

proportionnelle à la concentration des gaz dissous et ne semble pas limitée. Nous avons donc émis l'hypothèse que le gaz agit sur des sites particuliers, présents en quantités limitées : le gaz inerte se lierait spécifiquement à des récepteurs membranaires en modifiant leur activité – on parle de modulateurs allostériques. Si les molécules de gaz se lient effectivement à de telles protéines membranaires, elles agiraient comme une drogue : des molécules pharmacologiques empêchant la fixation des gaz sur ces récepteurs devraient en masquer l'effet. Pour le savoir, nous devons préciser le mécanisme d'action de l'azote sous pression.

Depuis le début des années 2000, nous étudions les mécanismes de neurotransmission dans les ganglions de la base, des structures du cerveau impliquées dans la régulation des processus moteurs et cognitifs (voir l'encadré des pages 34 et 35). Or ces mécanismes sont perturbés par les gaz inertes sous pression. Les ganglions de la base contiennent plusieurs types de neurones : des neurones GABAergiques, libérant du GABA (l'acide gamma amino butyrique), un neuromédiateur inhibiteur, qui ralentit l'activité des neurones où il se fixe ; des neurones dopaminergiques, ayant des récepteurs du GABA et libérant de la dopamine excitatrice ou inhibitrice selon le récepteur où elle se fixe ; des neurones glutamatergiques excitateurs libérant du glutamate. En outre, les ganglions de la base sont divisés en plusieurs noyaux : la substance noire *pars reticulata* et *pars compacta*, le striatum et le thalamus. Les neurones GABAergiques de la substance noire *pars reticulata* émettent des projections vers les neurones dopaminergiques de la substance noire *pars compacta* et vers les neurones glutamatergiques du thalamus (c'est la voie nigrothalamique). Les neurones dopaminergiques de la *pars compacta* se terminent dans le striatum, définissant la voie dite nigrostriée. Enfin, les neurones glutamatergiques du thalamus sont reliés au cortex : c'est la voie thalamocorticale. Or la voie nigrostriée, la voie nigrothalamique et la voie thalamocorticale modulent les fonctions motrices et cognitives.

Des effets inverses

En 2001 et 2002, grâce à des méthodes de dosage des substances neurochimiques libérées dans ces régions du cerveau de rat, nous avons montré que la pression en mélange hélium-oxygène (sans gaz narcotique) active directement les récepteurs GABA des neurones GABAergiques de la substance noire *pars reticulata* et de la substance noire *pars compacta* ; l'inhibition que ces neurones exercent sur les neurones dopaminergiques de la substance noire et sur les neurones glutamatergiques du thalamus est levée, si bien que les concentrations de dopamine dans le striatum augmentent et, par conséquent, l'activité motrice. À l'inverse, l'azote active les récepteurs GABA des neurones dopaminergiques de la voie nigrostriée entraînant une inhibition de ces neurones et des neurones glutamatergiques. Moins de dopamine est libérée, ce qui entraîne une diminution de l'activité motrice.

Ainsi, la pression et les gaz narcotiques ont des effets opposés dans les ganglions de la base du rat. L'azote favoriserait la neurotransmission GABA de la substance noire, entraînant une hypoactivité motrice. Ce serait une des causes de la narcose à l'azote. La pression par elle-même augmenterait l'activité motrice et corticale : cela expliquerait le syndrome nerveux

des hautes pressions. Qui plus est, en 2002, nous avons montré que les effets de la pression et de l'azote dépendent de l'agencement des unités constitutives des récepteurs GABA des neurones GABAergiques et des neurones dopaminergiques. Certaines associations de sous-unités sont davantage sensibles à la pression (on les trouve surtout dans les récepteurs GABA des neurones GABAergiques), d'autres à l'azote (sur les récepteurs GABA des neurones dopaminergiques).

Plusieurs médiateurs perturbés

Les gaz inertes sous pression agissent aussi sur d'autres neurotransmissions. Sous pression d'hélium, les acides glutamique et aspartique et la sérotonine – des neurotransmetteurs excitateurs qui modifient l'activité des ganglions de la base – sont libérés. Cependant, alors que l'augmentation de la libération de dopamine est proportionnelle à la pression, la libération de ces neurotransmetteurs peut être soudaine. En outre, en 2005, nous avons montré qu'avec des gaz narcotiques, tel l'azote, l'augmentation de pression déclenche, outre la diminution de dopamine, une perturbation des libérations d'acide glutamique et de sérotonine ; les concentrations d'acide aspartique ne changent pas. Bien entendu, les effets des gaz inertes sous pression ne se limiteraient pas à ces seuls neurotransmetteurs. Plusieurs modifications neurochimiques existeraient, perturbant les fonctions motrices et cognitives de la personne narcosée.

