

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.

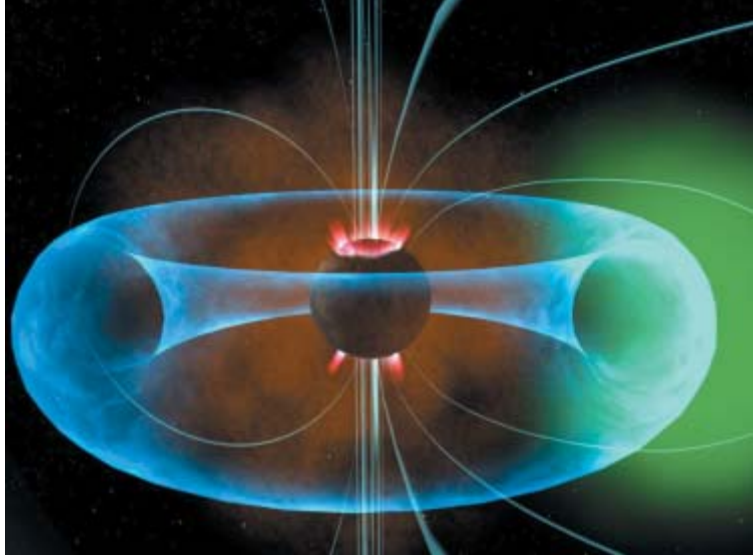
Les atomes d'oxygène concernés, qui proviennent de la plus haute couche de l'atmosphère, l'ionosphère, sont en quelque sorte expulsés de l'atmosphère par le vent solaire, ce flux permanent de particules venant du Soleil et constitué essentiellement d'électrons, de protons et d'atomes d'hélium ionisés. 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 Chatelet

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

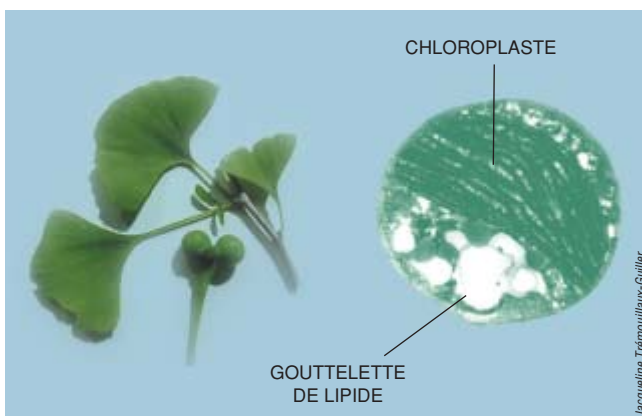
en milieu liquide, ces algues sont devenues autonomes et ne nécessitent qu'une source lumineuse pour subsister.

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.

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).

La sixième désintégration

La découverte d'une sixième forme de radioactivité contribue à l'amélioration de la théorie des noyaux.

Jusqu'à présent, on connaissait cinq formes de radioactivité : la fission (un noyau se partage en deux « sous-noyaux »), la désintégration alpha (un noyau libère une particule alpha, c'est-à-dire un noyau d'hélium), la désintégration bêta (un noyau libère un électron), la radioactivité gamma (un noyau libère un photon gamma) et la désintégration à un proton, découverte au début des années 1980. Ce dernier type correspond au cas d'un noyau instable parce qu'il contient trop de protons ; en émettant un proton, il se transforme en un noyau léger plus stable. Au Grand accélérateur d'ions lourds de Caen, le GANIL, et au Centre de recherche sur les ions lourds de Darmstadt, deux équipes de physiciens viennent de mettre en évidence la désintégration à deux protons. Les deux groupes ont observé l'émission simultanée des deux particules par un noyau instable de fer 45. Ils ajoutent ainsi une forme de radioactivité aux cinq déjà connues.

Les physiciens avaient prédit que ce noyau, qui contient 26 protons et 19 neutrons, devait se désintégrer en libérant deux protons en même temps. Ils ont d'abord exclu le mécanisme qui aurait été la succession de deux désintégrations à un proton, phénomène qui pourrait se confondre avec une désintégration à deux protons. Si un tel scénario en cascade se produisait, le fer 45 deviendrait d'abord du manganèse 44, qui, cédant à son tour un proton, se transformerait en chrome 43. Or, le manganèse 44, trop massif, ne peut être produit à partir du fer 45. Aussi, les physiciens ont-ils tenté d'observer la désintégration du fer 45 en sachant que s'ils détectaient un phénomène, il s'agirait de la désintégration à deux protons.

Pour produire le fer 45, l'équipe du GANIL dirigée par Bertram Blank (IN2P3) a bombardé trois jours durant une cible avec 10^{12} noyaux de nickel 58 par seconde, obtenant ainsi environ un noyau de fer 45 toutes les deux heures... Dirigés vers un détecteur où ils se sont incrustés dans un cristal de silicium, ils y ont « vécus » environ deux millisecondes avant de se désintégrer. Cette durée de vie, si petite soit-elle à notre échelle, suffit à l'observation de l'arrivée du fer 45, puis de sa transformation en chrome 43, laquelle est accompagnée de l'émission de deux protons. Parmi la vingtaine de noyaux créés, seuls 12 ont conduit à des désintégrations « observables ». Ces 12 événements confirment l'existence d'un mode de désintégration qui n'avait pas encore été détecté. Par une méthode indépendante, les physiciens allemands sont arrivés aux mêmes conclusions.

