

ce mécanisme. Ces nouvelles couches de croûte océanique voyagent sur les couches externes du manteau terrestre et forment avec elles la lithosphère rigide. Cette dernière réintègre le manteau dans les zones de subduction, qui laissent des cicatrices sur les fonds océaniques sous la forme de fosses profondes. En ces lieux, la plaque qui s'enfonce entraîne avec elle du basalte, ainsi que des sédiments marins gorgés d'eau.

À une profondeur d'environ 80 kilomètres, la chaleur expulse l'eau et les autres composés volatiles des sédiments vers le manteau sus-jacent. Ces substances abaissent le point de fusion des matériaux environnants, de sorte que les magmas produits remontent à la surface, où ils provoquent de violentes éruptions volcaniques. Les éruptions du volcan Pinatubo et du mont Saint Helens sont deux exemples récents de ces catastrophes géologiques. Les grandes chaînes de volcans – comme les Andes –, alimentées par ces fluides bouillants, ajoutent en moyenne deux kilomètres cubes de laves et de cendres aux continents chaque année.

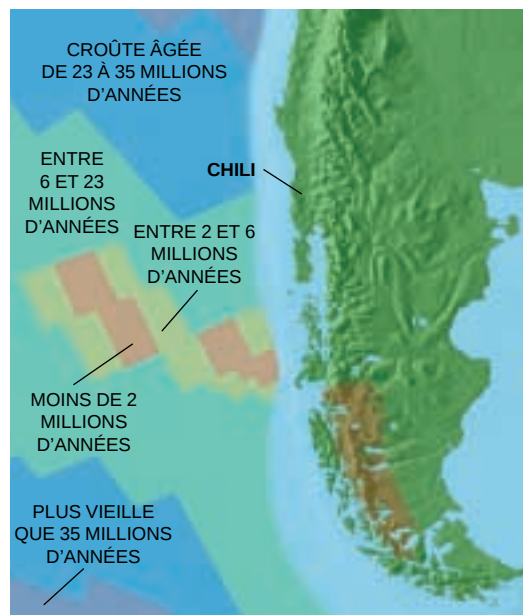
Cependant, le volcanisme résultant de la subduction n'est pas l'unique source de roches granitiques. L'accumulation de chaleur dans les profondeurs de la croûte continentale elle-même peut provoquer la fusion et la migration du magma vers la surface. La décomposition des éléments radioactifs est une source de chaleur, mais elle est plus faible que la convection qui remonte des magmas basaltiques jusque sous la couverture granitique : les roches fondues sont comme une plaque électrique sous une poêle à frire.

Les poussées de croissance

Si la formation de la croûte continentale a notablement changé à la fin de l'ère archéenne, il y a 2,5 milliards d'années, elle a également varié au cours des temps géologiques : des quantités importantes de croûte sont apparues il y a 2 à 1,7 milliards d'années, puis il y a 1,7 à 1,3 milliard d'années, et il y a 500 à 300 millions d'années. Ces poussées sont surprenantes : pourquoi la croûte continentale se forme-t-elle de façon discontinue, alors que la génération de chaleur interne par les éléments radioactifs et son évacuation par le recyclage de la croûte océanique sont continues ?

Une compréhension plus fine de la tectonique des plaques aide à résoudre cette énigme. Pendant le Permien (il y

Un instantané du passé



Les granites riches en sodium sont caractéristiques de l'ère archéenne, une époque au cours de laquelle le moteur de la tectonique des plaques était plus efficace qu'aujourd'hui. Ces granites riches en sodium, les tonalites-trondjemites-granodiorites, ne se forment que lorsque de la croûte océanique jeune pénètre dans le manteau, provoquant des réactions de fusion partielle à faible profondeur. Ces conditions existent aujourd'hui dans la partie méridionale des côtes du Chili : de la croûte océanique jeune plonge sous la plaque américaine. Les régions où affleurent des granites riches en sodium sont en brun.

a environ 250 millions d'années), les grandes masses continentales de la Terre ont convergé pour créer un énorme continent nommé la Pangée (voir *La Terre avant la Pangée*, par Ian Dalziel, *Pour la Science*, mars 1995). Au cours des temps géologiques, la formation de tels continents géants semble s'être reproduite à intervalles irréguliers d'environ 600 millions d'années. Les cycles tectoniques majeurs qui écartent, puis rapprochent les continents ont été étudiés jusqu'au Protérozoïque ancien, et il est probable que le premier continent géant ait été formé au cours de l'Archéen.

