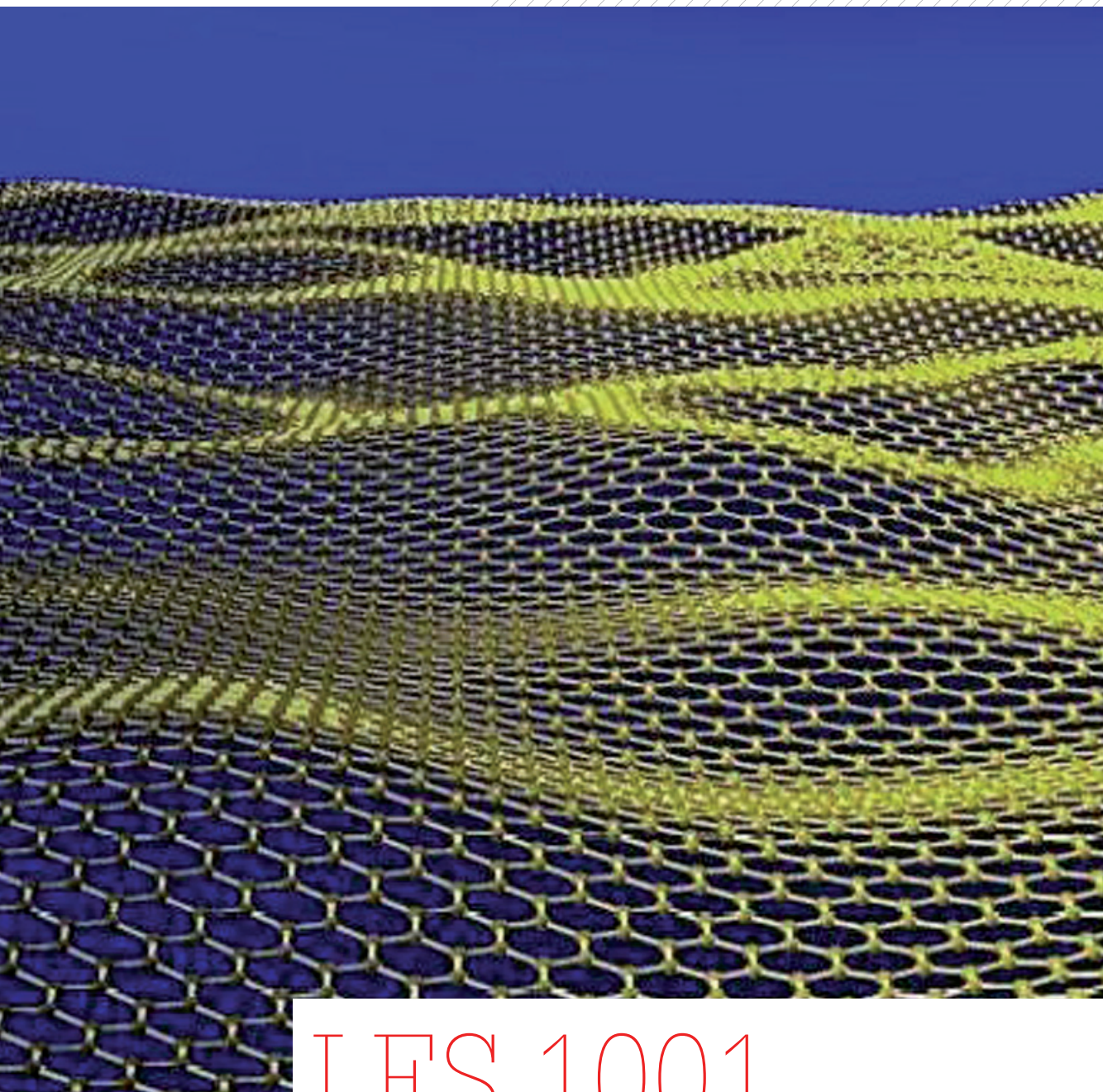


LES FOCUS  
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR



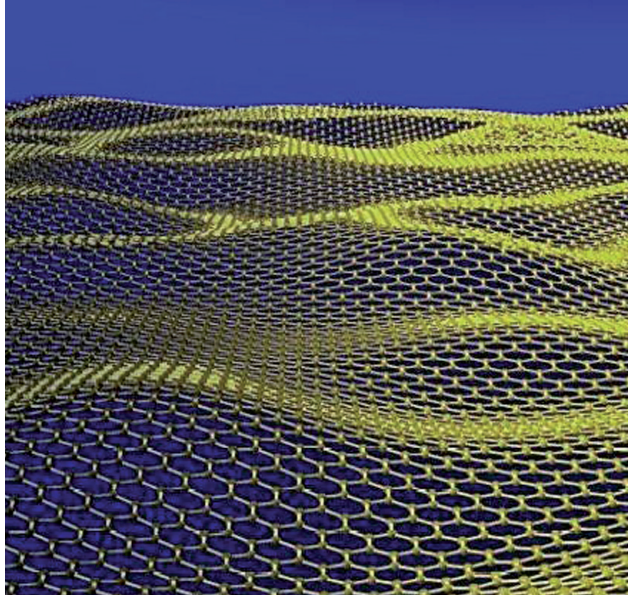
# LES 1001 USAGES DU GRAPHÈNE

---

Octobre / 2014

# SOMMAIRE

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SOMMAIRE</b>                                                               | <b>2</b>  |
| <b>AVANT-PROPOS</b>                                                           | <b>3</b>  |
| <b>LE GRAPHÈNE PEUT POLARISER LA LUMIÈRE</b>                                  | <b>4</b>  |
| <b>LE GRAPHÈNE PEUT BEL ET BIEN S'UTILISER COMME SEMI-CONDUCTEUR</b>          | <b>6</b>  |
| <b>TRANSISTORS FLEXIBLES À BASE DE GRAPHÈNE</b>                               | <b>7</b>  |
| <b>DU GRAPHÈNE DANS LES PRÉSERVATIFS DE DEMAIN</b>                            | <b>8</b>  |
| <b>ENFIN UNE BATTERIE À BASE DE GRAPHÈNE</b>                                  | <b>9</b>  |
| <b>LE GRAPHÈNE, UNE PORTE VERS LE MONDE DES ONDES TÉRAHERTZ</b>               | <b>10</b> |
| <b>LE GRAPHÈNE, BIENTÔT AU SERVICE DE L'ÉLECTRONIQUE DE SPIN ?</b>            | <b>11</b> |
| <b>PRODUIRE DE L'ÉNERGIE À PARTIR D'HYDROGÈNE EN FROISSANT DU GRAPHÈNE</b>    | <b>13</b> |
| <b>MODÉLISER UN CIRCUIT INTÉGRÉ EN GRAPHÈNE, À L'AIDE D'UN CRAYON IONIQUE</b> | <b>15</b> |
| <b>LES PÈRES DU GRAPHÈNE REVIENNENT SUR LEUR DÉCOUVERTE</b>                   | <b>17</b> |



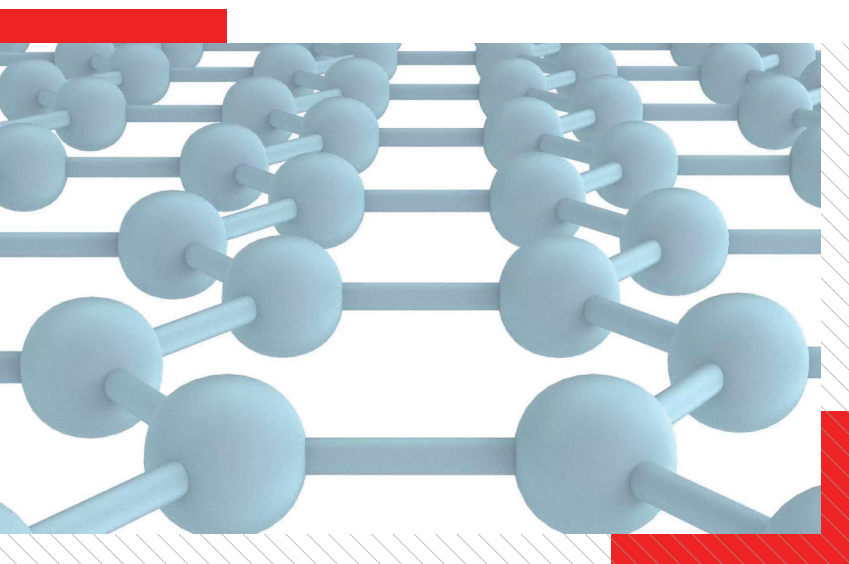
## AVANT-PROPOS

Le graphène est plus que jamais considéré comme un matériau « miracle », tant ses qualités sont nombreuses et prometteuses (extrême solidité, conducteur, léger, imperméabilité aux gaz...). À cette longue liste de propriétés, pourrait bien s'ajouter l'adhésivité.

