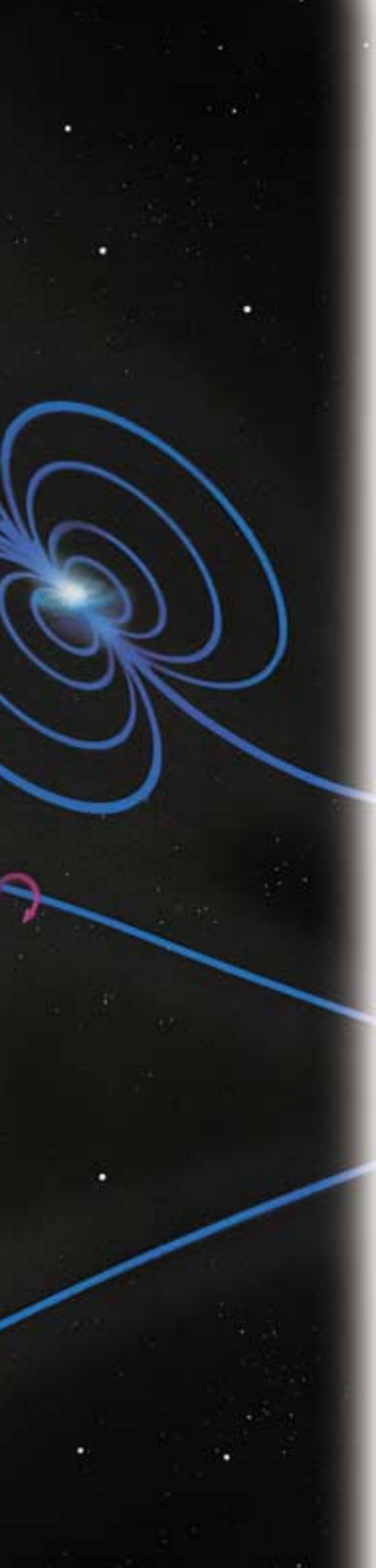




cosmiques longues de plusieurs millions d'années-lumière. Les antiparticules sauteraient ainsi de galaxie en galaxie, tout comme un ivrogne qui suivrait les pâtés de maison, choisissant les directions au hasard, aux croisements. Les antiparticules pourraient ne couvrir que quelques centaines de millions d'années-lumière à partir de leur source, même si elles voyageaient pendant un temps comparable à l'âge de l'Univers. Cette distance est bien plus courte que les milliards d'années-lumière nous séparant de l'antigalaxie la plus proche.

Même si, par hasard, une antiparticule approchait de notre Galaxie, rien n'indique qu'elle atteindrait la Terre : le champ magnétique de l'intérieur de la Galaxie, bien plus intense que le champ intergalactique, dévie la grande majorité des antiparticules incidentes ; l'ivrogne enfin arrivé chez lui ne trouve plus les clefs pour ouvrir la porte.

Les prochains vols

La recherche d'antiparticules lourdes dans notre Galaxie continue. Le Ministère américain de l'énergie finance aujourd'hui le projet d'envoi d'un détecteur d'antimatière dans un satellite. Le dispositif, nommé spectromètre magnétique alpha (AMS) cherchera principalement des antiprotons et les antineutrons. La NASA prévoit de tester le détecteur AMS à bord de la navette spatiale au cours de l'année 1998. Si tout se passe bien, le détecteur sera ensuite envoyé dans la station spatiale pour une durée de trois ans, à partir de 2002.

Sur une durée de fonctionnement aussi longue, AMS devrait avoir une sensibilité 100 fois supérieure à celle des précédents détecteurs d'antimatière. Saura-t-on toutefois distinguer les particules des antiparticules ? Pour identifier une antiparticule lourde parmi 100 millions de particules, un détecteur doit déterminer correctement la déviation de chaque particule dans un champ magnétique. Les instruments

les plus précis qui ont été embarqués dans des ballons font parfois plus de 15 mesures pour déterminer la déviation des particules rapides, mais le détecteur AMS n'en fera que six.

Un autre détecteur d'antimatière cosmique, PAMELA, doit également être lancé à Baïkonour, en l'an 2000. Plus complexe que AMS, il cherchera les positons, les antiprotons et les antineutrons lourds. En raison de sa petite taille, il collectera moins de rayons cosmiques, de sorte que sa recherche d'antiparticules lourdes risque de ne pas être assez minutieuse.

