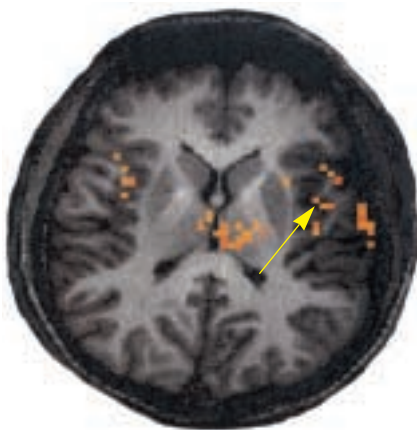




La saveur dans le cerveau

HERVÉ THIS

Par résonance magnétique nucléaire, on identifie les aires activées lors de la perception des saveurs.

« **C**omme jusqu'ici ne s'est encore présentée aucune circonstance où quelque saveur ait dû être appréciée avec une exactitude rigoureuse, on a été forcé de s'en tenir à un petit nombre d'expressions générales, telles que doux, sucré acide, acerbé, et autres pareilles, qui s'expriment, en dernière analyse, par les deux suivantes : agréable ou désagréable au goût. Ceux qui viendront après nous en sauront davantage. »

Jean-Anthelme Brillat-Savarin était prescient, puisque les neurobiologistes sont aujourd'hui sur la piste des molécules réceptrices des saveurs, à la surface des cellules des papilles. Simultanément, les techniques d'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) révèlent comment l'information perçue par les capteurs du goût monte au cerveau, où elle est alors traitée.

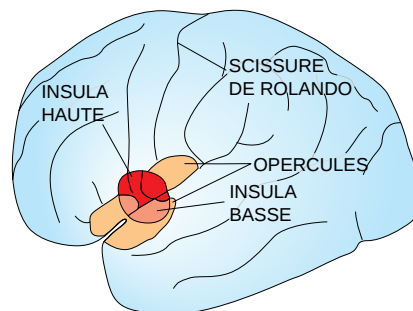
Depuis la mise au point de ces techniques, qui enregistrent l'activité des aires cérébrales en détectant les modifications du débit sanguin dans ces zones, les neurobiologistes ont surtout étudié des activités cognitives comme le langage, le calcul, la mémorisation. En revanche, l'olfaction a été peu explorée, et la perception des saveurs complètement oubliée (on la note gustation, mais, comme le goût est la sensation générale donnée par la dégustation d'un mets, on devrait plutôt la nommer « sapiction »). Barbara Cerf et Annick Faurion, du Laboratoire de neurobiologie sensorielle de Massy, et Denis Le Bihan, du Centre hospitalier d'Orsay, ont identifié les aires cérébrales activées par les molécules sapides.

Les connaissances de base étaient rudimentaires. On savait seulement, par l'observation de personnes dont une partie du cerveau avait été détruite, au cours de la Seconde Guerre mondiale, que l'opercule pariétal, près de la scissure de Rolando, avaient sans doute une fonction dans la gustation. Toutefois des études d'électrophysiologie donnaient des résultats contradictoires : elles incriminaient plutôt une autre aire, localisée dans le lobe de l'insula.

Les explorations par IRM imposent d'allonger les sujets testés dans un tube de deux mètres de long, et, de ce fait, de les alimenter par des solutions transmises par des tuyaux souples. Ces contraintes ont déterminé le type de produits sapides qui ont été testés : les sujets recevaient des solutions d'aspartame (un édulcorant), de chlorure de sodium, de quinine (amère), d'acide glycyrrhizique (une saveur « réglisse »), de guanosine monophosphate (la saveur umami, proche de celle du monoglutamate de sodium, employé dans la cuisine asiatique) et de d-thréonine (une saveur indescriptible, je vous recommande l'expérience !). Les expérimentateurs envoyaient d'abord aux sujets de l'eau, puis des solutions sapides, puis de nouveau de l'eau, et ainsi de suite, afin d'éviter les adaptations tout en maintenant des stimulations durant plusieurs dizaines de secondes, le temps que l'appareil d'IRM puisse acquérir suffisamment de signal.

