

L'apocalypse? Pas pour cette fois

Les craintes que l'accélérateur en construction à Brookhaven engendre des particules destructrices sont infondées.

Après l'éclipse de la fin du monde et la station *Mir* qui menaçait de nous tomber sur la tête, les prévisions apocalyptiques à l'aube de l'an 2000 fleurissent. L'une des dernières en date, la création par le collisionneur de Brookhaven d'un trou noir miniature ou d'une particule étrange qui dévorerait la Terre, est reportée *sine die*. Une équipe de physiciens vient de le confirmer : il est impossible de créer de telles entités destructrices dans un collisionneur à ions.

Tout a commencé par une interrogation. Y avait-il un risque, même infime, que la Terre disparaisse, dévorée par une particule qui n'y a encore jamais existé ? Le nouvel accélérateur fera entrer en collision des noyaux d'or à des énergies jamais atteintes auparavant. Les physiciens espèrent que ces collisions de très haute énergie recréeront, durant un court instant, le plasma de quarks et de gluons qui emplissait l'Univers à ses débuts. Plusieurs personnes se sont interrogées sur la possibilité que ces événements engendrent un trou noir miniature qui tomberait au centre de la Terre et dévorerait notre pla-

nète en quelques minutes. L'angoisse d'une apocalypse se répandit comme une traînée de poudre sur le réseau *Internet* et des titres alarmants firent la une de plusieurs journaux. L'inquiétude n'est pas nouvelle : lors de l'explosion de la bombe atomique de Los Alamos, en 1945, les physiciens avaient craint que l'atmosphère de la Terre ne s'embrase.

Les physiciens répondaient que les conditions qui régneraient au moment des collisions seraient inférieures à celles indispensables à la formation d'un trou noir, et de beaucoup : pour qu'un trou noir soit créé, une densité 10^{60} fois supérieure à celle qui sera produite serait nécessaire. Toutefois, un autre scénario catastrophe était plus difficile à réfuter : ces collisions auraient pu engendrer une nouvelle forme de matière, une boule de quarks *étrange* nommée « strangelets ». Ce regroupement contiendrait les trois espèces de quarks, les quarks *haut* et *bas*, présents dans les protons et dans les neutrons, et des quarks *étrange* plus rares, que l'on trouve dans les particules à courte durée de vie, tels les kaons.

Les physiciens n'ont jamais observé de telles boules de quarks, de sorte que leur propriétés ne peuvent être que déduites des théories. L'éventualité la plus alarmante serait la création d'une boule étrange de grande durée de vie et de charge négative. Ce type de boule de quarks n'agirait pas comme une particule négative ordinaire : rapidement, elle grossirait, avalant tous les noyaux atomiques (chargés positivement) qui

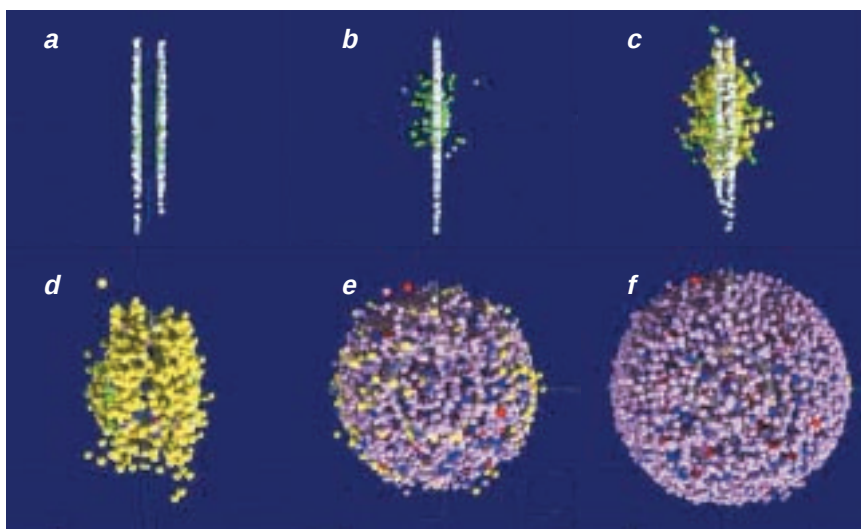
passeraient à sa portée. En quelques minutes, la Terre serait oblitérée aussi sûrement que par un trou noir, transformée en photons.

