

DES VIRUS GÉANTS FABRIQUENT LEURS PROPRES NOUVEAUX GÈNES

Le génome des pandoravirus est si atypique que les chercheurs pensent que ces virus géants produisent eux-mêmes de nouveaux gènes de façon spontanée et aléatoire.

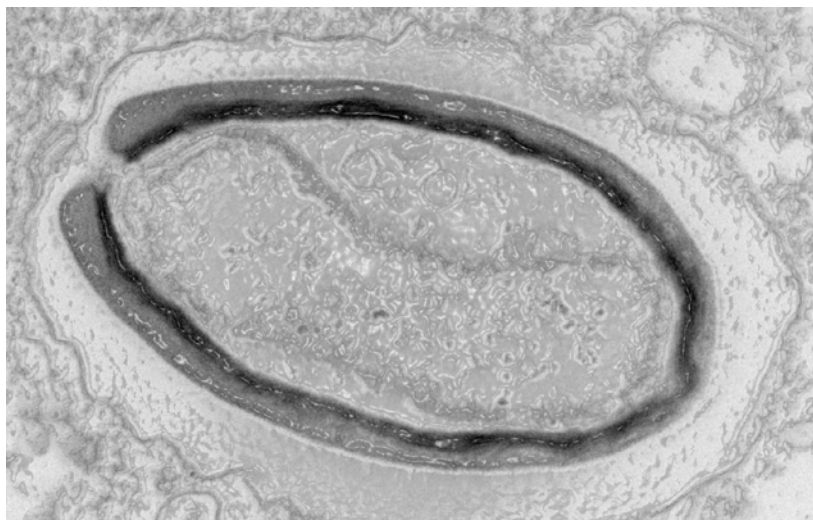
Depuis la découverte des premiers virus géants en 2003, ces organismes brouillent la frontière entre le monde des organismes cellulaires, comme les bactéries, et celui des virus.

Leur taille et celle de leur génome les rapprochent en effet davantage des bactéries que des virus. Grâce à la découverte de trois nouveaux virus géants de la famille des pandoravirus, l'équipe de Jean-Michel Claverie et Chantal Abergel, de l'université Aix-Marseille et du CNRS, apporte un nouvel éclairage sur l'évolution de ces microorganismes. Ces biologistes avancent une hypothèse étonnante: de nombreux nouveaux gènes se formeraient spontanément et de façon aléatoire au sein du génome des pandoravirus!

Avec au total six représentants des pandoravirus, l'équipe de Jean-Michel Claverie et Chantal Abergel espérait mieux comprendre l'origine et les particularités de cette famille de virus géants, dont le génome contient près de 2500 gènes codant des protéines. Première constatation: les trois nouveaux virus ont des tailles comparables à celles des autres pandoravirus, un génome gigantesque et la même forme d'amphore. Ensuite, les génomes des six virus ne partagent qu'entre 54% à 88% de leurs gènes codants, ce qui est assez faible pour des membres d'une même famille.

Plus étonnant, pas moins de 90% des gènes des pandoravirus sont orphelins, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas d'équivalents ailleurs dans le règne vivant (autres virus, protistes unicellulaires, animaux, plantes). Or il est peu probable que ces gènes orphelins proviennent d'un ancêtre commun à ces pandoravirus, car ils diffèrent d'une souche à l'autre.

Jean-Michel Claverie et son équipe suggèrent que ces gènes ont été formés dans les pandoravirus eux-mêmes, au sein des longues régions non codantes de l'ADN séparant des gènes préexistants. Considérée comme statistiquement peu probable, l'apparition, dite *de novo*, de gènes codants a cependant trouvé des arguments favorables ces dernières années avec l'observation de nouveaux gènes apparus chez des organismes eucaryotes (levure, petits vers, et même la mouche du vinaigre).



Le virus géant *Pandoravirus quercus* a été trouvé près de Marseille. Il mesure environ un micromètre de long.

