

Numéro
d'ÉTÉ
116 pages

Entretien avec Jean-Pierre Changeux, neurobiologiste :
« Le cerveau n'est pas un automate »



L'ACTUALITÉ DES SCIENCES

MENSUEL N° 410
JUILLET-AOÛT 2007

La Recherche

ASTRES MATIÈRE TERRE VIE ARCHÉOLOGIE SAPIENS SANTÉ TECHNOLOGIES MATHÉMATIQUES

ÉQUILIBRE

DOULEUR

RÉGÉNÉRATION

STIMULATION

ÉNERGIE

IMAGERIE

ORIENTATION

SOMMEIL

PLASTICITÉ

ATTAQUE
CÉRÉBRALE

Spécial

CERVEAU

Comment notre cerveau se répare,
se remodèle, se régénère

Bac to basics
L'HYDROGÈNE

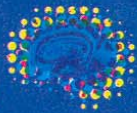
Comment ça marche
LA TABLE
À INDUCTION

WXYZ
CLASSER AVEC
DES ARBRES

Jeux
L'EAU
SERPENTINE

T 01108 - 410 - F: 6,40 € - RD



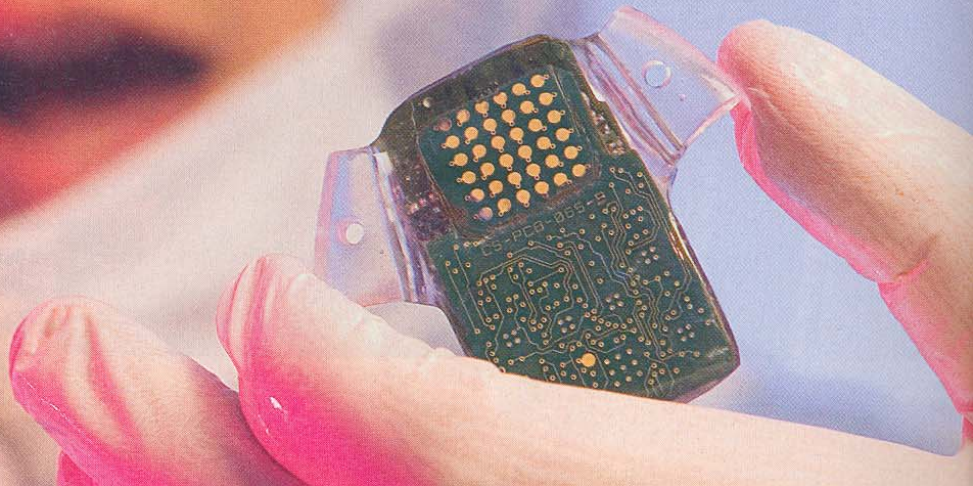


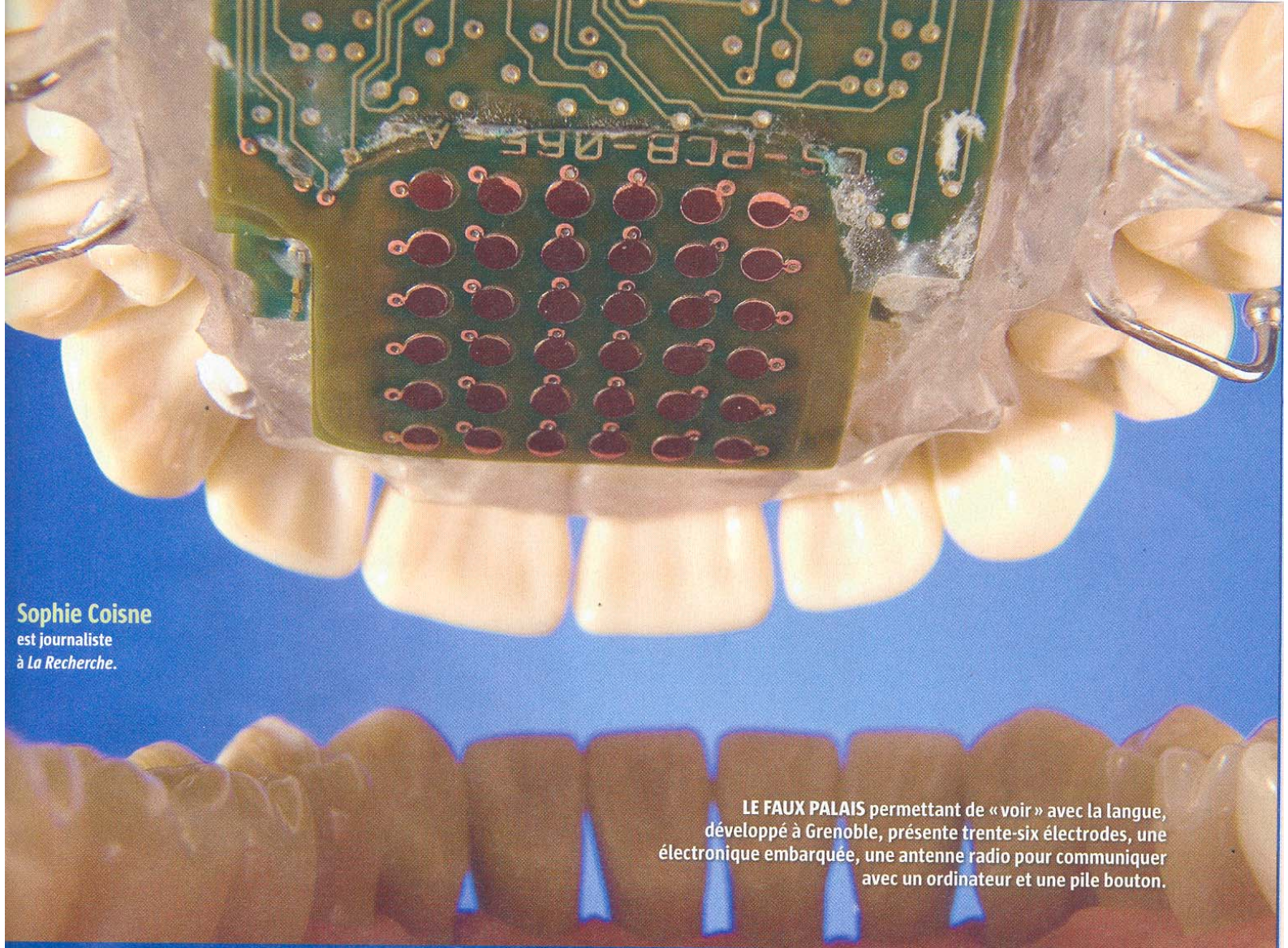
Et si les yeux n'étaient pas indispensables à la vision ? Grâce à un système qui provoque des stimulations tactiles sur la langue, on peut s'orienter les yeux fermés. Les idées d'applications ne manquent pas.

VOIR

avec la langue

UNE FOIS CE DISPOSITIF électronique installé au niveau de son palais, ce chirurgien recevra des informations sur la position dans l'espace de l'aiguille qu'il utilise pour opérer.





Sophie Coisne

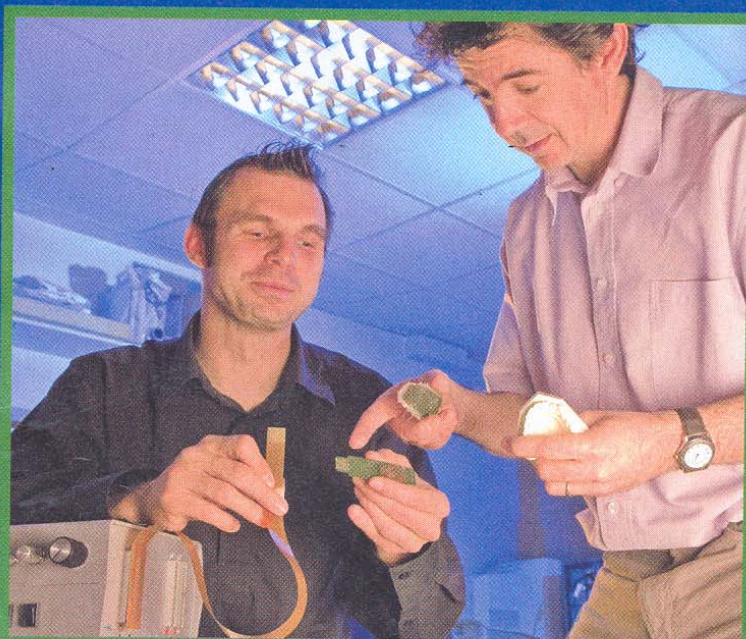
est journaliste
à *La Recherche*.

