



Les progrès de l'électronique

Des électrodes pourraient-elles stimuler des nerfs rendus inopérants par une lésion de la moelle épinière et restaurer ainsi la fonction de certains muscles paralysés ? En fait, de tels dispositifs existent déjà, et deux nouveaux systèmes améliorant l'autonomie des personnes équipées ont récemment reçu l'agrément de l'administration américaine de la santé. L'un d'eux permet à certaines personnes qui ont conservé la mobilité de l'épaule d'utiliser leur main. Des mouvements précis de l'autre épaule activent un détecteur qui envoie des signaux vers une unité de commande externe. Cette dernière relaie les signaux jusqu'à une boucle de transmission implantée, reliée à des fils électriques dont l'extrémité atteint les muscles du bras et de la main.

L'autre dispositif, utilisé depuis longtemps en Europe, permet aux personnes atteintes de commander le sphincter de leur vessie. Un dispositif de transmission des signaux active une sorte de pacemaker qui envoie des signaux électriques aux nerfs innervant la vessie : la vessie et le sphincter se contractent, puis se relâchent, de sorte que la vessie peut se vider. Le système stimule également les nerfs de l'intestin et favorise l'évacuation des selles.

D'autres dispositifs électriques sont disponibles ou en cours d'étude : ils permettent notamment la station debout (pour faciliter, par exemple, le déplacement d'un fauteuil roulant au lit ou aux toilettes), l'exercice du cœur et des poumons, ils facilitent la respiration, déclenchent la toux, améliorent la circulation sanguine. Depuis une dizaine d'années, des pompes implantées sous la peau de l'abdomen et communiquant avec le liquide céphalo-rachidien délivrent à la moelle des produits qui réduisent les spasmes musculaires parfois extrêmement gênants.

et la 4-aminopyridine risque de renforcer cette prédisposition).

Un traitement par un facteur neurotrophique, le NT-3 par exemple, capable de stimuler la remyélinisation des axones chez les animaux, est déjà en cours d'essais cliniques de phase III chez des personnes ayant une lésion de la moelle épinière. Il est injecté en quantité suffisante pour agir sur les nerfs des intestins, ce qui en améliore la fonction, mais les concentrations sont insuffisantes pour être efficaces dans le système nerveux central. Ainsi, cet essai n'est pas destiné à tester l'intérêt potentiel du NT-3 au cours de la remyélinisation, mais, si l'innocuité du produit est confirmée, d'autres essais suivront ; on administrera alors des doses suffisamment fortes pour déclencher la myélinisation ou la régénération des axones.

Les espoirs thérapeutiques

Durant les années 1990, nos connaissances sur les lésions de la moelle épinière et la croissance neuronale ont notablement progressé. On devrait bientôt pouvoir améliorer la mobilité

des personnes ayant subi un traumatisme médullaire en leur administrant plusieurs traitements selon un ordre bien défini. Certains limiteront les lésions secondaires, d'autres favoriseront la régénération des axones et la remyélinisation, d'autres encore remplaceront les cellules détruites.

Quand ces espoirs se concrétiseront-ils ? La prévision est difficile, car les médicaments efficaces chez l'animal ne le sont pas toujours chez l'homme, et certains qui semblent prometteurs dans des essais cliniques menés sur quelques malades ne tiennent pas toujours leurs promesses quand on traite beaucoup de malades. Néanmoins, quelques essais cliniques sont en cours chez l'homme, et d'autres devraient bientôt commencer. On saura sans doute limiter l'étendue d'une lésion avant de savoir la réparer, et les premiers traitements destinés à minimiser les lésions consécutives à un traumatisme aigu devraient être assez rapidement disponibles. Parmi les stratégies de réparation, la stimulation de la remyélinisation devrait être la plus accessible, car elle ne requiert qu'une restauration de la gaine

d'axones intacts par ailleurs. La remyélinisation restaurerait diverses fonctions essentielles, tel le contrôle des sphincters.

