

été évaluée, soit moins du quart. Et ces 1 800 étoiles sont «à notre porte cosmique», à moins de 12 années-lumière. Ainsi, l'arpentage de l'Univers lointain restait l'apanage des méthodes indirectes, même si les mesures directes de parallaxe étaient des jalons précieux.

Les photographies sur plaques, enregistrées sous forme numérique, se sont révélées d'une importance primordiale pour les mesures de parallaxe, mais aussi pour les mesures d'éloignement fondées sur la photométrie. Pour la première fois, on pouvait mesurer précisément la luminosité des étoiles. Au moyen des mesures d'éloignement cosmique, les astro-

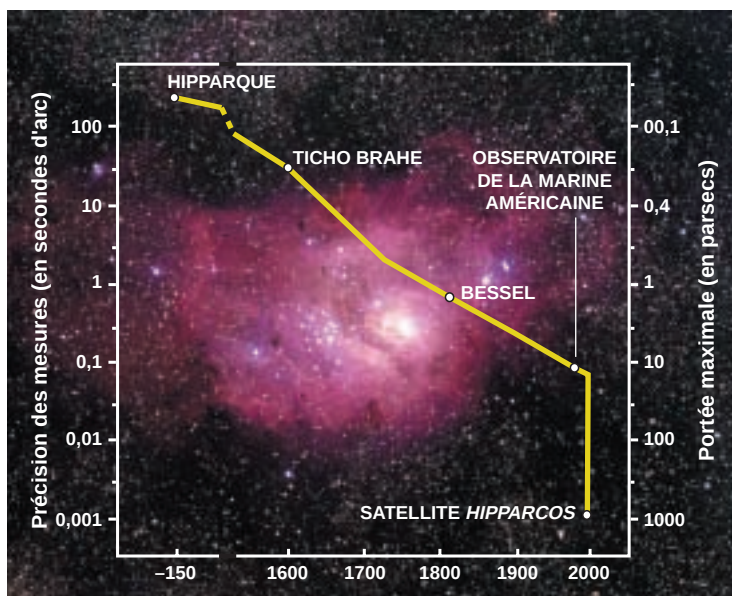
nomes purent enfin sonder l'immensité de l'Univers sur des milliards d'années-lumière, tandis que les mesures de distance à l'aide du déplacement de parallaxe ne permettaient pas de dépasser 300 années-lumière. Pour déterminer des distances supérieures, les astronomes recoururent à des méthodes indirectes, fondées sur des critères de distance établis et calibrés avec des astres dont l'éloignement est connu.

Les étoiles les plus lointaines qui restent accessibles à une mesure de parallaxe sont environ 10 millions de fois plus éloignées de la Terre que ne l'est le Soleil, mais l'Univers observable grâce aux télescopes actuels est aujourd'hui 100 millions de fois plus étendu.

LE SATELLITE HIPPARCOS

Pour découvrir cette immensité, il fallait encore ajouter plusieurs échelons à notre échelle des distances cosmiques. Et pour chacun de ces échelons, il fallait faire des hypothèses sur les propriétés des corps célestes observés, avec le risque qu'une échelle de mesure des distances initialement correcte ne devienne de plus en plus imprécise à mesure que l'éloignement augmente. Ainsi, bien que la parallaxe de plusieurs étoiles proches du Soleil soit connue avec une grande précision, la taille de l'Univers lointain restait mal connue. Pour remédier à ces deux problèmes, il fallait mesurer des parallaxes plus nombreuses et plus précises.

La détermination d'un grand nombre de parallaxes permet aux astronomes de mieux comprendre la formation et la structure intérieure des étoiles, leur



La précision absolue (en jaune) des mesures de la position des étoiles a approximativement doublé tous les 60 ans au cours des 300 dernières années. Le satellite HIPPARCOS a fourni des mesures dont la précision est égale à celle que l'on aurait obtenue dans 300 ans au rythme des progrès passés.

histoire et leur évolution, ainsi que l'origine de leur énergie. La comparaison de nombreuses paires d'étoiles de même type, mais situées à des distances différentes, améliore la précision de l'échelle des distances.

Toutefois, dans le voisinage immédiat du Soleil, il n'y a pas de représentants de types intéressants d'étoiles : les objets très lumineux sont rares dans le cosmos. La parallaxe d'une étoile située à 30 années-lumière mesure environ 0,1 seconde d'arc, et celle d'une étoile distante de 300 années-lumière n'est plus que de 0,01 seconde d'arc. Si l'on veut déterminer ces deux distances avec une précision de l'ordre de 20 pour cent, il faut faire des mesures précises à 0,02 seconde d'arc dans le premier cas, et à 0,002 seconde d'arc dans le second. C'est donc la précision de l'instrument utilisé qui est le facteur limitant pour l'exploration de l'Univers.

