

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

P.20 Agenda

P.22 *Homo sapiens informaticus*

P.24 Cabinet de curiosités
sociologiques

PALÉOANTHROPOLOGIE

LE FÉMUR QUI PRÉCISE L'ÉVOLUTION DES NÉANDERTALIENS



Le fossile HST est une diaphyse de fémur découverte en 1937, qui contenait encore de l'ADN néandertalien.

L'ADN mitochondrial contenu dans un fémur néandertalien invite à réécrire l'histoire de la colonisation de l'Eurasie et du métissage entre Néandertaliens et hommes modernes.

L'équipe de Cosimo Posth, de l'institut Max-Planck pour l'histoire humaine de Tübingen, a séquencé le génome mitochondrial d'un fémur néandertalien nommé HST parce qu'il a été découvert en 1937 dans la grotte de Hohenstein-Stadel dans le pays souabe. Le résultat l'amène à proposer un cadre chronologique au scénario de la constitution de la population néandertalienne et de son métissage avec *Homo sapiens*.

Les mitochondries sont les organites produisant l'énergie de nos cellules. Elles ont un génome transmis uniquement par

la mère, de sorte qu'elles servent à retracer les lignées féminines et à dater leurs divergences. Les mutations s'accumulent en effet dans l'ADNmt (l'ADN mitochondrial) avec un taux prévisible, ce qui permet d'estimer la durée écoulée depuis l'ancêtre commun de deux individus.

C'est en appliquant une méthode comparable que les auteurs de précédentes recherches ont établi à partir des mutations accumulées dans le chromosome Y (le chromosome sexuel masculin) et d'autres parties du génome nucléaire (le génome contenu dans le noyau cellulaire) que la divergence

neanderthalensis-sapiens s'est produite il y a entre 765 000 et 550 000 ans.

Toutefois, lorsqu'on fait le même exercice à partir de l'ADNmt, on aboutit à une divergence *neanderthalensis-sapiens* il y a 400 000 ans environ (au plus 470 000 ans). On constate en outre que l'ADNmt des Néandertaliens est plus proche de celui des hommes modernes qu'il ne l'est de celui d'un membre de leur population ancestrale. Sorte de miracle scientifique, en 2013, le génome mitochondrial de cet individu découvert dans une grotte en Espagne et mort il y a 450 000 ans avait pu être séquencé. Après beaucoup de débats, des paléogénéticiens ont proposé, pour expliquer cette incohérence, qu'un groupe humain plus proche génétiquement des *Homo sapiens* que des Néandertaliens a introduit son ADNmt en Europe.

Le fossile HST aide-t-il à préciser ce scénario considéré comme le plus économe? L'équipe de Cosimo Posth s'est mise à le penser lorsqu'elle a découvert que son ADNmt est très différent de celui des autres Néandertaliens. Mais pour interpréter cette information, il fallait connaître son âge. Comme les méthodes physiques de datation sont inapplicables dans le cas de HST, l'équipe de Cosimo Posth a compté les mutations accumulées dans son ADNmt et dans celui d'une dizaine de Néandertaliens d'origines différentes. Résultat: l'ADNmt de HST aurait 124 000 ans, soit à peine moins que le plus ancien des génomes mitochondriaux de l'échantillon analysés, celui d'un Néandertalien de l'Altai en Sibérie, vieux de 130 000 ans. Ainsi, il y a plus de 100 000 ans, au moins deux lignées mitochondriales néandertaliennes différentes coexistaient en Eurasie; cela suggère que la diversité et donc la taille de la population néandertalienne étaient alors plus grandes, et qu'elles se sont réduites ensuite.

Par ailleurs, les calculs génétiques des chercheurs ont montré que la divergence entre les ADNmt de HST et de tous les autres Néandertaliens doit être antérieure à 220 000 ans. Ainsi, l'ADNmt de HST installe le scénario de l'introduction, dans la population néandertalienne, d'ADNmt différent de celui d'origine et proche de celui d'*H. sapiens* dans un cadre chronologique. Dans l'esprit des chercheurs, après la divergence mitochondriale *neanderthalensis-sapiens* (datée à un maximum de 470 000 ans), mais avant la séparation entre les génomes mitochondriaux de HST et des autres Néandertaliens, un groupe humain est passé d'Afrique en Europe, où son ADNmt s'est imposé dans la population néandertalienne. Passée inaperçue jusque-là, cette migration a dû donc se produire entre 470 000 et 220 000 ans. Le flux génique correspondant aurait été assez faible pour peu influencer l'ADN nucléaire des Néandertaliens, mais assez important pour provoquer le remplacement complet de leurs lignées mitochondriales, notamment celle de HST.