De tels cycles tectoniques modulent le rythme de la création de croûte continentale. Lorsqu'un continent se brise, la croûte océanique est ancienne et peut donc former plus facilement de la nouvelle croûte continentale après sa subduction. Lorsque les continents isolés se rapprochent, les arcs volca-

niques (les chaînes de volcans qui naissent près des zones de subduction) percutent les continents. De la nouvelle croûte se forme par l'accrétion de ces roches aux marges des continents.

Depuis plus de quatre milliards d'années, les continents errants se sont assemblés et séparés de multiples façons. Nous avons, enfouis sous nos pieds, les derniers témoignages de l'histoire de notre Terre. Il aura fallu du temps pour reconstituer cette histoire à partir de l'étude des roches, mais notre connaissance de l'origine de la croûte terrestre et de son évolution est maintenant suffisante pour affirmer que la Terre est bien une planète exceptionnelle. Par une bonne fortune de la nature – la capacité de maintenir une tectonique des plaques –, une seule planète a été capable de créer des volumes de croûte continentale stable où nous pouvons vivre.

Ross TAYLOR travaille à l'Institut australien de recherche en sciences physiques. Scott MCLENNAN est professeur à l'Université Stony Brook, de New York.

Claude ALLÈGRE, *12 clés pour la géologie*, collection Regards sur la Science, Éditions Belin.

S. Ross TAYLOR et Scott M. MCLENNAN, *The Continental Crust : Its Composition and Evolution*, Blackwell Scientific Publications, 1985.

Preston CLOUD, *Oasis in Space : Earth History from the Beginning*, W.W. Norton, 1988.

S. Ross TAYLOR et Scott M. MCLENNAN, *The Geochemical Evolution of the Continental Crust*, in *Reviews of Geophysics*, vol. 33, n° 2, pp. 241-265, mai 1995.

Roberta L. RUDNICK et David M. FOUNTAIN, *Nature and Composition of the Continental Crust : A Lower Crustal Perspective*, in *Reviews of Geophysics*, vol. 33, n° 3, pp. 267-309, août 1995.

Un agent multiple : la sérotonine

MARIE-HÉLÈNE THIÉBOT • MICHEL HAMON

La sérotonine participe à diverses fonctions physiologiques. Quand son fonctionnement est perturbé, elle est responsable de dépression, d'anxiété, de migraine ou encore de vomissements. Des médicaments agissant sur des cibles spécifiques pallient ces anomalies.

La sérotonine intervient dans de multiples fonctions : l'alternance de la veille et du sommeil, l'appétit et la prise alimentaire, le rythme cardiaque, la perception de la douleur, la température corporelle, le comportement sexuel, ou encore les capacités d'apprentissage, l'attention et la mémoire. En effet, toutes ces fonctions sont partiellement commandées par les neurones qui libèrent la sérotonine.

La transmission assurée par ce messager chimique est perturbée dans certaines maladies neurologiques, telle la migraine, dans des maladies psychiatriques, notamment plusieurs pathologies dépressives et anxieuses, certains troubles de la personnalité, ou encore des maladies neurodégénératives, telles la maladie d'Alzheimer et celle de Parkinson. En agissant sur les cibles de la sérotonine, on soulage certaines de ces pathologies.

Comment une seule et unique molécule peut-elle avoir cette multitude d'effets ? Parce qu'elle agit dans plusieurs sous-réseaux de neurones et qu'elle dispose de récepteurs spécifiques sur plusieurs cibles : selon les récepteurs activés ou inhibés, la sérotonine déclenche des effets notablement différents.

La sérotonine a d'abord été identifiée en dehors du système nerveux : en 1933, Vittorio Erspamer et ses collègues italiens ont isolé, dans certaines cellules de l'intestin (les cellules entérochromaffines), une molécule nouvelle, qu'ils ont nommée entéramine. En 1948, aux États-Unis, M. Rapport a isolé dans

les plaquettes sanguines (les cellules qui participent aux mécanismes de coagulation), une substance qui déclenche la contraction des vaisseaux, la sérotonine. Les biologistes ont alors découvert que l'entéramine d'Erspamer est la même molécule que la sérotonine de Rapport, la 5-hydroxytryptamine. Présente chez l'homme, la sérotonine l'est aussi dans le venin de crapaud, d'abeille ou de scorpion, tout comme chez des végétaux et dans des bactéries.

