



vent toujours des valeurs décalées par rapport au milieu : inférieures pour les intervalles courts (par exemple, 2 pour l'intervalle 1-5), et supérieures pour les longs intervalles. En fait, le résultat est d'autant plus décalé vers les grands nombres que l'intervalle est grand.

Ainsi, les patients atteints d'hémiparésie ne trouvent pas la juste valeur centrale, car leur système de repérage gauche-droite est défectueux. Il existe bien une autre maladie, l'acalculie pariétale, qui entrave elle aussi la localisation du milieu d'un segment, mais les patients qui en sont atteints éprouvent des difficultés à calculer, ce qui n'est pas le cas des patients hémiparésiques.

Cette étude prouverait que nous nous représentons inconsciemment les nombres sur une ligne orientée de la gauche vers la droite. Selon les psychologues, en utilisant consciemment ce mode de pensée, on exploiterait pleinement les capacités du cerveau en matière de calcul. C'est peut-être en procédant ainsi que certains mathématiciens jonglent si bien avec les nombres.

L'invention de la pierre taillée

Les éclats de pierre produits par les chimpanzés ressemblent à ceux des premiers hominidés.

Les chimpanzés sont les seuls animaux, avec l'homme, à utiliser des outils divers de façon régulière. Dans la forêt africaine, ils se servent de 42 types d'outils pour casser des noix, creuser le sol, aller à la pêche aux termites, chasser les mouches... On étudie leur comportement pour essayer de reconstituer comment nos ancêtres ont inventé leurs premiers outils. Deux archéologues de l'Université Georges Washington, aux États-Unis, et le primatologue Christophe Boesch, de l'Institut Max Planck d'anthropologie évolutive, en Allemagne, sont allés plus loin dans cette démarche : ils ont fouillé un «site archéologique», qui avait été occupé par des chimpanzés pendant plusieurs années. Puis, ils ont comparé les vestiges exhumés à ceux issus de sites archéologiques occupés par des australopithèques, il y a 2,5 millions d'années.

Le site fouillé se trouve dans le Parc national de Taï, en Côte d'Ivoire. Il est au cœur de la forêt tropicale, à l'intérieur de l'un des méandres d'une petite rivière. Là, les chimpanzés cassaient une espèce de noix très dure, nommée *Panda oleosa*. En 1996, à la mort de l'arbre qui fournissait les noix, les chimpanzés ont abandonné le site, mais Ch. Boesch les y avait observés depuis 1975. Les chimpanzés utilisent les racines des arbres comme enclumes et des pierres de 3 à 15 kilogrammes (du granite, de la latérite, de la diorite, du quartz, du feldspath) comme marteau. Ils les ramassent aux alentours, à deux kilomètres à la ronde, puis les rapportent sur leur «lieu de travail». Un chimpanzé casse jusqu'à 100 noix par jour de février à août, et un jeune met sept ans à apprendre cette technique.

Les archéologues ont mis au jour six enclumes, 40 kilogrammes de coquilles de noix et quatre kilogrammes d'éclats de pierre, qui se sont détachés des «marteaux» lithiques lors de leur utilisation répétée. Ils ont comparé ces éclats obtenus par hasard aux pierres intentionnellement taillées par les australopithèques, dans des sites de la Vallée de l'Olduvai, en Tanzanie : ces deux groupes se caractérisent par une gamme de tailles et de paramètres morphologiques similaires. Les différentes sortes d'éclats, classés selon la typologie établie

sur des sites archéologiques classiques, sont présentes en proportions similaires, ainsi que les pierres plates ; la densité des éclats par mètre carré et les dimensions des amas de pierre sont voisines. On en déduit que certains sites archéologiques de l'Olduvai auraient été des sites de cassage de noix. Les australopithèques auraient d'abord utilisé comme outils des éclats de pierre produits accidentellement, puis ils auraient essayé de les reproduire intentionnellement.

Ainsi, les activités des chimpanzés laissent des traces archéologiques détectables, qui devraient permettre d'étudier le développement de la culture des chimpanzés et des hominidés et de répondre à plusieurs questions encore ouvertes : le comportement lié au cassage des noix est-il ancien ? Les chimpanzés et les humains ont-ils hérité d'une culture commune dans ce domaine ou bien l'ont-ils acquise séparément ? Les chimpanzés sont-ils sur le point de tailler leurs premières pierres ?



Dans la forêt de Taï, en Côte d'Ivoire, les chimpanzés cassent des noix (*Panda Oleosa*) avec des pierres.

L'énergie de l'air

Les manchots utilisent l'air de leur système respiratoire et celui que contient leur plumage pour améliorer leur flottaison et leurs performances en plongée.

