

Les neurones de la marche

Grâce à une greffe de neurones embryonnaires, des rats paraplégiques ont de nouveau marché.

On a longtemps pensé que les accidents qui sectionnent la moelle épinière privaient à jamais la victime de la marche : les commandes du cerveau ne parvenant plus aux centres locomoteurs des membres inférieurs, ces derniers sont paralysés. Pourtant, depuis 15 ans, des observations redonnent de l'espoir. Par exemple, la moelle séparée du cerveau par une lésion reste intacte. De surcroît, les nerfs périphériques se régénèrent parfois ; l'absence de renouvellement des neurones dans le cerveau serait due à un environnement défavorable plutôt qu'à une incapacité intrinsèque des neurones. Fort de ces arguments, l'équipe INSERM d'Alain Privat, à Montpellier, et des neurologues de l'Université de Montréal ont cherché à faire remarcher des rats paraplégiques... et ils ont réussi.

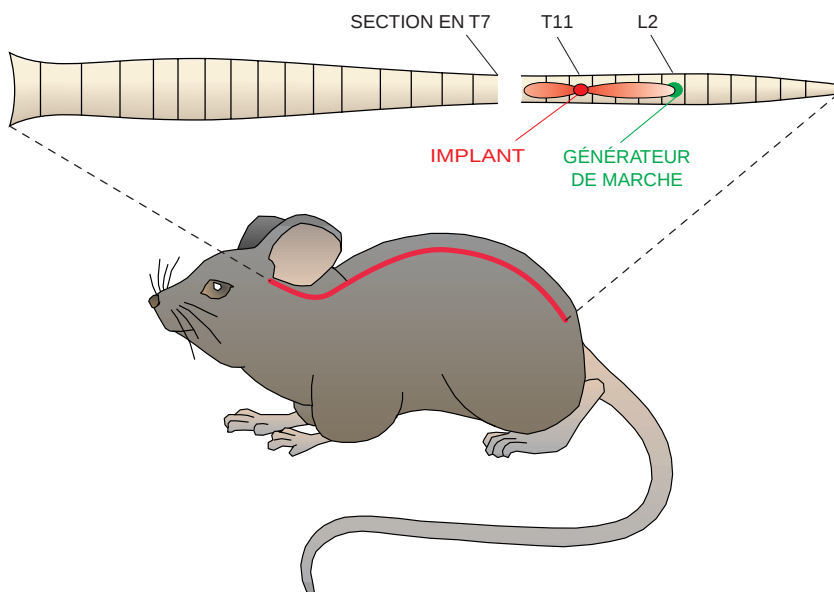
Ils ont greffé à ces animaux des neurones embryonnaires (prélevés sur des fœtus de rat) d'une zone cérébrale, nommé raphé, à la base du tronc cérébral. Ces neurones, qui innervent normalement les motoneurones (ceux qui commandent les muscles), sécrètent un neuromédiateur nommé sérotonine,

dont le rôle essentiel dans la locomotion avait été mis en évidence : on avait analysé les molécules sécrétées par les neurones de la moelle de rats pendant que ces animaux couraient sur un tapis roulant.

Si les neurones greffés synthétisent le bon neuromédiateur, encore faut-il qu'ils le fassent au bon endroit. Plusieurs expériences de section et de greffes à différents endroits de la moelle épinière avaient montré que l'innervation, par les neurones à sérotonine, de la zone située entre la première et la deuxième vertèbre lombaire des rats est indispensable à la marche. Ce résultat révèle, chez le rat, la présence d'un centre de locomotion autonome, nommé générateur de marche, qui coordonne et rythme les mouvements des membres inférieurs.

À quelle distance maximale de ce générateur des neurones greffés le réactivent-ils, après une section complète de la moelle au niveau thoracique ? Des greffes à divers niveaux de la moelle épinière ont montré qu'au-delà de quatre vertèbres de distance, la greffe est inutile. En revanche, lorsque la greffe de neurone fœtal est dans la bonne zone (près de la onzième vertèbre thoracique), pendant deux mois, les neurones producteurs de sérotonine prolifèrent et colonisent la région lombaire : les rats ont de nouveau marché (voir la figure).

La locomotion restaurée n'est pas une agitation désordonnée des membres inférieurs, mais bien une locomotion authentique qu'ont confirmé des enregistrements électriques des muscles, ainsi que des comparaisons de films qui

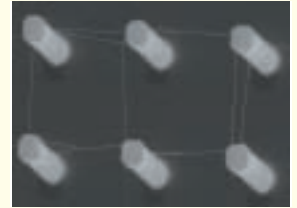


Un rat dont on a coupé la moelle épinière au niveau de la septième vertèbre thoracique (T7) peut à nouveau marcher lorsqu'on lui greffe des neurones embryonnaires du raphé : les neurones de cet implant placé près de la onzième vertèbre thoracique (T11) innervent (en rouge) le générateur de marche situé dans la moelle à la hauteur de la deuxième vertèbre lombaire (L2) ; ils l'activent en sécrétant un neuromédiateur, la sérotonine.