Les sujets qui recevaient ces solutions avaient pour mission de se concentrer sur leur saveur, afin d'éviter des activations parasites du cerveau. Ils décrivaient l'intensité de leurs sensations à l'aide d'un curseur qu'ils déplaçaient plus ou moins le long d'une règlette. Les neurobiologistes ont calculé des corrélations entre les profils perceptifs et les activations des diverses zones du cerveau. Ils ont ainsi déterminé les activations liées à la perception des saveurs : les différences entre individus sont considérables, et les images sont bruitées, de sorte que l'on doit analyser de nombreuses expériences afin de connaître les aires qui seraient spécifiques de la perception de la saveur.

Les premières études ont montré que quatre aires cérébrales ont des activations suscitées par les solutions sapides : le lobe de l'insula et les opercules frontal, pariétal, temporal qui l'entourent (voir la figure ci-dessus). Il n'existe ainsi pas un unique « centre cérébral de la saveur » ni d'aires cérébrales spécifiques des diverses saveurs. D'autre part, certaines des aires qui n'étaient pas systématique-



Les aires cérébrales stimulées lors de la perception des saveurs.

ment activées participent à la compréhension du langage : d'où l'hypothèse que la détection de la saveur soit associée à sa nomination.

Une deuxième étude, qui comparait cinq gauchers et cinq droitiers, a montré que les quatre aires cérébrales de la saveur n'étaient pas systématiquement inversées dans les deux groupes. En revanche, l'insula réagissait différemment chez les divers individus (voir la figure en haut à gauche). Cette aire est composée de deux régions : la partie haute est activée dans les deux hémisphères, pour les droitiers comme pour les gauchers ; la partie basse s'active plutôt de façon unilatérale dans l'hémisphère dominant des sujets (flèche). Il existe ainsi une latéralisation de la perception de la saveur analogue à celle du langage ou de la motricité.

Une troisième série d'études a comparé la réaction à des molécules uniquement sapides, et la réaction à des molécules à la fois sapides et astringentes ou piquantes. Cette fois, les aires activées étaient analogues, ce qui explique pourquoi le goût, la sensation générale obtenue lors de la dégustation d'un mets, est une sensation si globale et si difficile à analyser : le cerveau construit une sensation globale, par synthèse des signaux provenant des divers types de récepteurs.

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 27 avril 1999, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

Venin thérapeutique?

Une toxine extraite d'un coquillage des mers chaudes semble améliorer la contraction des muscles.

Leurs coquilles charment les collectionneurs et leurs venins fascinent les biologistes : les cônes, coquillages des mers chaudes harponnent leurs proies – des poissons, des vers ou d'autres mollusques – en les paralysant grâce à un venin qu'ils décochent par une flèche. Cette dernière est une dent creuse, pleine de poison, qu'ils projettent vers l'animal convoité. Frédéric Le Gall et Philippe Favreau, dans l'équipe de Jordi Molgo, au Laboratoire de neurobiologie cellulaire et moléculaire du CNRS, à Gif-sur-Yvette, ont isolé une toxine de venin de cône qui stimule la contraction des muscles. Aura-t-elle un jour une application thérapeutique chez les malades dont la contraction musculaire est insuffisante ?

Les venins des cônes contiennent plusieurs toxines, les conotoxines, qui agissent en se liant à leurs récepteurs spécifiques,

notamment ceux des jonctions neuromusculaires. Ces jonctions sont les zones de contact entre les fibres musculaires et les axones des neurones qui se ramifient en fins prolongements à leur voisinage. La terminaison du neurone présynaptique qui véhicule l'influx nerveux est séparée de la fibre musculaire, postsynaptique, par une fente synaptique. La communication est assurée par des messagers chimiques, les neuromédiateurs. Les récepteurs des toxines sont souvent des canaux ioniques, des « pores moléculaires » qui, en contrôlant le passage des ions (sodium, calcium et potassium), assurent la propagation de l'influx nerveux.

