



Jean-Michel Thiriet

Eugénisme et diagnostic

ISRAËL NISAND

Quels sont les objectifs réels de l'échographie des femmes enceintes ?

La loi française admet aujourd'hui deux types d'avortement : l'interruption volontaire de grossesse, qui se pratique jusqu'à la douzième semaine de grossesse, sans justification de la femme, et l'avortement médical prescrit par les médecins à partir d'échographies ou d'analyses. Dans ce cas, un médecin est conduit à proposer un avortement si l'atteinte fœtale est très grave ou si la grossesse met la vie de la mère en danger. L'avortement médical est ainsi une forme d'euthanasie active.

Or les progrès récents ou prévus du dépistage prénatal et la prolongation du délai légal d'avortement nous mènent vers une situation où un eugénisme institutionnalisé serait possible : les femmes sauraient, avant la fin du délai légal d'interruption volontaire de grossesse, que leur enfant a une anomalie même légère – par exemple, une fente labiale ou un doigt en moins – et elles décideraient une interruption volontaire de grossesse sur la base des informations données par le médecin. Examiner pourquoi cette situation serait grave.

Jusqu'en 1998, les avortements thérapeutiques de grossesse étaient prescrits par les seuls échographistes, qui étaient alertés par des observations effectuées au cours de l'échographie de dépistage prénatal. Une remarque du médecin à sa patiente transformait parfois une grossesse désirée en un désir d'avortement, et les médecins étaient alors poussés par les femmes à des attitudes contre leur avis et contre leur conscience. La situation était aggravée par le risque de poursuites judiciaires par des parents, lorsque le pronostic de la maladie de l'enfant avait été sous-estimé par le médecin : il est arrivé que des médecins, craignant ces poursuites, accèdent à la demande d'interruption médicale de la grossesse alors que celle-ci pouvait être évitée.

La loi de 1994, suivie de décrets en 1998, impose aujourd'hui que les dossiers d'avortement médical ne se déci-

dent plus dans le cabinet de l'échographiste, entre le seul médecin et sa patiente. Quand un avortement médical est demandé, le dossier médical est soumis à un «centre pluridisciplinaire de diagnostic prénatal», où une commission pluridisciplinaire accepte ou refuse l'avortement. Ces centres sont composés d'échographistes, de généticiens, de médecins des diverses disciplines, de psychiatres... Les dossiers sont discutés publiquement et collectivement.

Ainsi, les échographistes échappent aux pressions des patients et sont protégés du risque médico-légal : les juges n'ont plus la possibilité de les condamner injustement pour des fautes qu'ils n'ont pas commises. Doit-on rappeler que la médecine a une obligation de moyens, et non de résultats ? Qu'elle doit soigner, mais ne peut pas toujours guérir ?

Ces centres doivent aujourd'hui prendre des décisions sur des bases claires, mais ce serait une erreur qu'ils en viennent à décider ce qui est normal et ce qui ne l'est pas. L'institutionnalisation d'une norme fait évidemment peur, car elle pourrait conduire à un eugénisme d'état. En outre, que cherche-t-on à voir lors de l'examen ? Le diagnostic prénatal n'a toujours pas d'objectifs bien définis. Je maintiens que dépister l'absence d'un doigt à une main n'apporte rien à la grossesse : l'enfant qui naîtra ne sera pas moins homme. La médecine n'a pas décidé ce qui est grave et ce qui ne l'est pas, et la technique médicale a progressé plus vite que la réflexion sur l'utilisation de cette technique.

Pis encore, les progrès de l'échographie relancent les risques de dérive. Aujourd'hui, les échographies vaginales en trois dimensions dépistent d'éventuelles anomalies avant le délai légal d'interruption volontaire de grossesse : les femmes risquent de décider de telles interruptions de grossesse sur la foi d'échographies, comme avant que ne soient créés les centres de diagnostic.

De surcroît, des discussions sont en cours pour repousser la date légale d'interruption volontaire de grossesse. Si l'on décidait finalement un allongement du délai, je proposerais de repousser aussi la date d'échographie de grossesse (aujourd'hui fixée à 13 semaines de grossesse).