En 1953, aux États-Unis, Irwin Page a émis l'hypothèse que la sérotonine, présente dans le système nerveux central, participe à la transmission des messages entre neurones : les neurones dits sérotoninergiques synthétisent, stockent et libèrent la sérotonine. Aujourd'hui, on dénombre neuf groupes de neurones sérotoninergiques. Certaines aires du cerveau, les noyaux du raphé magnus, pallidus et obscurus, contiennent des neurones dont les axones (les longs prolongements) se terminent dans la moelle épinière.

Les fibres issues des noyaux du raphé dorsal et médian représentent quasiment la seule source de sérotonine des parties antérieures du système nerveux central : le cortex cérébral (le cerveau que l'on dit aussi « associatif »), les ganglions de la base (des structures qui participent au contrôle du mouvement) et les structures limbiques (le cerveau dit « affectif »), c'est-à-dire le cortex préfrontal, le septum, l'hippocampe, l'hypothalamus, le thalamus et les noyaux amygdaliens (voir la figure 2).

La libération de la sérotonine

Les neurones transmettent l'information vers des destinations parfois très éloignées. Toute pensée est le résultat de conversations entre les milliards de neurones du cerveau. L'information est transmise par l'axone du neurone, le câble qui relie le neurone d'où part le message jusqu'à sa destination. Les neurones qui ont leur corps cellulaire dans le cerveau et qui sont reliés à l'extrémité inférieure de la moelle épinière ont des axones longs de plus de un mètre.

Comment se transmet le message ? L'intérieur d'un neurone au repos est électriquement négatif par rapport à l'extérieur ; en phase d'excitation, la différence de potentiel électrique entre les deux faces de la membrane s'annule, voire s'inverse : alors, un afflux massif d'ions sodium en un point de l'axone change les propriétés électriques locales du point voisin et y déclenche également un afflux d'ions sodium : la dépolarisation se propage le long de l'axone.

1. LA SÉROTONINE est un neuromédiateur qui participe à de nombreuses fonctions physiologiques. Lorsque certains circuits de neurones libérant la sérotonine fonctionnent anormalement, des troubles apparaissent : par exemple, les migraines, des troubles du comportement alimentaire, une agressivité exacerbée ou encore des dépressions. Des médicaments qui potentialisent ou, au contraire, inhibent des circuits spécifiques de neurones sérotoninergiques calment ces pathologies.

Lorsque le message parvient aux terminaisons de l'axone, il doit ensuite être transmis au neurone adjacent ou à la cellule cible : cette transmission est assurée par les neuromédiateurs qui agissent sur des récepteurs. Les neuromédiateurs sont synthétisés dans les neurones, puis stockés dans des vésicules synaptiques d'où ils sont libérés. En fait, la sérotonine est libérée non seulement à partir des terminaisons axonales, mais également à partir des corps cellulaires des neurones sérotoninergiques.

La libération de la sérotonine par le corps cellulaire est indépendante de l'activité électrique du neurone. Au contraire, la libération par les terminaisons axonales dépend de la

fréquence des potentiels d'action émis par le neurone. Elle est déclenchée par les ions calcium qui affluent lors de l'arrivée des potentiels d'action.

Après avoir été libéré dans la fente synaptique (l'espace qui sépare le neurone présynaptique «émetteur» et le neurone postsynaptique «récepteur»), le neuromédiateur agit sur ses récepteurs postsynaptiques, puis il est dégradé par des enzymes, ou bien est recapté par le neurone présynaptique.

Dès 1957, John Gaddum et Z. Picairelli montraient qu'il existe au moins deux types de récepteurs pour la sérotonine, mais, depuis, l'application des techniques de la biologie moléculaire a permis d'identifier une quinzaine de

récepteurs répartis en sept classes distinctes. Ce sont tous des protéines insérées dans la membrane des cellules cibles et sensibles à l'action de la sérotonine.

Les récepteurs de la sérotonine

Les récepteurs de la classe 5-HT₁ sont caractérisés par une affinité élevée pour la sérotonine : quelques nanomoles de sérotonine (quelques milliardièmes de mole) se fixant sur ces récepteurs suffisent à déclencher la réaction cellulaire commandée par ces récepteurs.

Lorsque la sérotonine se lie à un récepteur 5-HT_{1A}, cette molécule