BRÈVES

Un réseau de nanotubes

À l'Université de Stanford, Hongjie Dai et Nathan Franklin ont réalisé un réseau constitué de nanotubes de carbone, des molécules cylindriques composées exclusivement d'atomes de carbone. Ces nanotubes ont une longueur qui atteint 0,15 millimètre. Ils relient des colonnes de silicium disposées en un réseau carré. Pour obtenir ce système, les chimistes ont placé le réseau de silicium dans un courant de méthane ; des catalyseurs, en amont du silicium, transformaient une partie du méthane en benzène, qui, plus réactif, fournissait les atomes de carbone nécessaires à la croissance des nanotubes. Ces molécules seront-elles les conducteurs des futurs ordinateurs moléculaires ?



Un caillou dans l'eau

Au Brésil et en Amérique latine, des sociétés d'approvisionnement en eau utilisent de la tourbe canadienne pour éliminer de l'eau polluée les composés organiques tels les huiles et les dérivés du goudron. Cette tourbe importée pourrait bientôt être remplacée par un minéral de la famille des micas : un silico-aluminate riche en fer, en potassium et en magnésium. Le chimiste brésilien Jader Martins a mis au point un procédé qui rend ce minéral hydrophobe, c'est-à-dire insoluble. Plongé dans de l'eau polluée, il capte ainsi les composés organiques également hydrophobes, stockant jusqu'à quatre fois son poids. Réutilisable, il est en outre dix fois moins cher que la tourbe.

Le sein en numérique

Comment diminuer l'irradiation des patientes, lors des radiographies du sein ? Des ingénieurs adaptent des détecteurs issus de la physique des particules pour mettre au point des mammographes numériques. Associés à des systèmes de traitement d'images, ces appareils sont prometteurs, car ils diminuent l'irradiation et ils forment des images bien plus contrastées. Toutefois des perfectionnements s'imposent encore : leur résolution spatiale est insuffisante, les faux positifs (des lésions qui apparaissent sans être confirmées par des biopsies) sont nombreux... et leur coût reste excessif.

La chèvre et l'araignée

Une société canadienne de génie génétique a obtenu 150 chèvres clonées et dont les cellules ont un gène provenant d'une araignée : les chèvres auront dans leur lait la protéine qui est codée par le gène et que les ingénieurs veulent utiliser pour former des fibres résistantes. À partir de ces dernières, on envisage de fabriquer des gilets pare-balles et du matériel médical ou aéronautique : la soie d'araignée est un matériau qui allie une grande résistance, une bonne élasticité et une grande légèreté.

Quand le saule tue

Dans les montagnes du Colorado, les populations de lagopèdes à queue blanche sont en danger ! Ces oiseaux de la taille d'une poule sont intoxiqués par du cadmium et du zinc qui perturbent leur squelette et leurs reins.

D'où proviennent ces métaux ? Abondants dans le sol et l'eau de cette région, ils sont absorbés par les racines des saules qui les accumulent dans leurs feuilles. Or ces feuilles sont au menu des

lagopèdes. Selon James Larison, de l'Université de Cornell, qui a découvert le responsable de cet empoisonnement, d'autres animaux tels les castors, les originaux ou les wapitis, également consommateurs de saules, sont aussi menacés.

Un amour intellectuel

Les Romantiques localisaient l'amour dans le cœur. Pourtant, c'est dans le cerveau que Sémir Zéki et ses collègues de l'University College, à Londres, ont cherché les régions activées par le sentiment amoureux. Ils ont étudié 17 volontaires (11 femmes et 6 hommes, d'environ 25 ans, ayant été amoureux ces dernières années) qui regardaient successivement la photographie d'un(e) ami(e) de sexe opposé, puis celle de leur bien-aimé(e). Par résonance magnétique, les biologistes exploraient simultanément les zones du cerveau où le débit sanguin était supérieur. Quatre zones ont été identifiées : deux sont dans le cortex cérébral, et deux autres sont dans une partie plus primitive, ce qui expliquerait le sentiment de dépendance lié à l'amour.

montraient des animaux traités et des animaux intacts. Toutefois, cette aptitude retrouvée n'est pas commandée par le cerveau : des stimuli extérieurs, telle la mise en route d'un tapis roulant, sont nécessaires pour déclencher ou stopper la marche des rats.

