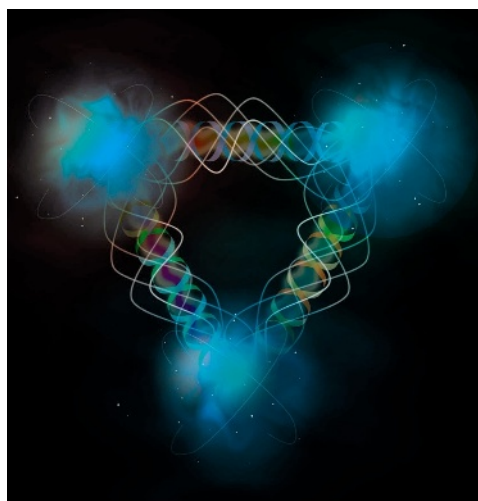


PHYSIQUE

TRIOS D'ATOMES IRRÉGULIERS

L'effet Efimov est un phénomène quantique surprenant : trois atomes identiques se lient de façon stable, là où deux seulement n'auraient pas fait bon ménage. Prédites par le physicien russe Vitaly Efimov en 1970, ces configurations ont été observées expérimentalement à partir de 2006. Une grandeur semblait indépendante de l'espèce atomique considérée : le rayon de l'état fondamental. Cette uniformité est aujourd'hui tempérée par Eric Cornell, de l'université du Colorado, aux États-Unis, et ses collègues, qui viennent de faire une mesure de rayon incompatible avec cette règle d'universalité.

Des forces électromagnétiques s'exercent entre des atomes proches ; leur portée est décrite par la longueur de Van der Waals, propre à chaque élément. Avec deux atomes, la configuration n'est pas forcément stable, mais l'ajout d'un troisième stabilise parfois le système, en formant un triangle équilatéral d'atomes identiques nommé « état d'Efimov ». Comme ce phénomène est de nature quantique, l'ensemble des tailles (ou rayons) des états d'Efimov est discret : ces configurations sont soit dans l'état fondamental – avec un rayon minimal – soit dans un des états excités possibles, plus grands en taille. C'est le rapport de ce rayon minimal par la longueur de Van der



Dans un état d'Efimov, trois atomes identiques se lient de façon stable à très basse température.

Waals des atomes qui semblait universellement proche de 9, comme l'ont confirmé des modèles théoriques. Mais les expériences d'Eric Cornell et ses collègues remettent en question cette universalité. Avec des atomes de potassium ³⁹, ces chercheurs ont obtenu une mesure très précise de ce rapport : environ 14. Une déviation qu'ils ont expliquée par un nouveau modèle plus réaliste. ■

L. G.

R. Chapurin et al., *Physical Review Letters*, vol. 123, article 233402, 2019

BIOPHYSIQUE

L'ARMURE FLEXIBLE DES CHITONS

La nature est une source d'inspiration essentielle pour les ingénieurs : la ventouse ou le Velcro sont des exemples frappants de biomimétisme réussi. Matthew Connors, du MIT (l'institut de technologie du Massachusetts), aux États-Unis, et son équipe ont cette fois étudié les écailles arborées par certains mollusques marins, les chitons, et montré qu'elles leur assuraient une défense contre les prédateurs susceptible d'inspirer des protections pour les humains. Ces animaux disposent d'une carapace articulée constituée de sept ou huit plaques rigides entourée d'une ceinture musculaire. Or cette dernière conjugue deux avantages difficiles à concilier : une forte résistance à la pénétration d'objets piquants ou tranchants, et une grande déformabilité. Une prouesse rendue possible par les écailles, courbées, rigides et coulissantes,



La ceinture musculaire des chitons est tapissée d'écailles rigides coulissantes qui résistent à la pénétration.

mesurant entre 100 et 500 micromètres en hauteur, qui recouvrent la ceinture : un objet pointu glisse sur la surface des écailles et se coince entre elles. ■

L. G.

M. Connors et al., *Nature Communications*, vol. 10, article 5413, 2019

EN BREF

MINI-ACCÉLÉRATEUR DE PARTICULES

Les accélérateurs de particules sont en général très longs, et on cherche à les miniaturiser. Neil Sapiro, de l'université Stanford, aux États-Unis, et ses collègues ont construit un accélérateur de quelques dizaines de micromètres de long à partir d'un bloc de silicium. Les électrons y sont accélérés à une énergie de près de 1 kiloélectronvolt par des impulsions laser infrarouges se faufilant à travers des nanostructures creusées dans le métal. Une énergie modeste en valeur absolue, mais très élevée par rapport à la longueur d'accélération.

