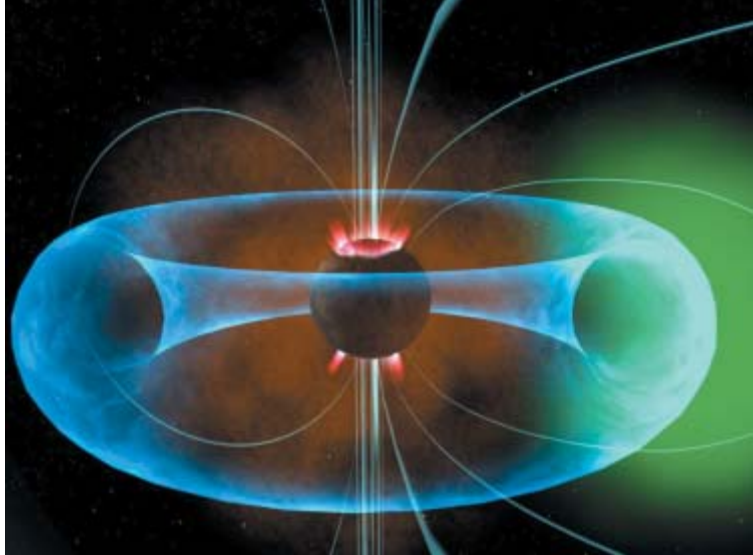




Modélisation, dans la haute atmosphère, des conséquences d'un soubresaut du vent solaire. Le vent solaire, qui s'enroule autour de la Terre, chauffe l'ionosphère au point que des atomes d'oxygène en sont éjectés (la couronne en bleu). Ces atomes diffusent ensuite autour de la planète (en rouge) et font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

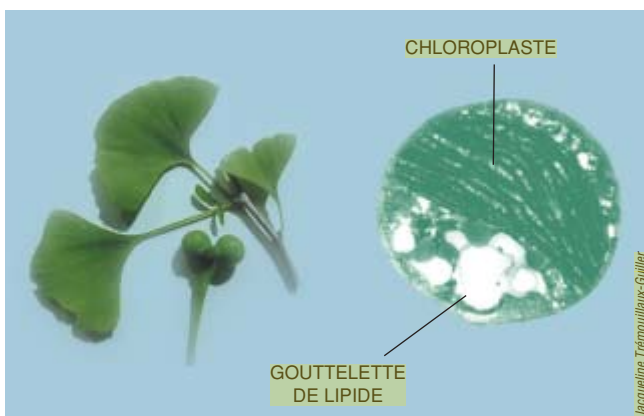
en milieu liquide, ces algues sont devenues autonomes et ne nécessitent qu'une source lumineuse pour subsister.

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.

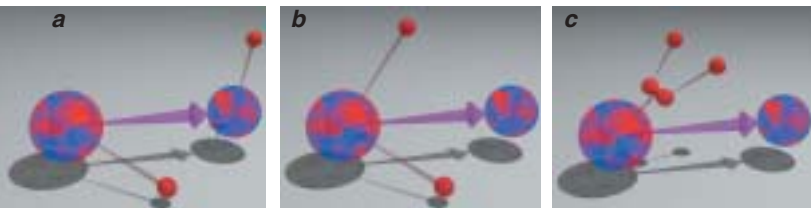
L'hormone du fer

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.