Au centre de très nombreuses recherches et études scientifiques ces dernières années, le graphène est un cristal bidimensionnel de carbone, composé d'une simple couche sans défaut, et dont les atomes sont arrangés sous la forme d'un treillage hyper-régulier, de type rayons de nid d'abeille. L'empilement de ces couches constitue le graphite, existant dans la nature. Le graphène est l'un des matériaux les plus résistants testés jusqu'à maintenant, possédant de remarquables qualités de conductivité, d'imperméabilité à la plupart des gaz, rendant potentiellement son utilisation à l'échelle nano très intéressante. Toutefois, sa production reste encore très problématique et onéreuse.

Voici une liste non exhaustive des applications innovantes faisant intervenir les propriétés du graphène.

# LE GRAPHÈNE PEUT POLARISER LA LUMIÈRE



*Des chercheurs ont découvert le « polarizer » le plus fin du monde, qui s'appuie sur des vagues électromagnétiques couplées, guidées et polarisées par graphène. Cette découverte pourrait permettre un jour d'intégrer sur des circuits photoniques, des communications à haute vitesse optique.*

Le graphène, une couche ultra-plate d'atomes de carbone dans un treillis de crystal hexagonal, passionne aujourd'hui nombre de chercheurs en raison de ses propriétés électriques et photoniques uniques. En 2010, le prix Nobel de physique a d'ailleurs été remis à André Geim et Konstantin Novoselov, professeurs à l'Université de Manchester (Royaume-Uni) qui ont isolé le graphène, souvent qualifié de « matériau miracle » - c'est le plus fin cristal connu, ultra-résistant, transparent, excellent conducteur d'électricité, très dense.

Dr. Han Zhang, chercheur post-doctorant auprès du service OPERA-photonique (Faculté des Sciences appliquées) de l'ULB, en collaboration avec le Prof. Loh (National University of Singapore) vient de découvrir le « polarizer » le plus fin du monde, qui s'appuie sur des vagues électromagnétiques couplées, guidées et polarisées par graphène. Les chercheurs estiment que cette découverte permettra un

jour d'intégrer sur des circuits photoniques, des communications à haute vitesse optique.