LE FAUX PALAIS permettant de « voir » avec la langue, développé à Grenoble, présente trente-six électrodes, une électronique embarquée, une antenne radio pour communiquer avec un ordinateur et une pile bouton.

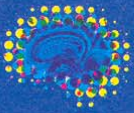
Avec son faux palais, le dispositif ressemble à un appareil dentaire. Mais à un appareil high-tech: il est muni d'électrodes, d'un circuit électronique, d'une pile et d'une antenne radio pour communiquer avec un ordinateur. Placez-le dans votre bouche, appliquez votre langue contre les électrodes. Vous ressentez de légers picotements, comme le pétilllement de bulles de champagne. Comment imaginer que ces stimulations tactiles puissent générer une image dans votre cerveau? C'est pourtant bien ce qui se passera, après un peu d'entraînement, comme en témoignent les personnes ayant testé ce système.

Grâce à ce dispositif, développé dans le laboratoire CNRS TIMC-IMAG, à Grenoble, des chirurgiens positionnent correctement leur instrument par rapport à la tumeur à opérer, sans se laisser guider par un écran. Mieux, à l'école d'optométrie de Montréal, des non-voyants se déplacent dans un parcours d'obstacles, sans rien utiliser d'autre pour s'orienter que leur langue, blottie contre quelques dizaines d'électrodes.

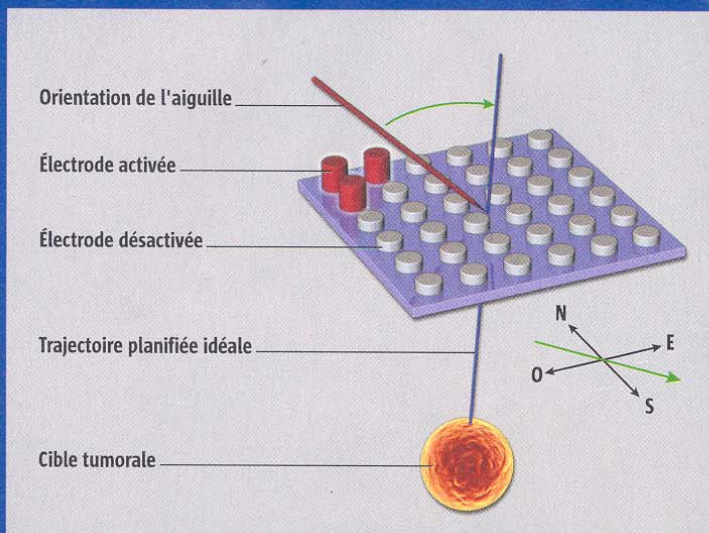
En amont de ce système, il y a une caméra, bien sûr. Elle filme l'obstacle placé sur le chemin. L'image ⇨



YOHAN PAYAN ET SON COLLÈGUE NICOLAS VUILLERME présentent trois versions du système d'électrostimulation permettant de transformer des informations visuelles en stimulations tactiles, ressenties sur la langue. La version la plus ancienne (à gauche) est câblée et incompatible avec une utilisation quotidienne. Après miniaturisation (au centre), le système est noyé dans un faux palais qui laisse affleurer 36 électrodes (à droite).



POUR S'ASSURER DE LA BONNE POSITION de son aiguille par rapport à la tumeur sous-jacente, ce chirurgien ne se guide pas en regardant l'écran : il se sert de la position des points stimulés sur sa langue par des électrodes.

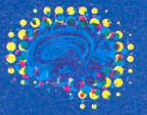


LES ÉLECTRODES DU SYSTÈME DE STIMULATION s'activent lorsque l'aiguille chirurgicale (en rouge) est mal orientée par rapport à la trajectoire planifiée (en bleu) en direction de la cible tumorale. La stimulation est alors d'autant plus intense que l'écart entre les trajectoires est important. Le chirurgien sait que l'aiguille est bien orientée lorsque les stimulations cessent. © INFOGRAPHIE BRUNO BOURGEOIS

⇒ est ensuite convertie en stimulations par un ordinateur portable : les électrodes – disposées en carré de 6 sur 6 dans le laboratoire grenoblois, ou de 12 sur 12 à Montréal – s'activent selon un schéma précis, perçu par les récepteurs tactiles de la langue. Ce schéma se modifie si la caméra bouge ou capture l'image d'un autre objet.

