

A

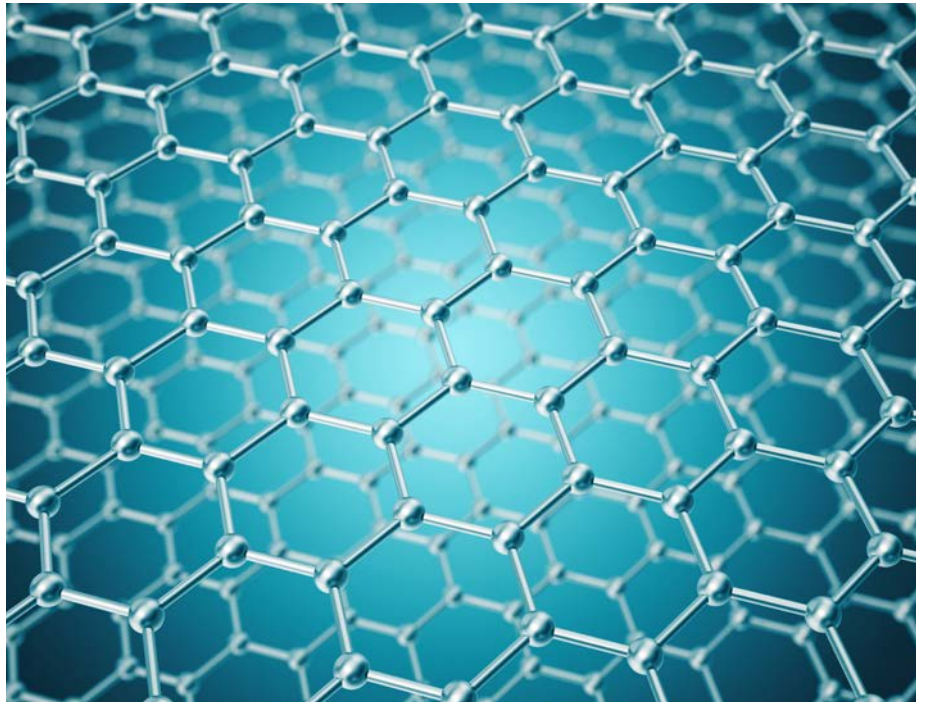
CTUALITÉS

P.14 Échos des labos
 P.26 Livres du mois
 P.28 Agenda
 P.30 Homo sapiens informaticus
 P.32 Cabinet de curiosités
 sociologiques

Une double couche
 de graphène.
 Un tel système aidera
 peut-être à comprendre
 la supraconductivité
 à haute température.

PHYSIQUE

L'ANGLE MAGIQUE DU GRAPHÈNE



En superposant à une couche de graphène une autre, tournée de 1,1 degré, on obtient un dispositif isolant, mais qui peut devenir supraconducteur à très basse température.

Découvert en 2004, le graphène n'a pas fini d'intriguer les physiciens. Sa structure, une couche unique d'atomes de carbone liés en un réseau hexagonal, lui confère des propriétés étonnantes. À la fois très bon conducteur d'électricité et de chaleur, il est aussi presque transparent et mécaniquement très résistant. Yuan Cao, du MIT (institut de technologie du Massachusetts), et ses collègues ont découvert de nouvelles propriétés électroniques du graphène lorsqu'ils en superposent deux couches tournées d'un angle relatif de 1,1°.

Pourquoi une configuration aussi particulière? Les calculs, dans le cadre de la théorie des bandes électroniques, prévoyaient des propriétés particulières pour cette double couche de graphène, que Yuan Cao et ses collègues ont vérifiées expérimentalement. La théorie des bandes explique, notamment, les comportements isolants ou conducteurs des matériaux. Ces propriétés sont liées à l'énergie et à la mobilité des électrons, qui sont décrits par un objet mathématique, la fonction d'onde. Celle-ci indique où les électrons tendent à se trouver et les niveaux d'énergie qu'ils peuvent occuper. Si la structure du matériau est périodique,

les fonctions d'onde des électrons interfèrent les unes avec les autres. Une conséquence est que les niveaux d'énergie accessibles aux électrons forment alors des intervalles continus, nommés bandes, séparés par des zones interdites, les gaps.

