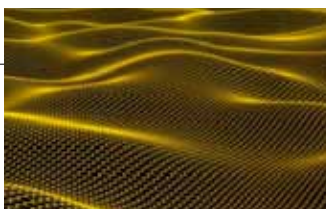


GRAPHÈNE Feuille composée de carbone formant une structure en nid d'abeilles de l'épaisseur d'un atome. Un matériau robuste, flexible et excellent conducteur.



EXFOLIATION Méthode d'obtention du graphène par séparation de feuillets de graphite. Peu coûteuse, elle ne permet d'obtenir que du graphène de qualité moyenne.

ÉPITAXIE Technique de fabrication de graphène par croissance de carbone sur un cristal. Plus onéreuse que l'exfoliation, elle fournit du graphène très pur.

L'avenir de l'électronique passe par le graphène

Ce matériau aux propriétés exceptionnelles pourrait révolutionner les nouvelles technologies, sous réserve de franchir les obstacles à la production industrielle. L'Europe investit massivement.

L'UNION EUROPÉENNE fait des paris à 1 milliard d'euros ! La Commission vient d'accorder ce jackpot à chacun des deux projets phares sélectionnés dans le cadre du programme Flagship (« vaisseau amiral »). Heureux élu : le projet Graphène (au côté du Human Brain Project, qui vise à simuler un cerveau humain, voir S. et A. n° 768, février 2011). Du nom de ce matériau grâce auquel l'Europe espère se relancer dans la course aux technologies, la France en tête (le CNRS étant le premier partenaire de Graphène). « *Le graphène va rebattre les cartes de l'électronique de demain !* » s'enflamme déjà Bernard Plaçais, directeur de recherche CNRS au laboratoire Pierre-Aigrain à Paris. Le rêve d'écrans pliables et d'ordinateurs incroyablement plus rapides est à portée de main. Qui eût prédit un tel horizon au banal graphite, autrefois considéré comme juste bon à faire des mines de crayon ? Les chercheurs n'y ont longtemps vu qu'un ensemble d'atomes de carbone assemblés en hexagones sur un plan, comme un nid d'abeilles. Ces plans s'empilent (la liaison entre chaque feuillet d'hexagones restant faible)... et plusieurs d'entre eux se détachent sur une feuille lorsqu'on écrit au crayon, permettant de laisser une trace

Le projet européen

1 milliard d'euros, dont la moitié allouée par l'Union européenne, le reste par les États membres et les partenaires privés.

10 ans, la durée du financement.

74 partenaires académiques et industriels issus de 17 pays, réunissant 126 groupes de recherche.

15 laboratoires français impliqués.