Le décryptage de cette information nécessite au départ un effort de concentration de la part de l'utilisateur : il doit comprendre comment les picotements distribués à la surface de sa langue l'informent sur l'objet à percevoir. Mais, après quelques heures d'entraînement, le raisonnement conscient disparaît. L'usager ne perçoit plus de stimulations tactiles mais il distingue l'obstacle comme étant devant lui. La perception est d'ailleurs si nette que si la caméra zoome soudainement sur l'obstacle pour en agrandir l'image, l'utilisateur cherche à l'éviter en se protégeant de son bras.

Comment le cerveau peut-il générer de telles sensations visuelles à partir de *stimuli* tactiles ? On commence enfin à le comprendre, près de quarante



ans après que l'Américain Paul Bach-y-Rita postula que ce n'est pas la rétine mais le cerveau qui voit. Selon lui, si les informations visuelles sont transmises au cortex *via* un autre organe des sens que les yeux – et en particulier par les récepteurs tactiles de la peau –, il doit pouvoir les comprendre.



L'AMÉRICAIN PAUL BACH-Y-RITA, décédé en 2006, a développé le premier instrument de substitution sensorielle il y a quarante ans. Il permettait à des non-voyants de recevoir des informations visuelles *via* la peau du dos.

Pour tester son hypothèse, Bach-y-Rita inventa le premier appareil dit de substitution sensorielle: il s'agissait d'un fauteuil de dentiste équipé de deux larges plaques d'électrodes pour stimuler le bas du dos d'un volontaire. Les images, captées par une caméra, étaient à l'époque converties en sensations tactiles par un énorme ordinateur.

Proposée à un aveugle de naissance, cette expérience fut, dans un premier temps, un échec. Le volontaire ne comprenait pas les informations qui lui parvenaient. Puis Bach-y-Rita l'autorisa à manipu-

ler lui-même la caméra. Il dressa alors un parallèle entre ses actions et les sensations tactiles qui en résultaient et parvint à repérer une cible en mouvement.

Rapidement, Bach-y-Rita préféra la langue au bas du dos comme zone de stimulation. Les récepteurs tactiles y sont

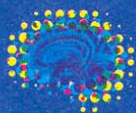
en effet très denses. Quant à la salive, elle assure une bonne conductivité électrique entre les électrodes et la surface de la langue.

Transfert du signal

L'hypothèse initiale de Bach-y-Rita n'a réellement été confirmée qu'en 2005 à Montréal. Plusieurs aveugles, installés à l'intérieur d'un IRM, ont dû accomplir des tâches de reconnaissance visuelle à l'aide de la stimulation linguale. Cette expérience a permis de voir ce qui se passait dans leur ⇒



L'IMAGE DE LA BOUTEILLE EST CONVERTIE par un ordinateur en stimulations tactiles. Ces dernières sont perçues par ce non-voyant, grâce au dispositif qu'il tient au bout de la langue. Après entraînement, les stimulations évoqueront pour lui des images, et il parviendra à reconnaître la bouteille parmi d'autres objets.