Les électrons remplissent d'abord les bandes de plus basses énergies. Si la dernière couche contenant des électrons – la « bande de conduction » – est totalement remplie et que le gap vers la bande d'énergie supérieure est grand, les électrons ne peuvent pas acquérir assez d'énergie pour franchir le gap et devenir mobiles au sein du matériau: ce dernier est alors un isolant. Si les électrons remplissent partiellement une bande, le moindre apport d'énergie les rend mobiles, et le matériau est alors conducteur.

Dans le cas du graphène, la dernière bande est totalement remplie mais le gap est exactement nul. Il s'ensuit un comportement très original des électrons, qui se

déplacent dans le graphène comme si leur masse était quasi nulle. Ils atteignent alors des vitesses de l'ordre de 1 000 kilomètres par seconde, soit 150 fois plus que dans le silicium, la coqueluche de l'électronique.

En superposant deux couches de graphène faisant un angle relatif de $1,1^\circ$, on modifie la structure des bandes électroniques: la bande de conduction devient étroite tout en étant à moitié remplie. *A priori*, le système devrait se comporter comme un métal conducteur, mais ce n'est pas le cas. En effet, en raison de l'étroitesse de la bande, la répulsion électrostatique entre les électrons (d'habitude négligée dans la théorie des bandes) devient importante comparée à leur énergie cinétique. Ces interactions maintiennent alors les électrons immobiles, ce qui empêche la circulation d'un courant. On a alors ce qu'on appelle un isolant de Mott.

La double couche de graphène à angle magique est encore plus surprenante. En appliquant une tension électrique au dispositif, les chercheurs ont enrichi le milieu en électrons, ce qui permet de sortir de l'état d'isolant de Mott. Ils ont montré qu'en dessous de 1,7 kelvin (-271°C environ), le matériau devient non seulement conducteur, mais supraconducteur: sa résistance électrique est nulle.

La supraconductivité apparaît pour de nombreux matériaux à une température proche du zéro absolu. Or, depuis 1986, les physiciens ont découvert des matériaux supraconducteurs à des températures plus élevées, dépassant parfois 100 kelvins, dont certains cuprates (contenant un ion cuivre). Et ce phénomène de supraconductivité à haute température reste mal élucidé.

Les cuprates et la double couche de graphène ont des températures maximales de supraconductivité très différentes. Pourtant, les deux systèmes ont des ressemblances intrigantes. Notamment, les deux sont des isolants de Mott et ne deviennent supraconducteurs qu'en rajoutant des charges – par substitution chimique dans les cuprates ou par application d'une tension dans la double couche de graphène. Ainsi, avec cette dernière, les chercheurs ont un système simple pour étudier la supraconductivité non conventionnelle et le rôle des interactions électroniques, qui reste aujourd'hui mal compris. ■

SEAN BAILLY

Y. Cao *et al.*, *Nature*, en ligne le 5 mars 2018

Les gènes des derniers Néandertaliens révélés

Autour de Mateja Hajdinjak, une équipe de l'institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste de Leipzig vient de séquencer cinq nouveaux génomes néandertaliens. Silvana Condemi, paléanthropologue au CNRS, nous explique les premiers tenants et aboutissants de ce flot de nouvelles données génétiques.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

SILVANA CONDEMI,
paléanthropologue
au CNRS/Aix-Marseille
Université/EFS

Qu'a fait l'équipe de Mateja Hajdinjak ?

Grâce à une méthode mise au point à l'institut Max-Planck de Leipzig, elle a réussi à séquencer les génomes de cinq Néandertaliens, dont quatre tardifs provenant d'Europe occidentale – un de France, deux de Belgique et un de Croatie – et un, plus ancien, du Caucase russe. Ce n'est pas rien : auparavant, nous disposions seulement du génome d'une Néandertalienne qui vivait dans l'Altai sibérien il y a environ 100 000 ans, ceux, partiels, de trois individus d'El Sidrón, en Espagne, datant d'il y a 40 000 à 50 000 ans et celui d'un individu mort il y a 44 000 ans dans la grotte de Vindija, en Croatie. Les nouveaux génomes datent d'entre 39 000 et 49 000 ans et nous renseignent sur la génétique des derniers Néandertaliens d'Europe.

Qu'apprend-on sur cette génétique ?

Sa structure est géographique. Les gènes des Néandertaliens tardifs d'Europe occidentale sont bien plus proches de ceux des Néandertaliens tardifs d'Europe orientale qu'ils ne le sont de ceux des Néandertaliens d'Asie. La même chose se constate dans le temps : le génome des Néandertaliens tardifs est plus proche de celui des Néandertaliens qui les précèdent que de celui des Néandertaliens anciens. Rien que de très logique, mais encore fallait-il le vérifier dans ces nouvelles données génétiques !

