

Mycoplasma genitalium, qui, pour la première fois, prenait en compte tous les gènes et processus chimiques connus dans un organisme capable de se répliquer. Ce modèle représentait presque tous les aspects de la vie de la cellule, de sa croissance à sa réplication. Cependant, les différentes fonctions cellulaires étaient réparties en 28 modules distincts, chacun modélisé à l'aide de la méthode mathématique la plus appropriée. En d'autres termes, le modèle était plus fin que tous les précédents, mais pas encore au point de prendre en compte la fonction de chaque gène de manière complètement intégrée.

C'est la prouesse que l'équipe de Zaida Luthey-Schulten a réalisée. Dans une première étape, en 2019, elle avait déjà modélisé le réseau de réactions chimiques qui ont lieu dans la cellule minimale Syn3A (c'est-à-dire son métabolisme) en s'appuyant sur les données expérimentales. À présent, elle a produit un modèle cinétique de cette cellule en ajoutant les fonctions des macromolécules : quelque 2 000 réactions liées à l'activité de 251 gènes qui interviennent dans les divers processus régissant la production de chaque protéine à partir de l'ADN.

De plus, le modèle prend en compte la géométrie de la cellule. À partir d'observations en cryotomographie électronique, l'équipe a reproduit la disposition des ribosomes (les unités de production des protéines) dans un modèle tridimensionnel de la bactérie, où elle a ensuite positionné les autres éléments à l'aide de règles de remplissage et d'exclusion.

Finalement, l'équipe a obtenu un modèle dynamique quasi complet de la cellule sur un cycle de vie entier, qui a révélé comment la cellule équilibre les demandes pour son métabolisme, la transcription de son génome et sa croissance. Des améliorations sont encore prévues, notamment pour simuler plusieurs cycles cellulaires d'affilée, mais on n'a jamais été aussi près de comprendre les principes de la vie – au moins de celle d'une cellule minimale. ■

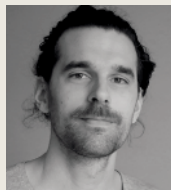
Marie-Neige Cordonnier

Z. R. Thornburg et al., *Cell*, 2022

ÉCOLOGIE

Face à la sécheresse, mieux vaut croître peu et lentement

Les espèces d'arbres tropicaux à croissance lente, plus petits et plus denses, supportent mieux les sécheresses, dont la fréquence augmente avec le réchauffement climatique, nous explique Joannès Guillemot, chercheur en écophysiologie forestière au Cirad, au Brésil.



Propos recueillis par Isabelle Bellin

JOANNÈS
GUILLEMOT
chercheur au Cirad

Les changements induits par l'augmentation du nombre de sécheresses sur les forêts tropicales ont souvent été étudiés. Quelle est l'originalité de votre approche ?

Le point de départ de notre étude a été le travail d'une autre équipe, celle de Nadja Rüger, de l'université de Leipzig, en Allemagne. En 2020, elle a montré que la dynamique d'une forêt tropicale (Barro Colorado Island, au Panama), peut être prédite en considérant deux stratégies écologiques : l'une liée à la vitesse de croissance (les arbres qui se développent vite meurent rapidement), l'autre à la taille (les plus grands arbres se reproduisent peu). Dans un graphique dont les deux axes représentent ces deux stratégies, les espèces peuvent être positionnées en combinant sept caractéristiques, que l'on appelle des « traits fonctionnels » : hauteur de l'arbre, densité du bois, épaisseur et taille des feuilles, masse des graines, concentration en azote et en phosphore. Ce travail a fourni un important outil de prédiction démographique pour les forêts tropicales actuelles, mais il n'a pas abordé la manière dont la dynamique forestière sera affectée par le changement climatique. Dans notre étude, d'une ampleur inédite, nous avons cherché à comprendre si la tolérance à la sécheresse est une dimension indépendante de la démographie des forêts tropicales, ou si elle est associée à ces deux axes de stratégies écologiques.

Comment avez-vous procédé ?

