

L'énergie de l'or

Pour comprendre les propriétés de l'or, notamment sa couleur jaune, il faut prendre en compte des effets relativistes dans le calcul des niveaux d'énergie des électrons. Cependant, cela ne suffit pas pour calculer précisément l'énergie de première ionisation de cet atome, c'est-à-dire l'énergie minimale nécessaire pour en arracher un électron. Peter Schwerdtfeger, de l'université Massey, en Nouvelle-Zélande, et son équipe obtiennent un bon accord entre la théorie et la mesure expérimentale en prenant en compte des interactions impliquant jusqu'à cinq électrons.

Les archées d'Asgard

L'arbre du vivant a trois troncs : les bactéries et les archées sont des microorganismes simples, les eucaryotes peuvent être grands et complexes. Selon certains scénarios, archées et eucaryotes partageraient un ancêtre commun. En 2015, grâce à une analyse métagénomique, Thijs Ettema, de l'université d'Uppsala, et son équipe ont découvert Loki, une archée qui porterait des gènes aussi présents chez les eucaryotes. Par cette méthode indirecte, ces chercheurs ont trouvé trois cousines, qu'ils ont bien sûr nommées Thor, Odin et Heimdall ! Reste à les rencontrer pour confirmer leur génome.

ADN de tortue dans un trou

Sawmill Sink, un trou d'eau des îles Abacos, dans les Bahamas, avait conservé la carapace d'une tortue géante de l'espèce éteinte *Chelonoidis alburyorum*. Surprise : elle contenait encore tout son ADN, dont le séquençage a révélé une parenté avec la tortue d'Argentine *Chelonoidis chilensis* et avec la tortue géante des Galapagos *Chelonoidis vicina*. Les paléogénéticiens en déduisent que les tortues ont immigré aux Caraïbes il y a 13 à 15 millions d'années, donc un peu plus de 10 millions d'années après que leur groupe ancestral des *Geochelone* est arrivé en Amérique en provenance d'Afrique.

Paléontologie

Des œufs de trilobites



© T. A. Hegna et al., Geology, 2017

Ce fossile de trilobite (*Triarthrus eatoni*) présente un groupe d'œufs sur le côté de la tête.

Du Cambrien à la fin du Permien, il y a environ 250 millions d'années, les trilobites ont dominé dans les mers. Avec plus de 18750 espèces décrites, ces arthropodes marins sont bien connus, mais on ignorait tout de leur reproduction. Or Thomas Hegna, de l'université de l'Illinois de l'Ouest, a annoncé la découverte, sur deux fossiles de trilobites vieux d'environ 450 millions d'années, de structures qui seraient des œufs.

Il s'agit de petits corps ovoïdes d'environ 0,16 millimètre de long groupés sur le côté de la tête par paquets de 3 à 9 (voir le cliché ci-contre). Sur les images tomographiques, on ne distingue aucun détail interne ni comment ces corps étaient attachés à la tête, mais on ne peut douter qu'ils l'étaient.

S'agit-il vraiment d'œufs ? Pour les chercheurs, ces formes ovoïdes localisées près de la tête ne peuvent guère être des fossiles de microorganismes, d'excréments ou de quelque passager clandestin. Leur taille correspond par ailleurs à celle constatée généralement sur des œufs d'arthropodes.

Un argument supplémentaire vient de la reproduction des limules, des arthropodes marins en forme de fer à cheval. Ce sont des animaux actuels, mais dont le type existe depuis 500 millions d'années. Or les limules portent leurs œufs non fécondés dans un réseau ovarien situé dans la tête.

F. S.

T. A. Hegna et al., *Geology*, vol. 45, pp. 199-202, 2017

Insolite

L'origine des cercles de fées

Dans le désert du Namib, le sol est constellé de zones circulaires régulièrement distribuées et dépourvues de plantes. Corina Tarnita, de l'université de Princeton, et ses collègues ont proposé une explication. Elle combine deux hypothèses considérées indépendamment jusque-là : la compétition entre des colonies de termites qui mangent les plantes et une compétition entre les plantes pour l'accès à l'eau, rare dans cette région.



© T. Coverdale et J. Gayton, université Princeton

Virologie



Le puissant arsenal de guerre des bactériophages

Char d'assaut, corruption, agents dormants... Les stratégies des virus de bactéries sont bien plus complexes et variées qu'on ne le soupçonnait.