Il est extrêmement difficile de mesurer des valeurs de parallaxe avec une précision de 0,002 seconde d'arc. De surcroît, les variations de température, la pesanteur, le vieillissement des matériaux, les modifications infimes des émulsions photographiques, sont autant de sources d'imprécision. À ces difficultés techniques s'ajoutent les perturbations dues à la réfraction variable de la lumière des étoiles par l'atmosphère terrestre, le scintillement des étoiles résultant de perturbations atmosphériques et les irrégularités de la rotation de la Terre.

La quasi-totalité des difficultés tient au fait que les instruments de mesure sont sur la Terre. En 1967, l'astronome français Pierre Lacroute a proposé la

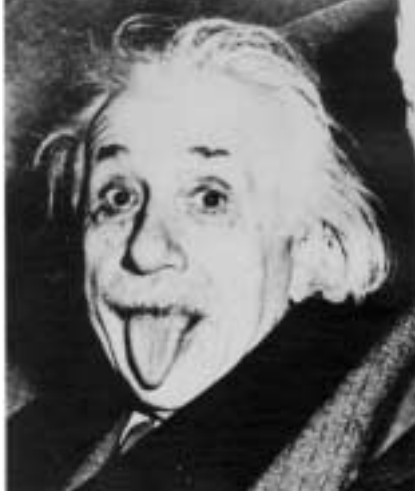
construction d'un instrument de mesure placé dans l'espace. Avec un tel instrument, il espérait déterminer la parallaxe de quelque 700 étoiles avec une précision de l'ordre de 0,01 seconde d'arc. Il fallut attendre 13 ans, pour que l'Agence spatiale européenne (ESA) décide la construction d'un tel satellite. Entretemps, les progrès techniques réalisés allaient permettre de déterminer la position, le mouvement annuel et la parallaxe de quelque 100 000 étoiles avec une précision de 0,002 seconde d'arc.

Ce projet, dénommé HIPPARCOS, en hommage à l'astronome Hipparque de la Grèce antique, était aussi l'acronyme dérivé

des premières lettres de *High Precision Parallax Collecting Satellite* (satellite de haute précision pour la mesure de la parallaxe). Le satellite fut achevé en 1987 et placé en orbite en 1989. Les mesures furent effectuées entre la fin de 1989 et le milieu de 1993. Grâce à HIPPARCOS, les astronomes ont déterminé la parallaxe de près de 120 000 étoiles avec une précision moyenne de 0,001 seconde d'arc, soit presque deux fois meilleure que celle escomptée (on put ainsi évaluer des distances doubles des distances prévues avec la même précision relative). Le volume de l'Univers exploré avec précision est ainsi huit fois plus vaste.

HIPPARCOS a amélioré d'un facteur 100 la précision des coordonnées célestes et a augmenté notablement le nombre de parallaxes fiables : on connaît aujourd'hui avec précision la distance de 50 000 étoiles. Depuis le milieu de l'année 1997, la communauté des astronomes analyse et exploite cette immense mine de données. Outre la précision obtenue sur les mesures de parallaxe, les positions et les mouvements des étoiles, ce satellite permit la découverte de plus de 3 000 nouvelles étoiles doubles et de 8 000 nouvelles étoiles variables, fit dix millions de mesures de brillance extrêmement précises et confirma la théorie générale de la relativité d'Einstein par l'observation de la courbure de la lumière sous l'influence de la pesanteur au voisinage du Soleil.

Ulrich BASTIAN est astronome à l'Institut de calcul astronomique d'Heidelberg.



La détection des saveurs

HERVÉ THIS

Découverte d'un récepteur des molécules du goût, celui de la cinquième saveur.

Un des Graals de la physiologie est enfin dans nos mains ! Depuis des décennies, les physiologistes cherchent comment les cellules des papilles gustatives détectent les molécules du goût. On supposait que ces cellules portent, à leur surface, des molécules nommées récepteurs, sur lesquels les molécules sapides se fixent, mais ces récepteurs étaient insaisissables : comme ils se lient faiblement aux molécules sapides, on ne parvenait pas à les extraire de solutions préparées à partir des cellules des papilles. Cette difficulté expérimentale résulte d'un avantage physiologique : si la liaison était forte, les récepteurs resteraient stimulés longtemps par une même molécule, et la résolution du système gustatif serait faible ; les gastronomes dégusteraient au ralenti !

