

Aperçus

de la science de demain

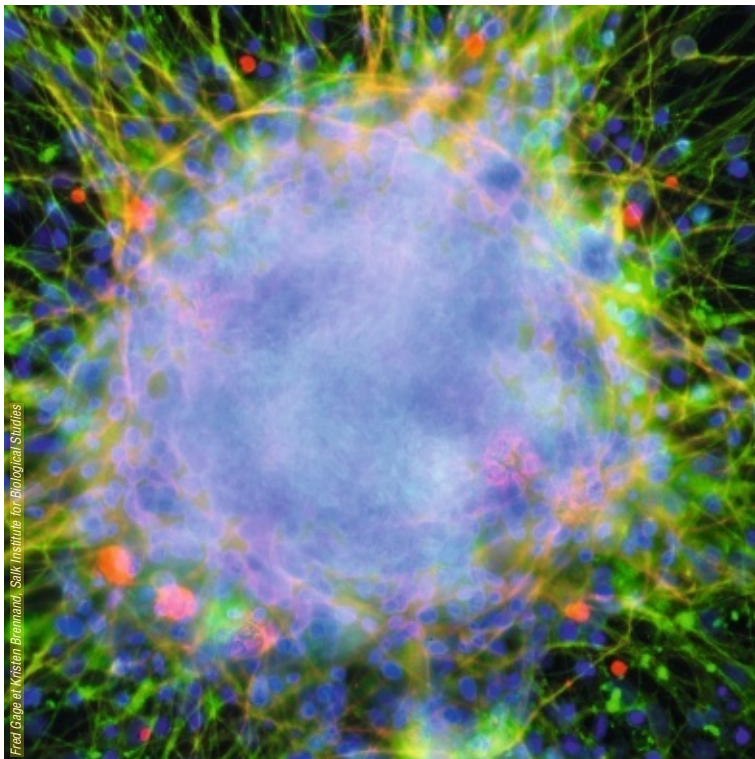
POUR LA SCIENCE N° 400

Évidemment, personne ne peut prévoir les grandes avancées scientifiques des prochaines années. Mais les découvertes ne jaillissent pas de nulle part, elles viennent aux esprits préparés qui savent, en outre, comprendre l'importance de l'inattendu. Aussi, pour son 400^e numéro, *Pour la Science* ne se tourne pas vers le passé mais vers l'avenir, et vous propose un florilège de champs de recherche propices aux découvertes. En quelques pages alliant des illustrations surprenantes et un résumé de l'état de l'art, nous vous convions à un voyage vers le futur.

Sans prétendre être exhaustifs, nous avons choisi, pour illustrer ces terrains fertiles, les cellules souches, le graphène, l'imagerie cérébrale, les exoplanètes, la chimie macromoléculaire, les particules élémentaires, le rayonnement du fond diffus cosmologique, la biologie synthétique, la science des réseaux, la biodiversité, les nanosciences, la modélisation informatique, l'épigénétique et les métamatériaux.