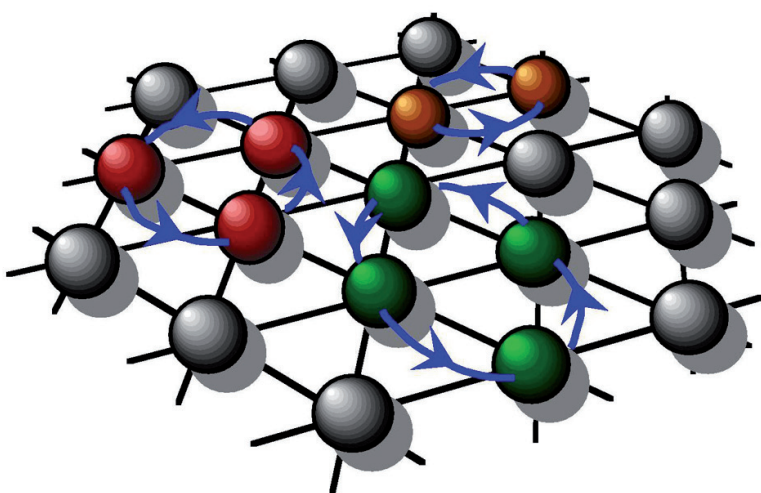
Les « polarizers » optiques sont les composants élémentaires de communications optiques quantiques par scission de l'état de polarisation d'un signal optique. À l'heure actuelle, il y a des demandes croissantes de communications optiques à grande vitesse basées sur des mobiles, appelant à la miniaturisation des appareils opto-électroniques. Toutefois, les « polarizers » optiques conventionnels sont chers, épais, discrets et peuvent requérir un parallélisme additionnel. Grâce aux propriétés optiques à large bande induites par sa structure à énergie exceptionnelle, le « polarizer graphènes » présente une largeur de bande supérieure. En fabriquant des « polarizers graphènes » qui combinent les avantages du coût faible (moins de quelques euros), du caractère compact, d'un temps de relâchement ultra-court et d'une large gamme d'opérations possibles,

les chercheurs pensent que ce matériel permettra de nouvelles architectures pour des communications optiques sur puces ultra-rapides.

En plus de son potentiel industriel, cette recherche publiée dans Nature Photonics le 30 mai 2011, présente un grand intérêt fondamental. Elle traite de la manière dont la lumière se propage le long d'une surface ultra-fine à deux dimensions. En raison de la chaîne de fibre optique, les chercheurs peuvent désormais découvrir aisément comment les graphènes guident et interagissent avec des vagues électromagnétiques, avec un effet polarisant attribué à l'atténuation différenciée de deux modes de polarisation. Cette découverte ouvre la voie à une nouvelle physique : dans les prochaines années, les chercheurs en photonique, plasmonique et nano-sciences dans cette structure de « graphène polarizer » auront un nouveau terrain pour tester leurs idées et méthodes vers des appareils photoniques-plasmoniques tout en carbone.

Source : communiqué de presse de Université Libre de Bruxelles,  
Université d'Europe - ULB, 30 mai 2011 - <http://www.ulb.ac.be/>

# LE GRAPHÈNE PEUT BEL ET BIEN S'UTILISER COMME SEMI-CONDUCTEUR



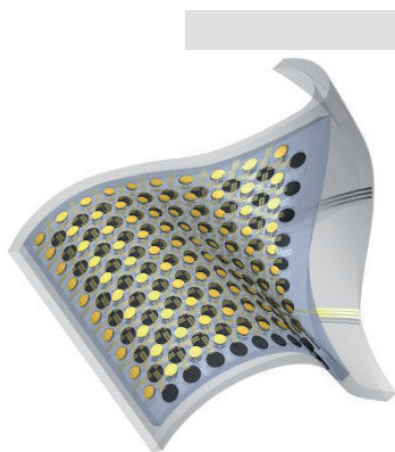
*Une nouvelle étude vient confirmer l'avenir prometteur du graphène en micro-électronique.*

Le graphène passionne les chercheurs : une mobilité électronique exceptionnelle, une forte conductivité thermique, une stabilité chimique et la possibilité de contrôler sa conductance via un simple champ électrique en font un matériau très prometteur. Mais pour utiliser toute l'étendue de ses pouvoirs, le graphène devait se présenter sous une forme semi-conductrice. Une équipe franco-américaine incluant des scientifiques du Georgia Institute of Technology (USA), du CNRS, du synchrotron SOLEIL, de l'Institut Jean Lamour (CNRS/Université de Lorraine, Nancy) et de l'Institut Néel (Grenoble) vient d'y parvenir.

Ils ont réussi à mettre au point une technique de production de nano-bandes de graphène semi-conductrices grâce au contrôle de la géométrie du substrat sur lequel a lieu la croissance du graphène. Cette maîtrise est rendue possible en gravant des nano-sillons sur une surface en carbure de silicium (SiC). Sur ce substrat, le graphène croît sous la forme d'un ruban dont le bord, lié à du graphène métallique, est semi-conducteur. Cette technique présente deux avantages majeurs : travailler à température ambiante, et obtenir une bande de graphène semi-conductrice cinq fois plus fine que le record détenu par IBM en lithographie ! De plus, un frein à l'utilisation massive du graphène en micro-électronique est son coût de fabrication. Or, l'équipe franco-américaine est parvenue à produire des dizaines de milliers de ces rubans aux bords semi-conducteurs, ce qui rend envisageable leur production à l'échelle industrielle.

*Par Audrey Loubens, journaliste scientifique*

# TRANSISTORS FLEXIBLES À BASE DE GRAPHÈNE



*Des chercheurs ont mis au point un nouveau procédé de fabrication de transistors flexibles à partir de graphène solubilisé.*

Pour la première fois, des scientifiques du CEA, du CNRS de l'université de Lille1 et de celle de Northwestern ont fabriqué des transistors flexibles sur des substrats de polyimide en utilisant du graphène solubilisé. La voie de synthèse utilisée permet de ne sélectionner que des feuillets monocouches plutôt qu'un mélange de graphène monocouches et multicouches, assurant ainsi les meilleures propriétés électroniques.