WWW.GRAPHENE-FLAGSHIP.EU

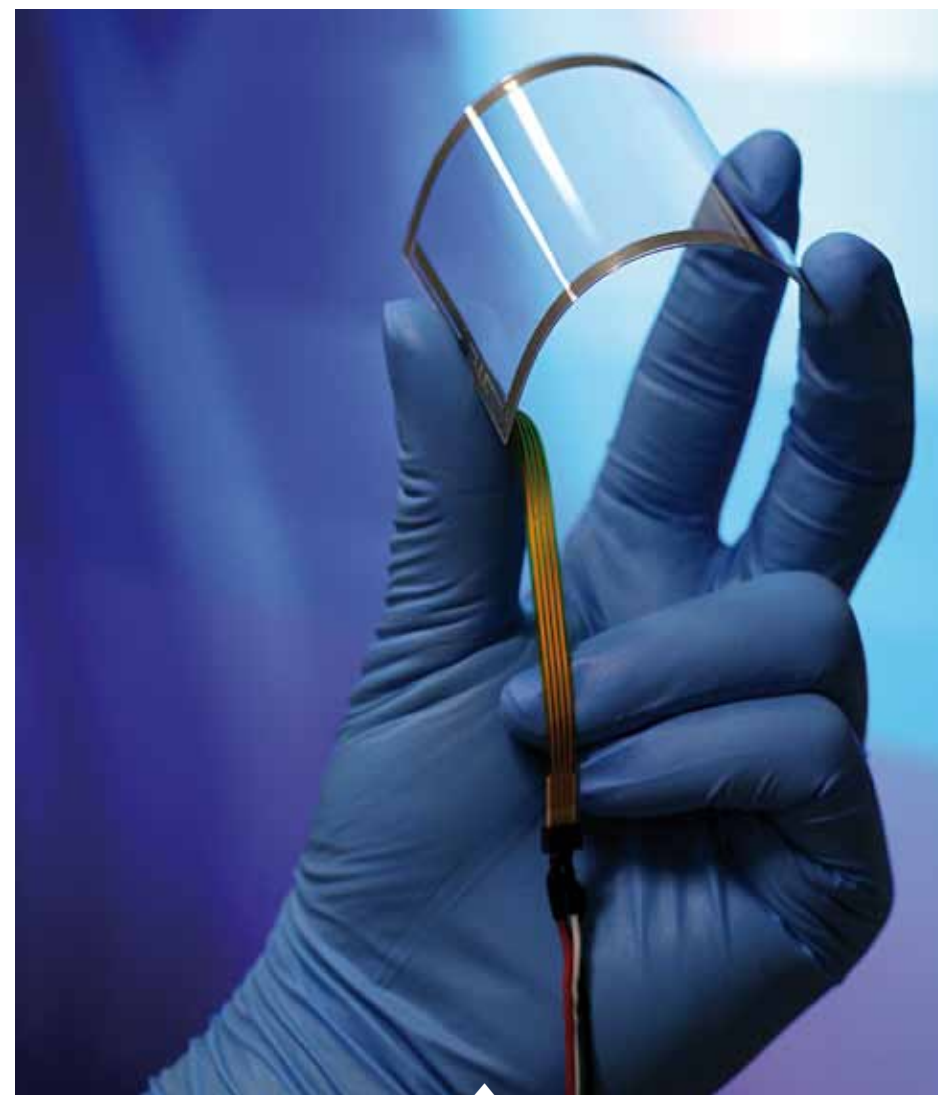
sur le papier. Mais de là à séparer et isoler les feuillets ? Longtemps jugé impossible, ce fut le coup de maître de deux physiciens de l'université de Manchester en Grande-Bretagne : en 2004, Andre Geim et Konstantin Novoselov y sont parvenus à l'aide... d'un simple Scotch ! Plusieurs feuillets de graphite sont restés collés au ruban adhésif, et en renouvelant l'opération plusieurs fois, ils ont obtenu un feuillet unique, autrement dit un cristal d'un seul atome d'épaisseur, qu'ils ont étudié, découvrant ses étonnantes propriétés.

Très robuste, flexible et transparent, il est le meilleur conducteur électrique connu et il conduit la chaleur mieux que le cuivre. « *C'est la combinaison extraordinaire de ces propriétés qui ouvre la voie vers des applications inaccessibles aux autres matériaux* », s'enthousiasme Vincent Derycke, chercheur au laboratoire d'électronique moléculaire du CEA de Saclay. À commencer par l'électronique, en particulier dans le domaine des écrans souples : livres électroniques pliables, tablettes tactiles flexibles, cellules photovoltaïques implantables sur n'importe quelle surface... Autant d'applications qui nécessitent des électrodes transparentes, aujourd'hui fabriquées en oxyde d'indium et d'étain (ITO). Or, l'indium, dont la Chine détient

le tiers des réserves (voir S. et A. n° 743, janvier 2009 p. 78), est un métal de plus en plus rare, car très utilisé dans les écrans plats à cristaux liquides (LCD). D'où la ruée des industriels vers le graphène, composé de carbone présent en quantités presque illimitées sur Terre, notamment dans les plantes. Le graphène est aussi relégué avec gourmandise dans le domaine des vêtements connectés et des dispositifs médicaux implantés dans le corps. Leurs circuits électroniques flexibles sont en effet imprimés avec des encres contenant des polymères conducteurs ou des particules métalliques... que le graphène peut remplacer.