Et c'est tout ?

Non. On sait que les derniers Néandertaliens d'Europe occidentale vivaient à une époque d'oscillations climatiques extrêmes, qui ont rendu leur survie très difficile. Les auteurs de l'étude en déduisent que la proximité génétique entre Est et Ouest de l'Europe peut s'expliquer de deux façons : soit certains Néandertaliens occidentaux se sont

réfugiés dans le Sud-Est pendant les phases les plus froides, soit l'Ouest de l'Europe a été repeuplé par des Néandertaliens de l'Est après ces mêmes phases. Quelle que soit la bonne explication, elle traduit une fois de plus que les Néandertaliens étaient des chasseurs-cueilleurs très mobiles et très résilients, ce que nous savons bien.

Cette nouvelle étude nous apprend-elle quelque chose sur le métissage avec *Homo sapiens* ?

Oui, en creux. La même équipe avait déjà montré que tous les *H. sapiens* actuels non africains ont de l'ordre de 2 % de gènes néandertaliens en eux. Ces nouveaux travaux montrent que les Néandertaliens tardifs n'ont pas de gènes nucléaires sapiens en eux, ce qui est une énigme pour les chercheurs.

Cela apparaît d'autant plus problématique que ces Néandertaliens vivaient entourés de primo-arrivants sapiens. Une hybridation tardive entre les deux espèces était donc possible et semble plus que plausible. De fait, elle a bien eu lieu : en 2015, l'une des signataires de la nouvelle étude génétique a découvert que 8 % des gènes nucléaires contenus dans le fossile roumain Oase 1 d'un individu sapiens mort il y a quelque 40 000 ans étaient néandertaliens. Pour autant, Mateja Hajdinjak et ses collègues relèvent aussi que les gènes néandertaliens des Européens actuels ne sont pas proches de ceux des Néandertaliens tardifs d'Europe. Tant cette distance génétique que l'absence énigmatique de gènes sapiens chez les Néandertaliens tardifs s'expliquent alors si l'on fait – et valide – deux hypothèses : d'une part, que le métissage a surtout induit des flux géniques dans le sens *H. neanderthalensis* → *H. sapiens* ; d'autre part que le principal événement d'hybridation s'est produit hors d'Europe bien avant l'arrivée de nos ancêtres sur ce continent. Au Proche-Orient sans doute. Quand ? Cela reste à préciser. ■

M. Hajdinjak *et al.*, *Nature*, vol. 555, pp. 652-656, 2018

ASTROPHYSIQUE

DES ÉTOILES NÉES 180 MILLIONS D'ANNÉES APRÈS LE BIG BANG

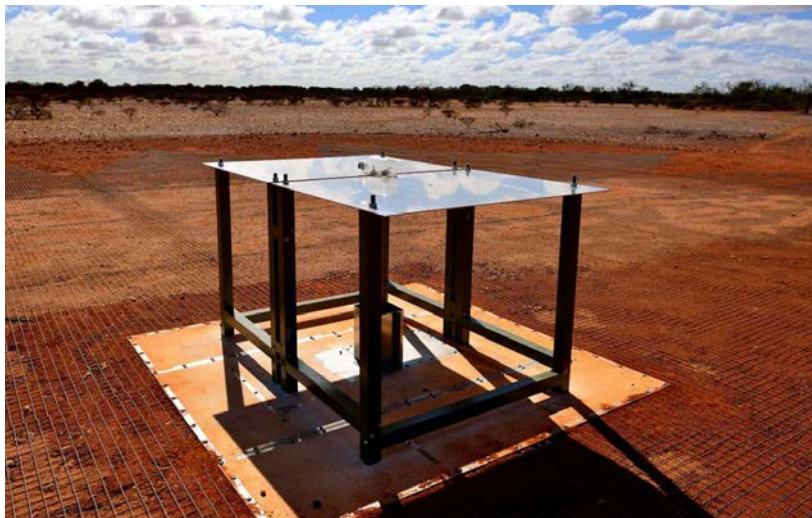
En étudiant le fond diffus cosmologique, la première lumière de l'Univers, des astrophysiciens ont détecté la trace des premières étoiles.