**0,2
MICROMÈTRE :**
C'ÉTAIT LA TAILLE
MAXIMALE DES VIRUS
CONNUS JUSQU'À
LA DÉCOUVERTE
DES VIRUS GÉANTS
EN 2003. UNE TAILLE
BIEN INFÉRIEURE
À CELLE DES
BACTÉRIES !

Il reste cependant à identifier le mécanisme de cette création *in situ* et *de novo* de gènes codants chez les pandoravirus. Il nécessiterait une fréquence de mutations très élevée dans les parties non codantes du génome. Cela pourrait s'expliquer, par exemple, par l'absence d'enzymes de réparation du génome chez ces virus. De nombreuses questions se posent encore sur ce scénario, mais si l'hypothèse d'une création efficace et *de novo* de gènes se confirme, l'ancêtre des pandoravirus pourrait avoir enrichi son génome grâce à ce mécanisme.

Cette hypothèse offre aussi une vision très différente de celle du scénario standard d'un *big bang* évolutif initial où des prototypes de gènes sont apparus assez vite, l'évolution résultant ensuite du seul remaniement de ce matériel initial. Ici, les biologistes proposent un processus plus progressif et encore actif aujourd'hui. Enfin, ces résultats relancent la question de la place des virus géants dans l'arbre du vivant. Sont-ils des bizarreries de l'évolution ou au contraire un moteur ancestral de cette évolution? Seule la découverte de nouveaux membres de la famille des pandoravirus permettra d'en savoir plus. ■

S. B.

M. Legendre et al., *Nature Communications*, vol. 9, article 2285, 2018

ASTROPHYSIQUE

LA MATIÈRE BARYONIQUE DE L'UNIVERS ENFIN RETROUVÉE

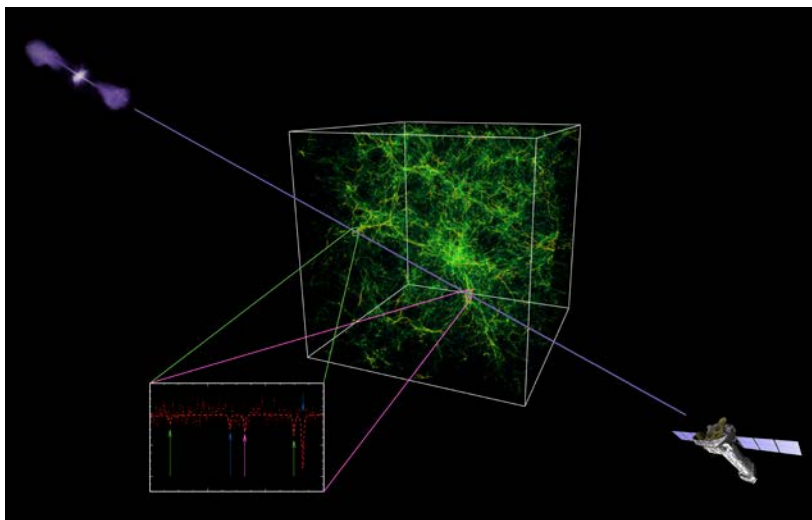
Dans le bilan du contenu de l'Univers, une grande part de la matière ordinaire manquait à l'appel. De nouvelles observations en rayons X ont permis de la mettre au jour.

Energie sombre, matière noire et matière ordinaire, voilà en résumé les constituants de l'Univers. Les deux premiers sont de nature inconnue et pourtant, d'après différentes observations cosmologiques, ils représentent 95% du contenu de l'Univers. Cela peut déjà paraître embarrassant, mais en plus, près de la moitié des 5% restants – la matière ordinaire composée d'atomes, dite baryonique – manquait à l'appel! Grâce à de nouvelles observations, Fabrizio Nicastro, de l'observatoire astronomique de Rome, et ses collègues ont confirmé des indices suggérant qu'on a retrouvé la matière ordinaire manquante dans le milieu intergalactique.