L'ingéniosité des bactériophages, des virus qui n'infectent que les bactéries, n'a pas fini de surprendre. Trois stratégies mises au jour révèlent à quel point ces entités s'apparentent à des machines de guerre bien rodées. La première concerne leur mode de reproduction. Comme tous les virus, les phages se multiplient en détournant la machinerie cellulaire de leurs hôtes. Mais la technique que Vorrapon Chaikeeratisak, de l'université de Californie à San Diego, et ses collègues ont découverte chez un phage des bactéries *Pseudomonas* tient plus du char d'assaut que d'un simple parasitage. En observant l'invasion en détail, les biologistes ont montré que lors de sa réplication, le phage construit un compartiment qui ressemble à un noyau de cellule eucaryote.

Comme dans ces cellules, le compartiment renferme de l'ADN (l'ADN viral) ainsi que les protéines impliquées dans sa réplication et sa transduction en ARN. Les fragments d'ARN sortent alors de la structure et sont traduits en protéines qui serviront à fabriquer l'armature du virus hors du compartiment ou iront renforcer les troupes à l'intérieur. On connaissait des virus

produisant de tels compartiments dans des cellules eucaryotes, mais rien de tel n'avait été décrit chez les bactéries.

Une fois prête, la nouvelle armée de phages détruit la bactérie et se déploie. C'est là qu'intervient la deuxième stratégie. Elhanan Tzipilevich, de l'université hébraïque de Jérusalem, et ses collègues ont mis en évidence un mécanisme par lequel des phages infectent des bactéries qui leur résistaient. En mettant en présence des bactéries *Bacillus subtilis* sensibles à un phage et d'autres résistantes, ils ont montré que lorsqu'une armée de phages s'échappe d'une bactérie sensible, la membrane bactérienne détruite forme de petites vésicules. Or la bactérie doit sa sensibilité à un récepteur sur sa membrane, lequel se retrouve à la surface des vésicules. Lorsque les vésicules rencontrent une bactérie, elles fusionnent avec celle-ci, lui apportant le récepteur qui rend sensible au phage...

La troisième stratégie, elle, optimise la production des armées. Zohar Erez, de l'institut Weizmann, en Israël, et ses collègues ont montré en étudiant plus d'une centaine de phages que ceux-ci communiquent: lorsqu'un phage

infecte une bactérie, il produit un peptide ressemblant à ceux que sécrètent certaines bactéries pour communiquer. Chez les bactéries, la concentration en peptide renseigne chaque individu sur la densité de population de ses proches voisins. Le peptide viral renseigne les phages sur la densité de population de leurs congénères en utilisant les mêmes mécanismes que les peptides bactériens. Plus la concentration en peptide viral est élevée dans une bactérie (signe qu'il y a beaucoup de phages aux alentours), plus le phage qui l'attaque a tendance non pas à développer une armée, mais à insérer son ADN dans le génome bactérien, tel un agent dormant.

Au fil de l'évolution, les bactéries ont développé des défenses contre les inventions de leurs prédateurs. En retour, la sélection naturelle a favorisé chez les phages des stratégies qui les contournent. Dans cette course à la survie, une bactérie infectée et son virus tenteront peut-être un jour de cohabiter, produisant une minuscule cellule à noyau pérenne... Seront-ils les premiers à avoir essayé?

M.-N. C.

Science, vol. 355, pp. 194-197, 2017;
Cell, vol. 168, pp. 186-199, 2017;
Nature, vol. 541, pp. 488-493, 2017

Les bactériophages (ou phages), les virus des bactéries, attaquent leurs hôtes en injectant leur ADN à travers leur membrane. Au fil de l'évolution, ils ont développé de multiples mécanismes qui leur permettent de parer les défenses des bactéries, et dont trois ont été découverts récemment.

Climatologie

Les stocks de carbone au fil du Néolithique



© Christian Anet

Les tourbières (ci-dessus, une tourbière dans les Vosges), nombreuses dans l'hémisphère Nord, sont des pièges à matière organique. Elles constituent l'un des principaux puits de carbone naturels.

L'avènement de l'agriculture au Néolithique a-t-il influé sur le climat? Pas avant 1850, selon Benjamin Stocker, de l'École polytechnique fédérale de Zurich, et ses collègues. Ces chercheurs ont reconstitué le stock de carbone organique accumulé dans l'ensemble des terres émergées et dans les tourbières depuis le début de l'Holocène (les derniers 11 000 ans). Les tourbières constituant l'un des plus grands puits de carbone naturels, une augmentation de leur stock de carbone plus rapide que celle du stock total serait forcément due à une augmentation des émissions atmosphériques de dioxyde de carbone (CO_2).