L'enjeu est de parvenir à en fabriquer des km² à bas coût

Reste à développer les méthodes de fabrication à bas coût. La méthode du Scotch offre un matériau de très bonne qualité, mais sur des surfaces minuscules (de 10 à 100 micromètres carrés). Deux autres technologies sont donc en concurrence pour les applications en électronique flexible : l'exfoliation en voie liquide vise à séparer les feuillets de graphite par exemple en y intercalant des molécules ; le dépôt en phase vapeur consiste à décomposer un précurseur contenant du carbone sur une surface métallique, puis à transférer le



Ce prototype d'écran tactile flexible, fabriqué en Corée du Sud en 2010, est constitué d'un film de graphène déposé sur une feuille de plastique.

graphène ainsi obtenu sur un substrat. Le coréen Samsung a réussi à en fabriquer 1 m² sur du cuivre en 2010, qu'il a reporté sur du plastique. L'enjeu est désormais d'en fabriquer des kilomètres carrés. L'incroyable mobilité des électrons dans les feuillets de graphène intéresse aussi les chercheurs : ils sont 100 fois plus mobiles que dans les meilleurs semi-conducteurs ! Et qui dit électrons rapides dit électronique rapide (à des fréquences supérieures au gigahertz), « présente dans la téléphonie mobile, les télécommunications à haut débit, les

communications par satellite, ou les radars », indique Bernard Plaçais. Cette industrie, qui aujourd'hui utilise notamment l'arséniure de gallium (GaAs), pourrait réaliser des dispositifs plus rapides et plus petits, à moindre coût. Utile, par exemple, pour généraliser les radars dans les voitures en vue de l'aide au stationnement ou de la conduite sans pilote. L'objectif final étant d'atteindre le térahertz (1000 GHz), une gamme d'ondes électromagnétiques comprise entre les infrarouges et les micro-ondes, aujourd'hui diffi-

ciles à produire et à détecter. Très pénétrantes, elles sont utilisées dans les « scanners corporels » de certains aéroports, comme celui de Roissy-Charles-de-Gaulle. Là encore, la question de la production se pose, ces applications, nécessitant du graphène de très haute qualité. Claire Berger et ses collègues du Georgia Institute of Technology (États-Unis), ont mis au point une méthode par épitaxie : un cristal de carbure de silicium (SiC) est chauffé à plus de 1500 °C sous atmosphère inerte. Le silicium se vaporise, le carbone se réorganise en surface, « cela permet de fabriquer du graphène de qualité sans avoir à le transférer », explique Claire Berger, également chercheuse à l'Institut Néel de Grenoble. Quant au laboratoire de photonique et de nanostructures du CNRS à Marcoussis (Essonne), il vient de breveter une méthode de croissance de graphène sur un substrat de silicium recouvert d'une couche d'accrochage de carbone de silicium. Le silicium étant moins cher que le SiC, ce procédé pourrait rendre l'électronique rapide plus abordable.

Il ne peut pas être utilisé comme semi-conducteur

Mais contrairement au silicium, le graphène est conducteur et non semi-conducteur. Un handicap majeur : on ne peut jamais « couper » complètement la circulation des électrons ; les transistors à base de ce matériau consomment donc continuellement de l'énergie. Et s'il est possible de rendre le graphène semi-conducteur en le découpant en rubans aux rebords parfaitement réguliers, il perd alors son excellente mobilité car ce ruban n'est plus un cristal bidimensionnel parfait. Le graphène sera donc réservé aux applications où un semi-conducteur n'est pas indispensable. « Pour la transmission d'un signal, le Wi-Fi par exemple », précise Vincent Derycke. En revanche, les ordinateurs au graphène ne sont pas encore pour demain. ■ **Cécile Michaut**