Ces travaux ont fait l'objet d'une publication dans la revue Nano Letters en mars 2012. On y découvre que le procédé mis au point utilise la technique de diélectrophorèse (DEP), qui permet de maîtriser la direction du dépôt du graphène afin d'obtenir localement une forte densité de feuillets déposés, et donc de très bonnes performances à haute fréquence, avec notamment une mobilité des charges dans les transistors fabriqués d'environ  $100\text{cm}^2/\text{V.s}$ , et la possibilité d'atteindre des très hautes fréquences jusqu'ici inatteignable avec des semi-conducteurs organiques classiques, jusqu'à 8 GHz.

Ces travaux mettent en lumière l'intérêt d'utiliser du graphène sous sa forme solubilisée, et ouvrent la voie à une nouvelle génération de transistors flexibles pour des applications comme les écrans souples, l'électronique intégré dans les textiles ou encore les étiquette RFID.

Par Audrey Loubens

# DU GRAPHÈNE DANS LES PRÉSERVATIFS DE DEMAIN

*La fondation Bill & Melinda Gates finance des projets pour améliorer les méthodes de contraception.*



Onze projets ont retenu l'attention de la fondation américaine du célèbre ex-patron de Microsoft. Des projets à la thématique originale puisqu'il s'agit de travailler sur les préservatifs du futur, l'objectif final étant de développer le recours à la contraception. Comme Bill Gates ne fait pas les choses à moitié, ce sont des subventions de 100 000 dollars qui ont été attribuées aux onze projets sélectionnés. Si les développements se révèlent fructueux, la fondation pourra verser jusqu'à 1 million de dollars pour faire aboutir les travaux.

Vous vous dites qu'à ce prix, ce seront des capotes en or ? Et bien non ! Mais des préservatifs en graphène, oui. Deux projets subventionnés exploitent effectivement les propriétés de ce matériau constitué d'un unique plan atomique de carbone. Depuis sa découverte en 2004, le graphène suscite de nombreux espoirs dans différents domaines. Mais c'est la première fois qu'il prend part à l'élaboration des préservatifs du futur.

Pour le premier projet, il s'agit d'exploiter la finesse du graphène pour obtenir des préservatifs à la finesse excep-

tionnelle. Le deuxième projet souhaite intégrer du graphène au caoutchouc pour améliorer la sensibilité lors des rapports, argument parfois évoqué pour justifier la non utilisation de préservatifs.

La fondation Bill & Melinda est très engagée dans la lutte contre les maladies sexuelles, le financement de méthodes de contraception est donc en parfaite cohérence avec leurs objectifs. Parmi les autres projets, l'université de l'Oregon travaille sur un préservatif en polymère de polyuréthane. Un matériau à mémoire de forme pour un préservatif « taille unique », capable de s'ajuster à toutes les tailles de pénis. Un laboratoire californien, quant à lui, s'oriente vers des fibrilles de collagène de tendons de vache.

Toutes ces approches visent à proposer des préservatifs qui altèrent le moins possible la sensation et facilitent l'enfilage. En levant ces deux freins, la fondation espère développer l'utilisation du préservatif et ainsi lutter contre les MST.

*Par Audrey Loubens, journaliste scientifique*

# ENFIN UNE BATTERIE À BASE DE GRAPHÈNE

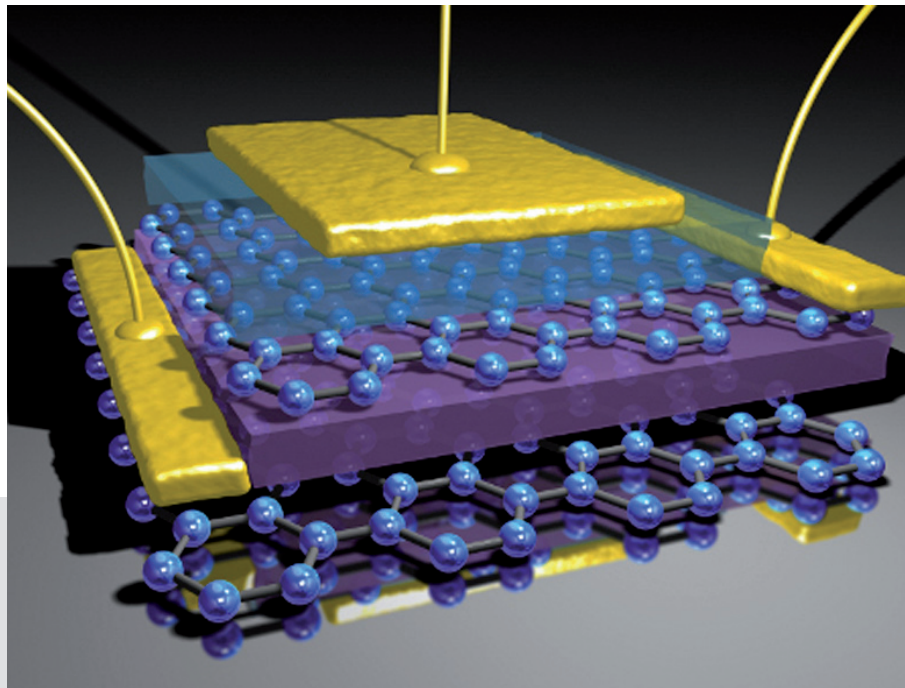
*Des chercheurs ont fabriqué une puce à base de silicium et de graphène. Celle-ci a un temps de chargement de seulement quelques secondes.*

Publiée dans *Nature*, l'invention des scientifiques de l'université Vanderbilt dans le Tennessee va faire pâlir d'envie tous les propriétaires de smartphones. Imaginez, une batterie qui se recharge en quelques secondes et qui tient plusieurs semaines ? Un rêve devenu réalité grâce à un choix de matériau audacieux, le graphène.