Revenons à la question centrale : «À quoi sert le diagnostic prénatal ?». Selon moi, ce dépistage n'a de sens que s'il engendre une modification de la conduite obstétricale : il faut dépister les malformations létales ou très graves, afin de traiter *in utero* celles qui peuvent l'être, ou opérer à la naissance et sauver l'enfant. L'acte thérapeutique modifie la répartition des gènes dans la population, mais ce «dysgénisme actif» est vieux comme la médecine : la césarienne est un tel dysgénisme. Ce dysgénisme relève bien de la mission médicale : soigner. Au contraire, l'eugénisme national est dangereux : les médecins n'ont pas oublié que certains des leurs, tels Alexis Carrel ou Charles Richet, préconisaient de tuer les voleurs, les handicapés, d'organiser la société pour les gens sains et non, clamaient-ils, pour des individus malades.

La technique peut être perfectionnée, mais les médecins doivent se demander à quoi ils servent. L'éthique doit précéder la technique ; on doit réfléchir pour savoir comment on la met en œuvre et, même, si on la met en œuvre. Jamais je n'admettrai le point de vue des techniciens qui veulent faire de belles images sans réfléchir aux conséquences de leurs actes. Les échographistes doivent être des médecins, pas des manipulateurs : science sans conscience... Et le fœtus n'est pas un produit de transformation ; c'est un être humain. J'appelle au débat.

Israël NISAND est obstétricien au Centre hospitalo-universitaire de Strasbourg, qui abrite le Centre pluridisciplinaire de diagnostic prénatal d'Alsace.



À quelle distance sont les étoiles?

ULRICH BASTIAN

Pour déterminer l'éloignement des étoiles, les astronomes ont surtout utilisé la mesure de la parallaxe. Toutefois, la précision n'est devenue excellente qu'avec le satellite HIPPARCOS.

Contrairement aux autres naturalistes qui étudient en laboratoire l'objet de leur recherche, les astronomes sont condamnés à des observations à distance. Aussi doivent-ils extraire les informations de la lumière émise par les corps célestes ; s'ils mesurent assez facilement le diamètre ou la luminosité des astres, ils savent que ces valeurs ne sont qu'«apparentes», car ils ignorent l'éloignement de leur objet d'étude. Ainsi le Soleil et la Lune apparaissent-ils tous deux au firmament sous un angle d'environ un demi-degré, mais quelle est leur taille réelle, leur nature et leur luminosité absolue ?

Nos ancêtres ont commencé à déterminer l'éloignement des corps célestes à l'aide de mesures géométriques, essentiellement la parallaxe : la position apparente d'un astre change avec celle d'un observateur sur la Terre, et la parallaxe est l'angle formé par deux droites menées de l'astre observé à deux points d'observation. Les mesures de parallaxe ont d'abord permis de préciser la position des planètes, puis des étoiles proches. Grâce au satellite *HIPPARCOS*, on a récemment évalué, avec une précision inégalée jusqu'alors, la distance de nombreuses étoiles lointaines.

Dès l'Antiquité, Aristarque de Samos (environ -310 à -230) et Hipparque de Nicée (environ -190 à -125) observent les phases de la Lune et des éclipses de Lune et de Soleil. Ces pionniers de l'astronomie en déduisent que l'astre du jour doit être plus gros que la Terre. Il faut cependant attendre le *xvii^e* siècle pour que Johannes Kepler (1571-1630) énonce les lois du mouvement des planètes et que l'on montre que les mouvements des cinq «astres errants», Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, ressemblent à la Terre. On montra alors que Jupiter est 5,2 fois plus éloigné du Soleil que nous ne le sommes, mais, à l'époque de Kepler, la distance réelle restait inconnue.

La première mesure de parallaxe réussie date de 1672 : l'astronome français Jean Richer (1630-1696) se rend dans l'île de Cayenne, en Guyane française, pour y observer la planète Mars, en même temps que son collègue Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) qui, lui, est resté à Paris. D'après les lois de Kepler, les deux astronomes ont calculé que la planète rouge doit se trouver alors au plus