Bien sûr, la réimplantation chirurgicale de tendons et les dispositifs électriques élaborés restaurent déjà certaines fonctions essentielles, mais beaucoup de personnes ne retrouveront leur autonomie qu'après reconstruction des tissus lésés grâce à la régénération des axones détruits et au rétablissement des connexions nerveuses interrompues.

Jusqu'à présent, le degré de régénération axonale et de formation de nouvelles synapses obtenu lors des interventions réalisées sur des animaux ayant des lésions médullaires n'a jamais atteint celui qui serait nécessaire à la restauration des mouvements de préhension, de la station debout ou de la marche chez des hommes adultes ayant une lésion médullaire ancienne. En raison de la complexité de la réparation de la moelle épinière, on ne peut prévoir, malgré tous les progrès accomplis, à quel moment les stratégies de régénération de la moelle épinière seront disponibles.

Aujourd'hui, les soins prodigués aux personnes ayant subi une atteinte de la moelle épinière ont surtout pour objectif d'utiliser au mieux la fonction médullaire résiduelle, mais les tentatives de réparation des lésions de la moelle et de restauration des fonctions perdues ne relèvent plus de la science-fiction.

John McDONALD est professeur de neurologie à la faculté de médecine de Washington. Il a écrit cet article en collaboration avec plusieurs chercheurs de la Fondation Christopher Reeve de lutte contre la paralysie.

J.W. FAWCETT, *Spinal Cord Repair: From Experimental Models to Human Application*, in *Spinal Cord*, vol. 36, n° 12, pp. 811-817, décembre 1988.

M.E. SCHWAB et D. BARTHOLDI, *Degeneration and Regeneration of Axons in the Lesioned Spinal Cord*, in *Physiological Reviews*, vol. 76, n° 2, pp. 319-370, avril 1996.

M. TESSIER-LAVIGNE et C.S. GOODMAN, *The Molecular Biology of Axon Guidance*, in *Science*, vol. 274, pp. 1123-1133, novembre 1996.

Gerd KEMPERMANN et Fred H. GAGE, *La multiplication des neurones chez l'adulte*, in *Pour la Science*, juillet 1999.

Le chant des Touvas

THEODORE LEVIN • MICHAEL EDGERTON

En modifiant la morphologie de la gorge et de la bouche, on peut chanter deux mélodies simultanément. Ce chant diphonique est la spécialité des chanteurs du Sud de la Sibérie.

Dans la République autonome de Touva, entre la Russie et la Mongolie, les prairies et les forêts de la taïga impressionnent par leur silence. En tendant l'oreille, on perçoit les bruits naturels : une subtile symphonie de bourdonnements, de bêlements, de murmures, de piaulements, de sifflements... Cernée de montagnes, isolée et essentiellement rurale, la République de Touva est ainsi un de ces lieux où les bruits de l'homme n'étouffent pas ceux de la nature.

L'ambiance sonore de la République de Touva inspire aux bergers semi-nomades une forme de musique qui se fonde dans ces sons naturels : ils «communiquent» avec leur environnement par des chants à deux mélodies, produites simultanément par un seul chanteur. Le premier est un son fondamental

grave, soutenu, semblable au son du bourdon d'une cornemuse. Le second est une série d'harmoniques à une ou plusieurs octaves d'intervalle, qui rappellent le sifflement d'un oiseau, les rythmes syncopés d'un torrent de montagne ou le petit galop d'un cheval.

Localement, ce chant est nommé *khöömei* ou *khoomii*, qui dérive du mot mongol signifiant gorge. En France, on le nomme chant de gorge, ou chant diphonique, et certains chanteurs occidentaux contemporains qui sont parvenus à maîtriser cette technique le nomment également chant harmonique. Ces chants sont à la fois un mode d'expression et un phénomène acoustique intéressants ; nous les avons étudiés du point de vue de l'ethnomusicologie et de la composition musicologique.