D'autres recherches d'antimatière cosmique par ballon sont prévues. Par exemple, nous construisons aujourd'hui une nouvelle version du détecteur HEAT afin d'observer les antiprotons de haute énergie, au cours de vols plus longs. En Antarctique, la NASA a testé des ballons de haute altitude qui ont volé jusqu'à 20 jours autour du pôle Sud, et l'équipe NASA des îles Wallops met au point des enveloppes de ballon allégées afin d'obtenir des vols qui dureraient jusqu'à 100 jours ; les vols d'essai de ces ballons auront lieu dans les prochains mois.

La recherche de l'antimatière cosmique bat son plein. Avec les premières expériences, les astrophysiciens voulaient prouver que matière et antimatière existent en quantités égales dans l'Univers, mais ils ont détecté une asymétrie de l'Univers. Puis les détecteurs d'antimatière ont trouvé très peu de positons et d'antiprotons dans les rayons cosmiques, et aucune antiparticule lourde. Les physiciens conservent l'espoir que des antiétoiles et des antigalaxies se cachent quelque part dans l'Univers, à des milliards d'années-lumière de notre Galaxie, mais les antiparticules lourdes de ces régions lointaines atteignent-elles la Terre ? L'enjeu de la quête est considérable : c'est l'identification de la nature de la matière sombre, qui semble composer les halos des galaxies.

Gregory TARLÉ et Simon SWORDY sont respectivement professeurs de physique à l'Université du Michigan et à l'Université de Chicago.

Edward W. KOLB et Michael S. TURNER, *The Early Universe*, Addison-Wesley, 1990.

James W. CRONIN, Thomas K. GAISER et Simon P. SWORDY, *Les rayons cosmiques*, in *Pour la Science*, mars 1997.

Fred C. ADAMS et al., *Constraints on the Intergalactic Transport of Cosmic Rays*, in *Astrophysical Journal*, vol. 491, pp. 6-12, 10 décembre 1997.

Les muscles, organes de la perception

JEAN-PIERRE ROLL

Les muscles renseignent le cerveau sur nos postures et nos mouvements. L'excitation artificielle de leurs capteurs sensoriels crée des illusions de mouvement et facilite la rééducation.

En 1754, Étienne Bonnot, abbé de Condillac, dans son *Traité des sensations*, propose de doter une statue des cinq sens (l'odorat, l'ouïe, la vue, le toucher et le goût) pour qu'elle accède à la connaissance. La statue ne peut toutefois apprendre à voir avec des yeux immobiles, ni à toucher avec des mains figées dans le marbre. Elle n'accède enfin aux délices de ce monde et à son entendement que lorsqu'elle est capable de mouvements. À partir de cet instant seulement se forge en elle le sentiment d'habiter un corps, de le connaître, de le situer dans l'espace, ou tout simplement d'exister avec et par lui.

Que nous enseigne cette parabole ? Que nos organes des sens, qui assurent la saisie d'informations sur nous-mêmes et sur notre environnement, ne rempliraient pas leurs fonctions s'ils n'étaient portés par un corps mobile. Orienter le regard pour saisir une image, tendre l'oreille pour mieux capter un son, saisir ou manipuler un objet afin d'en connaître le poids, la forme, la température ou la texture sont autant d'«actions perceptives» : nous déplaçons nos organes des sens vers leurs stimulus spécifiques. Pour cette raison déjà, les muscles, dont les contractions assurent ces déplacements, sont des organes de la perception.

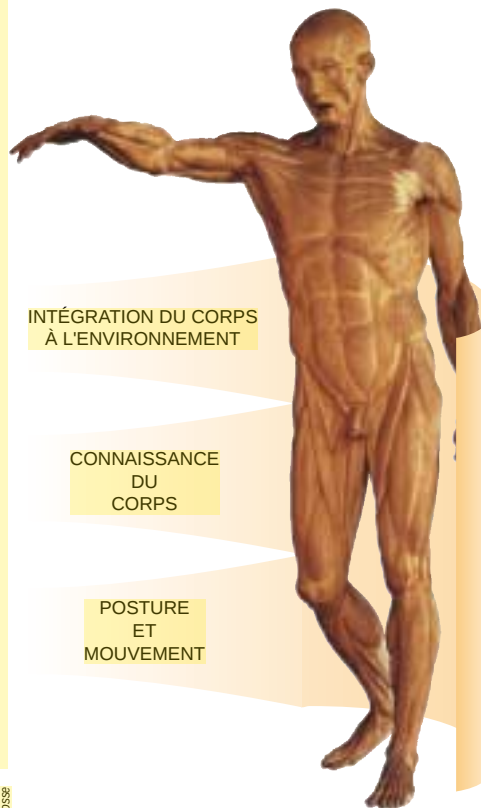
Les muscles ont aussi une fonction perceptive propre. Tandis que le système nerveux central commande les actions réflexes ou intentionnelles des muscles, ces derniers lui adressent, en retour, des informations sur le déroulement de ces actions : ils

contiennent des capteurs sensibles à leur longueur et à leurs variations de longueur. Les muscles sont donc des organes des sens à part entière, comme l'œil, l'oreille ou la peau. Ce «sixième sens», suspecté par Charles Bell dès 1823, fut nommé au début de notre siècle «sens musculaire» par Charles Sherrington,

qui le rangea parmi les sensibilités proprioceptives (dont les capteurs sont liés aux instruments moteurs et d'orientation spatiale du corps : les muscles, les tendons, les articulations et l'oreille interne). Pour cet auteur déjà, ce «sens secret» constituait l'une des bases de «l'ancrage organique de notre identité».