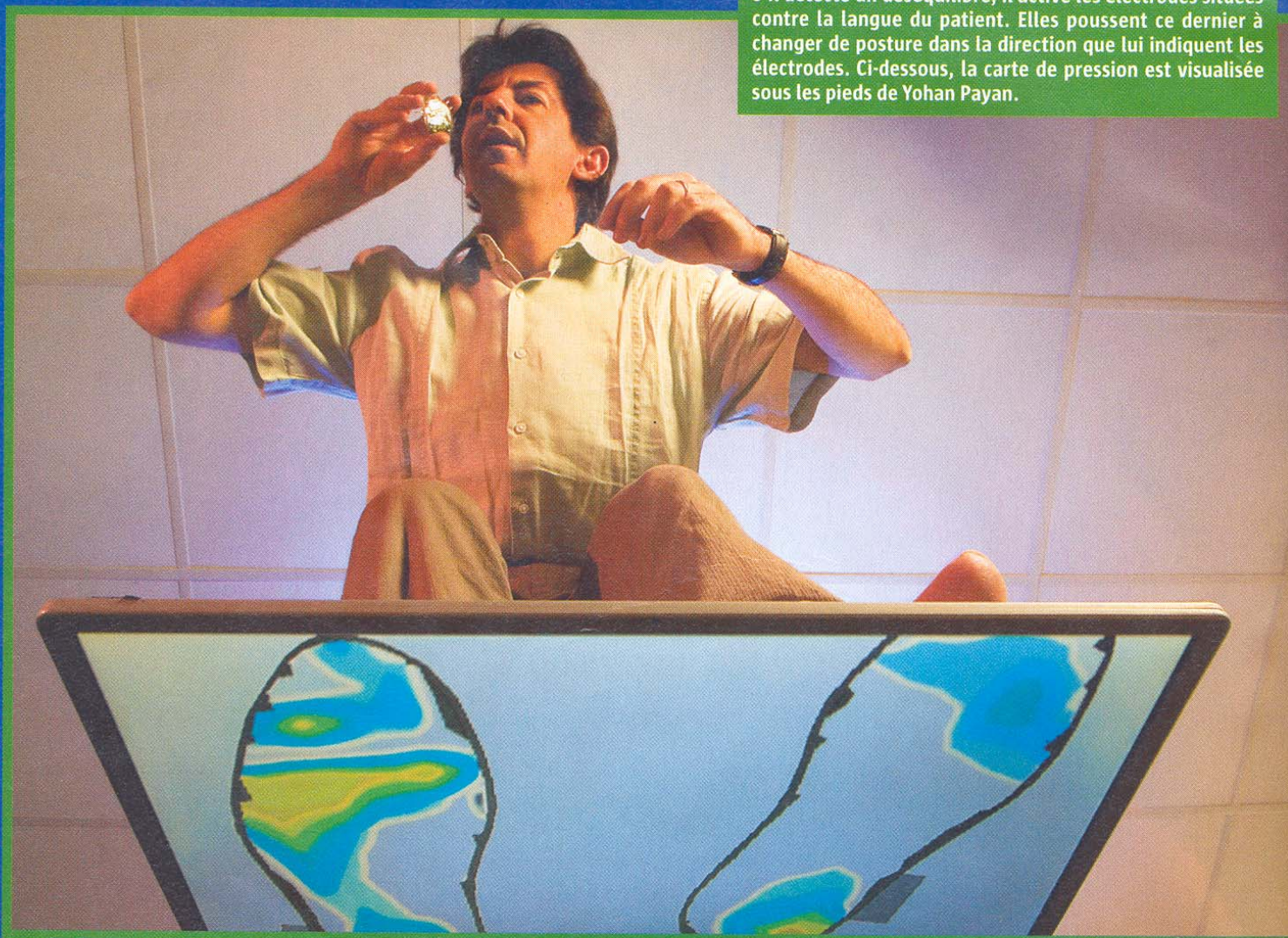
⇒ cerveau. Une fois les picotements ressentis, le signal est transféré des récepteurs tactiles de la langue à la zone du cortex occipital responsable de la sensibilité linguale. Puis il gagne, à l'arrière du cerveau, l'aire visuelle primaire qui analyse ce signal et le traduit en perception visuelle. Cette zone n'est pas sollicitée d'habitude chez les non-voyants.

Aires de substitution

La substitution sensorielle illustre parfaitement la plasticité du cerveau: lorsqu'une fonction est perdue, il est capable de se réorganiser et de recruter des aires non fonctionnelles pour effectuer de nouvelles tâches. C'est vrai pour les stimulations tactiles provenant de la langue et qui peuvent générer une perception visuelle. Mais l'on assiste à une même substitution sensorielle lorsqu'un aveugle lit le braille: en 1996, une étude montrait que le cortex visuel, là encore, était recruté lors de cette forme de lecture. L'image qui se forme dans son cerveau n'a pas grand-chose à voir avec celle que pourrait transmettre la rétine. Maurice Ptito, qui dirige l'équipe de Montréal,



AMPUTÉ D'UNE PARTIE DE SES PIEDS ET DE SES CHEVILLES, le patient ci-dessus à gauche souffre de troubles de l'équilibre. Pour restaurer ce dernier, il se tient sur un dispositif qui mesure les pressions sous ses pieds (dispositif qui prendra bientôt la forme de semelles pour s'adapter aux chaussures). La carte des pressions établie est analysée par un ordinateur. S'il détecte un déséquilibre, il active les électrodes situées contre la langue du patient. Elles poussent ce dernier à changer de posture dans la direction que lui indiquent les électrodes. Ci-dessous, la carte de pression est visualisée sous les pieds de Yohan Payan.