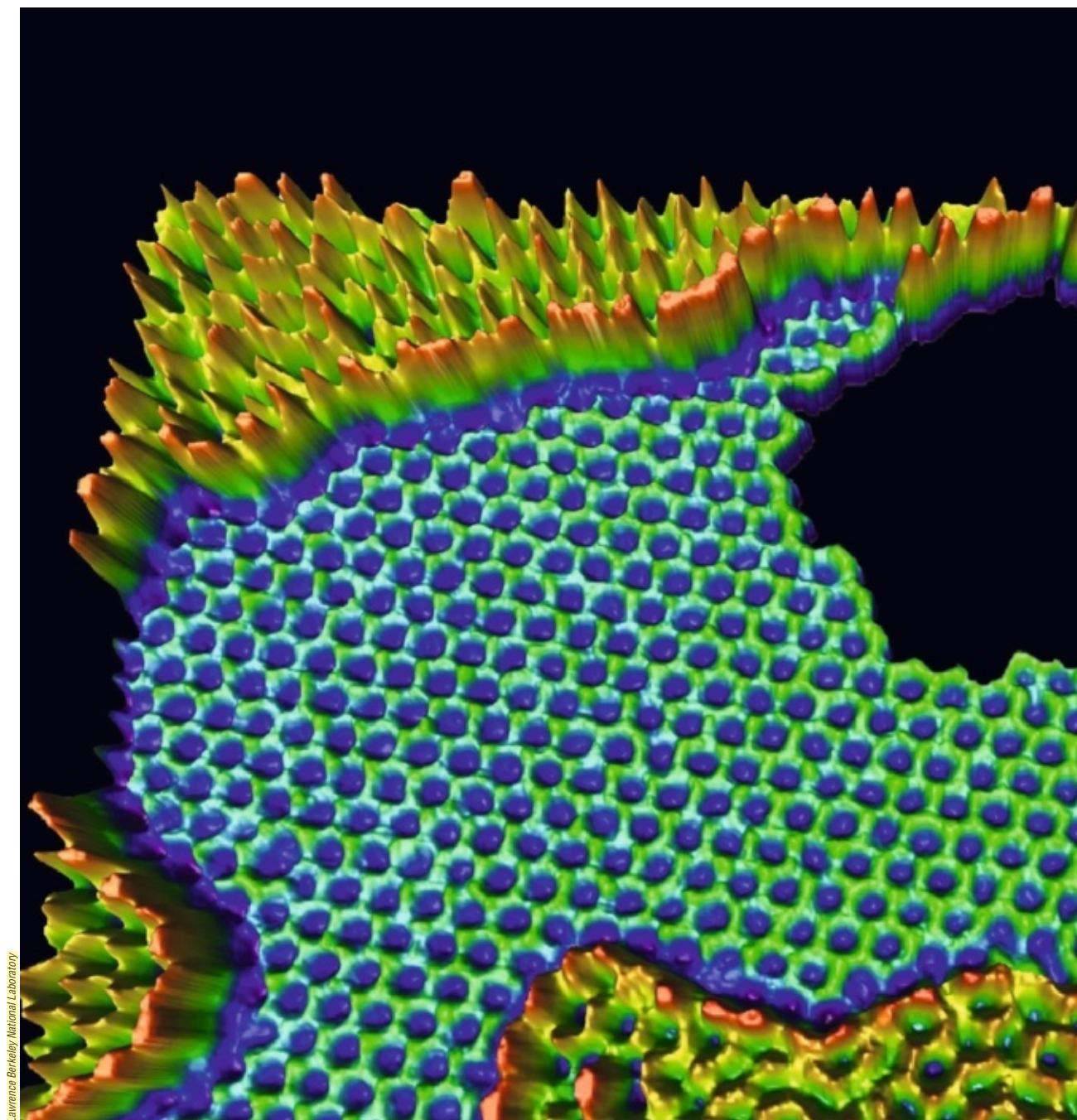
La rédaction

LES CELLULES SOUCHES. Ces neurones, dont on voit les prolongements, ou axones (*en vert et jaune*), par centaines, se sont formés *in vitro* à partir de cellules souches dites pluripotentes induites. En s'amoncelant, leurs noyaux, colorés en bleu, forment une masse bleutée (*en rouge, un marquage de certaines ramifications des neurones, les dendrites*). Les cellules souches pluripotentes seront vraisemblablement à l'origine de progrès thérapeutiques. Elles se reproduisent à l'identique presque indéfiniment, et peuvent se transformer – se différencier – en toutes sortes de cellules spécialisées (nerveuses ou musculaires, par exemple) qui pourraient remplacer des tissus lésés. Il existe deux types de cellules pluripotentes : les cellules souches embryonnaires, issues des tout premiers stades de développement d'embryons et, depuis 2006, les cellules souches pluripotentes induites (CSPi), obtenues par reprogrammation de cellules déjà différenciées. Pour former des tissus de remplacement, il faut produire un grand nombre de cellules d'une lignée tissulaire à partir de cellules souches, puis les implanter. Dans l'organisme, ces cellules doivent être fonctionnelles et dénuées de risques. Une application plus immédiate consiste à utiliser les cellules souches induites pour modéliser des maladies. Prélevées sur des patients et différenciées en cellules « malades », elles permettent d'étudier les mécanismes cellulaires et moléculaires de diverses pathologies, et de tester à grande échelle des médicaments potentiels. □