Le principe est de remplacer le système classique, un stockage chimique de l'électricité, par un système basé sur une puce en silicium permettant d'assembler des ions sur un matériau poreux. Le choix du graphène est un succès puisque pour la première fois, le système fonctionne de façon stable.

D'après leurs résultats, une telle batterie abaisserait le temps de chargement à quelques secondes contre plusieurs minutes voire plusieurs heures. Deuxième avantage, la batterie tiendrait plusieurs semaines ! Et ce n'est pas fini. Les chercheurs indiquent une durée de vie 4 fois plus importante avec une moyenne de 5 000 rechargements contre seulement 1 200 pour les batteries standards.

Alors, la fin de l'ère des batteries au lithium a-t-elle sonné ? Pas encore. Car il y a une chose que les chercheurs ne chiffrent pas, c'est le coût d'un tel système. Rappelons qu'en 2013, un gramme de graphène coûte 800 dollars, ce qui reste très cher et incompatible avec une production de masse. Néanmoins, le fonctionnement de cette nouvelle batterie au silicium-graphène est très prometteur. D'autant qu'un autre secteur que la téléphonie mobile s'intéresse à ces batteries. Il s'agit de l'industrie automobile, dont les voitures électriques pourraient bien s'équiper dans le futur pour enfin proposer une autonomie digne de ce nom.



# LE GRAPHÈNE, UNE PORTE VERS LE MONDE DES ONDES TÉRAHERTZ



*Des chercheurs américains ont réussi à exploiter quelques-unes des innombrables propriétés du graphène, matériau miracle par excellence, ouvrant la voie à l'exploitation d'une portion du spectre électromagnétique relativement peu exploitée mais en plein essor : les ondes térahertz.*

Domaine longtemps laissé en friche faute de sources et de détecteurs adaptés, l'exploitation des ondes térahertz (entre 100 GHz et 30 THz) pourrait connaître un nouvel essor grâce aux récentes découvertes sur les semi-conducteurs, et aux avancées réalisées sur l'irremplaçable matériau miracle, le graphène. Une équipe de chercheurs de l'université américaine de Notre-Dame, dans l'Indiana, a eu l'idée d'associer les innombrables propriétés du graphène au développement des technologies utilisant les ondes térahertz.

Les ondes térahertz offrent de nouvelles perspectives alléchantes dans les domaines de la communication, de l'imagerie médicale, de la détection chimique et dans l'avènement des scanners corporels. Faisant la transition entre les infrarouges et les micro-ondes, les ondes térahertz sont connues pour être difficiles à produire, à détecter et à moduler. La modulation, autrement dit, la variation de la hauteur des ondes térahertz, est particulièrement importante car un signal modulé est à même de transporter une information et est nettement plus polyvalent, eu égard aux possibles applications tant physiques que chimiques ou biologiques.

La plus grande partie des technologies prometteuses qui exploitent les ondes térahertz, se base sur des semi-conducteurs, dont le principal défaut dépend d'une fine couche de métal appelée « metal gate » permettant de régler le signal, mais en en réduisant son intensité et en limitant à près de 30 % les possibilités de modulations. C'est ici que l'équipe américaine intervient : en tablant sur le remplacement de la couche de métal par une seule couche de graphène, les modulations se sont vues atteindre les 90 % théoriques. Les modulations seraient alors contrôlées par l'application d'un simple voltage. Le graphène, qui n'en est plus à son coup d'essai, ne fait a priori que commencer sa révolution.

*Par Rahman Moonzur*

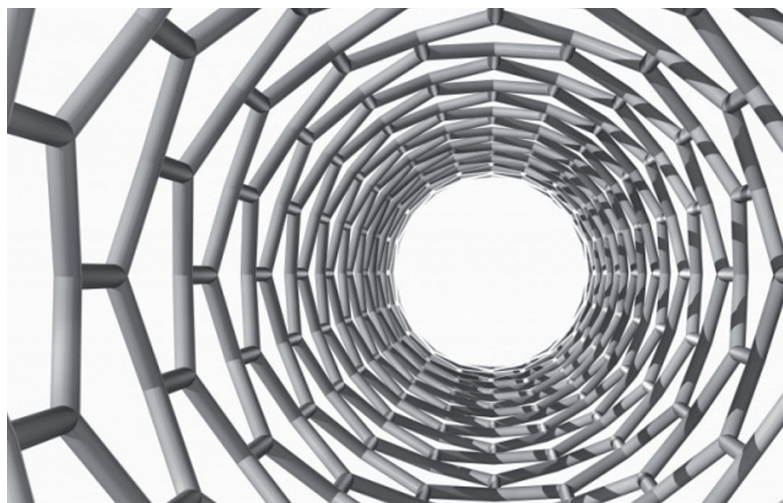
# LE GRAPHÈNE, BIENTÔT AU SERVICE DE L'ÉLECTRONIQUE DE SPIN ?

*Des chercheurs espagnols sont parvenus à donner au graphène, le « matériau miracle », de nouvelles propriétés magnétiques, laissant ainsi entrevoir une possible utilisation dans le domaine de l'électronique de spin.*

L'avènement de nos futurs ordinateurs quantiques est intimement lié aux recherches effectuées dans le domaine de l'électronique de spin (aussi baptisée Spintronique), une électronique « nouvelle » qui émerge rapidement sous l'impulsion de nombreuses découvertes réalisées ces dernières années.

Une équipe de chercheurs de l'Institut IMDEA pour les Nanosciences (l'un des huit IMDEA, les fameux instituts madrilènes pour l'enseignement supérieur), ainsi que des universités Autonome et Complutense de Madrid, serait parvenue à donner au graphène de nouvelles propriétés magnétiques.

Les travaux des chercheurs espagnols, publiés dans la revue scientifique Nature Physics, créent un pont prometteur entre le « matériau miracle » par excellence et l'électronique de spin, avec la mise au point d'une surface hybride composée de graphène et se comportant peu ou prou comme un aimant.



