans une vallée, entre les collines du Palatin et de l'Aventin, où auraient été enlevées les Sabines, sous le règne du fondateur, Romulus. Au début de notre ère, sous le règne d'Auguste, le Grand Cirque, de 620 mètres de long et 180 mètres de large, pouvait accueillir 150 000 spectateurs au moins : c'était, jusqu'à l'époque contemporaine, le plus grand édifice de spectacle du monde (la France n'a toujours pas de stade de

100 000 places). Le stade d'Olympie, en revanche, n'a jamais été équipé de gradins pour les spectateurs : on mesure, sur ce critère, la différence de mentalité entre les deux sociétés antiques.

Étant donné la taille de ces monuments et les dépenses nécessaires à leur construction, quelques cirques seulement ont été construits en Gaule romaine, dans les plus grandes villes. À Lyon, on connaît une très belle mosaïque illustrant les jeux du cirque ; à Vienne, la «Pyramide», toujours en place, ornait le mur-barrière situé dans l'axe de l'arène, autour duquel tournaient chars et chevaux. Le cirque d'Arles, édifié au II^e siècle de notre ère sur les bords du Rhône, a été en partie dégagé lors de fouilles récentes. Il est long de 450 mètres, et ses gradins sont entièrement construits sur pilotis de chêne et de pin.



L'un des pugilistes saigne abondamment au cours de ce violent combat de boxe. L'arbitre tient une baguette qui lui sert à séparer les combattants. Cette scène figure sur le pavement du IV^e siècle d'un petit établissement thermal situé près de Gafsa, en Tunisie.