Normalement, lorsque le signal propagé par l'axone arrive à la terminaison présynaptique, des canaux sodium, localisés sur cette terminaison, s'ouvrent, et des ions sodium y entrent ; cela déclenche l'afflux d'ions calcium, puis la libération de molécules d'acétylcholine (un neuromédiateur excitateur) dans la fente synaptique. En se fixant sur leurs récepteurs (dits nicotiniques, car ils fixent aussi la nicotine) situés sur la membrane postsynaptique, les molécules d'acétylcholine déclenchent l'ouverture des canaux sodium de la fibre neuromusculaire postsynaptique. L'entrée d'ions sodium active

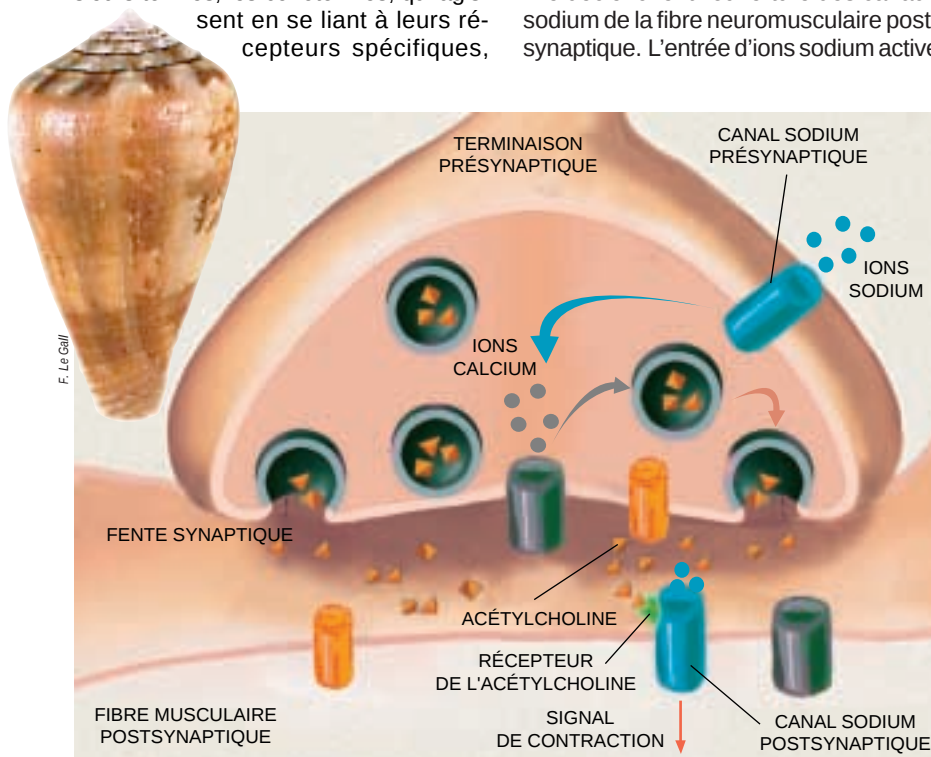
la propagation du signal, qui se manifeste par une contraction musculaire. L'acétylcholine agit de façon très transitoire et, quand elle se détache de son récepteur, le canal sodium postsynaptique se ferme et la contraction cesse.

En bloquant sélectivement certains canaux ioniques, la plupart des conotoxines inhibent la transmission de l'influx nerveux, provoquant une paralysie flasque. En revanche, dans le cas du *Conus ermineus* du Sénégal ou des Caraïbes, le venin provoque une paralysie rigide : l'influx nerveux ne cesse de se propager, et la paralysie a lieu par une contraction ininterrompue des muscles. F. Le Gall et P. Favreau ont extrait de ce venin une toxine, nommée E6A, qui se lie spécifiquement aux canaux sodium du neurone présynaptique et les maintient sans cesse ouverts. En inhibant leur fermeture, elle entraîne une libération prolongée de bouffées d'acétylcholine : l'influx nerveux est transmis de façon répétée et la fréquence des contractions musculaires s'accroît. Toutefois, à elle seule, E6A ne provoque pas de paralysie rigide ; d'autres toxines du venin de *Conus ermineus*, agissant en synergie avec elle, sont nécessaires.

Cette toxine devrait avoir des applications intéressantes pour lutter contre certaines maladies neurodégénératives, des myasthénies, caractérisées par une diminution de l'excitabilité des nerfs moteurs, c'est-à-dire par une baisse de la contractilité des muscles. Une molécule ayant les propriétés de E6A pourrait normaliser une conduction nerveuse insuffisante. Des molécules nommées aminopyridines, qui augmentent l'amplitude des contractions musculaires, restituent déjà partiellement la contractilité, mais elles ont des effets secondaires notables. Des expériences préliminaires faites chez l'animal avec E6A ont effectivement eu l'effet escompté. La molécule extraite de *Conus ermineus* améliorerait peut-être aussi la propagation de l'influx nerveux chez les personnes atteintes de sclérose en plaques.