L'extraction d'ADN nucléaire de HST nous en apprendrait plus. Étant donné son âge et sa probable contamination par tous ceux qui ont manipulé le fossile depuis 80 ans, cela promet d'être difficile... ■

FRANÇOIS SAVATIER

C. Posth et al., *Nature*, en ligne le 4 juillet 2017

Vers une production de carburant solaire carboné

En cette période de réflexions sur la transition énergétique, l'équipe de Marc Robert et Julien Bonin, de l'université Paris-Diderot et du CNRS, a développé un nouveau procédé qui transforme le dioxyde de carbone (CO_2) en méthane (CH_4), sous l'action de la lumière solaire et d'un catalyseur à base de fer. Marc Robert nous détaille le fonctionnement de cette photosynthèse artificielle.



Propos recueillis par CLÉMENT DUFRENNE

MARC ROBERT
professeur à l'université
Paris-Diderot

Quel est le principe de votre procédé ?

Marc Robert : Notre procédé consiste à remplacer les atomes d'oxygène du dioxyde de carbone par des atomes d'hydrogène. Pour réaliser cette hydrogénation complète du dioxyde de carbone, nous ajoutons de petites quantités d'alcool ou d'eau afin d'apporter les protons (H^+) nécessaires. Cette source de protons aide les atomes d'oxygène à quitter la molécule de dioxyde de carbone, et permet aussi de « protoner » le carbone pour aboutir au méthane. Afin de déclencher la réaction, il est essentiel d'avoir une source d'énergie. Dans notre cas, nous utilisons le rayonnement solaire, et plus précisément le domaine visible du spectre, produit en laboratoire grâce à un simulateur solaire et un filtre qui sélectionne des longueurs d'onde supérieures à 400 nanomètres. Pour rendre la réaction possible, il faut enfin un catalyseur qui accélère les étapes du processus. Le nôtre est à base de fer.

Quelle est l'originalité de votre procédé par rapport aux recherches précédentes ?

M. R. : D'une part, nous proposons ici une piste pour fabriquer un carburant solaire à partir d'une source de carbone habituellement considérée comme un déchet, le CO_2 . D'autre part, notre procédé fonctionne dans des conditions très douces, à température et pression ambiantes. Le produit obtenu, le méthane, est directement utilisable dans des applications de transport ou de chauffage (il constitue par exemple 75 % du gaz de ville). Le CO_2 peut ainsi rentrer dans un cycle vertueux, une économie circulaire : il est transformé en carburant, puis, au cours de la combustion, celui-ci libère du CO_2 qui peut-être à nouveau transformé

en méthane, etc. Par ailleurs, nous utilisons un catalyseur à base de fer qui est de loin le métal le plus abondant, et donc le moins cher. Habituellement, en catalyse, ce sont des métaux rares, et donc chers, qui sont employés. De plus, la synthèse du catalyseur est bien maîtrisée et simple, ce qui fait que son coût reste modeste à l'échelle globale du système. Enfin, le fer n'est pas toxique et est biocompatible. Avec ce catalyseur, nous avons prouvé qu'il est possible de créer un carburant solaire dans des conditions simples.

Est-ce la première fois que l'on utilise un catalyseur à base de fer ?

M. R. : Non, mais jusqu'à présent, les catalyseurs testés n'avaient pas permis d'aller au-delà du monoxyde de carbone, un intermédiaire de la réaction, et d'obtenir du méthane. Dans ce nouveau procédé, le catalyseur de fer synthétisé a une structure et des propriétés chimiques inspirées de la famille des porphyrines, des molécules qui transportent le dioxygène dans le sang. C'est cette structure moléculaire qui a fait la différence.

Actuellement, le rendement est de 0,18 %. Comment envisagez-vous de l'améliorer ?