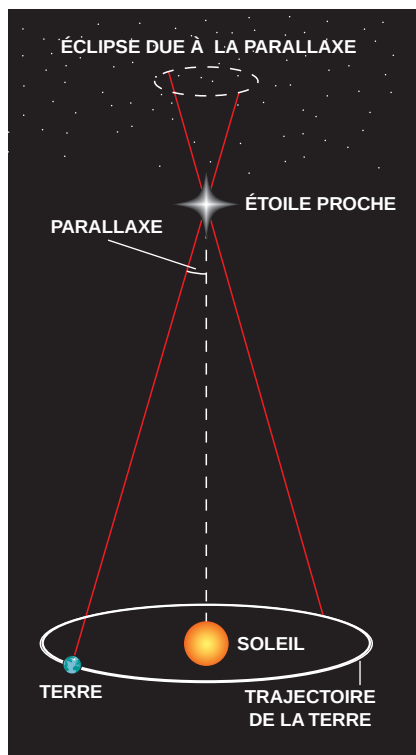
près de la Terre. Cassini et Richer mesurent aussi souvent que le temps le permet la position de Mars par rapport à d'autres étoiles. Ils comparent ensuite les positions relatives de la planète Mars observée de Cayenne et de Paris, et déterminent ainsi sa position apparente, c'est-à-dire sa parallaxe. Les deux astronomes évaluent la parallaxe de Mars à 15 secondes d'arc. Ils en déduisent que la distance entre la Terre et Mars est environ 15 000 fois supérieure à celle qui sépare leurs deux télescopes. Grâce à cette mesure et à la troisième loi de Kepler, on détermine alors la distance de toutes les autres planètes au Soleil.

La mesure de Cassini et Richer constitue un réel exploit, puisqu'il faudra attendre 1769, presque un siècle, pour qu'une nouvelle mesure de parallaxe soit couronnée de succès, à l'occasion d'un passage de Vénus devant le disque solaire ; cette mesure confirmera la distance de la Terre au Soleil calculée après l'expérience de Richer et Cassini.

PLUS PROCHE OU PLUS BRILLANTE ?

À la fin du *xviii^e* siècle, les télescopes sont devenus si puissants que les astronomes parviennent à observer, outre les étoiles et les planètes, de nombreux corps célestes moins brillants. Ces «nébuleuses» semblent souvent associées à des étoiles isolées ou à des groupes d'étoiles, mais d'autres sont présentes dans des régions du ciel dépourvues d'étoiles. Dès le début de l'étude de ces sources de lumière diffuse, on s'interroge : observe-t-on des nuages de gaz interstellaires ou d'immenses systèmes stellaires comparables à la Voie lactée ?

Progressivement on s'intéresse surtout aux nébuleuses spirales, d'autant plus que nombre d'entre elles sont situées dans des zones de la voûte céleste



Une mesure géométrique est la seule détermination des distances cosmiques qui ne fasse pas intervenir d'hypothèse sur les propriétés des objets observés. La position d'une étoile proche change selon la position de la Terre autour du Soleil. L'étoile semble se mouvoir au fil des saisons par rapport à l'arrière-plan. C'est grâce à ce déplacement angulaire, la «parallaxe», et au rayon connu de l'orbite de la Terre autour du Soleil, que l'on calcule l'éloignement de l'étoile.

pauvres en étoiles. Pendant plus d'un siècle, les chercheurs discuteront âprement de leur éloignement réel et de leur nature sans parvenir à une conclusion satisfaisante. Au début du xx^e siècle, le débat atteint une telle intensité qu'en 1920, l'Académie des sciences américaine organise à Washington un grand débat entre Harlow Shapley (1885-1972), qui soutient que la Voie lactée constitue l'ensemble de l'Univers, et Heber Doust Curtis (1872-1942), qui défend la théorie du «monde insulaire», selon lequel les nébuleuses spirales sont des systèmes stellaires indépendants dans un Univers infiniment plus vaste.

De part et d'autre, les arguments sont convaincants, aussi la question reste-t-elle ouverte. Quelques années plus tard, l'astronome américain Edwin Hubble (1889-1953) apporte des éléments en faveur de la théorie du monde insulaire : grâce au nouveau télescope de 2,5 mètres du mont Wilson, il distingue des étoiles individualisées dans une nébuleuse proche, démontrant ainsi l'existence de galaxies hors de la Voie lactée.

Ce débat sur le statut des nébuleuses se réduisait à deux questions qui, en fait, sont liées : quel est l'éloignement de

ces étoiles lointaines ? Quelle est la taille de l'Univers ? Si l'on avait réussi alors à mesurer directement, par la parallaxe, l'éloignement de ces nuages d'étoiles, on aurait eu la réponse. Hélas, les étoiles sont trop éloignées pour que cette mesure soit possible. Aujourd'hui encore, la détermination de l'éloignement des corps célestes reste l'une des principales difficultés de l'astronomie.

Dès les années 1600, les astronomes émettent l'hypothèse que le Soleil est une étoile fixe : la différence de luminosité entre les étoiles et le Soleil tient uniquement, pensent-ils, à la différence de leur éloignement par rapport à la Terre. Toutefois, il faudra attendre que l'on puisse mesurer directement les distances interstellaires pour confirmer cette hypothèse. En l'absence de mesures directes, les astronomes s'efforcèrent de trouver des méthodes indirectes, la plus importante étant la détermination photométrique de la distance, fondée sur des mesures de brillance.