John Marburger, directeur du laboratoire de Brookhaven, certifiait qu'il n'y avait aucun risque que les expériences conduisent à un tel désastre et, pour faire taire les rumeurs de mauvais augure, il chargea un groupe de physiciens d'étudier la question. Leur conclusion est rassurante. Selon Robert Jaffe, de l'Institut de technologie du Massachusetts, les boules de particules *étrange* ne peuvent être créées qu'à très haute pression et très basse température, conditions impossibles à reproduire à l'aide d'un collisionneur. Le seul endroit connu où règnent de telles conditions est le centre des étoiles à neutrons.

Même si le collisionneur créait une boule de quarks *étrange*, elle se désintégrerait bien avant d'avoir pu approcher un noyau. De surcroît, en admettant qu'une boule de quarks *étrange* de grande durée de vie puisse être créée, les physiciens ont déterminé qu'elle contiendrait bien plus de quarks *haut* et de quarks *bas*, de charge positive, que de quarks *étrange*, de charge négative. Ainsi, la particule résultante serait de charge positive, donc inoffensive : elle attirerait simplement une paire d'électrons et se comporterait comme un isotope lourd de l'hélium.

Si cet argument ne suffit pas à vous rassurer, faites le raisonnement suivant : les collisions de noyaux, analogues à celles prévues dans le collisionneur, se produisent fréquemment dans l'espace. Malgré la rareté de l'or dans le milieu interstellaire, il y a chaque année, dans chaque année-lumière cube de notre Galaxie, un millier d'impacts de haute énergie entre noyaux d'or. Si ces impacts engendraient des boules de quarks *étrange* chargées négativement, certaines de ces particules dangereuses seraient suffisamment près d'étoiles pour causer leur perte. Dans notre galaxie, ce mécanisme engendrerait près d'un million de supernovae par an, alors que les astronomes n'en ont détecté qu'une poignée au cours du dernier millénaire.

Forts de ces conclusions, les responsables de Brookhaven prévoient la première collision de noyaux d'or avant la fin de l'année. Cette frénésie eschatologique résulte d'une idée fautive très répandue : les physiciens ne jouent pas avec la structure de l'Univers, mais reproduisent des phénomènes qui y ont lieu.



Simulation de la collision d'ions lourds. Deux noyaux d'or, aplatis par les effets relativistes, se dirigent l'un vers l'autre (a), se rencontrent (b), et se traversent (c, d). L'impact crée un plasma de quarks et de gluons (e, f).

La mémoire en photos

Pour la première fois, on a photographié les changements qu'engendre l'apprentissage dans le cerveau

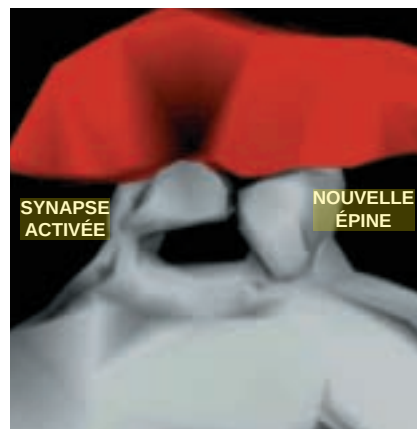
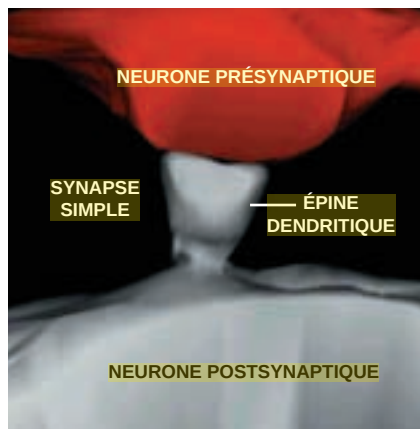
Comment les souvenirs se façonnent-ils ? L'apprentissage modifie-t-il les connexions entre les neurones ? Comment peut-on observer le fonctionnement du cerveau ? Certaines hypothèses semblent confortées par l'expérience, mais les preuves sont souvent ténues. En réussissant à photographier les modifications qui surviennent dans un cerveau de rat lors du déclenchement artificiel des mécanismes de mémorisation, l'équipe de Dominique Muller, du département de neuropharmacologie de l'Université de Genève, a confirmé que les souvenirs se forment grâce à des modifications morphologiques du réseau de neurones.