Les chercheurs ont établi les courbes d'évolution de ces stocks au cours de l'Holocène à

l'aide d'une simulation du cycle du carbone dans l'écosystème et en exploitant les enregistrements climatiques naturels, puis ils les ont comparées à la courbe donnant le taux de CO_2 atmosphérique à travers l'Holocène. Qu'en ressort-il?

Après une rapide augmentation au sortir du Paléolithique, le taux de CO_2 atmosphérique diminue, passant par un minimum vers -7000 avant d'augmenter lentement jusqu'en 1850. Quant au stock de carbone accumulé dans les tourbières, il augmente de plus en plus vite tout au long de l'Holocène, alors qu'après -5000 le stock de carbone accumulé dans l'ensemble des écosystèmes terrestres n'augmente que lentement. Ainsi, après -5000 (âge du Bronze), on doit invoquer une forte émission de carbone dans l'atmosphère

pour expliquer l'augmentation du stockage dans les tourbières. L'émission océanique joue un rôle, mais ne suffit pas.

La différence s'explique-t-elle par l'activité humaine? En partie seulement: quel que soit le modèle de développement de l'agriculture employé, les chercheurs trouvent que les émissions d'origine agricole sont toujours très inférieures au total des émissions de CO_2 à travers tout l'Holocène. Une source manque et reste à trouver. Quoi qu'il en soit, une chose est claire: vers 1850, le taux de CO_2 atmosphérique explose, passant en 150 ans de 200 à 400 parties par millions....

F. S.

B. D. Stocker et al., PNAS, en ligne le 30 janvier 2017

Palais DÉCOUVERTE

les conférences

Entrée libre dans la limite des places disponibles

au Palais de la découverte

**Les mercredis à 19h,
du 1^{er} mars au 31 mai**

Cycle de 9 conférences

La recherche à l'horizon 2037

Depuis 1937, le Palais de la découverte se fait l'écho de la recherche scientifique. À l'occasion de ses 80 ans, il invite des chercheurs à se projeter en 2037. Avec notamment : Ph. Bihouix, J. Bobroff, M.-Ch. Schermann, E. Klein, ...

Mercredi 8 mars à 18h30

Journée de 3 conférences

1937-2037 : un siècle d'émergences technologiques

L'Académie des technologies célèbre les 80 ans du Palais de la découverte en évoquant un siècle d'émergences technologiques répondant à trois grands besoins de l'humanité : se soigner, se nourrir et transporter.

En partenariat avec

programme complet sur palais-decouverte.fr

Avec le soutien de

ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES

SCIENCE

plus

Biologie végétale

Redonner du goût aux tomates

Les sélections et croisements successifs des variétés de tomates se sont accompagnés d'une perte de saveur. L'équipe de Harry Klee, de l'université de Floride, et Sanwen Huang, de l'académie chinoise des sciences agricoles, à Shenzhen, a entrepris une vaste étude pour mettre en évidence différents facteurs en jeu dans la saveur de ce fruit et esquisser des solutions.

À l'aide d'un panel de consommateurs, les chercheurs ont identifié 33 composés qui contribuent à une saveur appréciée. En comparant des variétés modernes et anciennes, ils ont montré que les concentrations de 13 composés volatils associés à la saveur sont réduites dans les variétés modernes. Un séquençage génétique sur près de 400 variétés a permis d'identifier des allèles moins efficaces dans la production de ces composés. De quoi aider à l'amélioration de ce fruit-légume abondamment consommé.

S. B.

D. Tieman et al., Science, vol. 355, pp. 391-394, 2017

Éthologie

Des fourmis bien orientées

Les fourmis ont un système de navigation interne qui leur permet de toujours savoir dans quelle direction et à quelle distance se situe leur nid. Ce système intègre diverses informations telles que la position du Soleil, leur nombre de pas, etc. La mémoire visuelle joue un rôle crucial, mais on la pensait égo-centrée. En d'autres termes, on croyait que pour reconnaître la route qui mène à son nid, une fourmi devait toujours l'aborder avec la même orientation. Mais une équipe menée par Antoine Wystrach, de l'université Paul-Sabatier à Toulouse, en collaboration avec l'université d'Édimbourg, a montré que ces insectes se repèrent dans l'espace quelle que soit l'orientation de leur corps.