Friands de poissons, les manchots royaux plongent jusqu'à 300 mètres de profondeur pour capturer leurs proies. Longtemps inaccessibles, les prouesses sous-marines de ces oiseaux sont depuis peu révélées par des appareils enregistreurs miniatures fixés sur ces animaux et qui transmettent des informations sur leur profondeur, leur vitesse ou leurs accélérations. Par exemple, on a récemment découvert qu'en plongée, la température corporelle des manchots royaux diminue dans les organes qui ne sont pas sollicités par la locomotion : ils restent en apnée huit minutes alors que le volume de leurs poumons n'autorise, en théorie, que quatre minutes. L'équipe d'Yvon Le Maho, du Centre d'écologie et de physiologie énergétiques de Strasbourg, en collaboration avec celle de Katsufumi Sato, de l'Institut polaire japonais, a utilisé de tels appareils pour mettre en évidence le déroulement des plongées et pour révéler le rôle de l'air emprisonné dans les poumons et dans le plumage.

Les manchots descendent vers les profondeurs à une vitesse de deux mètres par seconde en battant vigoureusement des ailerons. Ils doivent lutter contre la poussée d'Archimède qui tend à les faire remonter en surface : l'air emmagasiné augmente leur flottaison. À mesure de la descente, la pression de l'eau environnante augmente : le volume de l'air emprisonné diminue, augmentant la densité de l'animal jusqu'à ce que la poussée d'Archimède soit compensée. Au-dessous d'un certain palier, la descente continue passivement sans battement d'ailerons. Les battements ne reprennent qu'au moment de la chasse quand les manchots poursuivent leurs proies.

La chasse terminée ou bien l'oxygène épuisé, les manchots remontent vers la surface. La première partie de cette remontée nécessite des battements pour rejoindre la profondeur où la poussée d'Archimède est suffisante pour qu'ils remontent sans effort, soit environ -135 mètres pour les manchots royaux et -73 mètres pour les manchots Adélie. Au-dessus de cette profondeur critique, l'air qui est resté dans leurs poumons ou qui est emprisonné dans les plumes les aide à remonter sans qu'ils aient à mouvoir leurs ailerons. Si la première partie de la remontée est verticale, la seconde partie de l'ascension – passive – est inclinée, et ils remontent plus len-

tement qu'au début. Ce comportement éviterait les accidents de décompression, qui peuvent se produire quand les plongées sont rapprochées, comme cela a lieu, par exemple, chez les pêcheurs de perles qui plongent en apnée.

Les biologistes ont calculé que, chez les manchots royaux et chez les manchots Adélie, l'air enfermé dans le système respiratoire ou sous le plumage favorise la remontée passive et économise l'énergie des animaux qui, ainsi, peuvent rester plus longtemps immergés que s'ils devaient consommer de l'énergie pour la remontée. Les appareils enregistreurs ont révélé que plus les oiseaux plongent profondément, plus la remontée passive commence tôt (les battements d'ailerons s'arrêtent tôt lors de la remontée) : on peut en déduire qu'ils adaptent la profondeur de leur plongée à la quantité d'air emmagasiné et qui servira à la remontée passive. Ces observations indiquent que les manchots adaptent leur flottaison aux performances requises, c'est-à-dire à la durée et à la profondeur de la plongée en apnée.

Oxygène en orbite

Un satellite d'observation de la magnétosphère a révélé qu'un immense nuage d'atomes ionisés entoure la Terre lors des orages magnétiques.

A chaque tempête solaire, le Soleil pare la chevelure magnétique de la Terre d'une couronne d'oxygène. Le satellite IMAGE, lancé il y a deux ans par la NASA afin d'étudier la magnétosphère terrestre, a été témoin du phénomène et a pris la première photographie complète de cette couronne. L'ampleur du phénomène – la couronne entoure toute la planète – confirme le rôle de l'atmosphère terrestre dans les orages magnétiques.