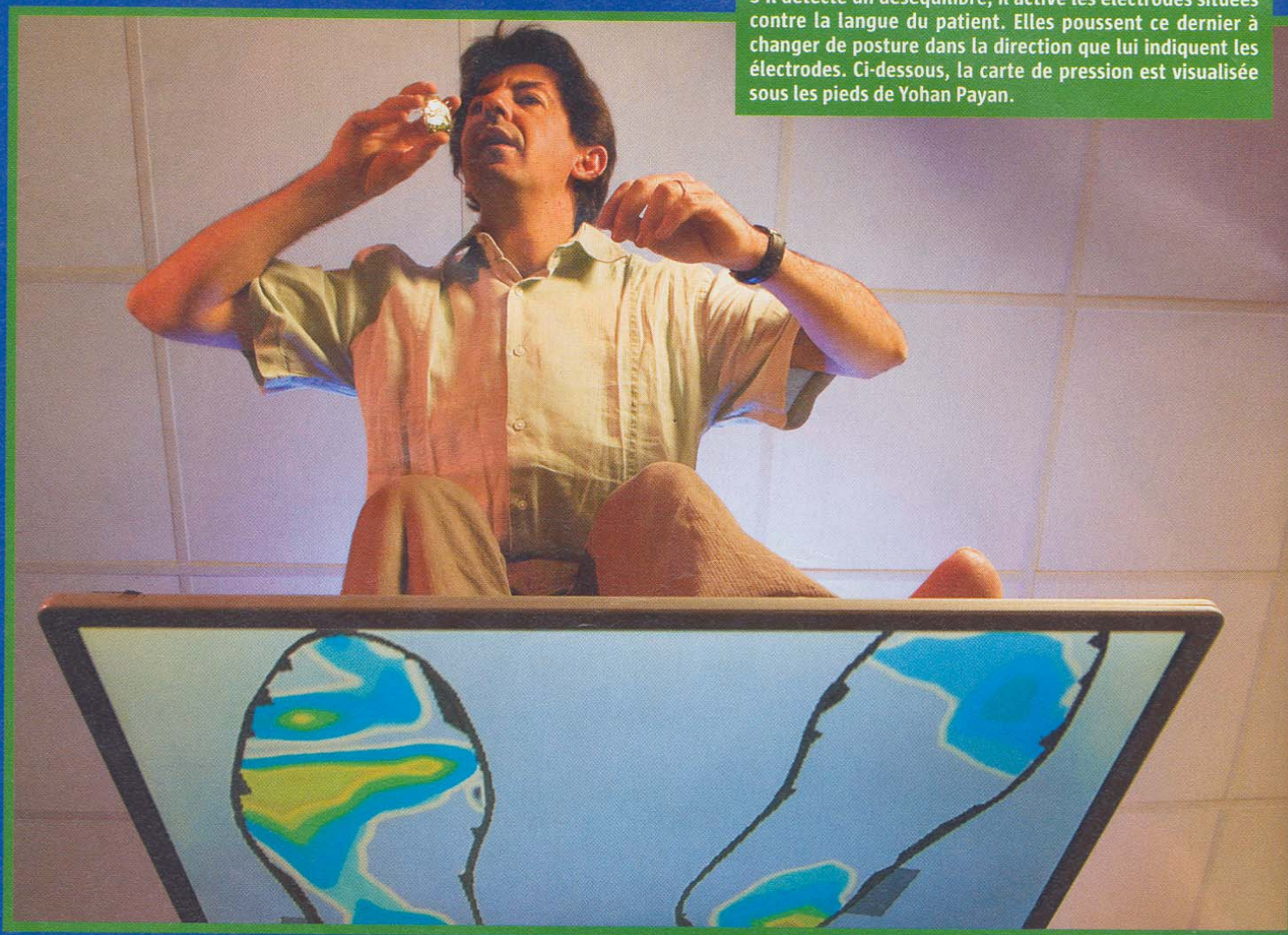
⇒ cerveau. Une fois les picotements ressentis, le signal est transféré des récepteurs tactiles de la langue à la zone du cortex occipital responsable de la sensibilité linguale. Puis il gagne, à l'arrière du cerveau, l'aire visuelle primaire qui analyse ce signal et le traduit en perception visuelle. Cette zone n'est pas sollicitée d'habitude chez les non-voyants.