Seule molécule spécifique des canaux sodium présynaptiques, E6A est aussi un outil précieux pour les neurobiologistes : Hung Lam Than, du Département d'ingénierie et d'étude des protéines du CEA, à Saclay, a synthétisé une molécule identique et l'a marquée par un dérivé fluorescent : on verra ainsi où elle se fixe, c'est-à-dire que l'on pourra localiser les canaux sodium présynaptiques.

Marie-Thérèse LANDOUSY



Quand un signal arrive à la terminaison synaptique, des canaux sodium présynaptiques s'ouvrent ; des ions sodium entrent ce qui entraîne l'ouverture de canaux calcium et l'entrée d'ions calcium. Il s'ensuit une libération d'acétylcholine dans la fente synaptique. Lorsque le neuromédiateur se fixe sur ses récepteurs, des canaux sodium postsynaptiques s'ouvrent et l'entrée d'ions sodium dans la fibre musculaire déclenche un signal de contraction.

La lumière lente

Ralentissement de la lumière à travers un nuage d'atomes très froids.

En 1850, le physicien français Léon Foucault montre que la vitesse de la lumière est plus faible dans l'eau que dans l'air : dans un matériau, la lumière se propage d'autant plus lentement que l'indice de réfraction est élevé. En fait, cette analyse est inexacte, car les particules de lumière, les photons, ne peuvent être ralentis : ils ne peuvent être qu'absorbés. Dans un diélectrique comme l'eau et le verre, une succession d'absorptions et d'émissions font que la lumière semble se déplacer plus lentement ; la lumière y est ralentie d'un facteur compris entre 1,5 et 2 par rapport à sa vitesse dans le vide, 300 000 kilomètres par seconde. Quand les indices de réfraction sont plus élevés, l'absorption est trop importante et la lumière ne se propage plus.

Aussi, la surprise fut grande lorsque une équipe de physiciens américains a annoncé le ralentissement d'un faisceau de lumière jusqu'à 17 mètres par seconde, la vitesse d'un cycliste en descente ! Pour cette prouesse, les physiciens ont utilisé la propagation étrange de la lumière à travers un paquet d'atomes ultrafroids irradiés par le champ électromagnétique intense d'un laser.

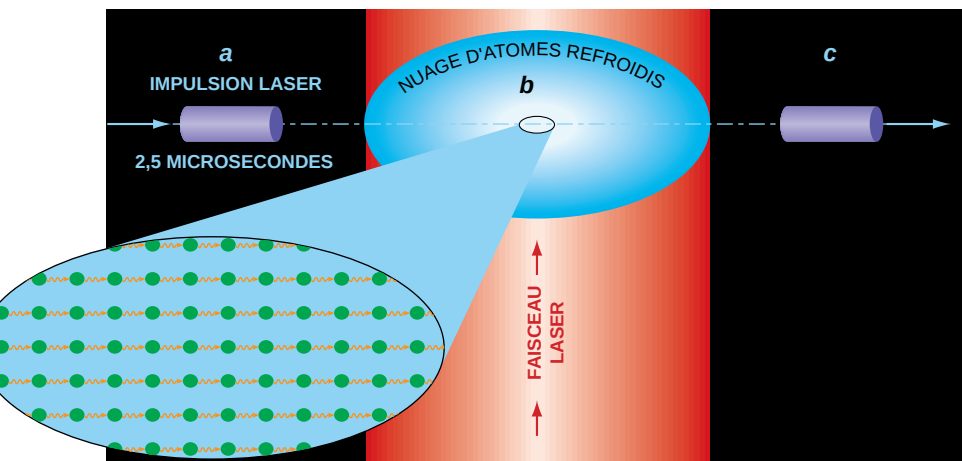
Lorsqu'un gaz d'atome est soumis à un champ électromagnétique, les propriétés de ce système d'atomes sont modifiées. Dans ce système d'atomes « habillés » par la lumière, la lumière n'interagit pas directement avec les atomes, mais avec

le système constitué des atomes et du champ électromagnétique. En préparant convenablement un tel système, l'on crée une transparence électromagnétique, due à des interférences entre les niveaux d'énergie du système.