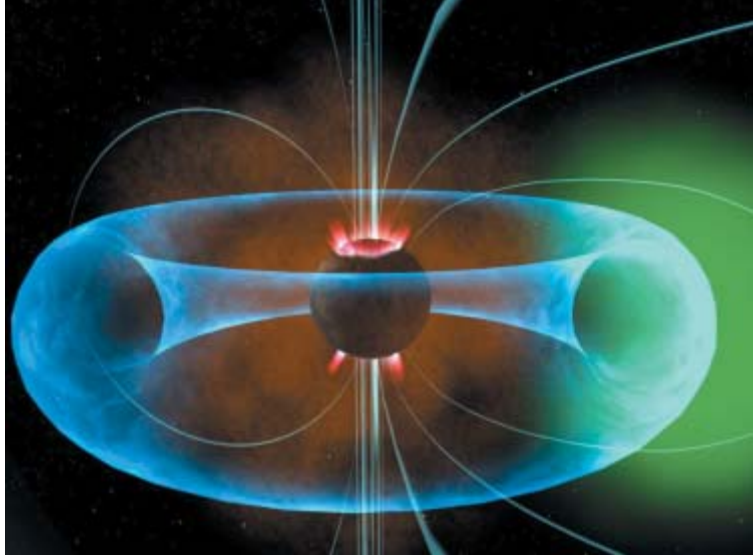
Les atomes d'oxygène concernés, qui proviennent de la plus haute couche de l'atmosphère, l'ionosphère, sont en quelque sorte expulsés de l'atmosphère par le vent solaire, ce flux permanent de particules venant du Soleil et constitué essentiellement d'électrons, de protons et d'atomes d'hélium ionisés. À proximité de la Terre, le vent solaire est dévié par le champ magnétique terrestre et circule en spirale autour des lignes de champ. Quand il pénètre dans l'ionosphère, ce courant de particules chauffe l'atmosphère. Lors d'une tempête solaire, le vent solaire est brusquement plus dense ou plus rapide. L'échauffement est alors si important que des atomes d'oxygène de l'ionosphère sont éjectés dans l'espace.

Une fois éjectés de l'ionosphère, les atomes d'oxygène ne sont plus excités par le courant de particules et n'émettent pas de lumière. Comment peut-on alors les détecter ? Les précédentes sondes embarquées à bord de satellites les récoltaient sur leur passage. Le satellite IMAGE a pu observer le phénomène dans sa globalité en détectant les atomes d'oxygène après leur interaction avec le peu d'atmosphère neutre présente à cette altitude. Dans l'ionosphère, les atomes d'oxygène sont présents sous forme d'ions O^+ . Après leur éjection due au chauffage, ils rencontrent des atomes neutres de l'atmosphère ou des ions du vent solaire. Quand les ions oxygène captent un électron, ils se neutralisent et sont, dès lors, insensibles au champ magnétique terrestre : ils suivent une trajectoire rectiligne. Un satellite rencontre ainsi des atomes neutres d'oxygène qui proviennent de toutes les régions emplies par les ions originaires de l'ionosphère. En analysant les trajectoires des atomes recueillis par IMAGE, les physiciens ont trouvé la région dont ils proviennent et ont cartographié la répartition des atomes : comme le



Nicolas Chatelein

Les manchots adaptent leur flottaison grâce à l'air présent dans leurs poumons et à celui qui est emprisonné dans leur plumage (on voit ici des bulles d'air s'échapper du plumage).



Modélisation, dans la haute atmosphère, des conséquences d'un soubresaut du vent solaire. Le vent solaire, qui s'enroule autour de la Terre, chauffe l'ionosphère au point que des atomes d'oxygène en sont éjectés (la couronne en bleu). Ces atomes diffusent ensuite autour de la planète (en rouge) et font un aller et retour (en vert) en suivant les lignes de champ magnétique (en blanc).

L'algue du ginkgo

La première algue vivant en symbiose avec un végétal supérieur a été découverte : elle a choisi le plus ancien d'entre eux, le Ginkgo biloba.

Le *Ginkgo biloba*, fossile végétal vivant, est le seul survivant de l'ordre des *ginkgoales* qui a atteint son apogée à la fin du Jurassique et au début du Crétacé, il y a quelque 200 à 150 millions d'années. Cet arbre, contemporain des dinosaures, intrigue les botanistes. Ses feuilles bilobées sont en éventail, vestige de son lointain passé. Ses gamètes mâles sont mobiles et attestent d'un mode de reproduction en environnement aqueux, proche de celui des fougères. Il est très résistant aux insectes, à la pollution atmosphérique ou encore aux rayonnements ionisants : à Hiroshima, un ginkgo a résisté à la déflagration du 6 août 1945. Enfin, il dispose d'une exceptionnelle longévité : le plus vieux a 3 000 ans et se trouve au Temple Dinlinsi dans la province de Shandong, en Chine. Qui plus est, Jocelyne Trémouillaux-Guiller (UPRES-EA 2106) à l'Université François Rabelais de Tours, a découvert, dans des cellules de ginkgo, une algue unicellulaire qui vit en symbiose avec son hôte.

Dans le monde végétal, les symbioses sont fréquentes : par exemple, le lichen résulte de l'association d'une algue et d'un champignon. Par ailleurs, *Ginkgo biloba* est connu pour héberger dans ses racines des champignons parasites ou symbiotiques. Cependant, pour la première fois, une algue a été identifiée à l'intérieur des cellules d'un végétal supérieur.