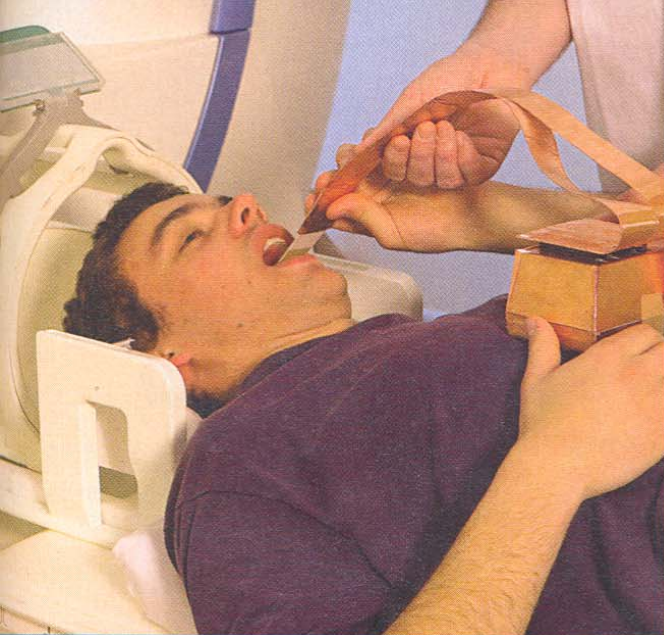
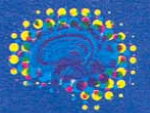
Aires de substitution

La substitution sensorielle illustre parfaitement la plasticité du cerveau: lorsqu'une fonction est perdue, il est capable de se réorganiser et de recruter des aires non fonctionnelles pour effectuer de nouvelles tâches. C'est vrai pour les stimulations tactiles provenant de la langue et qui peuvent générer une perception visuelle. Mais l'on assiste à une même substitution sensorielle lorsqu'un aveugle lit le braille: en 1996, une étude montrait que le cortex visuel, là encore, était recruté lors de cette forme de lecture. L'image qui se forme dans son cerveau n'a pas grand-chose à voir avec celle que pourrait transmettre la rétine. Maurice Ptito, qui dirige l'équipe de Montréal,

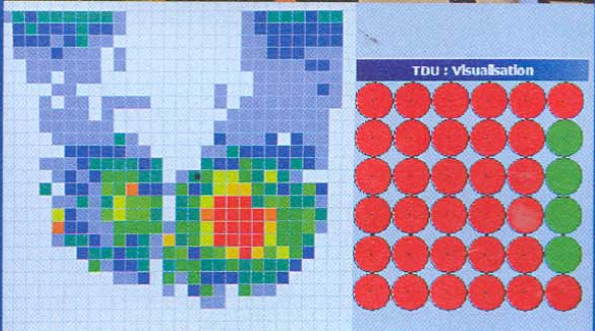
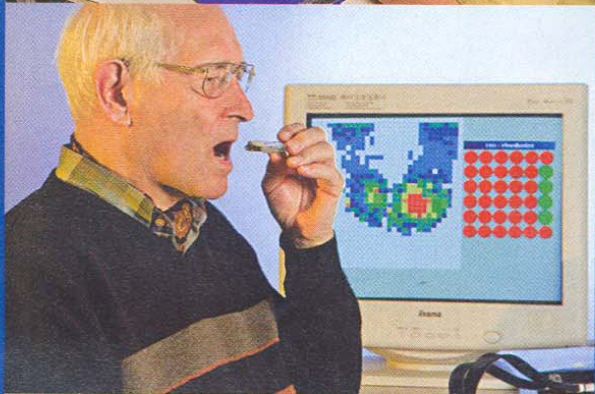
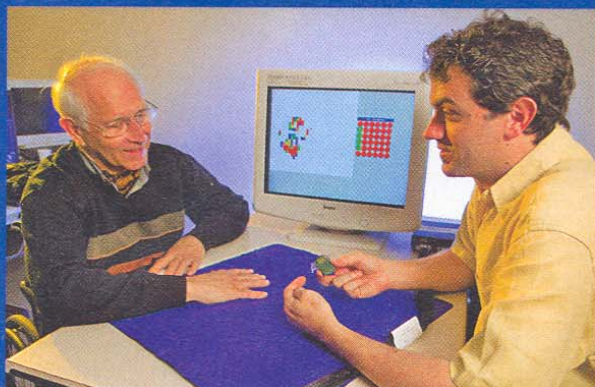
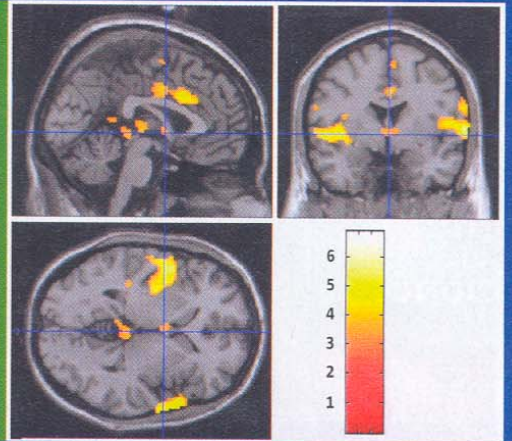


