

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

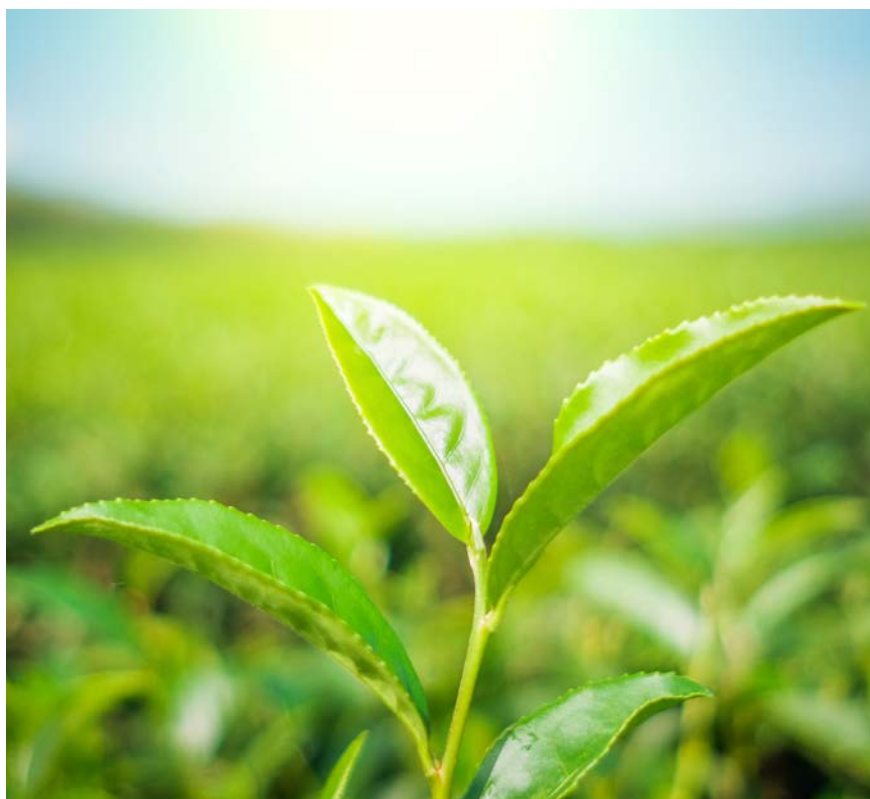
P.20 Agenda

P.22 *Homo sapiens informaticus*

P.24 Questions de confiance

CHIMIE

UNE « PLANTE ARTIFICIELLE » RESPECTUEUSE DE L'ENVIRONNEMENT



De nombreuses équipes dans le monde cherchent à imiter la photosynthèse des plantes et ainsi produire des carburants à partir du CO₂ de l'atmosphère et de l'énergie solaire.

Un dispositif développé au Collège de France utilise la lumière du soleil pour transformer le CO₂ en carburants – à l'aide de matériaux abondants, bon marché et peu polluants.

Face à la crise climatique et aux concentrations toujours plus importantes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, comment produire de l'énergie en limitant l'impact sur l'environnement? Les plantes sont une source d'inspiration inestimable: grâce à la photosynthèse, elles retirent du dioxyde de carbone (CO₂) de l'air et le transforment en matière organique, en utilisant de l'eau et la lumière du soleil. L'idée serait d'imiter artificiellement ce principe pour tendre vers une économie en cycle fermé où le dioxyde de carbone émis dans

l'atmosphère du fait des activités humaines serait capté pour refaire des carburants ou d'autres composés utilisés par l'industrie. Depuis quelques années, les chercheurs ont développé des dispositifs performants, mais ces approches nécessitent souvent des matériaux rares, coûteux et polluants. L'équipe de Marc Fontecave, professeur au Collège de France, vient de développer un nouveau système, peu coûteux, utilisant des matériaux abondants sur la planète et présentant un rendement intéressant.