De surcroît, quand une personne subit souvent les effets de la narcose, les réactions neurochimiques se modifieraient durablement. En 2005, nous avons observé chez l'animal, après plusieurs expositions à une narcose modérée (équivalente à celle que l'homme subit vers 30 mètres de profondeur), que la dopamine augmente dans le striatum au lieu de diminuer. Le gaz qui agit sur les récepteurs GABA modifierait leur activité ou leur répartition au fil des plongées. Nous cherchons aujourd'hui à savoir si ces processus sont irréversibles ou non.

Le mécanisme protéique d'action spécifique des gaz inertes sous pression n'exclut pas le mécanisme lipidique d'action diffuse. Ainsi, la narcose perturberait l'activité des neurones comme le fait un agent pharmacologique. Nous voulons désormais déterminer si les narcoses intenses et fréquentes sont toxiques pour les neurones. Pour limiter les accidents de plongée, il est important de préciser les mécanismes neurochimiques provoqués par ces gaz inertes sous pression. Mais, n'oubliez pas, si les poissons qui vous entourent commencent à changer de couleurs et de formes, remontez doucement vers la surface : les symptômes de la narcose disparaîtront quand l'azote aura été éliminé de votre cerveau...

Jean-Claude ROSTAIN est neurophysiologiste et neurochimiste au CNRS, dans l'unité de recherche Physiopathologie et action thérapeutique des gaz sous pression de l'Université de la Méditerranée à Marseille.

B. BROUSSOLLE et J.-L. MELIET, *Physiologie et médecine de la plongée*, Ellipse, 2006.

P. BENNETT et J.-C. ROSTAIN, *Inert gas narcosis*, in *Physiology and Medicine of Diving* et *The high pressure nervous syndrome*, in *Physiology and Medicine of Diving* cinquième édition, Saunders, London, pp. 300-357, 2003.

Les exploits de *Hubble*

En espérant une dernière révision du télescope Hubble, les astronomes font le bilan de ses 16 années d'exploitation.

Mario Livio

Peu de télescopes ont eu autant de retentissement sur la recherche astronomique que le télescope spatial *Hubble*. Pourtant, son influence n'est pas celle qu'on lui attribue généralement. Il n'a pas permis de grandes découvertes, mais il a transformé en quasi-certitudes des hypothèses formulées d'après les résultats obtenus sur Terre. Il a conduit les théoriciens à revoir leurs modèles afin d'en élaborer de nouveaux, plus précis, expliquant les phénomènes astrophysiques avec beaucoup plus de détails. En bref, l'influence du télescope *Hubble* a été considérable, non pas parce qu'il s'est démarqué des autres instruments et techniques, mais, au contraire, parce qu'il a su s'intégrer à l'ensemble des dispositifs existants.

En avril 2006, le télescope a fêté son seizième anniversaire dans l'espace. Seize années au cours desquelles il a fourni aux astronomes une profusion de détails, et livré un aperçu des merveilles de l'Univers. Mais ses prouesses ont récemment été éclipsées par le débat relatif à son avenir. Avec le redémarrage des missions de la navette spatiale, les astronomes espèrent qu'une mission sera dédiée à la maintenance de *Hubble*. Si les astronautes ne le remettent pas en état, le télescope cessera de « vivre »

dès le milieu de 2008. L'imminence de cette échéance m'a incité à faire le point sur dix ans et demi de bons et loyaux services.

J'ai sélectionné les dix contributions qui me semblent les plus fascinantes : de la découverte des objets les plus petits, telles les planètes, jusqu'aux galaxies et à l'Univers dans sa globalité. Sélection personnelle et, je l'admets, certainement partielle. Il est quasi impossible de résumer toutes les contributions de *Hubble*. Au moment où j'écris ces lignes, son système d'archivage contient plus de 27 téraoctets de données et grossit à un rythme de 390 gigaoctets par mois. Ces données ont conduit à la publication de 6300 articles scientifiques. Qui plus est, le télescope ne cesse de produire de nouveaux résultats. En collaboration avec d'autres observatoires, *Hubble* a découvert, l'année dernière, deux nouveaux satellites de Pluton, une étonnante galaxie massive dans l'Univers primordial, et le compagnon planétaire d'une naine brune, elle-même à peine plus lourde qu'une planète. Grâce à *Hubble*, nous avons vu, pour la première fois, ce que nous devions nous contenter d'imaginer jusqu'à présent.

Durant la première mission d'entretien de *Hubble*, en décembre 1993, les astronautes Story Musgrave (*sur le bras déplié*), Jeffrey Hoffman (*dans la soute*) et leurs compagnons ont réglé le miroir initialement non fonctionnel, permettant au satellite de nous envoyer une moisson d'images.