Frieda Gipe et Kristen Brannan, Salk Institute for Biological Studies

Biomédecine



Lawrence Berkeley National Laboratory

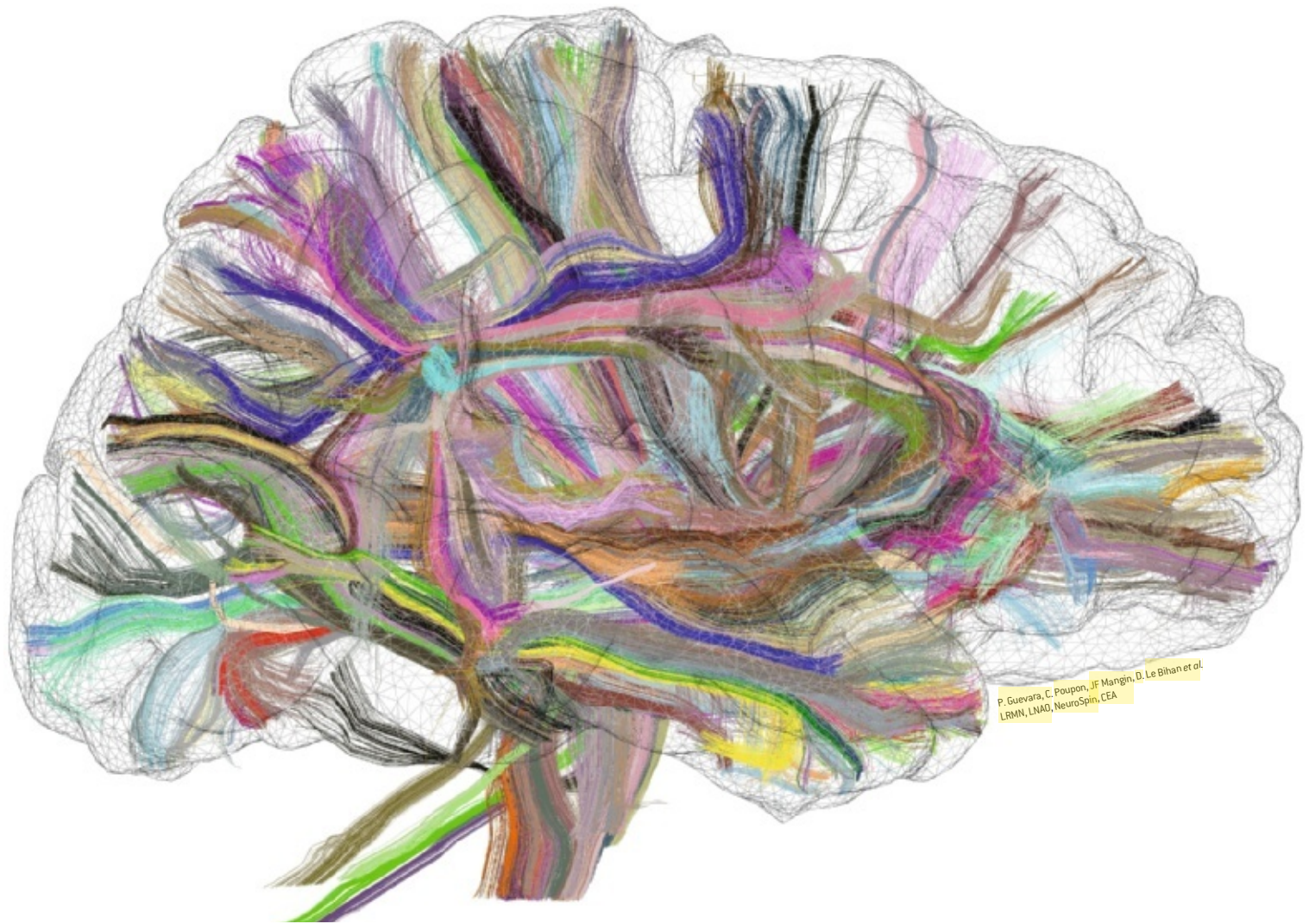
LE GRAPHÈNE. Cette image en fausses couleurs, obtenue par microscopie électronique à transmission, montre un réseau d'atomes de carbone liés entre eux de façon hexagonale (*en vert sur fond bleu*). Une telle couche de carbone d'épaisseur monoatomique est nommée graphène. Le graphite, forme bien connue du carbone, n'est autre qu'un empilement de nombreux feuillets de graphène.

Qu'y a-t-il alors de nouveau ? En fait, des feuillets de graphène n'ont été isolés que très récemment, en 2004. C'est notamment ce qui a valu à Andre Geim et Konstantin Novoselov, de l'Université de Manchester en Grande-Bretagne, le prix Nobel de physique de 2010. Et surtout, l'étude

du graphène a vite révélé que ce cristal bidimensionnel, le seul connu à ce jour, a de nombreuses propriétés intéressantes, tant du point de vue fondamental que de celui des applications.

Par exemple, les électrons dans le graphène se comportent comme s'ils étaient de masse nulle, avec une mobilité très élevée à température ambiante. C'est un matériau très transparent, mécaniquement très résistant (200 fois plus que l'acier) et cependant souple. Ses propriétés, activement explorées et encore imparfaitement comprises, laissent envisager de nombreuses applications [détection de molécules uniques, transistors et autres composants électroniques ou optoélectroniques, cellules photovoltaïques, etc.].