Ces chercheurs ont mis à l'épreuve cette capacité à s'orienter dans différentes expériences. Ainsi, des fourmis, « égarées » par les chercheurs ou forcées à rentrer en reculant, usent de différentes stratégies pour retrouver leur trajectoire : explorer les environs pour retrouver des éléments de leur mémoire visuelle, s'appuyer sur des repères dans le ciel. À partir de ce moment, elles sont capables de reconfigurer leur système de navigation pour rentrer, même en marche arrière !

Paco Nérin

L. Schwarz et al., Current Biology, en ligne le 19 janvier 2017

Chimie

Les secrets du gumtion révélés

Au XIX^e siècle, les grands peintres britanniques, tel William Turner, ont adopté certaines innovations techniques. Ils ont, par exemple, utilisé un gel conçu par des chimistes qui donne à la peinture à l'huile des propriétés de structure et de séchage exceptionnelles. Laurence de Viguerie, de l'université Pierre-et-Marie-Curie, et son équipe ont étudié ce matériau, nommé gumtion.

Les chercheurs ont reproduit des gumtions à la façon des maîtres de 1828 à 1839. D'après les recettes historiques, ce gel contient trois ingrédients principaux : du plomb (sous forme de diacétate ou d'oxyde), du mastic (résine de *Pistacia lentiscus*, un arbuste méditerranéen) et une huile végétale siccative (qui sèche en durcissant). Ces préparations présentent des propriétés mécaniques intéressantes, mais c'est lorsqu'on les mélange avec la peinture à l'huile qu'on obtient

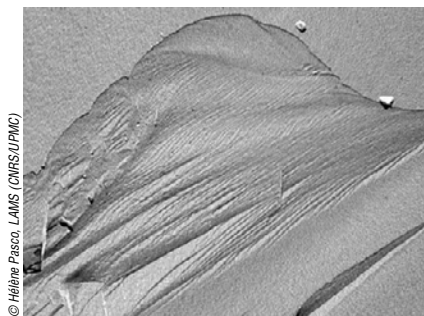
un matériau exceptionnel : un gel très élastique qui conserve sa forme lorsqu'on l'applique sur un support. Le peintre peut alors jouer avec des effets de textures, produire des reliefs par « empâtement », ce qui était particulièrement laborieux sans gumtion, la peinture étant trop fluide.

Les chercheurs ont montré comment une suite de processus chimiques, amorcés par le diacétate de plomb, conduisent à une réticulation du matériau, c'est-à-dire la formation de multiples liaisons entre les chaînes polymériques, qui confère au mélange sa structure gélifiée.

Ce type de médium est encore commercialisé sous l'appellation « médium gel ». Sa composition est proche des recettes du XIX^e siècle, mais le plomb a été remplacé par d'autres métaux, supposés moins toxiques.

Martin Tiano

Angew. Chem. Int. Ed., vol. 56(6), pp. 1619-1623, 2017



© Hélène Pasco, LAMS (CNRS/LIPM)



Le gel, vu au microscope électronique (à gauche). Sa structure lui permet de garder du volume (en blanc, à droite). Ainsi, une goutte de peinture-gel ne s'étaie pas, contrairement à la peinture seule.

Les parasites du loup allemand

En Allemagne, le nombre d'espèces de parasites par individu a crû chez les loups depuis 2000, c'est-à-dire depuis leur arrivée dans les confins allemands et polonais en provenance des pays baltes. Ines Lesniak, de l'institut Leibniz à Berlin, l'a constaté en disséquant au fil des ans 53 cadavres de loups adultes. Cela traduit le fait que la population germano-polonaise de loups a acquis la diversité des parasites des cervidés, animaux qu'elle chasse dans les forêts où elle s'est installée.

Des voyelles chez les babouins

Chez l'homme, le larynx est en position basse, et on a longtemps pensé que c'était la clé de ses facultés vocales sophistiquées – et donc de son langage. Mais l'équipe de Joël Fagot, du CNRS, vient de remettre en cause cette idée en montrant que les babouins, dont le larynx est haut,

produisent au moins cinq sons comparables à des voyelles. Les premiers protolangages sont donc peut-être apparus bien plus tôt qu'on ne le pensait, puisque notre dernier ancêtre commun avec ces singes, qui vivait il y a 25 millions d'années, avait probablement déjà les capacités articulatoires nécessaires.