On sait que les connexions (ou synapses) entre les neurones cérébraux d'un rat élevé dans un environnement stimulant sont notablement plus nombreuses que chez un rat élevé dans un environnement pauvre. Par ailleurs, dans l'hippocampe d'un animal (une structure cérébrale essentielle pour la mémoire), une brève stimulation répétée d'une voie nerveuse modifie le fonctionnement des synapses activées. L'efficacité de la transmission des signaux par ces synapses augmente de façon stable et durable, de sorte que les neurones réagissent davantage à toute activation ultérieure par ces mêmes voies nerveuses. Cet effet, nommé potentialisation à long terme, est une manifestation

de la plasticité cérébrale et un des mécanismes possibles mis en jeu au cours de l'apprentissage et de la mémorisation. Toutefois, si l'on supposait que les synapses se modifient lors de la potentialisation à long terme, que certaines d'entre elles subissent un renforcement qui correspond à une augmentation de leur efficacité, on n'en avait pas la preuve.

Un cerveau humain contient quelque 100 milliards de neurones, et chacun d'eux établit environ 10 000 connexions avec d'autres neurones. Comment trouver, dans cette forêt de synapses, celles qui changent au cours de l'apprentissage ? L'équipe genevoise a soumis un hippocampe de rat, placé dans un milieu de culture qui le maintient vivant, à des stimulations électriques qui déclenchent la potentialisation à long terme. Après quoi, Nicolas Toni, D. Muller et leurs collègues ont fait une cinquantaine de tranches minces (40 nanomètres d'épaisseur) de cet hippocampe. Ils ont observé les coupes au microscope électronique après les avoir traitées par une substance qui fait précipiter le calcium. Or, on sait que le calcium s'accumule dans les synapses activées. Quand, au microscope électronique, on observe une zone où le calcium est plus dense, on déduit que la synapse a été activée. Après avoir collecté les images des coupes de l'hippocampe, les biologistes ont utilisé un programme de reconstruction des images en trois dimensions et obtenu les images de synapses activées.

Sur ces images, une synapse apparaît comme la zone de contact entre la terminaison présynaptique (le neurone présynaptique, en rouge sur l'illustration, transmet les signaux au neurone postsynaptique, en gris) et une excroissance sur une dendrite (une ramification) du neurone postsynaptique. Lorsque la synapse a été activée, on constate qu'une



L'image d'une synapse a été obtenue par la reconstruction tridimensionnelle d'une série d'images de coupes ultraminces, réalisées au microscope électronique. Lorsque la synapse n'est pas activée, la connexion entre le neurone présynaptique, où arrive l'influx nerveux, et le neurone postsynaptique n'est constituée que d'une unique épine (une sorte de ventouse). Quand la synapse est activée, une deuxième épine «pousse», ce qui renforce l'efficacité de la transmission du signal incident.

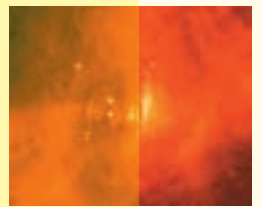
BRÈVES

Un dinosaure en Afrique

Quel animaux auriez-vous pu rencontrer il y a 135 millions d'années pendant une promenade au Nord du Niger ? Selon l'équipe de Didier Dutheil, du Muséum national d'histoire naturelle, et de Bourahima Moussa, du CNRS, des troupeaux de sauropodes (des dinosaures tétrapodes au long cou et herbivores) d'une espèce récemment identifiée, nommée *Jobaria tiguidensis*, parcouraient les plaines marécageuses de cette région, au début du Crétacé. Ces animaux d'environ 17 mètres de longueur avaient des dents en forme de spatules et se nourrissaient des feuilles et des petites branches de la cime des arbres. Cette découverte bouscule l'histoire admise des sauropodes africains : les paléontologues pensaient que les sauropodes à dents spatulées s'étaient éteints il y a 155 millions d'années.

