

DES CAMÉRAS EN COULEUR (MASTCAM) enregistreront des images en haute résolution des paysages et des textures des roches. Ces dernières aideront à reconstituer les processus de formation des roches et du sol, qui impliquent peut-être l'action de l'eau. L'une des caméras (MARDI), située sous le rover, filmera la descente et l'atterrissage.

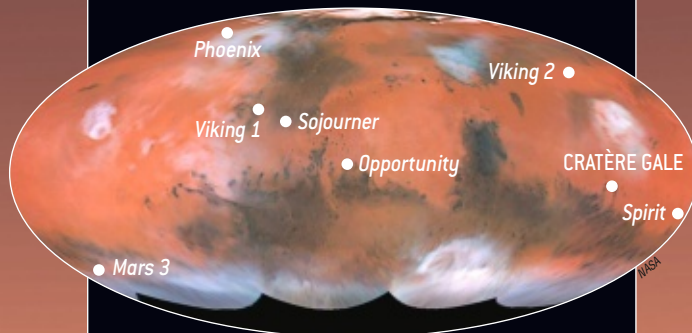
L'INSTRUMENT CHEMIN effectuera l'analyse minéralogique de roches réduites en poudre en envoyant des rayons X pour faire apparaître des motifs de diffraction caractéristiques des minéraux. Contrairement aux missions précédentes, il pourra analyser plusieurs types de minéraux.

LE BRAS ROBOTISÉ, d'une portée allant jusqu'à deux mètres, est équipé de 30 kilogrammes d'outils permettant de percer des trous et de pulvériser des roches. Un ensemble de tamis prépare de la poudre pour les instruments d'analyse.

LE SPECTROMÈTRE PAR ABLATION LASER (CHEMCAM) analysera la composition des roches à distance en les volatilisant en plasma avec un laser et en analysant la lumière qu'elles émettent alors.

LE SPECTROMÈTRE À PARTICULES ALPHA ET RAYONS X (APXS) déterminera *in situ* la composition en éléments lourds des roches par fluorescence induite par rayons X.

LES SITES D'ATTERRISSAGE



Le cratère Gale

Après cinq ans d'études, la NASA a retenu le cratère Gale parmi 50 sites candidats proposés pour faire atterrir *Curiosity*. Dans cet ancien cratère d'impact de 150 kilomètres de diamètre, l'érosion éolienne et des impacts récents ont exposé des matériaux autrefois enterrés, d'anciens dépôts fluviaux qui ont gardé la trace d'écoulements d'eau et des terrains fracturés riches en minéraux, analogues à ceux que l'on trouve sur Terre au-dessus des aquifères.

Le cratère est dominé par un pic central, le mont Sharp, qui culmine à plus de 5 000 mètres au-dessus des plaines environnantes. La majeure partie de ce mont est accessible au rover *Curiosity* par différents chemins. Il en entamera l'ascension 6 à 12 mois après l'atterrissage. Le pic est constitué de strates de roches sédimentaires qui, lues de bas en haut, livreront une chronologie de la jeunesse de la planète. En huit ans, le rover *Opportunity* a examiné 15 à 20 mètres de strate ; trop peu pour retracer l'évolution du climat, mais assez pour donner un aperçu de ce que verra *Curiosity*.

Les roches sédimentaires sont particulièrement intéressantes et pourraient renfermer des signatures éventuelles de vie passée. En se plongeant dans l'histoire martienne, *Curiosity* éclairera de façon indirecte une période de l'histoire terrestre qui a presque disparu des profils géologiques, quand les deux planètes n'étaient peut-être pas si différentes. De quoi mieux comprendre notre propre planète...

Le cerveau STRESSÉ

Amy Arnsten, Carolyn Mazure et Rajita Sinha

Les circuits neuronaux assurant le contrôle de soi sont perturbés par un stress, même modéré. Dès lors, les émotions et les désirs prennent les commandes...

Chez certains étudiants, la pression des examens perturbe, voire bloque totalement, les capacités de raisonnement. Les expressions imagées ne manquent pas pour décrire ce phénomène : être paralysé, sur les nerfs, mort de peur, au bord de l'évanouissement, etc. De même, certaines personnes sont paralysées à l'idée de parler en public. Les situations de stress sont courantes, et chacun en connaît les effets.

Les neuroscientifiques croyaient comprendre les mécanismes cérébraux du stress, mais les recherches récentes ont remis en cause leurs explications. La réponse au stress n'est pas seulement une réaction primitive, qui ne concerne que les aires cérébrales communes à de nombreuses espèces, de la salamandre à l'homme. En réalité, le stress affecte les facultés cognitives, les zones cérébrales les plus élaborées chez les primates.