À partir de bases de données qui rassemblent des mesures de traits fonctionnels d'arbres tropicaux sur tous les continents, nous avons retenu 601 espèces pour lesquelles deux traits qui caractérisent particulièrement bien la tolérance à la sécheresse étaient renseignés : le point de perte de turgescence foliaire et la vulnérabilité du xylème (les vaisseaux du bois)

à l'embolie. Le premier caractérise le niveau de stress hydrique pour lequel, pour éviter de perdre de l'eau, l'arbre ferme ses stomates, ces petites bouches d'aération qui permettent les échanges gazeux ; le second trait caractérise le niveau de stress hydrique pour lequel la circulation d'eau entre le sol et les feuilles est interrompue. Pour ces 601 espèces, nous avons ensuite cherché des données sur les sept traits fonctionnels retenus dans l'étude de 2020.

Quels sont vos résultats ?

Nous avons montré que la tolérance à la sécheresse n'est pas une dimension indépendante des autres axes démographiques qui régissent la dynamique des forêts tropicales. Nous avons ainsi fourni un cadre d'interprétation physiologique à une tendance globale déjà observée dans plusieurs forêts : le changement climatique favorise les espèces tropicales les plus petites et à croissance lente. Ces résultats permettent d'imaginer la composition et les formes des forêts tropicales de demain.

Comment utiliser ce résultat pour des projets de reforestation ?

Dans les forêts tropicales, de nombreuses espèces sont encore mal connues. Il serait donc tentant d'utiliser nos résultats pour nous affranchir de la mesure – coûteuse – de tolérance à la sécheresse, et de choisir des espèces utilisées dans les projets de reforestation sur des traits plus faciles à mesurer, comme la densité du bois. Or, bien que nous ayons mis en lumière une corrélation significative entre ces traits à l'échelle mondiale, elle reste trop faible pour garantir que toutes les espèces à croissance lente et forte densité du bois seront fortement tolérantes à la sécheresse. Il est donc important de continuer à caractériser la tolérance à la sécheresse de l'immense diversité des espèces d'arbres tropicaux. ■

J. Guillemot et al., *Global Change Biology*, 2022
N. Rüger et al., *Science*, 2020

PHYSIQUE QUANTIQUE

UN GAZ D'ATOMES ULTRAFROIDS DEVIENT INVISIBLE

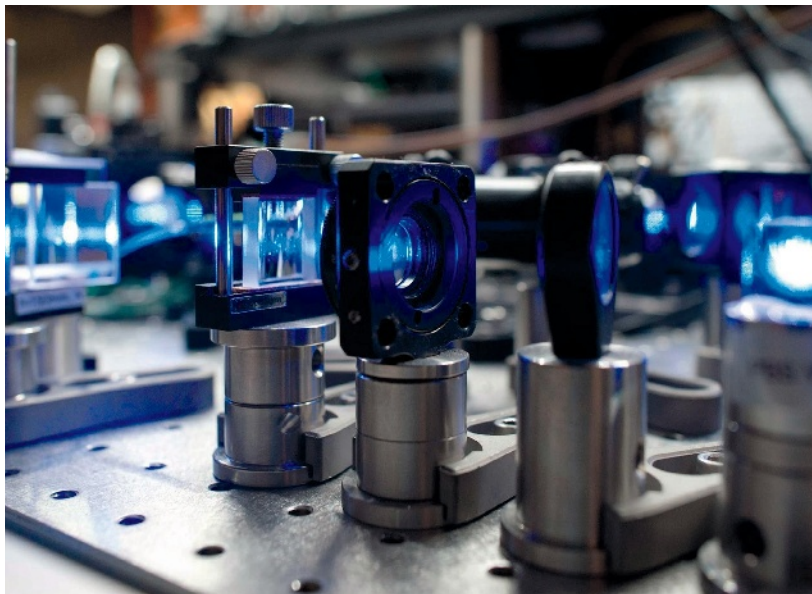
Grâce aux lois de la physique quantique, des chercheurs ont empêché toute diffusion de la lumière sur un gaz de fermions, le rendant de fait totalement transparent.

L'invisibilité, sous toutes ses formes, fascine. Des physiciens ont fait disparaître des gaz d'atomes en les comprimant et les refroidissant. Pour réaliser ce «tour de magie», ils ont utilisé des atomes appartenant à la famille des fermions. Ces derniers ont la particularité de se plier au principe d'exclusion de Pauli, qui stipule que deux fermions identiques (même particule, même état interne, etc.) ne peuvent occuper le même état quantique. Et c'est justement en s'appuyant sur ce principe que les chercheurs ont rendu leur gaz transparent, et donc invisible!