La description, en 1986, par Oliver Sacks, d'une «femme désincarnée», montre bien que certaines polynévrites aiguës, qui entraînent la disparition sélective des plus grosses fibres nerveuses sensitives provenant des muscles, conduisent à une perte de tout sentiment d'appartenance à un corps.

Les illusions de mouvement, obtenues en manipulant la sensibilité musculaire, révèlent que le cerveau connaît nos mouvements grâce aux messages que lui adressent nos muscles et qu'il tient compte de ceux provenant des autres sens. Le cerveau se structure ainsi continuellement au cours de la vie, grâce aux activités sensorielles déclenchées par ses propres commandes motrices. La sensibilité musculaire occupe une place prépondérante lors de nos apprentissages moteurs et des réapprentissage consécutifs à des lésions du cerveau lui-même ou de notre appareil moteur.



Josep

1. LES MUSCLES sont des organes moteurs, et ils sont aussi pourvus de capteurs sensibles à leurs longueurs et à leurs allongements : les informations qu'ils transmettent au système nerveux nous font accéder, comme les autres sens, à la conscience de notre corps et à sa place dans l'environnement.

Certaines fibres musculaires sont sensibles

Comment le tissu musculaire, moteur et sensible à la fois, nous informe-t-il sur les attitudes et les actions de notre corps ? En 1863, Wil-

helm Kühne décrit, dans des muscles de petits mammifères, des formations cellulaires qu'il nomme fuseaux neuromusculaires en raison de leur forme allongée et de leur renflement central. Un fuseau neuromusculaire est formé de quatre à six fibres musculaires courtes (deux à cinq millimètres de long) et fines, dont la partie centrale (équatoriale), non contractile, est enfermée dans une capsule emplies d'un liquide visqueux (voir l'encadré page 96). On qualifie d'«intrafusales» ces fibres musculaires, par opposition aux fibres musculaires motrices, dites «extrafusales».

Sherrington confirme, dès 1893, que ces fuseaux neuromusculaires sont des structures sensorielles : des terminaisons sensibles innervent la zone équatoriale des fibres intrafusales. Les corps cellulaires des neurones issus de ces terminaisons sont dans les ganglions des racines rachidiennes dorsales (les structures par où les fibres nerveuses sensibles pénètrent dans la moelle épinière). De ces corps cellulaires, des axones partent vers de nombreuses structures nerveuses centrales, telles que la moelle épinière, le cervelet et les régions pariétales de l'écorce cérébrale. Là, les informations issues des fuseaux neuromusculaires sont utilisées pour la gestion de la motricité réflexe ou intentionnelle, ou pour l'élaboration de la connaissance des activités du corps et de ses rapports avec l'environnement.

Les muscles des yeux, des doigts ou du cou hébergent plusieurs dizaines

2. DES ILLUSIONS DE MOUVEMENTS sont créées par l'application de vibrations mécaniques (*flèches vertes*) sur les tendons d'un muscle, à des fréquences de quelques dizaines de hertz, et lorsque la vue du sujet est occultée. Le sujet a l'impression d'un mouvement qui étirerait le muscle ainsi stimulé, mais qui dépend de sa posture et des informations que lui apportent les autres sens. La vibration du muscle ischio-jambier d'un sujet assis (a) lui donne l'illusion d'une extension de sa jambe. Si l'on stimule les muscles ischio-jambiers et jambiers antérieurs de la même personne assise sur une chaise à roulettes et dont les pieds sont posés sur le sol (b), elle a l'impression de glisser vers l'arrière avec la chaise. La stimulation des jambiers antérieurs d'une personne debout lui donne l'illusion d'un basculement de tout son corps vers l'arrière (c). Après quelques jours passés en microgravité dans une station spatiale, cette illusion est remplacée par celle d'un déplacement du corps vers le haut (d). Enfin, la stimulation du biceps d'une personne qui se tient le nez pincé entre le pouce et l'index (e), donne à celle-ci, le plus souvent, la sensation que son nez s'allonge, tel celui de Pinocchio.