Science, vol. 367, pp. 79-83, 2020

TREMBLEMENTS DE MARS

Après que les scientifiques ont détecté des séismes sur la Lune dans les années 1970, c'est au tour de Mars ! Les sismomètres de la mission d'exploration *InSight*, de la Nasa, ont en effet mis en évidence un grand nombre de séismes d'une magnitude jusqu'à 4 – plus de 300 en un peu plus d'un an. L'étude de ces secousses met en évidence des zones géologiquement actives à l'intérieur de la planète et renseigne sur les différentes couches de sa structure interne.

POURQUOI DES BALEINES SI GROSSES ?

La taille des animaux est notamment contrainte par la quantité d'énergie obtenue en se nourrissant. En étudiant le comportement de plus de cent baleines, Jeremy Goldbogen, de l'université Stanford, aux États-Unis, et ses collègues ont montré que la taille considérable de ces mammifères est permise par le peu d'effort que leur demande la capture du krill – abondant et concentré dans l'espace et le temps – par rapport à l'énergie apportée par ces crevettes.

Science, vol. 366, pp. 1367-1372, 2019

LES INTERACTIONS COMPLEXES DE LA TRUFFE SE RÉVÈLENT

La truffe pousse grâce à une symbiose avec un arbre, mais elle serait aussi connectée à d'autres plantes. Ce réseau expliquerait le « brûlé » autour de l'arbre hôte.

En France, la production de la truffe noire du Périgord (*Tuber melanosporum*), un champignon prisé pour son organe charnu et son puissant parfum, n'est que de 10% de ce qu'elle était en 1900. Aujourd'hui, la majorité des truffes sont obtenues par inoculation de plantations d'arbres avec ces champignons. Mais le résultat est souvent incertain. Il y a donc un enjeu crucial à comprendre ce qui favorise la croissance de la truffe. Celle-ci se développe grâce à une symbiose avec un arbre, interaction qui ne semble cependant pas exclusive. En effet, autour de l'arbre hôte, on observe souvent une zone de « brûlé » où les plantes sont moins denses et moins diverses. Pour en comprendre l'origine, Marc-André Selosse, du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, et ses collègues de l'Inrae de Dijon, Montpellier et Nancy, ont étudié comment la truffe établit des relations avec les plantes environnantes.

Les producteurs de truffes ont développé une connaissance empirique des facteurs qui favorisent la croissance de leurs champignons. Par exemple, ils ont constaté que certaines « plantes compagnes » avaient un effet positif sur le développement de la truffe noire. Pour préciser ce rôle, les chercheurs ont étudié, en milieu contrôlé, 140 jeunes chênes verts (*Quercus ilex*), soit seuls, soit encadrés par deux plantes compagnes d'une même espèce (parmi six dans l'étude). La moitié des arbres étaient inoculés avec de la truffe noire. L'équipe a alors suivi la croissance des plantes et du mycélium, les filaments microscopiques de la truffe, dans les différents cas.

La symbiose entre la truffe et l'arbre se fait par l'interaction du mycélium et des racines de l'arbre. La truffe procure de l'azote et du phosphore à l'arbre et se nourrit en retour de la matière organique (des sucres) synthétisée par ce dernier. Quel serait alors le rôle des plantes compagnes ? Une hypothèse déjà avancée est que les truffes parasiteraient les ressources de ces plantes, limitant ainsi leur croissance, ce qui expliquerait en partie le brûlé. Dans une première étude, l'équipe de Marc-André Selosse a montré que le mycélium des truffes



Ce ciste cotonneux (*Cistus albidus*) est en symbiose avec une truffe. Ce dernier interagit aussi avec les plantes voisines. Ce faisant, il les prive d'azote et de phosphore et limite leur croissance. Il se forme une zone pauvre en plantes nommée « brûlé ».



Cette observation au microscope confocal de racines de luzerne révèle la présence de mycélium de truffe (en rouge).

colonise effectivement les racines des plantes du brûlé.

Dans leur milieu contrôlé, les chercheurs ont constaté que, dans les systèmes inoculés avec des truffes, les plantes compagnes ont toujours un rôle positif sur le développement de la truffe, et cela pour toutes les espèces testées (même celles réputées néfastes). Et effectivement, les plantes compagnes se développent moins en présence de ces champignons, qui les priveraient d'azote et de phosphore. Le chêne semble profiter également, de façon indirecte, de ce détournement de ressources.