Chez les plantes, le principe est simple: la lumière solaire sert de source d'énergie et l'eau apporte des électrons

pour convertir le dioxyde de carbone en matière organique, notamment des sucres. Mais comme la chaîne des réactions chimiques sous-jacente est complexe, le rendement de conversion de l'énergie solaire en matière organique est le plus souvent inférieur à 1% pour la plupart des plantes, et atteint 3 à 4% pour les microalgues les plus efficaces.

Dans un dispositif artificiel inspiré des plantes, une cellule solaire convertit l'énergie du soleil en courant électrique. Ce dernier alimente une cellule électrochimique qui oxyde l'eau (et produit du dioxygène et des ions hydrogène) sur une électrode et réduit le dioxyde de carbone sur l'autre. Sur celles-ci, grâce à l'apport d'ions hydrogène et d'électrons, le dioxyde de carbone se transforme en divers composés: monoxyde de carbone, méthanol, méthane, etc.

Les dispositifs existants font appel à des métaux rares, chers et parfois toxiques: des cellules photovoltaïques de silicium dopé avec de l'indium, du gallium et de l'arsenic, par exemple, ou des électrodes en iridium. Or pour développer des «plantes artificielles» à une échelle industrielle, il faut à la fois de bons rendements pour les cellules solaires et les cellules d'électrolyse, mais aussi des matériaux abondants et peu coûteux, tant pour les cellules solaires que pour les électrodes.

C'est le cahier des charges que se sont fixé Marc Fontecave et ses collègues. Ils ont développé un système où les deux électrodes de la cellule électrochimique sont en cuivre et recouvertes d'une couche d'oxyde de cuivre (CuO). Elles peuvent à la fois oxyder l'eau et réduire le CO₂. En outre, le phénomène de transfert de matériau d'une électrode à l'autre que l'on a dans les cellules électrochimiques n'est ici pas un problème, les électrodes étant de même nature. Pour optimiser la circulation des différents composés et les réactions aux électrodes, la surface de ces dernières présente une structure poreuse, avec des cavités de 50 micromètres. De plus, les parois sont nanostructurées avec des dendrites, des petites épines, qui augmentent la surface effective des électrodes.

La réduction du CO₂ en hydrocarbures atteint, dans l'électrolyseur, un rendement de 21% et produit, comme composés majoritaires, de l'éthylène et de l'éthane. En associant ce dispositif à des cellules solaires à pérovskites (à base de dioxyde de titane), qui ont un excellent rapport coût-efficacité, on obtient un rendement énergétique total en hydrocarbures de 2,3%. Un résultat exceptionnel compte tenu des contraintes sur les matériaux utilisés.

C'est un pas important vers le développement de «plantes artificielles» plus respectueuses de l'environnement. «Sur l'échelle TRL de maturité technologique qui va de 1 à 9 (et où 9 correspond à la mise sur le marché), notre dispositif est à un niveau compris entre 3 et 4, ce qui est assez rare dans le monde académique», souligne Marc Fontecave. Des industriels sont déjà intéressés par ce projet. Les chercheurs espèrent encore améliorer leur dispositif. «La clé, c'est le catalyseur, indique Marc Fontecave; en l'optimisant, nous pourrions augmenter le courant (qui contrôle la vitesse des réactions) et le rendement.» ■

SEAN BAILLY

T. H. Huan *et al.*, *PNAS*, en ligne le 27 mars 2019

L'agriculture a favorisé les sons « f » et « v »

On pensait que la diversité phonétique des langues était figée depuis l'apparition de l'homme et la formation de son conduit vocal. De nouveaux travaux montrent que certains sons seraient plus récents et liés à l'émergence de l'agriculture et d'une alimentation plus molle. Dan Dediou a participé à cette étude et nous explique ces résultats.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

DAN DEDIOU
chercheur au laboratoire
Dynamique du langage,
à l'université Lumière,
à Lyon

Comment cette étude a-t-elle commencé ?