## SPIN DE L'ÉLECTRON

Bien que les électrons aient une charge et un spin, le spin a longtemps été ignoré en faveur de la charge de l'électron, essence même de l'électronique classique qui déplace les électrons en n'ayant d'yeux et en agissant uniquement sur la charge de celui-ci.

L'électronique de spin se base elle-aussi sur la charge de l'électron, mais se démarque en ne laissant pas le spin sur le carreau.

Le spin de l'électron est une propriété quantique dont la manifestation macroscopique (l'aimantation d'un matériau magnétique) lui permet d'être utilisée pour stocker de l'information.

L'évolution de la Spintronique tend à lui associer aussi bien les semi-conducteurs que la ferromagnétique, pour être le fer de lance de l'optoélectronique et du traitement de l'information quantique.

## MAGNÉTISER LE GRAPHÈNE

Afin de pouvoir lier spintronique et graphène, le challenge fut donc de parvenir à magnétiser ce matériau : la technique implique de recouvrir du ruthénium (élément chimique de numéro 44, métal de transition) avec une pellicule de graphène dans une enceinte où des conditions d'ultravide ont été créées.

Les molécules de tétracyanoquinodiméthane (TCNQ, agissant comme un semi-conducteur à basse température sur certains composés) s'évaporent sur la surface du graphène, s'organisent et finissent par se répartir de manière régulière sur la surface du matériau en interagissant avec le substrat de graphène-ruthénium, comme ont pu le constater à leur grande surprise les scientifiques, à l'aide d'un microscope à effet tunnel.

Le résultat ? Une nouvelle couche magnétique, à base de graphène.

Au centre de très nombreuses recherches et études scientifiques ces dernières années, le graphène est un cristal bidimensionnel de carbone, composé d'une simple couche sans défaut, dont les atomes sont arrangés sous la forme d'un treillage hyper-régulier, de type rayons de nid d'abeille.

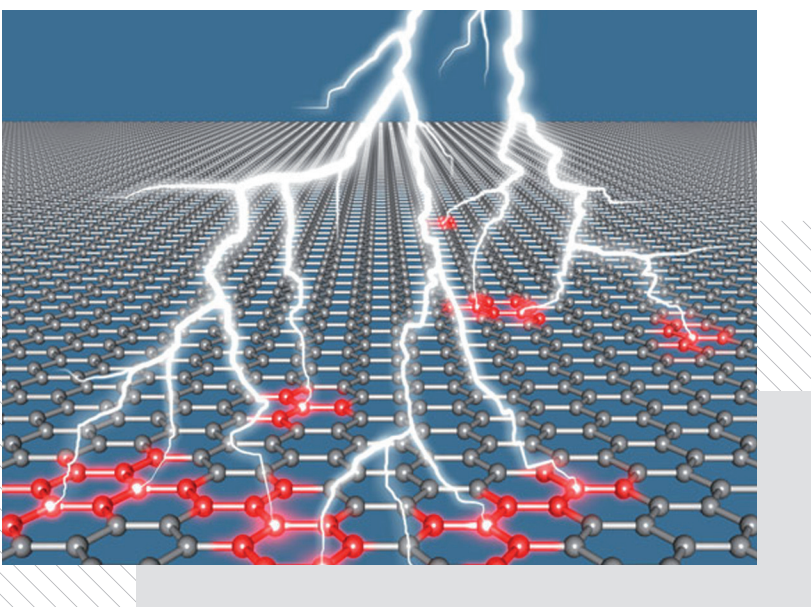
L'empilement de ces couches constitue le graphite, matériau existant dans la nature.

Le graphène, qualifié ici et là de « matériau miracle », est l'un des matériaux les plus résistants testés jusqu'à présent, possédant de remarquables qualités de conductivité, rendant potentiellement son utilisation à l'échelle nano très intéressante.

Un hic de taille, toutefois : la production reste encore très problématique et onéreuse, malgré de nombreuses tentatives afin de surmonter ces difficultés.

*Par Moonzur Rahman*

# PRODUIRE DE L'ÉNERGIE À PARTIR D'HYDROGÈNE EN FROISSANT DU GRAPHÈNE



*Froisser un feuillet de graphène pourrait être la solution pour emmagasiner de l'hydrogène de manière efficace et économique, à des fins énergétiques.*

Une étude menée par des chercheurs de l'Institut des Nanosciences du Conseil National des Recherches, montre qu'en contrôlant le plissement du graphène, il est possible de lui faire absorber puis libérer de l'hydrogène. Le résultat a été publié dans la revue *Journal of Physical Chemistry*.

L'hydrogène, qui pourrait être le principal combustible du futur pour une énergie propre et efficace, est difficile à accumuler et à conserver. Cette problématique occupe de nombreuses équipes de recherche à travers le monde, mais souvent, les solutions proposées se heurtent au problème de la phase finale, lorsque l'hydrogène doit être libéré, car cette manipulation nécessite des pressions et températures très élevées, et entraîne un gaspillage énergétique important.

Valentina Tozzini et Vittorio Pellegrini, du Laboratoire Nest de l'Institut des Nanosciences du Cnr et de l'Ecole Normale Supérieure de Pise, ont démontré grâce à des calculs théoriques et des simulations, que le contrôle du plissement du graphène, matériel formé par une seule couche d'atomes de carbone disposés en nids d'abeilles en treillis (découverte qui a valu le prix Nobel de Physique en 2010 à Andre Geim et Konstantin Novoselov), permet de libérer l'hydrogène, même dans des conditions de pression et de températures normales.