Par ailleurs, les truffes inhiberaient la germination spontanée de graines apportées par le vent. La combinaison de tous ces effets suffit à expliquer l'origine du brûlé autour de l'arbre hôte. Cependant, les mécanismes précis de l'interaction des truffes avec les plantes compagnes et les graines en germination restent à éclaircir. ■

SEAN BAILLY

L. Schneider-Maunoury et al., *New Phytologist*, 16 novembre 2019 ; E. Taschen et al., *Plants and Soil*, 30 novembre 2019

GÉOSCIENCES

TERRE BOULE DE NEIGE: COMMENT LA VIE A PERSISTÉ

Les conditions très rudes de l'épisode glaciaire survenu sur Terre il y a 650 millions d'années n'ont pas éradiqué la vie. Peut-être grâce aux glaciers.

Une énorme boule de neige... C'était probablement l'apparence de la Terre lors de la glaciation marinoenne, un épisode de refroidissement global qui a débuté il y a environ 650 millions d'années. Durant plus de 10 millions d'années, la température moyenne sur la planète a rarement dépassé les -60°C , et la Terre était presque intégralement recouverte d'une couche de glace dont l'épaisseur atteignait jusqu'à 1 kilomètre. L'eau liquide subsistait principalement sous la forme d'un océan situé sous la banquise. Ce scénario probable présente cependant une énigme: comment la vie, apparue environ 3 milliards d'années plus tôt, a-t-elle pu survivre à cette glaciation? Cet épisode était en effet très peu propice à une concentration de nutriments et de dioxygène dans les océans suffisante au maintien de la vie. Maxwell Lechte, de l'université McGill, au Canada, et ses collègues viennent de proposer une réponse, en analysant des roches qui suggèrent que les glaciers auraient joué localement un rôle dans l'oxygénation des océans.

Depuis que le géologue australien Douglas Mawson a proposé l'hypothèse de la Terre boule de neige dans les années 1950, les scientifiques tentent d'expliquer pourquoi la vie n'a pas été éradiquée par les conditions climatiques extrêmes de cette glaciation planétaire. En effet, à cette époque, la plupart des organismes complexes – des protozoaires unicellulaires et des algues pluricellulaires – avaient besoin de respirer, et donc de dioxygène, pour prospérer. Comment était-ce possible alors que l'eau liquide de l'océan était recouverte d'une couche de glace dont l'épaisseur lui privait des échanges avec l'atmosphère qui assuraient son oxygénation?

Pour le comprendre, Maxwell Lechte et son équipe ont étudié des fragments rocheux datant de la glaciation marinoenne, et provenant de la ligne d'échouage de certains glaciers de l'époque – la frontière entre la zone où le glacier repose sur le socle rocheux continental et celle où sa glace commence à flotter sur l'eau. En analysant la composition chimique de ces roches, les géologues ont montré que certains métaux, tels le fer ou le manganèse, et une terre rare, le cérium, étaient surreprésentés



Une Terre recouverte d'une épaisse couche de glace : c'est ce que propose l'hypothèse de la Terre boule de neige. Reste à expliquer comment la vie aurait perduré malgré ces conditions extrêmes.

700 mètres

C'EST L'ÉPAISSEUR, AU NIVEAU DE L'ÉQUATEUR, DE LA COUCHE DE GLACE QUI RECOUVRAIT LA TERRE DURANT LA GLACIATION MARINOENNE. AMINCIE PAR LA PUISSANCE DU RAYONNEMENT SOLAIRE À CES LATITUDES, QUI SUBLIMAIT SA GLACE DIRECTEMENT EN VAPEUR D'EAU, ELLE RESTAIT CEPENDANT TRÈS ÉPAISSE.

sous des formes oxydées, ce qui témoigne d'un apport local important en dioxygène. En outre, plus les échantillons provenaient de zones éloignées de la ligne d'échouage, plus les formes oxydées y étaient rares. La ligne d'échouage était donc peut-être une véritable « oasis de dioxygène », avec des concentrations de ce gaz dans l'eau localement élevées, qui s'estompaient en une dizaine de kilomètres.

L'origine de ce dioxygène? D'après Maxwell Lechte, il proviendrait des nombreuses petites bulles d'air enfermées dans la neige compactée qui constituait les glaciers. Au niveau des lignes d'échouage, les bulles auraient été libérées dans l'océan liquide à la suite de la fusion de cette glace, due notamment aux frottements du glacier sur le socle rocheux rugueux. Ces oasis auraient-elles favorisé l'explosion des organismes complexes qui a suivi la glaciation? ■

L. G.

M. A. Lechte et al., PNAS, vol. 116(51), pp. 25478-25483, 2019