L'imitation des sons

Les légendes de Touva racontent que le chant de gorge est très ancien : les premiers chanteurs ont cherché à reproduire les sons naturels dont les timbres ou les colorations tonales sont riches en harmoniques, tel le gargouillement de l'eau ou le sifflement des vents. L'origine du chant de gorge reste donc mystérieuse, mais la musique pastorale touva semble être liée à une ancienne tradition animiste, selon laquelle les objets et les phénomènes naturels ont une âme ou sont habités par des esprits.

L'animisme touva stipule que la spiritualité des montagnes et des rivières se manifeste à la fois par leur forme et par leur situation physique, et aussi par les sons qu'elles émettent



Karen Sherbock

1. L'*IGIL*, dont joue Andrei Chuldum-ool (à droite), est une vièle à deux cordes, fabriquée avec la peau, le crin et les boyaux d'un cheval. Selon les Touvas, elle reproduit les sons équiens et permet au

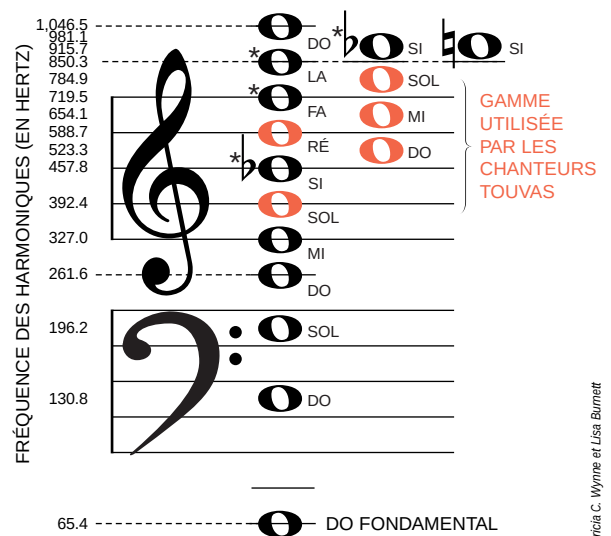
musicien d'assimiler les pouvoirs spirituels du cheval. L'imitation des sons est le fondement culturel de la musique touva qui s'inspire de l'environnement (*ci-dessus*).



Chez les bergers, imiter les sons ambiants est aussi naturel que parler. Le chant de gorge n'est pas officiellement enseigné, mais appris à la manière d'une langue : de nombreux pâtres pratiquent le chant de gorge, sans être toujours capables de former des airs mélodieux. Aujourd'hui, la croyance que le chant de gorge rend les femmes stériles disparaît, et les femmes jeunes

Il y a 20 ans, la plupart des Touvas considéraient la musique trop «pay-sanne» pour en donner des concerts, mais ceux-ci sont aujourd'hui courants ; mais groupes de professionnels sont célèbres, et les meilleurs chanteurs sont devenus les symboles de la culture nationale.

dans les territoires voisins de l'Altaï, en particulier ceux de la Mongolie occidentale. Cependant, cette pratique des harmoniques vocalement renforcées existe aussi dans diverses régions d'Asie centrale, telles les montagnes de l'Oural, où les musiciens du peuple turcophone des Bachkirs chantent des mélodies avec des harmoniques renforcées par le souffle selon un style nommé *uzliau*. Par ailleurs, les chanteurs d'épopées de l'Ouzbékistan, du Karakalpakstan et du Kazakhstan (trois régions situées entre la mer Noire et la Chine) ont introduit des harmoniques renforcées dans la poésie orale. En outre, certaines formes de chant du



Patricia C. Wynne et Lisa Burnett



plus intenses. Le conduit vocal transmet davantage les harmoniques dont les fréquences coïncident avec celles des formants. Enfin, la «caractéristique de rayonnement» de l'air extérieur constitue un deuxième filtre.