AMPUTÉ D'UNE PARTIE DE SES PIEDS ET DE SES CHEVILLES, le patient ci-dessus à gauche souffre de troubles de l'équilibre. Pour restaurer ce dernier, il se tient sur un dispositif qui mesure les pressions sous ses pieds (dispositif qui prendra bientôt la forme de semelles pour s'adapter aux chaussures). La carte des pressions établie est analysée par un ordinateur. S'il détecte un déséquilibre, il active les électrodes situées contre la langue du patient. Elles poussent ce dernier à changer de posture dans la direction que lui indiquent les électrodes. Ci-dessous, la carte de pression est visualisée sous les pieds de Yohan Payan.





LE SYSTÈME DE STIMULATION DE LA LANGUE est testé par un volontaire à l'intérieur d'un IRM (à gauche), après que Christian Scheiber, à Lyon, l'a rendu compatible avec ce type d'équipement. On peut ainsi voir quelles zones du cortex sont sollicitées lorsque les électrodes s'activent (à droite). À Montréal, l'IRM d'aveugles utilisant ce système a révélé que le cortex visuel était activé après stimulation de la langue.



CE PATIENT PARAPLÉGIQUE (en haut, à gauche) utilise un système d'évitement des escarres. Il est assis sur un coussin mesurant les pressions. La carte obtenue est affichée sur l'ordinateur (en bas, à gauche). Une escarre risque de se former dans la zone rouge. L'activation des électrodes (à droite, en vert) indique à l'utilisateur dans quelle direction il doit bouger.

ne cesse d'ailleurs de souligner que le dispositif d'électrostimulation de la langue ne remplace pas les yeux. Mais il permet à son utilisateur d'acquérir une forme de sensation visuelle.

Cette dernière pourrait un jour permettre aux non-voyants de se déplacer sans canne ou à des chirurgiens de se passer des écrans qui leur renvoient des informations de guidage vers une cible chirurgicale. Dans ce cadre, un test réalisé en 2006 à Grenoble sur sept volontaires a montré qu'après quinze minutes d'entraînement les personnes positionnaient correctement l'instrument chirurgical dans 96 % des cas [1].

Coussin de capteurs

Mais, dans le laboratoire TIMC-IMAG, Yohan Payan adapte aussi le dispositif d'électrostimulation de la langue à d'autres tâches que le guidage du geste chirurgical. Des paraplégiques commencent par exemple à le tester pour éviter les escarres* sur les fesses. Pour ce faire, la caméra est remplacée par un coussin équipé de capteurs de pression sur lequel s'assied patient. Un ordinateur analyse les zones où la pression importante pourrait provoquer une ulcération. Il active alors les électrodes dans une direction, celle dans laquelle le patient doit bouger son buste. Les électrodes cessent de s'activer lorsque l'utilisateur a diminué la pression dans la zone à risque.

Cette fois, la sensation restaurée n'est donc pas la vue mais la sensibilité perdue au niveau des fessiers. « Ce n'est pas à proprement parler de la substitution sensorielle mais plutôt de la suppléance perceptive : le patient dispose d'une information supplémentaire », explique Y. Payan. Ce système pourrait également bientôt permettre à des personnes ayant perdu la sensibilité au niveau de leurs plantes de pied (diabétiques, personnes âgées, amputés...) de positionner correctement leurs pieds contre le sol afin de ne pas perdre l'équilibre [2]. ■ S. C.

* Les **escarres** sont des ulcères localisés qui apparaissent sur la peau au contact d'un lit ou d'un fauteuil, en cas de surpression prolongée ou de longue immobilisation.

[1] F. Robineau et al., IEEE Transactions in Biomedical Engineering, 54, 711, 2007.

[2] N. Vuillemer et al., Experimental Brain Research, 179, 409, 2007.

Reportage photos : Philippe Psaila