Les calculs des chercheurs indiquent que lorsqu'une couche de graphène est compressée latéralement de manière à former des plis, l'hydrogène adhère chimiquement aux extrémités de ces sinuosités. En décalant les plis, de manière analogue au mouvement d'une vague, les

anfractuosités se déplacent et l'hydrogène se retrouve dans une zone concave où l'adhésion est défavorisée. Ce mécanisme combiné à l'effet dynamique de la formation de vagues, provoque la libération de l'hydrogène. "L'hydrogène a une forte affinité pour les zones convexes du graphène, et très peu pour celles concaves", explique Valentina Tozzini, "car l'énergie du lien est proportionnelle à l'incurvation du treillis atomique. Une fois capturé sur les extrémités, il est possible de libérer l'hydrogène en inversant l'incurvation. C'est un peu comme secouer un tapis de graphène plein de poussière d'hydrogène".

Les chercheurs ont ensuite entrepris de produire des couches de graphène plissé en laboratoire et d'inverser les ondulations du matériau de manière contrôlée. "Utiliser l'incurvation du graphène pour absorber et libérer de l'hydrogène est une idée nouvelle", explique Vittorio Pellegrini, co-auteur de l'étude, "la réalisation du dispositif dépend de nombreux paramètres techniques que nous avons à peine commencé à explorer, et les simulations de cette étude, montre que la route est semée d'embûches".

(Source : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/68775.htm>)

# MODÉLISER UN CIRCUIT INTÉGRÉ EN GRAPHÈNE, À L'AIDE D'UN CRAYON IONIQUE

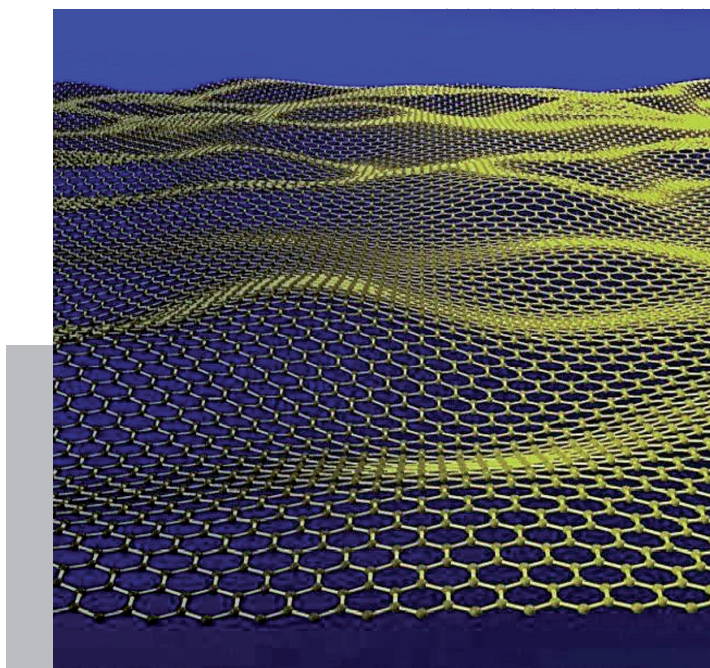
*Une équipe de chercheurs de l'université de Floride a développé une technique permettant de créer des circuits intégrés en graphène, « matériau miracle » de par ses nombreuses qualités, à l'aide d'un crayon ionique dispensant des ions Or sur un tracé d'une vingtaine de nanomètres d'épaisseur.*

L'empilement de ces couches constitue le graphite, existant dans la nature. Le graphène est un des matériaux les plus résistants testés jusqu'à présent, il possède de remarquables qualités de conductivité et d'imperméabilité à la plupart des gaz, ce qui pourrait rendre son utilisation à l'échelle nano très intéressante. Son seul vrai défaut, et pas des moindres : sa production reste encore très problématique, et est particulièrement onéreuse.

Ce sont les fantastiques propriétés électriques de ce cristal bidimensionnel qui ont amené les scientifiques de tous bords à imaginer le futur des circuits intégrés, futur dans lequel le graphène aurait donc une place de choix. Une équipe de chercheurs de l'université de Floride a donc décidé dans cette optique de s'attaquer à l'un des obstacles majeurs à l'utilisation de ces feuilles d'un atome d'épaisseur dans la conception des circuits intégrés, à savoir comment produire le graphène de manière parfaitement fiable et à grande échelle.

## CARBURE DE SILICIUM (SiC)

L'équipe de scientifiques américains aurait récemment développé une nouvelle technique prometteuse de création de modèles de graphène, dont la précision du tracé



pourrait se prêter idéalement à la conception et au dessin complexe d'un circuit intégré, technique s'appuyant sur un minéral presque exclusivement artificiel, le carbure de silicium (SiC). La forme monocristalline du carbure de silicium peut être considérée comme un semi-conducteur, alors que sa forme polycristalline est rangée dans la catégorie des céramiques.

L'obtention du graphène à partir du SiC, que l'on appelle graphène « épitaxié », n'a en soi rien de bien nouveau. Il suffit de chauffer sous vide le carbure de silicium, à 1300 degrés, pour que les atomes de silicium composant les couches externes du SiC s'évaporent, ne laissant alors plus que les atomes de carbone, qui finissent par se réorganiser en fines couches de graphène pur.

## IONS OR ET « CRAYON IONIQUE »

Idéale pour créer de grandes feuilles de graphène, cette décomposition thermique présente toutefois des limites lorsqu'il s'agit d'imprimer une forme, un circuit ou un dessin précis après évaporation. Le processus de gravure ou de découpe habituellement utilisé pour la mise en forme a pour inconvénient de réduire la mobilité des électrons dans le matériau, une de ses qualités les plus précieuses.