Selon les physiciens, il est vraisemblable que cette nouvelle forme de radioactivité n'aura pas d'application. En revanche, sa

découverte est d'une grande importance pour notre compréhension des phénomènes qui se déroulent dans le noyau. Beaucoup de modèles décrivent la physique du noyau, notamment le modèle en couches (les nucléons sont situés sur des niveaux d'énergies successifs comme l'électron autour de l'atome) ; ils s'appliquent bien aux noyaux stables, situés dans ce que l'on nomme la « vallée de stabilité ». En dehors de cette vallée, le modèle des bosons interagissants suppose que les protons (des fermions) s'associent par paires pour former des pseudoparticules bosoniques (les autres restent disposés sur des couches). Puisque ces paires constituent des bosons, elles peuvent se trouver à plusieurs dans un état physique de même énergie, où elles interagissent. Ainsi, grâce à la formation de paires de protons, le noyau serait stabilisé pour un coût énergétique faible. Dès la découverte de la désintégration à deux protons, les physiciens se sont demandé si les quantités de mouvement des deux protons émis étaient corrélées. Si c'est le cas, cela indiquerait que c'est bien une paire bosonique qui est émise au cours de la désintégration à deux protons, ce qui confirmerait l'existence de telles paires au sein des noyaux et, par là-même, l'intérêt du modèle de bosons interagissants.

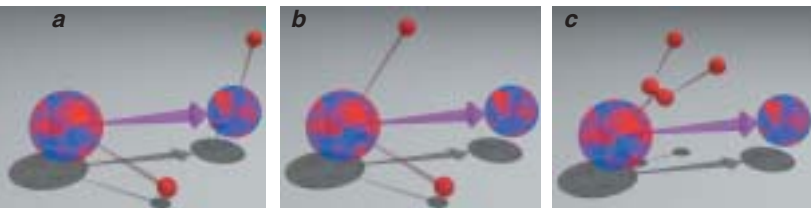
L'hormone du fer

On a découvert l'hormone qui contrôle la quantité de fer dans l'organisme.

La quantité de glucose circulant dans notre sang est maintenue constante, à environ un gramme par litre. Cet équilibre résulte de l'action conjuguée, mais antagoniste, de deux hormones : l'insuline, qui diminue la concentration sanguine en glucose, et le glucagon, qui l'augmente. Cette homéostasie est vitale pour l'organisme et de nombreux éléments font l'objet d'un contrôle aussi rigoureux. C'est le cas du fer, indispensable aux cellules pour certaines réactions enzymatiques et, surtout, pour l'élaboration de l'hémoglobine, une protéine qui transporte l'oxygène dans les globules rouges. L'équipe d'Axel Kahn et de Sophie Vaulont, de l'Institut Cochin à Paris, a identifié l'hormone qui participe à la régulation de la concentration en fer de l'organisme.

L'histoire de cette découverte doit beaucoup au hasard et commence par l'étude du gène *usf2* codant un facteur de transcription (une molécule qui favorise ou, à l'inverse, diminue l'expression des gènes), que l'on supposait spécifique du métabolisme des sucres. Le pancréas et le foie des souris dont ce gène est muté par génie génétique sont marron et attestent ainsi d'une quantité anormalement élevée de fer dans ces organes. Or ces signes cliniques sont aussi ceux de l'hémochromatose, une maladie génétique qui touche 1 Européen sur 300. Ces malades présentent une surcharge en fer, qui cause la dégénérescence de nombreux tissus. L'origine de cette maladie est, dans 80 pour cent des cas, due à une mutation du gène *Hfe-1* qui participe au contrôle de l'absorption intestinale du fer.

Une première hypothèse s'imposait. Outre le métabolisme du glucose, le facteur de transcription *usf2* participe-t-il aussi au métabolisme du fer ? Pour répondre à cette question, les biologistes ont comparé l'expression de divers gènes chez des souris mutées et normales. Ils ont ainsi identifié un gène dont l'expression est très perturbée chez les souris mutantes. Il s'agit du gène codant l'hepcidine, un peptide de 25 acides aminés sécrété par les cellules du foie et connu pour ses propriétés antibactériennes. Or des biologistes, du



L'émission de deux protons par un noyau est possible selon trois mécanismes : deux émissions successives de un proton (a), l'émission simultanée de deux protons indépendants l'un de l'autre (b) ou l'émission d'une paire de protons liés entre eux (c). Le fer 45 se désintègre en chrome 43 par l'un des deux derniers mécanismes, c'est-à-dire par une nouvelle forme de radioactivité : la désintégration à deux protons.