En 1985, le linguiste américain Charles Hockett avait observé que les sons « f » et « v » étaient surtout présents chez les populations agricoles et absents chez les chasseurs-cueilleurs. Il n'avait pas à l'époque les outils statistiques pour aller au-delà de la constatation et étudier le lien avec l'alimentation. Nous étions initialement plutôt réservés là-dessus, mais nous avons voulu en savoir plus en utilisant les outils statistiques modernes et maintenant très utilisés en linguistique. Et nous avons effectivement noté une corrélation significative entre l'utilisation des consonnes labiodentales (comme « f » et « v ») et la pratique de l'agriculture. Par exemple, ces sons sont presque inexistantes chez des populations qui avaient jusqu'à récemment un mode de vie de chasseurs-cueilleurs, comme en Afrique du Sud, en Australie ou au Groenland.

Quel serait le rôle de l'alimentation sur la prononciation des consonnes labiodentales ?

Le développement de l'agriculture a conduit à une alimentation transformée et plus molle. Par exemple, du pain nécessite beaucoup moins de mastication que des racines. On observe une forte usure des dents chez les chasseurs-cueilleurs. Cela a une conséquence sur le positionnement des incisives. Chez tous les enfants, les incisives du haut sont un peu en avant des dents du bas, ce que l'on retrouve chez les adultes des populations pratiquant l'agriculture. Mais chez les chasseurs-cueilleurs adultes, divers mécanismes compensent l'usure, et ils se retrouvent avec des incisives du haut alignées sur celles du bas. Cela influe sur la prononciation de certains sons.

Comment avez-vous confirmé ce scénario ?

Nous avons développé un modèle biomécanique des structures orofaciales et des muscles en utilisant une plateforme de modélisation nommée ArtiSynth. Nous avons comparé l'effort à fournir pour prononcer une consonne labiodentale quand les incisives se touchent ou non. La force musculaire nécessaire s'est révélée 29 % plus faible quand les incisives sont décalées. Dès lors, l'utilisation de ces sons chez les chasseurs-cueilleurs semble moins probable que chez ceux pratiquant l'agriculture.

Vous avez aussi effectué une analyse des parentés linguistiques ; avec quels résultats ?

Nous avons analysé l'émergence des consonnes labiodentales au cours de l'histoire des langues indo-européennes. Cette famille a l'avantage d'être très diversifiée et géographiquement étendue. En outre, son évolution est relativement bien comprise et documentée. Nous avons construit un arbre de parenté probabiliste des sons dans les langues de cette famille. Compte tenu des incertitudes, nous montrons que les consonnes labiodentales ont commencé à apparaître il y a entre 3 500 et 6 000 ans et que leur fréquence a rapidement augmenté il y a 2 500 ans. Une évolution cohérente avec celle de l'agriculture et de la généralisation de la nourriture transformée dans cette aire géographique.

Que conclure sur la diversité phonétique des langues ?

Notre étude pluridisciplinaire suggère fortement que cette diversité n'est pas apparue et ne s'est pas figée lors de l'émergence de *Homo sapiens* il y a 300 000 ans. Elle a évolué et, chose étonnante, pour une raison non pas génétique, mais culturelle : la naissance de l'agriculture, qui a entraîné un changement de nature morphologique, portant sur la disposition des dents. ■

D. E. Blasi *et al.*, *Science*, vol. 363, article eaav3218, 2019

BIOLOGIE ANIMALE

L'ÉTONNANTE REPRODUCTION D'UN NÉMATODE

Chez le ver rond *Mesorhabditis belari*, la reproduction sexuée est rare et ne donne que des mâles. Et la parthénogenèse, qui produit des clones de la mère, exige tout de même un mâle.