M. R. : Ce chiffre est le rendement total, obtenu en rapportant la quantité finale de produits, le méthane, à la quantité initiale de photons de lumière absorbés par le système. Certes, il est faible, mais le système présente déjà beaucoup d'avantages : la lumière est gratuite, disponible partout, inépuisable... Pour aller vers des applications concrètes, nous devons avant toute chose mieux comprendre l'ensemble du processus catalytique et des différentes étapes mises en jeu, ce qui nous donnera les outils pour améliorer le rendement et passer à une échelle supérieure. ■

H. Rao et al., *Nature*, en ligne, 17 juillet 2017

ÉTHOLOGIE

UNE TOUR DE FOURMIS

Pour ne pas écraser leurs congénères, les fourmis qui se lient les unes aux autres se comportent comme un fluide. Une découverte qui pourrait inspirer les essaims de robots.

Pour traverser une rivière ou se protéger d'une inondation, les fourmis de feu (*Solenopsis invicta*) unissent leurs forces en formant des radeaux ou en construisant des tours. Mais, dans ce dernier cas, comment maintiennent-elles la structure sans écraser leurs sœurs qui se trouvent à la base de l'édifice? Réponse: les fourmis sont continuellement en mouvement dans la tour qu'elles forment, et se comportent alors comme un fluide.

Les chercheurs avaient déjà compris comment les fourmis de feu construisent des radeaux. Elles s'accrochent les unes aux autres par les pattes et s'orientent de façon à créer des cavités d'air. Elles répartissent leur poids pour former une structure flottante. L'équipe menée par Craig Tovey, de l'Institut de technologie de Géorgie, à Atlanta, a cherché à comprendre comment les insectes réussissent à former une tour.

En laboratoire, l'équipe a filmé à l'aide de caméras ultrarapides la façon dont les fourmis s'assemblent autour d'une barre glissante en téflon. Elle a aussi marqué la moitié de la colonie avec un traceur radioactif afin de suivre les insectes dans la tour ainsi formée.

Les fourmis procèdent par tâtonnement. Elles consolident en permanence les parties les plus fragiles jusqu'à ce que la structure soit solide. Les chercheurs ont montré que chaque insecte peut supporter jusqu'à trois congénères. Et lorsqu'une fourmi est surchargée, elle lâche ses voisines et redescend en bas de la colonne. Là, elle refait surface à la base de la tour.

La structure en forme de cloche ressemble à un fluide, et chaque fourmi y supporte le même poids. «Les fourmis se comportent comme une fontaine d'eau, mais à l'envers», explique Craig Tovey.

D'après Guy Theraulaz, du Centre de recherche sur la cognition animale de Toulouse, les spécialistes savaient que la structure de la tour serait dynamique, mais les vidéos sont le premier enregistrement de ce phénomène.



La structure obtenue par les fourmis n'est pas sans rappeler la tour Eiffel, un autre édifice aux propriétés mécaniques spectaculaires.

8 cm

C'EST LA HAUTEUR QUE PEUVENT ATTEINDRE LES TOURS FORMÉES PAR LES FOURMIS DE FEU, CE QUI CORRESPOND À 20 FOIS LEUR TAILLE.

Article publié initialement par Nature le 12 juillet 2017 sous le titre « Ant colonies flow like fluid to build tall towers » (www.nature.com/news/ant-colonies-flow-like-fluid-to-build-tall-towers-1.22290). Traduction et édition réalisées par Pour la Science.

En utilisant des modèles mathématiques, l'équipe a en outre réussi à prédire la forme et le taux de croissance des tours. Les chercheurs savaient déjà que lors de la construction d'un radeau, les fourmis de feu n'obéissent pas à un commandement centralisé, mais agissent individuellement. Ce comportement peut être modélisé avec trois règles simples qui sont ensuite intégrées dans un modèle mathématique de la structure.

Les chercheurs ont été surpris de constater que lorsque les fourmis construisent des tours, elles «obéissent aux mêmes règles individuelles et décentralisées», note Craig Tovey. Les deux structures sont pourtant différentes: le radeau est statique tandis que la tour est dynamique.

Ces découvertes pourraient inspirer les chercheurs qui travaillent sur la programmation d'essaims de petits robots pour accomplir une tâche. «Comprendre comment les fourmis peuvent bâtir ce genre de structures 3D solides en ne suivant que quelques règles très simples peut nous aider à maîtriser la programmation de ces minuscules robots polyvalents. La prochaine étape est de comprendre comment les fourmis construisent des ponts», conclut Craig Tovey. ■

LAURA CASTELLS

S. Phonekeo et al., *Royal Society Open Science*, en ligne, 12 juillet 2017