La question de la matière baryonique était d'autant plus intrigante que l'étude du rayonnement émis par des quasars très lointains (des galaxies émettant un fort rayonnement, dû à l'absorption de grandes quantités de matière par le trou noir supermassif tapi en leur centre) montrait que la quantité de matière baryonique dans le cosmos est bien de 5% du contenu total de l'Univers. Mais ce résultat n'est valide que pour l'Univers âgé de moins de 3 milliards d'années. Après, le compte n'y est plus, et près de la moitié de la matière baryonique semble manquer à l'appel. Où est-elle donc passée?

Pour répondre à la question, les astrophysiciens ont entrepris de recenser avec précision la matière baryonique dans l'Univers proche. Les étoiles et les gaz qui composent les galaxies et les amas de galaxies ne représentent que 18% de la matière ordinaire. Cependant, d'après les modèles de formation des grandes structures cosmiques, la matière (noire et baryonique) s'est accumulée au fil du temps dans les galaxies, mais a aussi tissé un réseau de filaments reliant les galaxies et qui contiendraient la matière baryonique manquante.

Le gaz de ces régions intergalactiques, très peu dense, émet un rayonnement très faible, donc difficile à détecter. Une partie du gaz des filaments intergalactiques a malgré tout été observée, ce qui a porté le total de matière ordinaire recensée à 61%. Manquaient à l'appel les gaz ionisés les plus chauds (au-dessus de 500 000 degrés)...



La lumière émise par le quasar (en haut à gauche) traverse l'Univers. Elle est absorbée à certaines longueurs d'onde (en bas à gauche) par les gaz chauds du milieu intergalactique (au centre) avant d'être captée par le télescope spatial XMM-Newton (en bas à droite) puis analysée.

180

SECONDES APRÈS LE BIG BANG, SE SONT FORMÉS LES ÉLÉMENTS LÉGERS, (HYDROGÈNE, HÉLIUM, ETC.). LA NUCLÉOSYNTÈSE PRIMORDIALE DÉCRIT CE PROCESSUS. EN TENANT COMPTE DES OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES, LES PHYSICIENS EN ONT CONCLU QUE LA MATIÈRE BARYONIQUE REPRÉSENTE 5 % DU CONTENU TOTAL DE L'UNIVERS.

Ces dernières années, de nombreuses équipes d'astronomes ont obtenu des indices de la présence d'un tel gaz chaud. Pour en avoir la confirmation et estimer sa contribution au bilan total, Fabrizio Nicastro et ses collègues ont analysé le rayonnement X du quasar 1ES 1553+113, qui a mis 4 milliards d'années à nous parvenir. Ils ont montré que ce rayonnement présente des raies d'absorption dues à la présence d'oxygène ionisé, caractéristique de nuages de gaz intergalactiques très chauds présents sur le chemin de la lumière. Celle-ci aurait traversé deux nuages avant de nous parvenir. À partir de ces observations, l'équipe a estimé que ce gaz intergalactique chaud représenterait 30% à 40% des baryons.

Cependant, il reste des incertitudes sur le calcul de sa densité. Et le gaz observé pourrait aussi provenir, en partie, de l'intérieur des galaxies sur la ligne de visée. Pour préciser ces observations, il faudra attendre le futur télescope spatial de l'Agence spatiale européenne, Athena, prévu pour 2028, dont l'étude de la matière baryonique intergalactique est l'un des principaux objectifs. ■

S. B.

F. Nicastro et al., *Nature*, vol. 558, pp. 406-409, 2018

PHYSIQUE

SOUPLE DANS L'OBSCURITÉ

En présence de lumière, la sphalérite – un semi-conducteur utilisé pour ses propriétés luminescentes, optiques et photocatalytiques – est cassante. Yu Oshima et ses collègues, de l'université de Nagoya, au Japon, ont eu la surprise de constater que si la sphalérite est plongée dans le noir, elle devient plastique et peut se déformer sans se briser.