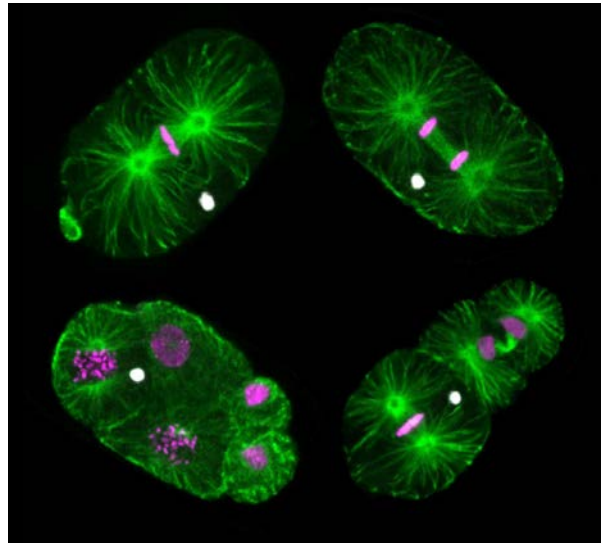
La reproduction de ces petits vers ronds vivant dans les sols intriguait déjà dans les années 1920. À l'époque, les biologistes avaient remarqué que le nématode *Mesorhabditis belari* avait la capacité d'utiliser ou non le matériel génétique des mâles pour se reproduire : une double reproduction, sexuée ou asexuée. Cependant, leurs observations n'avaient pas mis en évidence à quel point la reproduction de cette espèce est spéciale. L'équipe de Marie Delattre, de l'université de Lyon, vient en effet de montrer que chez ce nématode, non seulement les deux modes de reproduction coexistent, mais, tandis que la parthénogenèse produit des femelles, clones de leurs mères, la reproduction sexuée, elle, ne produit que des mâles. Encore plus intrigant, la parthénogenèse ne peut avoir lieu qu'après une fécondation : les mâles sont donc nécessaires pour produire les clones maternels, mais leur ADN n'est pas utilisé.

« D'autres espèces, comme certains poissons, présentent aussi une parthénogenèse dite sperme-dépendante, explique Marie Delattre. Mais ces espèces ne produisent pas de mâles, ou ceux-ci sont infertiles. La fécondation est alors assurée par des mâles d'espèces voisines. » La grande nouveauté est donc d'avoir trouvé dans un tel mécanisme l'implication de mâles fertiles de la même espèce.

Par des expériences d'imagerie sur un grand nombre de nématodes, les chercheurs ont précisé les mécanismes en jeu. Dans le cas où l'ADN masculin n'est pas utilisé pour former l'embryon, la fécondation reste indispensable car le spermatozoïde apporte un centrosome, une structure de la cellule qui permet à un réseau de microtubules de se former. Ce réseau de « rails cellulaires » est nécessaire aux divisions cellulaires successives qui vont former l'œuf. « Le fait que l'ovule ait besoin de l'apport des centrosomes des mâles constitue une contrainte pour garder les mâles », note Marie Delattre.

Le spermatozoïde déclenche aussi la dernière étape de la méiose de l'ovule comme dans le cas général, mais cette dernière est incomplète : l'ovule reste diploïde (avec deux exemplaires de chaque chromosome), au lieu de se

Images d'embryons du nématode *Mesorhabditis belari* à différentes étapes des divisions cellulaires. Le cytosquelette est coloré en vert, l'ADN de la mère en rose. L'ADN du père (en blanc) n'est pas intégré aux noyaux des cellules de l'embryon.



9 %

C'EST LA PROPORTION DE MÂLES DANS LA POPULATION DES NÉMATODES EN QUESTION. UN MODÈLE ISSU DE LA THÉORIE DES JEUX A MONTRÉ AUX CHERCHEURS QUE C'EST LE RAPPORT MÂLES-FEMELLES OPTIMAL POUR QU'IL Y AIT ASSEZ DE « FILS » DE FAÇON À FÉCONDER TOUTES LES « FILLES » D'UNE FEMELLE FONDATRICE.

scinder en deux et d'accueillir l'ADN du spermatozoïde.

Étonnamment, les individus issus d'une « vraie » fécondation, avec mélange des ADN parentaux, sont tous mâles, car ils héritent d'un spermatozoïde portant le chromosome Y. *In fine*, la proportion de mâles est de 9% dans la population de ces nématodes. Les chercheurs ont montré que ce rapport mâles-femelles permet à l'espèce de ne pas avoir à chercher de mâles parmi d'autres espèces pour la parthénogenèse sperme-dépendante, ce qui mettrait les femelles en concurrence avec celles d'autres espèces.