Une application à l'être humain est-elle possible ? L'équivalent du générateur de marche existe sans doute dans la moelle humaine, mais il reste à localiser précisément. De surcroît, l'utilisation de neurones embryonnaires humains pose des problèmes éthiques. La thérapie génique éviterait l'utilisa-

tion de telles cellules : des adénovirus, c'est-à-dire des virus dont l'information génétique est contenue dans une molécule d'ADN, injecteraient le gène codant les enzymes de synthèse de la sérotonine à des cellules proches du générateur de marche. Des expériences ont montré que les astrocytes humains adultes (des cellules en forme d'étoile qui maintiennent un environnement chimique propice aux influx nerveux dans le système nerveux central) sécrètent de la dopamine, un autre neuromédiateur, lorsqu'elles ont été infectées par un tel virus modifié.

Les bons rires font les bons amis

Le rire comme comportement social.

Le rire est le propre de l'homme, disait Rabelais, qui pensait à l'espèce humaine. Ce qu'il ignorait, c'est que le rire est le propre de l'individu : à l'Université Vanderbilt, Jo-Anne Bachorowski et ses collègues ont expérimentalement analysé comment le rire de quelqu'un le rend plus ou moins séduisant aux yeux des autres ; notamment nous rions différemment selon les personnes qui partagent notre hilarité. Les femmes rient plus en compagnie des hommes et en particulier des inconnus, alors que les hommes rient davantage entre amis du même sexe.

Dans une première expérience, les psychologues ont enregistré les rires de plusieurs volontaires, puis ils les ont fait écouter à d'autres personnes.

Celles-ci devaient classer les rires selon leur envie de rencontrer les individus qui les avaient produits. Les individus qui rient sans se servir de leurs cordes vocales, en ouvrant la bouche et en haletant, n'éveillent aucun intérêt. Ceux qui poussent des grognements, notamment les femmes, sont également relégués en fin de liste. En revanche, les femmes au rire mélodieux ont beaucoup de succès. Les hommes qui ont le même genre de rire sont moins recherchés.

Dans une seconde expérience, les psychologues ont examiné le rôle social du rire. Les personnes dont ils ont testé les réactions ont regardé, seules ou avec des amis, des séquences de films comiques, notamment *Monty Python Sacré Graal*. Les femmes rient plus en compagnie d'amis hommes que d'amies femmes. Leurs rires sont plus aigus quand elles sont en compagnie d'hommes qu'elles ne connaissent pas. Seules ou avec d'autres femmes, elles ont moins d'entrain. Au contraire, les hommes



Les psychologues ont utilisé des scènes comiques du film *Monty Python Sacré Graal* pour déterminer comment rient les hommes et les femmes, dans des situations sociales variées.

rient davantage et plus franchement avec leurs amis masculins.

Le rire n'est donc pas seulement une réaction émotionnelle, mais aussi un comportement social. Quel est son rôle ? J.-A. Bachorowski et ses collègues pensent qu'au cours de l'évolution, le rire est apparu après le sourire, utilisé à l'origine par les hommes préhistoriques pour se rassurer et sceller des alliances. Cependant, le sourire est facilement corrompu : n'importe qui peut sourire hypocritement, alors que rire faussement de façon convaincante requiert des talents d'acteur supérieurs. Beaucoup plus complexe que le sourire, le rire fait

intervenir plus de neurones, utilise les cordes vocales et demande beaucoup d'énergie. Il aurait remplacé le sourire, comme comportement de conciliation.

Cette interprétation se justifie par des observations. Par exemple, on sait qu'une personne qui rit au bon moment arrive à influencer la perception que les autres ont d'elle. Les psychologues interprètent la seconde expérience en supposant que les femmes rient davantage avec les hommes, notamment avec les inconnus, parce qu'elles cherchent inconsciemment à les séduire. Elles essaieraient ainsi d'échapper à la

menace que constitue leur force physique supérieure en les mettant de bonne humeur et en les amadonnant avec leurs rires. Les hommes riraient davantage avec leurs amis masculins, utilisant ainsi le rire conformément à sa fonction première, pour renforcer les liens d'amitiés : «rien de tel qu'une partie de rigolade pour se sentir bien entre copains», résument les psychologues. La prochaine fois que vous rirez, rappelez-vous de produire un son mélodieux plutôt qu'un grognement peu engageant, à moins que vous ne soyez seul ou désiriez l'être.

Des ondes sans dessus dessous

Des systèmes inversent le comportement des ondes électromagnétiques.