Accélération subite

Les étoiles à neutrons, cadavres d'étoiles massives qui ont explosé, parsèment notre Galaxie. Leur émission radio, régulière comme une horloge, reflète la vitesse de rotation uniforme de ces astres denses. Pourtant, de temps à autre, les tic-tac réguliers de l'horloge s'accélèrent, comme si l'étoile à neutrons tournait plus vite. Ces accélérations correspondent à des moments où la croûte de l'étoile serait entraînée plus vite que l'intérieur. En observant la distribution statistique de ces «sursauts» sur le pulsar Véla, des astrophysiciens américains déduisent la portion de la croûte qui glisse et diverses caractéristiques de l'étoile à neutrons, dont son diamètre. A-t-on trouvé un moyen original de sonder ces astres étranges ?



La grossesse améliore la mémoire?

La grossesse s'accompagne de modifications hormonales ; or les hormones agissent sur le fonctionnement du cerveau. On s'interroge : le comportement change-t-il au cours de la grossesse ? Des psychologues de l'Université de Richmond ont testé des rates qui devaient se déplacer dans des labyrinthes. Leur intuition s'est trouvée confirmée : les rates qui portent des jeunes ont une meilleure mémoire et de meilleures capacités d'apprentissage que des rates témoins.

Terminés les rhumes?

Une équipe du laboratoire de Brookhaven a peut-être posé les bases d'un futur traitement du rhume. Après avoir isolé la protéine par laquelle les adénovirus (un type de virus responsables de rhumes) se

lient aux cellules pour les infecter et la protéine cellulaire sur laquelle ils s'accrochent, les biologistes les ont mises ensemble dans un tube à essais. Elles forment un complexe stable qui cristallise : les physiciens en ont étudié la structure grâce au rayonnement X intense du synchrotron de Brookhaven. Cette étude a révélé les points d'ancrage spécifiques de ces protéines. Il ne reste plus qu'à trouver des molécules qui se glisseraient au cœur de ces sites d'attachement, empêchant la fixation des virus sur leurs cibles. Finis le nez bouché et les éternuements?

Le son du soliton

Depuis une trentaine d'années, les physiciens étudient les solitons, des ondes qui se déplacent sans distorsion et qui transportent l'information, notamment dans les fibres optiques. La production de solitons acoustiques semblait plus difficile que celle des solitons de lumière, car les propriétés de dispersion de l'air ne se prêtent pas à une propagation sans distorsion. Pourtant, en branchant une centaine de petits tuyaux sur un tuyau plus gros, une équipe de physiciens japonais vient de créer le premier soliton acoustique dans le gros tuyau. Un dispositif du même type éviterait les ondes de choc produites lorsqu'un train pénètre à grande vitesse dans un tunnel.

Un robot antifeu

Après la catastrophe du tunnel du Mont Blanc qui a fait 41 victimes, Domenico Piatti et ses collègues de Naples ont conçu et breveté un robot cylindrique qui se déplacerait sur un rail fixé au plafond, à un mètre sous le plafond. En cas d'incendie, le robot se brancherait sur l'une des bouches d'incendie prévues sur une canalisation qui courrait le long du tunnel. Le jet d'eau dirigé sur la base du feu projetterait 3 000 litres d'eau sous pression par minute (les dispositifs usuels des pompiers délivrent environ 500 litres par minute). La carapace multicouche du robot résisterait à des températures de 1 000 °C. Contrôlé de l'extérieur, le robot se déplacerait à 50 kilomètres par heure.

épine dendritique a poussé (la synapse s'est dédoublée) établissant un deuxième contact entre les deux neurones. C'est la première démonstration que le renforcement synaptique peut être associé à la création d'une nouvelle synapse.

Les épines dendritiques portent les récepteurs des neuromédiateurs synthétisés par les neurones ; quand une synapse se dédouble, le neuromédiateur serait libéré par le neurone présynaptique en deux endroits (au lieu d'un), et le neurone postsynaptique recevrait ainsi un signal double : l'efficacité de la transmission des signaux, entre les deux neurones est renforcée.