Les physiciens ont utilisé un nuage d'atomes de sodium qu'ils ont refroidis à la température de la transition de Bose-Einstein, à 435 nanokelvins. À cette température, le nuage est particulièrement dense, et plus le nuage est dense, plus la lumière est ralentie. Dans ces atomes ultrafroids, un champ laser de faible puissance engendre des interférences quantiques qui augmentent la transparence du nuage. En même temps que la transparence croît, l'indice de réfraction augmente beaucoup, d'où la faible vitesse de propagation de la lumière à l'intérieur du nuage.

Pour mesurer cette vitesse de propagation, les physiciens ont éclairé le nuage d'atomes habillés par une impulsion laser de 2,5 microsecondes. Sept microsecondes plus tard, l'impulsion avait franchi les 0,2 millimètre du nuage d'atome. La vitesse obtenue est égale à un dix millionième de la vitesse de la lumière : c'est la plus faible jamais mesurée.

Les photons qui pénètrent dans le nuage sont constamment absorbés et réémis, mais ils sont toujours réémis dans la même direction : aucun photon n'est perdu en étant réémis dans une direction aléatoire. Pourquoi ? Parce que la probabilité pour qu'un photon absorbé soit réémis dans une direction aléatoire est due à deux effets opposés qui, pour une fréquence de l'impulsion laser et une puissance du laser qui « habille » le nuage donnés, se compensent exactement. Au total, la lumière incidente semble parfaitement transmise, mais plus lentement. On pourrait utiliser un tel ralentissement en commutation optoélectronique.



Une impulsion laser dont la durée est égale à 2,5 microsecondes (a) est émise vers un nuage d'atomes refroidis placés dans un piège magnétique (b). Un champ laser (en rouge) oriente les émissions des photons par les atomes dans la même direction et l'impulsion traverse le nuage d'atomes de 0,02 millimètre de long en 7 microsecondes (c), soit une vitesse de 60 kilomètres par heure.

BRÈVES

Entre deux grossesses

Quel est l'intervalle optimal entre deux grossesses ? Dans les pays en développement, c'est environ trois ans, moins dans les pays industrialisés. Des épidémiologistes américains, qui ont analysé les certificats de naissance de plus de 170 000 enfants nés entre 1989 et 1996 ont montré que les risques de naissance prématurée ainsi que de taille et de poids insuffisants à la naissance sont plus fréquents chez les enfants conçus moins de six mois après la naissance d'un premier enfant, comparés aux mêmes risques encourus par les enfants conçus une vingtaine de mois après le premier. Les risques sont également élevés quand l'intervalle entre deux naissances est supérieur à 10 ans. Dans ce cas les raisons sont multiples, l'une pouvant être une faible fécondité de la mère associée à des risques élevés de naissance prématurée.

Faïlle cachée

Les habitants de Los Angeles, en Californie, ont de nouveaux motifs d'inquiétude : une faille de 40 kilomètres de long, invisible de la surface, passe à quelques kilomètres sous leurs pieds. J. Shaw, de l'Université Harvard, et P. Shearer, de l'Université de Californie, l'ont cartographiée en exploitant les d'informations fournies par des compagnies pétrolières qui prospectent le sous-sol. En 1987, un séisme de magnitude six a été provoqué par la rupture d'une petite partie de cette faille. Si toute la faille rompait d'un coup, ce qui se produit tous les 500 à 2 000 ans, le séisme serait dix fois plus violent.



La mesure du génocide

Combien de personnes sont-elles mortes du fait du régime Khmer rouge, entre 1975 et 1979 ? Les démographes ont proposé différents chiffres, de 700 000 à trois millions, en se fondant sur des entretiens avec les survivants et en comparant l'évolution de la population avec une projection de l'évolution normale. P. Heuveline, du Centre de recherche sur la population de Chicago, a affiné les estimations : le chiffre le plus probable est compris entre 1,5 et 2,5 millions de décès (pour une population de sept à huit millions de personnes).