À la fin du XIX^e siècle, James Clerk Maxwell identifia les relations entre les champs électriques et magnétiques. Depuis, son électromagnétisme a été appris par des générations d'étudiants, qui se sont escrimés, avec leurs doigts ou avec la règle du tire-bouchon, à se représenter la position relative de ces champs et leur sens de propagation. Leurs certitudes risquent de s'effondrer : à l'Université de San Diego, David Smith et ses collègues ont réalisé un matériau où la propagation des ondes électromagnétiques est inversée. D'autres effets, comme le décalage Doppler, y sont aussi inversés.

Deux paramètres décrivent l'interaction des matériaux et des ondes électromagnétiques : la permittivité électrique et la perméabilité magnétique. La permittivité mesure la capacité d'un milieu à s'opposer au champ électrique ; la perméabilité est la capacité d'une substance à se laisser traverser par un flux magnétique. Le produit de la permittivité et de la perméabilité est égale au carré de l'indice de propagation des ondes électromagnétiques dans le milieu. Lorsque l'une de ces quantités est négative, il n'y a pas de propagation dans le milieu : l'onde est réfléchie.

Dans un plasma dilué, comme l'ionosphère terrestre, la permittivité est négative dans certaines gammes de fréquence : les ondes de basses fréquences (les ondes radio) sont réfléchies. Pourrait-on fabriquer un matériau qui pos-

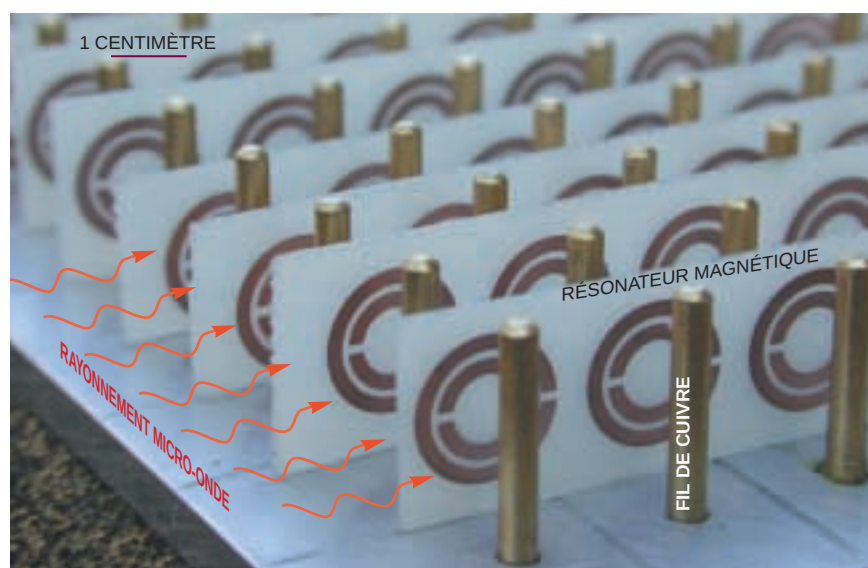
sède des propriétés équivalentes à celle de l'ionosphère ?

En 1996, le physicien britannique John Pendry a montré qu'un réseau de fils espacés d'une distance inférieure à la longueur d'onde considérée avait, comme l'ionosphère, un comportement de plasma dilué : une permittivité négative au-dessus de cette longueur d'onde. Puis, pour obtenir un matériau avec le même type de propriétés, mais pour le champ magnétique, il a introduit le concept de «résonateur à anneaux séparés», une structure magnétique faite d'anneaux de cuivre. Quand de tels résonateurs sont espacés d'une distance inférieure à la longueur d'onde utilisée, le milieu possède une perméabilité élevée et positive dans une bande de longueurs d'onde et négative dans une autre.

L'équipe de D. Smith a réalisé le système imaginé par J. Pendry et elle l'a testé. Les physiciens ont étudié la trans-

mission de micro-ondes par le matériau : ils émettent un rayonnement micro-onde d'intensité connue et mesurent la puissance transmise. Quand le système a une permittivité et une perméabilité positives, la plupart de la puissance émise est transmise. En revanche lorsque, soit la permittivité, soit la perméabilité est négative, une proportion notable de la puissance incidente est réfléchie.

Après avoir testé indépendamment les effets des réseaux de fils et des réseaux d'anneaux, les physiciens ont combiné les deux matériaux, le matériau électrique et le matériau magnétique, sous la forme d'un réseau où alternent les deux structures de fils et d'anneaux. Dans le domaine de longueurs d'onde où, précédemment, le milieu magnétique seul était réfléchissant, le nouveau milieu transmettait. C'était la démonstration que ce milieu avait simultanément une permittivité et



Des physiciens ont utilisé des fils et des anneaux de cuivre pour réaliser un matériau dont la permittivité et la perméabilité sont négatives. Les propriétés du matériau ont été testées à l'aide de micro-ondes.