Le graphène est la troisième des grandes surprises que nous a réservées le carbone au cours des dernières décennies. La première a été la découverte de la molécule C_{60} en forme de cage sphérique, en 1985, suivie de plusieurs autres molécules du même type (C_{70} , C_{76} , etc.). La deuxième surprise a été l'identification, en 1991, de feuillets de carbone recourbés en tubes de diamètre nanométrique. Les molécules de type C_{60} et les nanotubes de carbone constituent la famille dite des fullerènes. Ces structures ont de remarquables propriétés physiques et chimiques, toujours très étudiées. Comme le graphène, elles intéressent beaucoup les ingénieurs, en particulier les spécialistes des nanotechnologies. □



P. Guevara, C. Poupon, JF Mangin, D. Le Bihan et al.
LRMN, LINAQ, NeuroSpin, CEA

L'IMAGERIE CÉRÉBRALE. Cette représentation du cerveau humain, obtenue par imagerie par résonance magnétique de diffusion (IRM de diffusion), révèle les faisceaux de substance blanche (représentés par les différentes couleurs), chacun de ces faisceaux étant un ensemble de fibres nerveuses. Cette technique permet de sonder et de visualiser la structure des tissus biologiques, notamment cérébraux, à une échelle microscopique : elle illustre les progrès considérables de l'imagerie cérébrale depuis une vingtaine d'années.

Les premières techniques datent du début des années 1980. Il s'agissait surtout de l'imagerie par résonance magnétique et du scanner aux rayons X. Ces méthodes permettaient de voir les structures du cerveau (vivant), mais la résolution spatiale était médiocre, de l'ordre du centimètre. Elles ne révélaient pas forcément les plus petites tumeurs ou les lésions susceptibles de perturber le fonctionnement cérébral. Progressivement, la résolution de ces deux techniques d'imagerie anatomique a été améliorée et atteint aujourd'hui le millimètre, voire quelques dixièmes de millimètre pour les IRM à très haut champ magnétique. Mais le grand bouleversement vient des méthodes d'imagerie dites fonctionnelles, qui

mesurent en temps réel l'activité des régions cérébrales durant certaines tâches. Par exemple, l'IRM fonctionnelle ou la tomographie par émission de positrons ont aujourd'hui une résolution temporelle de l'ordre de la seconde, c'est-à-dire que l'on peut « filmer » le cerveau en action à raison d'une image par seconde.

Ces différentes techniques ont des applications médicales et permettent d'étudier le fonctionnement du cerveau. On peut par exemple localiser des foyers épileptiques, repérer des tumeurs, même millimétriques, et des hémorragies cérébrales. Or des diagnostics précis et rapides facilitent une prise en charge précoce, ce qui augmente les chances de guérison et limite les séquelles. Quant à l'étude du cerveau, on observe aujourd'hui comment il s'active lors d'une tâche cognitive ou motrice. Mais le chemin est encore long entre la mise en évidence de l'activité associée à une tâche et la mise en évidence de l'activité cérébrale qui sous-tend la conscience.

Que nous réservent les années à venir ? Les techniques devraient améliorer les résolutions spatiales et temporelles et l'on espère combiner ces deux sortes de résolution, avec de bonnes

valeurs pour chacune. Quant à l'IRM de diffusion, elle offre une approche unique pour étudier *in vivo* l'architecture fine du tissu cérébral et de ses changements physiologiques ou pathologiques ; elle est en train de se transformer en un véritable microscope capable de voir à distance, sans prélèvement tissulaire.

Cette méthode reste un outil de choix pour le diagnostic des ischémies cérébrales (privations d'oxygène d'une région du cerveau) : avec une sensibilité sans égale, l'IRM de diffusion permet à certains patients de recevoir un traitement adapté en urgence, avant que la zone lésée soit importante. En outre, elle permet d'observer le câblage intracérébral et reste aujourd'hui le seul outil utilisable *in vivo*. Cette « tractographie » cérébrale, jointe à l'IRM fonctionnelle, ouvre une voie nouvelle pour l'étude de la connectivité cérébrale et de ses pathologies, par exemple psychiatriques, qui représentent un enjeu de santé publique majeur. La dernière avancée concerne la détection rapide de l'activation neuronale : les cellules cérébrales activées changent de structure, ce qui entraîne des modifications du signal d'IRM de diffusion. Cela devrait bouleverser l'imagerie neurofonctionnelle. ◻