



P.74

HISTOIRE DES SCIENCES

**LE MONDE SELON
JACQUES DEVAULX**

Élisabeth Hébert

En 1583, un jeune pilote et cartographe rassembla, dans un magnifique manuscrit enluminé, toute la science de la « navigation aux étoiles » de son temps, de l'art de se repérer en mer aux cartes les plus récentes du monde.

À LA
UNE

P.26

GÉNÉTIQUE

MALADIES, PATERNITÉ, ORIGINES ETHNIQUES FAUT-IL SE FIER AUX TESTS GÉNÉTIQUES?

Catherine Bourgain, Audrey Sabbagh et Mauro Turrini



Crachez dans le tube et renvoyez le kit au laboratoire, nous vous révélerons ce que votre ADN dit de vous. Ainsi vantés par les entreprises qui les vendent, les tests génétiques paraissent simples et fiables. Pourtant...

RENDEZ-VOUS

P.80

**LOGIQUE & CALCUL
AU-DELÀ DU BITCOIN**

Jean-Paul Delahaye

L'idée des cryptomonnaies, concrétisée pour la première fois avec le bitcoin, a donné naissance à une industrie foisonnante et variée, qui propose nombre d'améliorations.



P.86

ART & SCIENCE

**Le colibri,
les dents de la guerre**

Loïc Mangin

P.88

IDÉES DE PHYSIQUE

Des salles qui résonnent

*Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik*

P.92

**CHRONIQUES
DE L'ÉVOLUTION**

**Comment une blatte
devient zombie**

Hervé Le Guyader

P.96

SCIENCE & GASTRONOMIE

**Quatre goûts
successifs et plus**

Hervé This

P.98

À PICORER

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

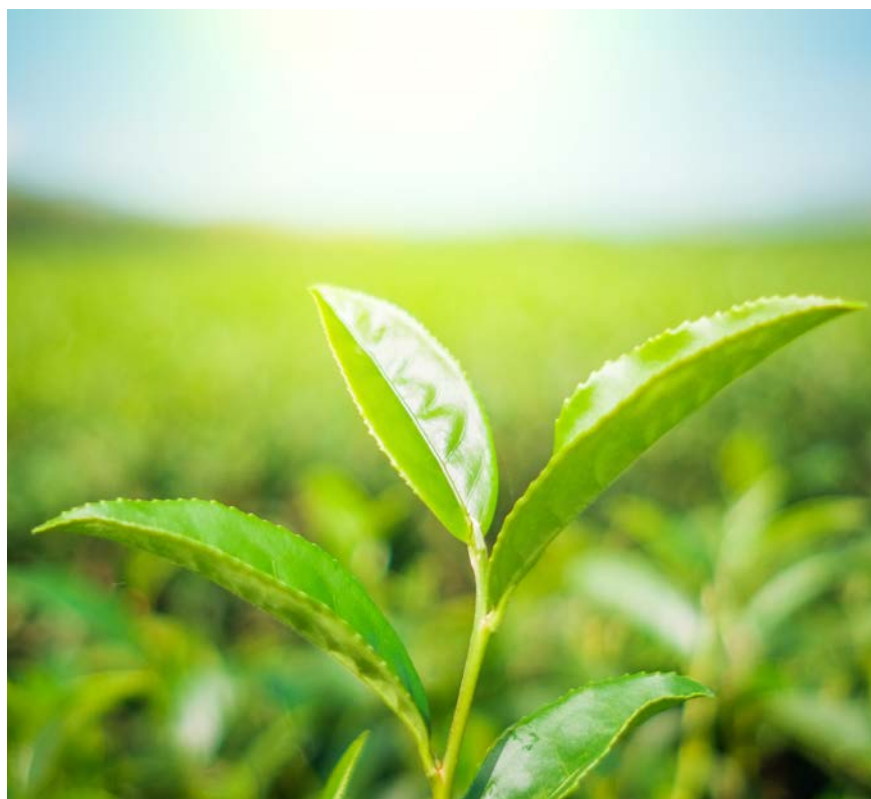
P.20 Agenda

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 Dediu a participé à cette étude et nous explique ces résultats.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

DAN DEDIU
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