Grande comme une table de ping-pong posée au milieu du désert ouest-australien, à l'abri de toute perturbation électromagnétique, l'expérience EDGES «écoute» le cosmos pour y déceler un signal ténu venant des confins de l'Univers. Elle aurait ainsi détecté la présence des premières étoiles, formées à peine 180 millions d'années après la naissance de l'Univers. Ces étoiles sont bien trop lointaines et trop peu lumineuses pour être observées avec des télescopes ordinaires. C'est donc par des moyens indirects que Judd Bowman, de l'université d'État de l'Arizona, et son équipe les ont recherchées.

Ces astres sont importants pour l'histoire cosmique. En effet, ils ont brûlé très vite et en grande quantité leur hydrogène et leur hélium, et ont ainsi produit les premiers éléments lourds tels que le carbone et l'oxygène. Mais quand ces étoiles ont-elles commencé à peupler l'Univers? En 2017, Nicolas Laporte, de l'University College de Londres, et ses collègues ont étudié la galaxie A2744_YD4 telle qu'elle était dans l'Univers alors âgé de 600 millions d'années. Ils y ont trouvé de la poussière émise par des étoiles déjà disparues, qui se seraient formées quand l'Univers avait 400 millions d'années. Si ces étoiles sont parmi les plus anciennes connues, d'autres ont-elles pu naître plus tôt?

Judd Bowman et son équipe ont utilisé une stratégie très différente pour chercher les premières étoiles. Ils se sont intéressés au fond diffus cosmologique, un rayonnement émis 380 000 ans après le Big Bang. Le cosmos était à cette époque devenu assez froid pour que les noyaux d'hydrogène et les électrons se combinent et forment un gaz d'atomes neutres. Les photons ont alors pu se propager librement, d'où la première lumière de l'Univers – le fond diffus cosmologique. Mais après ce flash, le cosmos, rempli de gaz neutre et dépourvu de sources lumineuses, est entré dans l'ère sombre.

Il a alors fallu attendre la formation des premières étoiles, nées de l'accumulation d'hydrogène par effondrement gravitationnel, pour que les réactions de fusion en leur cœur se mettent à produire de la lumière. Ce rayonnement, de haute énergie, a excité les atomes du gaz



L'expérience EDGES, en Australie, mesure une partie du rayonnement électromagnétique cosmique pour y déceler des indices laissés par les premières étoiles.

4,4
MILLIARDS D'ANNÉES
APRÈS LE BIG BANG :
C'EST L'ÉPOQUE
À LAQUELLE LA
LUMIÈRE DE L'ÉTOILE
LSI A ÉTÉ ÉMISE. CELA
ÉTABLIT LE RECORD
DE DISTANCE D'UNE
ÉTOILE OBSERVÉE
EN OPTIQUE PAR LE
TÉLESCOPE HUBBLE.
UNE DÉCOUVERTE
RENDUE POSSIBLE
GRÂCE À UN EFFET
DE LENTILLE
GRAVITATIONNELLE,
QUI A FORTEMENT
AMPLIFIÉ
LA LUMINOSITÉ
DE L'ASTRE.

Source : *Nature Astronomy*, vol. 2, pp. 334-342, 2018

d'hydrogène dans son voisinage. Ce gaz a ainsi absorbé une composante du rayonnement de fond diffus cosmologique, à la fréquence particulière de 1420 mégahertz, qui correspond à une longueur d'onde de 21 centimètres – on parle de la «raie à 21 centimètres». Mais comme l'Univers est en expansion, le rayonnement cosmologique subit un décalage (en longueur d'onde, ou en fréquence) vers le rouge. Judd Bowman et ses collègues ont recherché la raie à 21 centimètres liée aux premières étoiles et décalée en fréquence à cause de l'expansion cosmique. C'est par ce principe que l'on peut déterminer quand les premières étoiles sont apparues.

Après des centaines d'heures de prise de données entre 2015 et 2017, et une analyse difficile pour extraire le signal du bruit de fond, l'équipe d'astrophysiciens a détecté la raie recherchée à la fréquence de 78 mégahertz. La forme du signal permet d'affirmer que les premières étoiles ont perturbé le gaz d'hydrogène dès 180 millions d'années après le Big Bang. Un résultat que devront néanmoins confirmer de futurs observatoires tels que le SKA, un réseau de détecteurs déployé en Afrique du Sud et en Australie et qui sera opérationnel vers 2022. ■

S. B.

J. D. Bowman et al.,
Nature, vol. 555, pp. 67-70, 2018