Le dédoublement observé correspond-il effectivement au renforcement synaptique lié à la potentialisation à long terme?

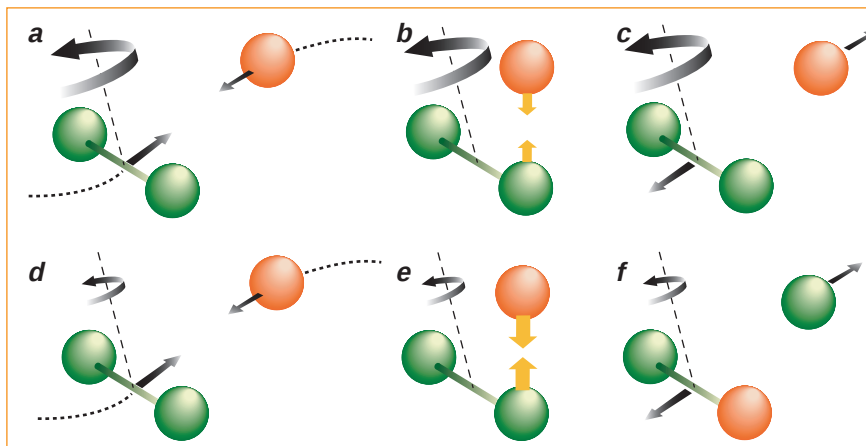
Oui, car si l'on bloque la potentialisation à long terme par des substances pharmacologiques, on empêche le dédoublement des épines dendritiques. Certaines molécules semblent intervenir dans ces modifications synaptiques. Ainsi, l'enzyme CAM-kinase 2 semble jouer un rôle important, car elle phosphoryle les récepteurs AMPA du glutamate : en ajoutant des groupes phosphate à ces récepteurs, elle favorise l'entrée d'ions dans le neurone postsynaptique. Pour le moment la longue chaîne qui relie l'apprentissage aux modifications morphologiques et fonctionnelles des liaisons neuronales ne comporte que quelques maillons, mais désormais une hypothèse est validée : la stimulation des neurones engendre la formation de nouvelles synapses.

Énigmatique chimie interstellaire

Dans l'espace, des réactions chimiques se déroulent plus vite à basse qu'à haute température!

Le prétendu vide de l'espace recèle une étonnante diversité : des ions, des radicaux libres, des chaînes carbonées... En tout, plus d'une centaine d'espèces chimiques y évoluent dans des conditions physiques extrêmes. Ces molécules sont au sein de nuages interstellaires géants où les densités et les températures sont faibles : environ un millier de molécules par centimètre cube (une densité analogue à celle des vides poussés que l'on fait sur Terre), et une dizaine de kelvins. En raison de

ces conditions inhabituelles, les réactions chimiques qui s'y produisent sont essentiellement des réactions à deux corps, et l'énergie disponible lors des collisions est très faible. Aussi, les réactions chimiques qui possèdent une barrière d'activation, c'est-à-dire qui se déclenchent au-delà d'un seuil d'énergie, infranchissable à basse température, sont «gelées». De ce fait, jusqu'à récemment, seuls les systèmes faisant intervenir des espèces chargées (des ions) semblaient participer efficacement à la formation des molécules interstellaires : les réactions entre ions ne possèdent généralement pas de barrière d'activation, car l'énergie d'interaction à longue portée entre ces espèces est supérieure au seuil d'énergie d'activation. Par ailleurs, les ions sont abondants dans le milieu interstellaire, produits en permanence par le rayonnement cosmique ambiant.



Lors de la première étape d'une réaction entre une molécule et un atome (a), les forces électrostatiques à longue portée rapprochent les réactifs. Ensuite, le complexe de réaction se forme (b). À haute température (a à c), la rotation rapide du radical empêche les forces chimiques d'orientation (flèches orange) d'agir et la réaction ne se produit pas. À basse température (d à f), la rotation est plus lente : les forces d'orientation dominent et la réaction a lieu.