Auparavant, on décrivait la manifestation physiologique du stress comme une réaction de l'hypothalamus, une structure apparue très tôt au cours de l'évolution et située à la base du cerveau : l'hypothalamus déclencherait la sécrétion d'hormones par l'hypophyse (localisée à la base du cerveau) et les glandes surrénales (juste au-dessus des

reins), hormones qui accélèrent le rythme cardiaque, augmentent la pression sanguine et diminuent l'appétit. Les recherches récentes ont révélé un rôle inattendu du cortex préfrontal, une structure cérébrale située derrière le front. Il est le siège des capacités cognitives les plus élaborées – la concentration, la planification, la prise de décision, l'intuition, le jugement... C'est la partie du cerveau apparue le plus tard au cours de l'évolution.

Le cortex préfrontal agit comme un centre de commande. Quand tout va bien, il maintient nos émotions et nos pulsions « primaires » sous contrôle. En revanche, un stress aigu déclenche une série d'événements chimiques qui réduisent son influence, tout en renforçant celle d'aires cérébrales plus anciennes. Nous pouvons alors nous retrouver en proie à une anxiété paralysante ou à des pulsions que d'habitude nous réussissons à contrôler : excès de nourriture et de boissons, consommation de drogues, frénésie dépensière... En d'autres termes, nous perdons le contrôle de nous-mêmes.

Depuis qu'ils ont découvert que le stress peut perturber des fonctions exécutives supérieures, les neurobiologistes cherchent



Dan Saelinger

à comprendre les mécanismes sous-jacents. Ils espèrent mettre au point des thérapies comportementales et des médicaments permettant de garder son sang-froid.

Le cortex préfrontal : un chef d'orchestre

La question intrigue les scientifiques depuis des décennies. Après la Seconde Guerre mondiale, ils se sont demandé pourquoi certains pilotes de chasse, virtuoses à l'entraînement, commettaient des erreurs grossières et fatales dans le feu du combat. Ils n'ont pu analyser en détail l'activité du cerveau qu'avec les progrès des techniques de neuro-imagerie dans les années 1990. Ils ont alors remarqué une « explosion » d'activité dans le cortex préfrontal lors des événements stressants.

Si cette zone est si sensible au stress, c'est en raison de son statut hiérarchique particulier au sein des structures cérébrales. Proportionnellement plus gros chez l'homme que chez les autres primates, le cortex préfrontal représente un bon tiers du cortex humain. Sa maturation est plus

L'ESSENTIEL

■ **Le cortex préfrontal maintient nos émotions sous contrôle en régulant l'activité de structures cérébrales ancestrales où elles prennent naissance.**

■ **Il peut être désactivé par les modifications neurochimiques dues au stress, ce qui entraîne des réactions peu rationnelles, voire une paralysie mentale.**

■ **Grâce à une meilleure compréhension des mécanismes du stress, on développe des thérapies comportementales et des médicaments pour mieux y résister.**

lente que celle des autres zones cérébrales et ne s'achève qu'après l'adolescence. Il est responsable de la pensée abstraite. Grâce à lui, nous sommes capables de nous concentrer sur une tâche, tout en stockant des informations dans la mémoire de travail. Cette dernière nous permet de garder à l'esprit des données dont nous avons besoin pendant quelques instants, telle la retenue à reporter dans la colonne suivante lors d'une addition. Cette donnée est ensuite oubliée. Enfin, le cortex préfrontal inhibe les pensées et les actions inappropriées.

Il fonctionne grâce à un vaste réseau de connexions reliant certains de ses neurones, nommés cellules pyramidales car leur corps cellulaire a une forme triangulaire. Ces neurones sont aussi connectés à des aires plus éloignées, qui contrôlent les émotions, les désirs et les habitudes. En l'absence de stress intense, ce réseau joue un rôle régulateur. Le cortex préfrontal peut par exemple envoyer un signal à d'autres régions cérébrales pour contrecarrer le désir d'un second verre de vin. Ou encore, si un homme imposant s'approche,



■ LES AUTEURS



Amy ARNSTEN est professeur de neurobiologie à la Faculté de médecine de l'Université Yale, aux États-Unis.



Carolyn MAZURE est professeur de psychiatrie et de psychologie dans la même faculté.



Rajita SINHA est professeur de psychiatrie dans la même faculté.

le cortex préfrontal transmet un message à l'amygdale, une petite structure cérébrale ancestrale impliquée dans les réactions de peur, pour indiquer que cet homme n'a pas d'intentions agressives.