Les chercheurs essaient maintenant de comprendre comment l'espèce est passée d'une reproduction sexuée classique, dont la présence a été démontrée chez l'ancêtre de ce nématode, à ce mode de reproduction. La parthénogenèse est-elle venue contrebalancer le biais de la reproduction sexuée en faveur de la production d'une descendance mâle ou, à l'inverse, est-elle apparue avant ce biais ? Par ailleurs, on considère souvent la stratégie parthénogénétique comme de court terme. La dynamique du génome de cette espèce, sans brassage génétique, est-elle compatible avec un maintien sur le long terme ? ■

NOËLLE GUILLON

A. A. Chiarenza et al., *Nature Communications*, vol. 10, article 1091, 2019

MÉTHANE SUR MARS CONFIRMÉ

Depuis les premiers indices de la présence de méthane dans l'atmosphère martienne, obtenus en 2004, la fiabilité de ces mesures difficiles était discutée. Grâce à une nouvelle analyse des données de la sonde *Mars Express*, Marco Giuranna, de l'institut italien d'astrophysique, à Rome, et ses collègues ont confirmé de façon indépendante la mesure, en juin 2013, d'un pic de méthane par le rover *Curiosity*. Reste à comprendre d'où vient ce gaz.

L'ARMÉE DE TERRE... CUITE ET SES ARMES

Dans le mausolée de l'empereur Qin, l'armée de terre cuite veille. Protégées par une couche micrométrique de chrome, les armes de bronze n'ont pas subi de corrosion en plus de deux mille ans. On a longtemps pensé qu'il s'agissait d'une technique des artisans chinois contre la corrosion. En analysant la répartition du chrome sur les armes, Marcos Martínón-Torres, de l'université de Cambridge, et ses collègues suggèrent qu'il s'agirait plutôt d'une contamination involontaire du métal contenu dans la laque utilisée sur d'autres parties des statues.

CHLOROPHYLLE SANS PHOTOSYNTHESE

Les apicomplexés sont des parasites unicellulaires, à l'instar des agents du paludisme ou de la toxoplasmose. Mais, comme leurs ancêtres tiraient leur énergie de la photosynthèse, comment ces organismes ont-ils évolué vers le parasitisme ? L'équipe de Patrick Keeling, de l'université de la Colombie-Britannique, au Canada, a découvert des apicomplexés présents dans 70 % des coraux marins, les corallacolidés, qui donnent un élément de réponse. Ces parasites présentent encore les gènes nécessaires à la synthèse de la chlorophylle, mais pas ceux codant les protéines liées à la photosynthèse.

PAS DE DÉCLIN CHEZ LES DINOS

L'extinction brutale des dinosaures s'est produite il y a environ 66 millions d'années, à la suite de l'impact d'un astéroïde géant. Mais certains chercheurs estiment toutefois que ces animaux étaient déjà en déclin avant leur disparition soudaine, déclin qui serait lié aux importants changements climatiques qui ont marqué les derniers millions d'années de règne des dinosaures. Dans une nouvelle étude, l'équipe d'Alfio Alessandro Chiarenza, de l'Imperial College, à Londres, suggère que le scénario du déclin serait erroné.

L'hypothèse du lent crépuscule des dinosaures s'appuie en partie sur les archives fossiles disponibles en Amérique du Nord ainsi que sur des modèles mathématiques qui indiquent un appauvrissement de la diversité des espèces lors du Crétacé tardif.

Il faut noter que le registre fossile est principalement localisé dans la partie occidentale du continent nord-américain, où les conditions étaient propices à la fossilisation du fait d'une grande abondance de sédiments. Ces derniers permettent un enfouissement rapide des cadavres. Pour ne pas se limiter aux seules informations du registre fossile, Alfio Alessandro Chiarenza et ses collègues ont utilisé la méthode dite de modélisation des niches écologiques. Ils



Que s'est-il passé avant la catastrophe de la fin du Crétacé : déclin des dinosaures ou fossilisation plus difficile ?

ont déterminé les conditions environnementales, telles que les températures et le volume des précipitations, dont a besoin chaque espèce de dinosaure pour survivre. Puis, en utilisant des modèles qui reconstituent le climat passé sur le continent nord-américain, ils ont cartographié les habitats remplissant les critères des niches écologiques de chaque espèce. Ils ont montré que ces habitats étaient nombreux en Amérique du Nord à la fin du Crétacé, mais qu'ils correspondaient à des régions peu propices à la fossilisation. Cela expliquerait la baisse du nombre de fossiles, attribuée à tort à un déclin. ■