Le principe de Pauli se manifeste dans de nombreuses situations. Par exemple, au sein d'un atome dans son état de plus basse énergie, les électrons remplissent d'abord les couches de plus basses énergies. Dès qu'une orbitale est remplie, les électrons investissent les couches supérieures. Une façon de se représenter cette idée est celle d'une salle de concert où tout le monde voudrait les places les plus proches de la scène, mais où on ne peut s'asseoir que sur une chaise vide.

En 1990, David Pritchard, du MIT, et deux collègues ont imaginé une façon surprenante de mettre en évidence le principe d'exclusion de Pauli. En refroidissant un gaz d'atomes fermioniques à une température proche du zéro absolu, on obtient alors un gaz dit «dégénéré»: les atomes occupent les niveaux d'énergie les plus faibles (les places les plus proches de la scène de concert). Et si, en plus, on comprime le gaz, les atomes vont ressentir fortement les contraintes du principe d'exclusion de Pauli. Quelle conséquence?

Dans des conditions non dégénérées, quand un gaz est éclairé avec de la lumière, les photons (les particules de lumière) sont diffusés dans toutes les directions par les atomes du gaz. C'est cette lumière diffusée qui nous permet de voir le gaz. Lorsqu'un atome diffuse un photon, il subit un mouvement de recul en échangeant de l'énergie et de l'impulsion avec le photon. Mais si le gaz est dans un état dégénéré, les atomes n'ont pas la possibilité de changer d'énergie puisque les états d'énergie voisins sont déjà occupés par d'autres atomes. Toutes les places dans la salle de concert autour de l'atome sont prises. Le gaz



Dans l'expérience menée au laboratoire Jila, aux États-Unis, un laser bleu traverse un ensemble de lentilles avant de pénétrer dans un gaz de strontium ultrafroid. À cause des conditions de densité et de température, les photons ne peuvent interagir avec les atomes et traversent le gaz sans être diffusés.

37 %

AVEC UN GAZ DE LITHIUM 6 À UNE TEMPÉRATURE DE 20 MICROKELVINS ET UNE DENSITÉ DE L'ORDRE DE 10^{15} ATOMES PAR CENTIMÈTRE CUBE, L'ÉQUIPE DE WOLFGANG KETTERLE A CONSTATÉ UNE BAISSSE DE 37 % DE L'INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE DIFFUSÉE.

ne peut donc plus diffuser de photons: ces derniers traversent le gaz sans dévier de leur trajectoire initiale. Le gaz devient ainsi invisible.

Le phénomène n'avait jamais été observé car il est très difficile de comprimer un gaz en le maintenant à basse température. Trois équipes viennent de relever le défi: le groupe de Wolfgang Ketterle, du MIT; Jun Ye, de l'université du Colorado, et ses collègues; Amita Deb et Niels Kjærgaard, de l'université d'Otago, en Nouvelle-Zélande. Tous ont observé une baisse de luminosité comme prévu. «Le résultat d'Amita Deb et Niels Kjærgaard est très élégant, note Hélène Perrin, chercheuse CNRS au Laboratoire de physique des lasers de l'université Sorbonne-Paris-Nord. Les deux chercheurs ont comparé la situation de leur gaz de fermions (potassium 40) avec un gaz de bosons (du rubidium 87). Ils ont constaté dans ce dernier cas une diffusion amplifiée, un résultat aussi prévu par David Pritchard et ses collègues dans leur article de 1990.» ■

Sean Bailly

C. Sanner *et al.*, *Science*, 2021; A. B. Deb et N. Kjærgaard, *ibid.*; Y. Margalit *et al.*, *ibid.*

EN BREF

Quelle épaisseur de glacier ?

Les glaciers fournissent de l'eau potable à de nombreuses populations. Mais l'estimation des volumes disponibles souffrait de fortes incertitudes. Romain Millan, de l'université Grenoble-Alpes, et ses collègues ont utilisé des images satellitaires récentes pour évaluer les vitesses d'écoulement des glaciers, données qu'ils ont reliées au volume. Résultats : les stocks d'eau sont revus à la hausse de 33 % dans certains bassins de l'Himalaya mais à la baisse de 23 % dans les Andes tropicales.