Le bon fonctionnement de ce réseau est très sensible aux conditions chimiques. Nos recherches visant à préciser l'influence de ces conditions ont commencé il y a une vingtaine d'années. En réponse au stress, notre cerveau est inondé de composés chimiques « stimulants », telles la noradrénaline et la dopamine. Ces composés sont des neurotransmetteurs (les substances chimiques qui assurent la transmission des signaux électriques d'un neurone à l'autre). Ils sont libérés par des neurones du tronc cérébral, dont les prolongements atteignent toutes les régions du cerveau. Quand ils se déversent en grande quantité dans le cortex préfrontal, ils inhibent toute décharge neuronale : d'une part, ils réduisent l'efficacité

de la transmission synaptique entre les neurones et, d'autre part, ils rendent les neurones eux-mêmes temporairement inaptes à transmettre les signaux électriques (voir l'encadré

page ci-contre). L'activité du réseau diminue, tout comme la capacité de régulation du comportement.

Ces effets s'aggravent lorsque les glandes surrénales, contrôlées par l'hypothalamus, libèrent du cortisol – l'hormone du stress – dans le sang. Dans ces conditions, le contrôle de soi devient difficile à assurer.

Tandis que le cortex préfrontal s'éteint, l'emprise d'autres régions cérébrales sur le comportement se renforce – un même neurotransmetteur peut avoir des effets opposés sur les neurones, en fonction des récepteurs présents sur leur membrane. Ainsi, la dopamine accroît l'activité d'une série de structures situées dans les profondeurs du cerveau, nommées ganglions de la base. Ces structures régulent nos envies, nos émotions et nos mouvements. Elles sont actives aussi bien quand nous roulons à bicyclette que lorsque nous cédon à l'attrait d'une cigarette interdite.

En 2001, Benno Roozendaal, aujourd'hui à l'Université de Groningue, aux Pays-Bas, James McGaugh, de l'Université de Californie, à Irvine, et leurs collègues ont découvert un renforcement similaire du rôle de l'amygdale. Sous l'influence de la noradrénaline et du cortisol produits lors

d'un stress, elle transmet un signal d'alerte au reste du système nerveux pour le préparer à fuir ou à combattre le danger. Elle améliore également la mémorisation des souvenirs associés à la peur et au danger.

Les hommes inégaux face au stress

Les recherches sur le stress, qui ont d'abord concerné l'animal, ont été poursuivies chez l'homme. Elles montrent que certaines personnes y sont plus sensibles que d'autres, en raison de prédispositions génétiques ou d'expositions antérieures au stress. Après l'extinction du cortex préfrontal par la dopamine et la noradrénaline, des enzymes détruisent ces neurotransmetteurs. Ainsi, le cerveau recommence à fonctionner normalement quand le stress disparaît. Cependant, ces enzymes sont parfois peu efficaces en raison de facteurs génétiques, ce qui s'accompagne d'une sensibilité accrue au stress et, dans certains cas, aux maladies mentales. Des facteurs environnementaux peuvent avoir un effet similaire ; par exemple, le saturnisme (l'intoxication au plomb) a des conséquences physiologiques voisines de celles du stress et diminue les capacités cognitives.

Sous l'effet d'un stress prolongé (ou d'une répétition régulière d'événements stressants), le cortex préfrontal peut être perturbé durant plusieurs jours, voire plusieurs semaines. Des études ont montré que le réseau complexe des connexions entre neurones se développe dans les centres émotionnels primitifs, telle l'amygdale. Simultanément, les aires cérébrales impliquées dans le raisonnement (philosophique, mathématique...) rétrécissent au sein du cortex préfrontal, car des neurones meurent. John Morrison, de la Faculté de médecine du Mont Sinai, à New York, et ses collègues ont découvert que le cerveau peut en partie récupérer après un stress, à condition qu'il n'ait pas été trop intense : la connectivité entre les neurones restants augmente. L'une d'entre nous (Rajita Sinha) l'a mis en évidence chez l'homme, où la diminution de la substance grise (liée au nombre de neurones) dans le cortex préfrontal traduit la durée de l'exposition au stress.

Les transformations du cortex préfrontal nous rendent plus vulnérables face à un stress ultérieur et favorisent probablement la dépression, la dépendance et les troubles de l'anxiété, tel le stress post-traumatique. Les femmes y seraient plus sensibles. Comme

SOUS L'EFFET D'UN STRESS PROLONGÉ,
le cortex préfrontal peut être perturbé durant
plusieurs jours, voire plusieurs semaines.

■ SUR LE WEB

Questionnaire (en anglais)
pour évaluer votre stress :
[www.scientificamerican.com/
article.cfm?id=stress-periodic-
meter](http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=stress-periodic-meter)