En se fondant précisément sur cette capacité de liaison réduite, des physiologistes de l'Université de Miami ont identifié l'un des récepteurs cherchés : celui de la saveur nommée «umami». On a longtemps prétendu que la bouche ne détectait que quatre saveurs (salé, acide, amer, sucré), mais on avait bien hâtivement examiné la question. Dès 1908, Kikunae Ikeda, de l'Université impériale de Tokyo, avait identifié que le glutamate (la forme ionisée d'un acide aminé, l'acide glutamique) engendrait une sensation particulière, qui n'était ni salée, ni sucrée, ni acide, ni amère.

Après des décennies de lutte contre les idées reçues, la «cinquième saveur» s'est imposée, surtout quand s'est popularisée dans les pays occidentaux la cuisine asiatique, qui utilise beaucoup le monoglutamate de sodium. On a notamment montré que même les animaux détectent cette saveur. Pourquoi ? Peut-être parce que le glutamate est présent dans de nombreux aliments riches en protéines (qui sont des enchaînements d'acides aminés), tels que la viande, le lait et les produits de la mer. Et la détection des saveurs est importante pour l'organisme parce que c'est la clé de la satiété : on n'arrête pas de manger parce qu'on a le ventre plein, mais parce que

le cerveau, alerté par le système sensoriel, signale à l'organisme quand une quantité suffisante d'aliment a été consommée.

À la recherche de récepteurs du glutamate, Nirupa Chaudhari et ses collègues de l'Université de Miami se sont fondés sur des résultats obtenus il y a dix ans par Annick Faurion, du Laboratoire de neurobiologie sensorielle, à Massy : puisque le glutamate est un neuromédiateur, c'est-à-dire une molécule que les neurones du cerveau s'échangent, pourquoi ne pas chercher dans les cellules gustatives de la bouche des molécules analogues aux récepteurs neuronaux ?

Suivant cette idée, N. Chaudhari et ses collègues ont cherché des récepteurs couplés à des protéines G, c'est-à-dire à des protéines qui sont plongées dans la membrane des cellules gustatives et qui transmettent le message détecté par le récepteur (ce dernier dépasse à l'extérieur de la cellule). Les physiologistes ont ainsi découvert une étonnante protéine qui correspond à une forme tronquée d'un récepteur des neurones : le «récepteur metabotropique du glutamate», en abrégé mGluR4.

Dans le cerveau, ce récepteur (non tronqué) réagit à de très faibles concentrations en glutamate : sans modification, il aurait été complètement saturé par les quantités notables de glutamate que l'on a dans la bouche à la dégustation de certains plats. N. Chaudhari et ses collègues ont montré que la troncature de la protéine est probablement une adaptation à la fonction gustative : la forme du récepteur qui est synthétisée par des tissus gustatifs de rat a perdu ses 300 premiers acides aminés, et le récepteur tronqué se lie faiblement au glutamate. Mieux encore, les concentrations qui l'activent sont du même ordre de grandeur que les seuils de perception mesurés chez des rats (le seuil de perception est la plus faible concentration à laquelle les animaux sont sensibles).

Pourquoi la troncature de la protéine réduit-elle son affinité pour le glutamate ? Les physiologistes ont observé

que la molécule ressemble beaucoup à une protéine de bactéries et que l'on a bien étudiée par cristallographie : la protéine bactérienne a deux sites de liaison au glutamate. La troncature semble faire disparaître le plus sensible des deux.

La protéine trouvée est-elle bien un récepteur gustatif de la saveur umami ? Les physiologistes se sont évidemment demandés si elle ne servait pas à la transmission de l'information nerveuse, en aval des cellules gustatives, mais les confirmations sont nombreuses. Tout d'abord, la protéine mGluR4 est activée par d'autres molécules sapides que des rats ne distinguent pas du glutamate. C'était prévisible, car A. Faurion avait observé que la langue et le cerveau réagissaient de façon analogue à ces molécules. De plus, la protéine mGluR4 tronquée n'est synthétisée que dans les papilles ; enfin ni la protéine mGluR4 complète ni la forme tronquée n'ont été dépistées dans la bouche à l'extérieur des papilles gustatives.

La découverte pose de nombreuses questions : le mGluR4 tronqué est-il le seul récepteur de la saveur umami ? Intervient-il dans la perception d'autres saveurs ? Les cellules réceptrices ne portent-elles chacune qu'un seul type de récepteurs ? Le résultat obtenu semble être le début d'une série, car les physiologistes ont trouvé d'autres molécules de la même classe, qui semblent également être des récepteurs gustatifs. Il aura aussi sans doute des applications : connaissant la structure de la protéine mGluR4, on pourra utiliser des systèmes de modélisation moléculaire pour chercher quelles molécules se lient à la protéine.

La conception informatique de molécules sapides inédites semble proche.

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 27 mars 2000, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.