

POUR LA SCIENCE

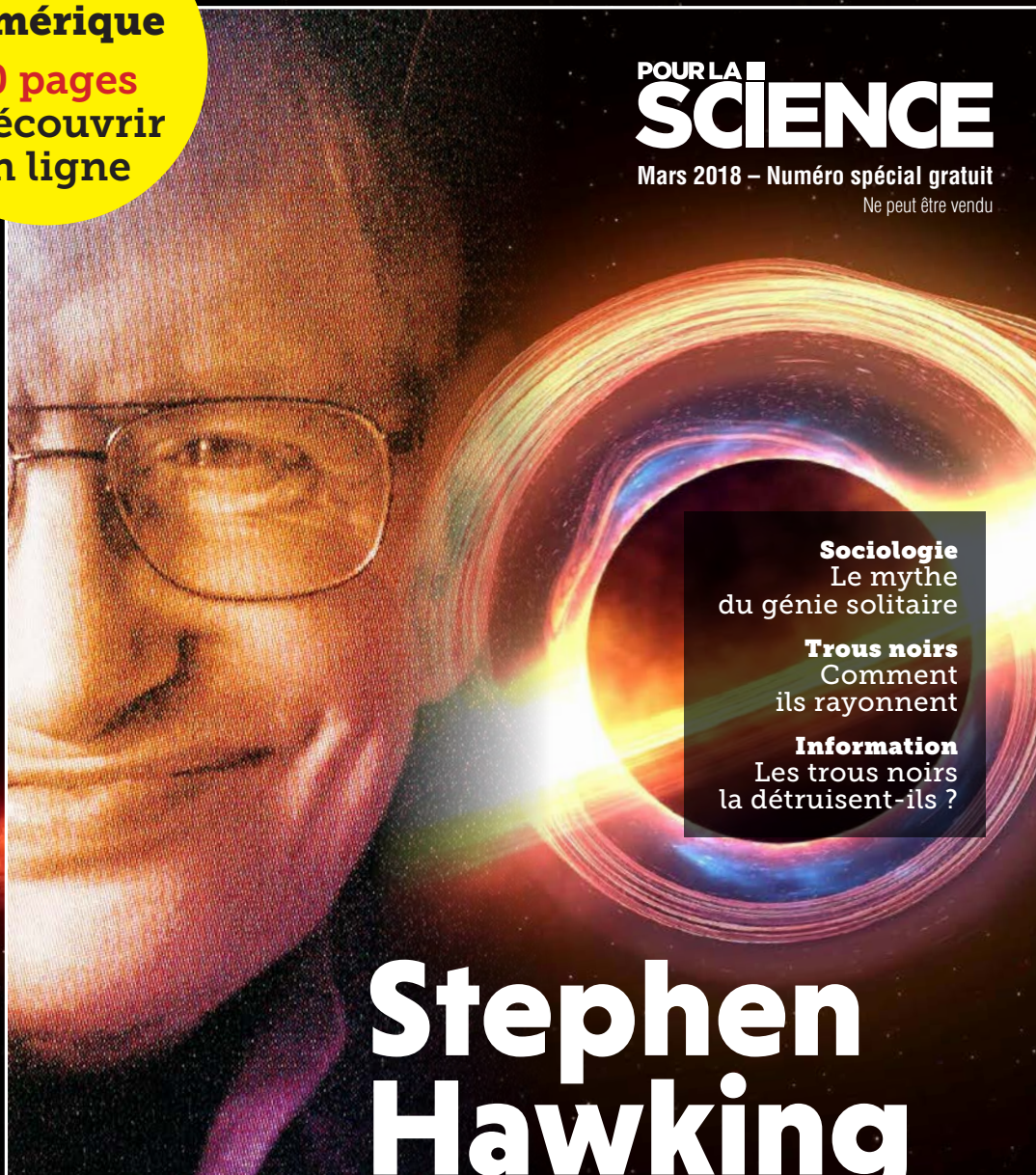
Hors-Série numérique - Mars 2018

**Hors-Série
numérique**

60 pages
à découvrir
en ligne

POUR LA
SCIENCE

Mars 2018 – Numéro spécial gratuit
Ne peut être vendu



Sociologie
Le mythe
du génie solitaire

Trous noirs
Comment
ils rayonnent

Information
Les trous noirs
la détruisent-ils ?

Stephen Hawking

FONDATEUR DE LA PHYSIQUE
DES TROUS NOIRS



Hors-série numérique à **télécharger**
gratuitement sur bit.ly/PDFHawking

A

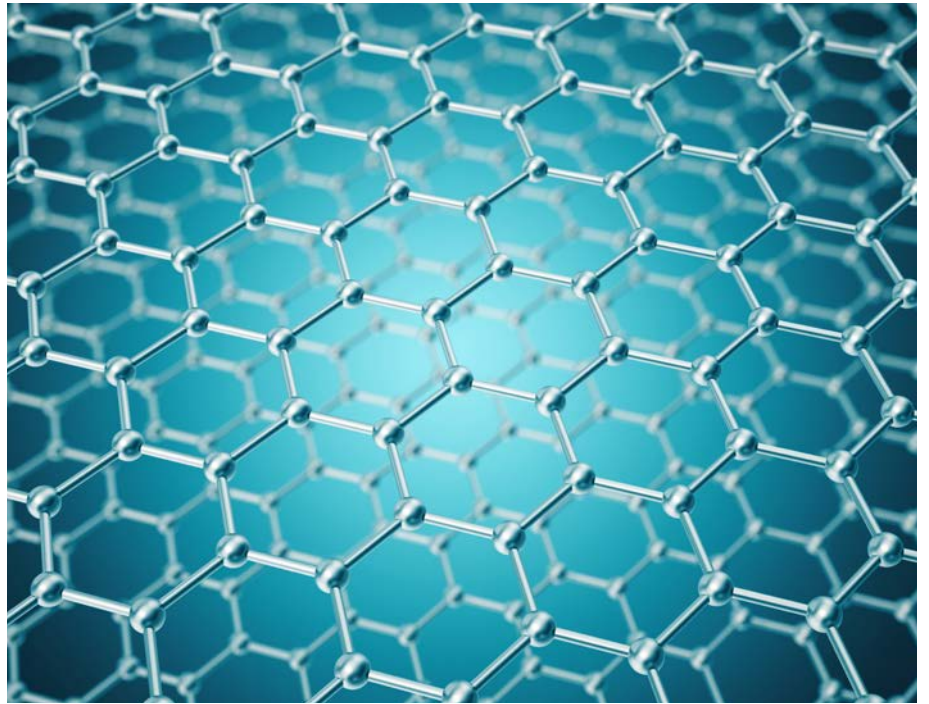
CTUALITÉS

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, paléoanthropologue au CNRS, nous explique les premiers tenants et aboutissants de ce flot de nouvelles données génétiques.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

SILVANA CONDEMI,
paléoanthropologue
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