Dans un premier temps, l'examen au microscope électronique de cellules cultivées a révélé que cette algue, d'une taille de trois à cinq micromètres, a un noyau : elle est eucaryote. Ultérieurement, à l'aide d'une autre culture cellulaire de *Ginkgo biloba*, les biologistes ont mis en évidence l'intense prolifération de l'algue à l'intérieur des cellules en voie de nécrose. À mesure de la multiplication de l'algue, les cellules de ginkgo enflent, puis se rompent et libèrent leur contenu d'algues dans le milieu extérieur. La prolifération de l'algue est ainsi liée à la mort des cellules hôtes. On ignore encore le mécanisme qui déclenche la multiplication intense de l'algue. Cultivées en milieu liquide, ces algues sont devenues autonomes et ne nécessitent qu'une source lumineuse pour subsister.

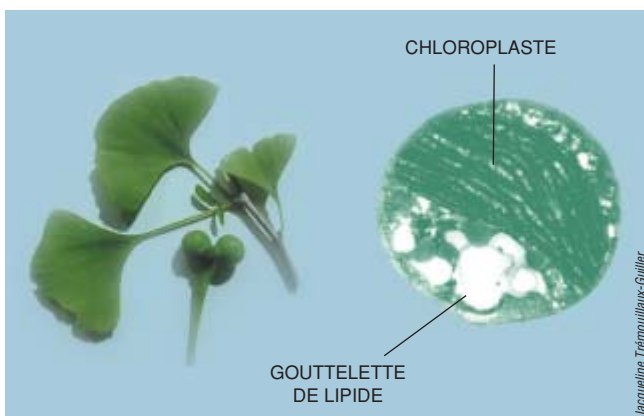
Après avoir découvert la présence de l'algue dans des cultures de cellules de *Ginkgo biloba*, on a détecté l'algue à l'intérieur d'une cellule vivante de ginkgo. Il s'agissait d'une forme mature et de formes immatures. L'algue réside en permanence dans les cellules de son hôte, vraisemblablement sous sa forme la plus immature. Elle n'a alors aucune activité photosynthétique. De plus, étant donné les difficultés que l'on a pour la démasquer, elle n'est sans doute pas présente dans tous les arbres, ni dans toutes les parties de la plante ni dans tous les types cellulaires d'une même zone.

L'étape suivante a consisté à identifier cette algue verte par l'analyse des ARN ribosomiaux. Ainsi, l'endosymbiote appartient à la classe des *Trébouxiphytes*, dont plusieurs membres sont connus pour être des symbiotes d'invertébrés ou de champignons, par exemple. Les analyses moléculaires indiquent une étroite relation phylogénique de l'algue verte découverte avec *Coccomyxa*, une algue unicellulaire présente dans certains lichens. L'association de cette algue avec *Ginkgo biloba* est un nouveau type d'interaction de deux plantes.

Après avoir découvert la présence de l'algue dans des cultures de cellules de *Ginkgo biloba*, on a détecté l'algue à l'intérieur d'une cellule vivante de ginkgo. Il s'agissait d'une forme mature et de formes immatures. L'algue réside en permanence dans les cellules de son hôte, vraisemblablement sous sa forme la plus immature. Elle n'a alors aucune activité photosynthétique. De plus, étant donné les difficultés que l'on a pour la démasquer, elle n'est sans doute pas présente dans tous les arbres, ni dans toutes les parties de la plante ni dans tous les types cellulaires d'une même zone.

L'étape suivante a consisté à identifier cette algue verte par l'analyse des ARN ribosomiaux. Ainsi, l'endosymbiote appartient à la classe des *Trébouxiphytes*, dont plusieurs membres sont connus pour être des symbiotes d'invertébrés ou de champignons, par exemple. Les analyses moléculaires indiquent une étroite relation phylogénique de l'algue verte découverte avec *Coccomyxa*, une algue unicellulaire présente dans certains lichens. L'association de cette algue avec *Ginkgo biloba* est un nouveau type d'interaction de deux plantes.

L'étape suivante a consisté à identifier cette algue verte par l'analyse des ARN ribosomiaux. Ainsi, l'endosymbiote appartient à la classe des *Trébouxiphytes*, dont plusieurs membres sont connus pour être des symbiotes d'invertébrés ou de champignons, par exemple. Les analyses moléculaires indiquent une étroite relation phylogénique de l'algue verte découverte avec *Coccomyxa*, une algue unicellulaire présente dans certains lichens. L'association de cette algue avec *Ginkgo biloba* est un nouveau type d'interaction de deux plantes.



Les cellules du *Ginkgo biloba* (à gauche) hébergent des algues vertes de la famille de *Coccomyxa*. Quand on l'observe au microscope électronique à transmission (à droite), on constate que cette algue (environ trois micromètres de diamètre) contient, dans son cytoplasme, un volumineux chloroplaste (vert plus foncé) et de nombreuses gouttelettes lipidiques (en blanc).