Nature Geoscience, 7 février 2022

Ultraléger et robuste comme l'acier

Les polymères sont de longues molécules constituées de briques de base, des monomères, qui s'assemblent bout à bout. Depuis quelques années, les chimistes ont développé des processus où la croissance opère en deux dimensions. L'équipe de Michael Strano, du MIT, a conçu un matériau dont les plans de polymères s'assemblent en couches superposées connectées par des liaisons hydrogène. Résultat : un matériau six fois plus léger et deux fois plus résistant que l'acier.

Nature, 2 février 2022

Des lumières sur les filets

Un des inconvénients de la pêche avec des filets maillants est le nombre important de captures accidentelles, et les impacts sur l'écosystème. Jesse Senko, de l'université d'État de l'Arizona, et ses collègues ont équipé des filets de LED vertes. Ces dispositifs avaient déjà été utilisés pour éviter la prise des tortues de mer. Les chercheurs ont montré que la capture de requins, par exemple, a diminué de 95 %, sans conséquence sur les opérations de pêche.

Current Biology, 20 janvier 2022

ÉTHOLOGIE

CONVENTIONS NON HUMAINES

Les conventions sociales font partie intégrante de nos vies d'humains. Bien qu'on s'attende à en voir aussi chez tous les animaux sociaux, notamment les autres primates, l'observation de leur apparition chez les non-humains est rare. Néanmoins, Anthony Formaux, de l'université d'Aix-Marseille, et ses collègues ont observé l'émergence d'une convention sociale chez des babouins de Guinée (*Papio papio*).

Les chercheurs ont soumis un problème de coordination à un groupe de 19 babouins de la station de primatologie de Rousset, dans les Bouches-du-Rhône. L'expérience commençait quand deux singes se plaçaient devant deux écrans tactiles voisins : le premier babouin devait choisir un symbole entre deux affichés (parmi plusieurs possibles). Les deux symboles s'affichaient ensuite sur l'écran du deuxième babouin. Si celui-ci touchait le même symbole, les deux singes étaient récompensés ; sinon, la tâche échouait. Dans un premier temps, les singes pouvaient observer ce que faisait leur voisin. Très vite, le score des singes a augmenté. Une hiérarchie entre les stimuli s'est peu à peu dessinée, maximisant les chances de récompense des primates. Pour s'assurer qu'il ne s'agissait pas de simples



Couple de babouins (*Papio papio*) s'occupant d'un petit.

imitations, les chercheurs ont placé une paroi opaque entre les deux écrans. Les scores des babouins sont restés élevés, ce qui montre qu'il s'agit bien d'un apprentissage et non d'une imitation. Grâce à différents tests, les chercheurs ont montré que le comportement des singes était efficace, stable et arbitraire, trois critères nécessaires pour définir une convention sociale. En outre, si deux conventions se développent dans un groupe, les chercheurs ont constaté que celle de la majorité finit par se généraliser. ■

Nicolas Butor

A. Formaux et al., *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2022

CLIMAT

PLACE AUX PETITS POISSONS

Quand l'océan est plus chaud, le dioxygène s'y dissout plus difficilement. Or les grands poissons ont besoin proportionnellement de plus d'oxygène que les petits. Les premiers disparaîtraient alors au profit des seconds. Mais ce remplacement se fait-il par des individus de taille plus modeste de la même espèce ou simplement d'autres espèces ? Arnaud Bertrand, de l'IRD, et ses collègues ont étudié le registre fossile de poissons (notamment leurs vertèbres) dans la région du courant de Humboldt, au large du Pérou, qui est aujourd'hui froid et riche en anchois, mais était 2 °C plus chaud il y a environ 130 000 ans. À l'époque, la taille des espèces était la même qu'aujourd'hui. En revanche, les anchois y étaient minoritaires, l'écosystème était dominé à 60 % par des gobies, des poissons plus petits.



Banc d'anchois (*Engraulis ringens*).

Les modifications climatiques ont donc entraîné un bouleversement des communautés au large du Pérou avec une dominance d'espèces petites adaptées à des conditions hypoxiques. ■

N. B.

R. Salvatelli et al., *Science*, 2022