WILLIAM ROWE-PIRRA

A. A. Chiarenza et al., *Nature Communications*, vol. 10, article 1091, 2019

DES NEURONES SE CRÉENT À TOUT ÂGE

Vous avez plus de 85 ans ? Pas de problème. Vous pouvez encore fabriquer des neurones frais comme des nouveau-nés. Et ce, dans une région de votre cerveau essentielle au fonctionnement de la mémoire et du repérage dans l'espace, l'hippocampe. Elena Moreno-Jiménez, de l'université autonome de Madrid, et ses collègues ont analysé des échantillons de cerveaux *post mortem* chez des sujets âgés de 43 à 87 ans, en repérant la formation des jeunes neurones grâce à un procédé qui traque une protéine exprimée uniquement par les neurones immatures. Résultat : des milliers de neurones nouveau-nés détectés dans le cerveau... des personnes âgées.

En utilisant la même méthode sur le cerveau de patients décédés et atteints de la

maladie d'Alzheimer, l'équipe espagnole a constaté que la production de nouveaux neurones dans l'hippocampe était très réduite, pour ne pas dire absente. Autrement dit, les difficultés de mémoire, de plasticité cognitive ou de repérage dans l'espace pourraient résulter de cette panne de production. Celle-ci semble intervenir alors même que les fameuses plaques amyloïdes, qui font tant de mal aux neurones existants, ne sont pas encore très répandues. La baisse de production serait un facteur à prendre au sérieux pour expliquer le développement de la maladie. Et une piste thérapeutique efficace pourrait consister à relancer le processus. ■

SÉBASTIEN BOHLER

E. P. Moreno-Jiménez et al., *Nature Medicine*, en ligne le 25 mars 2019

EN IMAGE

DES PHASMES GÉANTS QUI SE VOIENT BIEN

Les phasmes, ces insectes dont la forme fait penser à une brindille, à une ronce ou à une écorce sont à l'évidence des as du camouflage. Aussi, la description par l'équipe de Frank Glaw, de la Collection zoologique de la Bavière, à Munich, de deux nouvelles espèces malgaches, *Achrioptera manga* et *Achrioptera maroloko*, ne passe pas inaperçue: non seulement ces deux phasmes mesurent plus de 20 centimètres de long, ce qui les range parmi les insectes les plus grands, mais leurs mâles, loin d'être camouflés, arborent des couleurs vives.

Les mâles de ces deux espèces particulières d'*Achrioptera* – le genre contient une douzaine d'espèces, toutes africaines – que sont *A. manga* et *A. maroloko* ne font clairement pas appel au camouflage: les premiers sont d'un bleu intense et ont du jaune sur leurs pattes (*en haut*), tandis que les seconds attirent l'œil par leur corps jaune assorti d'ailes noires (*ci-contre*). Dès lors, comment échappent-ils aux oiseaux et autres insectivores?

Frank Glaw propose une explication évolutive. Comme cela se rencontre par exemple chez certaines grenouilles sud-américaines, les très vives couleurs des mâles de ces deux espèces de phasme pourraient signifier: «Attention, je suis hautement toxique!» On parle dans ce cas d'aposématisme. L'une des possibilités est que les lignées d'*A. manga* et d'*A. maroloko* ont évolué de telle façon que les mâles auraient peu à peu acquis une immunité aux poisons contenus dans des plantes qu'ils consomment, poisons qui déclencheraient leur coloration. Les femelles de ces deux espèces, qui, en revanche, sont restées naturellement camouflées, pourraient avoir sélectionné cette défense antiprédateur particulière en préférant systématiquement s'accoupler à des mâles colorés. Un cas possible, donc, de femelles préférant les mâles toxiques... enfin, pour d'autres! ■

FRANÇOIS SAVATIER

F. Glaw et al., *Frontiers in Ecology and Evolution*, en ligne le 2 avril 2019



© F. Glaw