L'idée de génie de l'équipe américaine pour limiter la croissance du graphène, et ainsi le cantonner dans les limites d'un tracé précis d'une épaisseur d'à peine une vingtaine de nanomètres, fut d'ajouter des ions Or au carbure de silicium, à l'aide d'un « crayon ionique ». Les ions Or ont la particularité de baisser d'une centaine de degrés la température à laquelle le graphène se forme, l'amenant à se former autour de 1 200 degrés Celsius au lieu des 1 300 degrés requis. Les ions Or laissent donc la possibilité à une fine couche de graphène de se former partout où elle

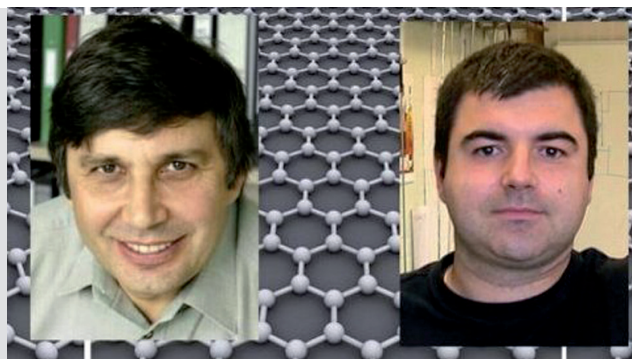
est désirée, une fois le carbure de silicium porté à 1 200 degrés (à cette température, le carbure de silicium pur ne forme pas de graphène), respectant ainsi le tracé exact voulu pour le circuit intégré, tracé esquissé par le crayon ionique.

## CROISSANCE SÉLECTIVE À PLUS FAIBLE TEMPÉRATURE

L'utilisation de cette technique par l'équipe de l'université de Floride a permis à de créer, avec succès, des nanofils de graphène, et ce à plusieurs reprises. En affinant encore cette technique, les scientifiques espèrent pouvoir faciliter la formation et la croissance sélective du matériau miracle, mais à des températures encore moins élevées. Ces travaux ont fait l'objet d'une publication dans le journal de l'Institut Américain de Physique, « Applied Physics Letters ».

*Par Moonzur Rahman*

# LES PÈRES DU GRAPHÈNE REVIENNENT SUR LEUR DÉCOUVERTE



*Paru dans le journal américain Nature Physics, un article des professeurs Andre Geim et Kostya Novoselov, co-réceptiendaires du prix Nobel de Physique 2010, enfonce le clou sur les nombreuses propriétés que possède le graphène, le matériau « miracle » qu'ils ont découvert à l'Université de Manchester en 2004.*

De nombreux instituts de recherche et universités se sont déjà attelés à la tâche : élaborer des écrans tactiles, des transistors ultra-rapides, des photo-détecteurs, etc... Les désormais mythiques pères du graphène, lauréats du prix Nobel de Physique 2010, Andre Geim et Kostya Novoselov promettent dans un nouvel article publié dans Nature Physics que la recherche va à présent s'accélérer, ouvrant même potentiellement d'innombrables nouvelles opportunités dans le domaine de l'électronique.

Les deux chercheurs ont étudié en détail les effets des interactions entre électrons sur les propriétés électroniques du graphène, utilisant pour ce faire un graphène d'une très haute qualité, préparé sous vide. De cette façon, tous les mécanismes parasites concernant les électrons ont pu être éliminés, tout en accroissant l'effet de l'interaction électron-électron. Andre Geim et Kostya Novoselov ont pu constater qu'ils se comportaient de manière similaires aux photons (particule composant les ondes électromagnétiques). Ces travaux intéressent d'ailleurs grandement le CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire).

Le Professeur Novoselov a conclu : « Bien qu'il y ait déjà de nombreuses applications excitantes dans le domaine de la physique et de l'appareillage électronique, plus loin nous irons dans la compréhension des propriétés électroniques du graphène, plus près nous serons d'un vrai graphène au service de l'électronique. ».

*Par Rahman Moonzur*

# TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR

## QUI SOMMES-NOUS ?

Fondées en 1946 et membres du groupe Weka depuis 1996, les Éditions T.I. sont un leader incontesté de l'information scientifique et technique. Intégrées depuis leur création au paysage mondial de la documentation francophone, elles se déclinent aujourd'hui en deux grandes activités :

- La publication de ressources documentaires de référence (Dossiers fondamentaux, Fiches et outils pratiques », Services associés, articles de Veille & Actualités, etc.)
- Un service de conseil en ingénierie technologique : « Conseil et Formation »

## TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR C'EST :

- La plus importante collection documentaire technique et scientifique en langue française,
- Un département dédié à la formation, externe et interne,
- Un acteur majeur du conseil pour l'industrie française et la recherche,
- Le partenaire de référence qui accompagne les industriels français dans leurs projets depuis 60 ans.

## TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR EN QUELQUES CHIFFRES :

- Une référence pour les ingénieurs depuis plus de 60 ans,
- Plus de 400 bases documentaires,
- Un réseau de 3 500 experts,
- Plus de 8 000 articles de base documentaire (ou scientifiques), dont 3 000 articles d'archives,
- Près de 2 000 articles d'actualité,
- Plus de 700 fiches de mise en application pratique,
- Un bouquet de 9 services,
- Plus de 300 000 utilisateurs,
- Plus d'un million de pages vues chaque mois sur [www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr).

## LES THÉMATIQUES COUVERTES :

Sciences fondamentales | Génie industriel | Procédés Chimie Agro Bio | Mesures Analyse  
Matériaux | Mécanique | Énergies | Électronique Photonique | Technologies de l'information  
Construction | Innovation | Environnement

---

### **EDITIONS TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR (E.T.I.)**

249 RUE DE CRIMÉE, 75019 PARIS, FRANCE

TÉLÉPHONE : 01 53 35 20 00

MAIL : [ACTUS@TECHING.COM](mailto:ACTUS@TECHING.COM)

[WWW.TECHNIQUES-INGENIEUR.FR](http://WWW.TECHNIQUES-INGENIEUR.FR)

---