Les chercheurs ont montré que le cristal de sphalérite présente, à l'échelle microscopique, des défauts de type « dislocation ». En principe, si les lignes de dislocation se déplacent dans le matériau, les plans atomiques finissent par glisser les uns par rapport aux autres : le cristal se déforme sans se briser. C'est ce qui se passe dans l'obscurité. Mais en présence de lumière visible ou ultraviolette, le rayonnement apporte de l'énergie aux électrons du matériau qui deviennent alors mobiles. Or l'accumulation des charges le long des dislocations restreint la mobilité de ces dernières. Sous l'effet d'une contrainte, des microfissures se forment alors et le matériau se casse. ■

M. T.

Y. Oshima et al., *Science*, vol. 360, pp. 772-774, 2018

ARCHÉOLOGIE

LES OUTILS D'ÖTZI PROUVENT SON DÉSARROI



1 cm

En haut, le poignard en silex d'Ötzi, qui semble avoir été un marqueur social plutôt qu'un instrument vraiment utilisé ; en bas, l'une des deux pointes de flèche de l'homme des glaces.

ARCHÉOLOGIE

LES CHAPEAUX DE L'ÎLE DE PÂQUES

Les moaïs, les fameuses statues de l'île de Pâques, étaient surmontées de coiffes de pierre rouge de plusieurs tonnes nommées pukao. Ces coiffes étaient taillées en forme de cylindre dans des carrières distantes de plusieurs kilomètres et roulées jusqu'aux statues. Mais comment étaient-elles hissées sur le crâne des moaïs ? Sean Hixon, de l'université d'État de Pennsylvanie, et ses collègues expliquent que les statues, lors de leur érection, restaient inclinées de 15 degrés. Cela permettait la construction d'une rampe d'environ 45 mètres avec une déclivité de 12 degrés pour atteindre le sommet.

À l'aide de cordes, le pukao était roulé par pas plus de 15 personnes. La base du moaï était ensuite taillée pour le redresser. Reste à comprendre comment et avec quels matériaux les cordes étaient fabriquées. ■

HÉLOÏSE MONNEROT-DUMAINE

S. W. Hixon et al., *Journal of Archaeological Science*, en ligne le 31 mai 2018

En 1991, deux touristes découvraient fortuitement dans un glacier italien la momie d'un homme que l'on a nommé Ötzi. Cet individu, apprendra-t-on plus tard, a été tué d'une flèche fichée dans son épaule il y a environ 4600 ans. Il avait sur lui quelques outils de pierre et un retoucheur, qui ont été réétudiés de près par Ursula Wierer, de la Surintendance archéologique de Florence, et ses collègues, dont Jacques Pelegrin, du CNRS. Ces travaux apportent un éclairage sur l'origine et l'emploi des outils ainsi que sur les derniers moments qu'a vécus Ötzi.

Les chercheurs ont établi que les silex du poignard, du grattoir, du perceur et des flèches de cet homme de l'âge du Cuivre proviennent d'au moins trois secteurs différents et distants de son lieu de vie supposé. Cela suggère que ces matériaux circulaient dans la région au sein d'un réseau. L'étude a aussi montré qu'Ötzi n'est pas le tailleur initial de ses outils, mais qu'il était capable, à l'aide de son retoucheur par pression, de les entretenir lui-même, ce qu'il a fait plusieurs fois dans les jours qui ont précédé sa mort. À plusieurs reprises, il a coupé des plantes siliceuses (des céréales, les graminées fourrant ses chaussures ?), et il est frappant qu'il n'ait pas utilisé à cette fin son couteau, mais plutôt une pointe de flèche. Son poignard, un type d'objet alors répandu dans les sociétés alpines, était manifestement un objet d'apparat, davantage destiné à servir de marqueur social qu'à un usage quotidien. Enfin, il est clair qu'Ötzi était mal préparé au combat. Seulement deux de ses flèches étaient fonctionnelles. Son carquois contenait par ailleurs un faisceau d'andouillers (ramifications des bois de cerfs), pouvant aussi servir à façonner des pointes moins dures que celles de silex ; mais Ötzi n'a visiblement pas eu le temps d'effectuer le travail nécessaire pour confectionner des flèches. De plus, après avoir été blessé à la main droite, lui qui était droitier, il n'en était plus capable. ■

F. S.

U. Wierer et al., *PLoS One*, vol. 13(6), article e0198292, 2018