Suivez les dernières actualités de Pour la Science sur les réseaux sociaux



Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

POINT DE VUE

Les brevets sur les plantes mettent en danger le modèle agricole européen

Si l'Europe décide que les plantes issues des nouvelles biotechnologies ne sont pas des OGM, elle va ouvrir grand ses marchés aux plantes brevetées, favorisant la concentration des industries semencières et les monocultures intensives.

Frédéric THOMAS

Il y a une dizaine d'années, la Commission européenne a nommé un groupe d'experts chargé d'évaluer si les plantes issues d'une nouvelle génération de biotechnologies sont des organismes génétiquement modifiés (OGM) et s'il faut donc encadrer leur mise sur le marché comme telles. Depuis, d'autres techniques, telle CRISPR-Cas, ont rejoint cette nouvelle génération [voir l'encadré page 16], mais la question, elle, n'est toujours pas tranchée.

Derrière ce débat très technique pointe un enjeu social, économique et culturel de taille : sommes-nous prêts à ouvrir nos marchés sans aucun garde-fou aux plantes issues de ces nouvelles technologies qui seront, comme les OGM, des plantes protégées par brevet, produisant les mêmes effets de concentration des marchés et de renforcement des systèmes de monoculture ?

Dans l'état actuel des débats, l'Europe devrait reconnaître que la plupart des plantes issues de ces nouvelles biotechnologies sont des OGM, mais en plaçant ces techniques à l'annexe 1B de la directive européenne 2001/18/CE. Ces plantes seraient ainsi exclues du champ d'application de la directive et seraient mises sur le marché non seulement sans aucune évaluation de leurs risques pour l'environnement et la santé humaine, mais aussi sans aucune régulation juridique. Si l'Europe et la France poursuivent dans cette direction, les plantes protégées par brevets vont déferler

sur nos marchés. Et le système de protection intellectuelle jusqu'ici préféré – l'UPOV, l'Union internationale pour la protection des obtentions végétales – va vite devenir obsolète. Autant de mauvaises nouvelles tant pour la diversité de nos systèmes d'innovation que pour l'accès aux ressources génétiques, la diversité des types de variétés cultivées et la diversité de nos systèmes agraires et alimentaires européens.

Que connaît-on déjà des effets des plantes brevetées sur l'économie des semences ? L'amélioration des plantes a longtemps été un secteur économique très peu concentré avec des petits marchés segmentés, occupés par de nombreuses petites et moyennes entreprises (PME) développant de multiples formes de partenariats avec les instituts de recherche publique et mettant sur le marché

Les traits protégés par des brevets ont vocation à conquérir des marchés de dimension mondiale

des types variétaux relativement diversifiés. Il en a résulté un maintien de la pluralité des systèmes d'innovation et, par conséquent, une relative diversité des variétés proposées sur des marchés de taille moyenne correspondant aux différentes unités agroécologiques et climatiques de chaque pays, de chaque région...

L'arrivée des OGM brevetés a bouleversé cette structuration, car les brevets sont de formidables instruments de concentration. En 2013, une étude du Commissariat général à la stratégie et à la prospective en France a montré que seulement dix grandes firmes multinationales contrôlent 60 % du marché mondial des semences. À l'exception du Français Limagrain, de l'Allemand KWS, du Japonais Sakata et du Danois DLF Trifolium, ces groupes sont tous de l'industrie chimique : les Américains Monsanto, DuPont Pioneer, Dow, Windfield Solution, et les Allemands Bayer et BASF.

Cette récente concentration est le résultat direct du recours aux brevets. Par exemple, tout élément qui constitue une innovation, au sens du droit des brevets, dans une séquence d'ADN ou d'ARN peut être breveté. En pratique, les brevets portent sur des gènes d'intérêt qui sont *a priori* insérables dans n'importe quelle variété d'une même espèce, voire dans plusieurs espèces, surtout lorsqu'il s'agit d'un gène de résistance à un herbicide dont l'efficacité est universelle. Les traits protégés par des brevets ont donc vocation à conquérir des marchés de dimension mondiale. Cette concentration croissante et accélérée a été identifiée en 2013 comme préoccupante par le Comité économique, éthique et social du Haut Conseil des biotechnologies (HCB), car elle met en péril ce qui reste de la diversité de nos systèmes d'innovation et, *in fine*, de la diversité des variétés cultivées.