On estime aisément la distance d'un objet céleste à condition de faire une hypothèse sur sa brillance : l'intensité lumineuse apparente d'une étoile observée sur Terre diminue en fonction du carré de la distance à l'observateur. Cette

relation simple permit la détermination de nombreuses distances astronomiques, et les distances mesurées aujourd'hui reposent sur cette méthode.

LA MÉTHODE DE HUYGENS

Christiaan Huygens (1629-1695) est le premier à appliquer aux étoiles la méthode de détermination photométrique des distances. Le naturaliste hollandais raisonne de la façon suivante : si l'on savait déterminer les brillances relatives de Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel, et celle du Soleil, le rapport de ces brillances apparentes permettrait d'en déduire les distances respectives des deux astres. Huygens fait l'hypothèse que les deux étoiles ont la même luminosité absolue et cherche à déterminer leurs brillances relatives. Il réussit à affaiblir la lumière émise par le Soleil de façon à n'obtenir qu'un point lumineux de la même brillance apparente que Sirius. Pour ce faire, dans son laboratoire de Paris, il perce un minuscule trou d'épingle dans un disque de laiton disposé dans une chambre noire, et y fait passer la lumière du Soleil. Comme l'affaiblissement n'est pas suffisant, il dispose derrière le trou une bille de verre qui absorbe la lumière.



Hipparque dans son observatoire d'Alexandrie : sur cette représentation, la lunette astronomique découverte à la fin du xvi^e siècle est anachronique ; en revanche, les Grecs utilisaient bien les sphères armillaires (à gauche). En l'an -260, Aristarque de Samos estima, par un raisonnement géométrique simple, que le Soleil devait être beaucoup

plus éloigné de la Terre que ne l'était la Lune, et qu'il devait être beaucoup plus gros. Il trouva que la distance de la Terre à la Lune est égale à 59 fois le rayon de la Terre. En réalité, la valeur de la distance entre la Terre et la Lune oscille entre 55,9 et 63,8 fois le rayon de la Terre, parce que la trajectoire du satellite de la Terre est elliptique.

Huygens détermine ainsi que la distance qui sépare Sirius de la Terre est plus de 28 000 fois supérieure à celle de la Terre au Soleil. Aujourd'hui, on sait que cette distance est proche de 600 000 fois la distance Terre-Soleil, car la brillance de Sirius est notablement supérieure à celle du Soleil.

La méthode de la parallaxe évite de telles erreurs. Cependant, la parallaxe est d'autant plus réduite que l'objet observé est éloigné (elle est inversement proportionnelle à l'éloignement). Huygens calcule que les étoiles sont au moins 10 000 fois plus éloignées de la Terre que les planètes du Système solaire, ce qui signifie que la précision des mesures doit être 10 000 fois meilleure que celle permise à la fin du XVII^e siècle, ce qui semble alors irréalisable.

L'ingénieur Tycho Brahe a l'idée, à la fin du XVI^e siècle, d'observer le même corps céleste, toujours du même endroit, mais à des saisons différentes. Il utilise alors comme longueur de référence, non plus le diamètre de la Terre, mais celui de son orbite autour du Soleil, 20 000 fois plus grande (cette longueur de référence passe de 13 000 kilomètres à 300 millions de kilomètres). Pourtant, malgré la précision (extrême pour l'époque) de ses mesures, Tycho Brahe

ne peut évaluer aucun déplacement de parallaxe des étoiles, ce qui le conduit à réfuter la représentation de Copernic de la Terre tournant autour du Soleil. Il aurait dû conclure de cet échec que les étoiles sont situées à des milliers de fois la distance Terre-Soleil, et que l'Univers est «immensément» grand.

Au XVII^e siècle et au XVIII^e, de nombreux astronomes tentent de mesurer la parallaxe d'étoiles fixes, parfois sans succès, bien que la précision des lunettes d'observation ne cesse d'être améliorée. Pour que les parallaxes soient importantes, ils choisissent les étoiles les plus brillantes ou celles dont la position par rapport aux autres étoiles avait changé en 100 ans : l'une et l'autre de ces propriétés indiquaient qu'il s'agissait d'étoiles proches. Au début du XIX^e siècle, plusieurs astronomes prétendent avoir réussi à mesurer des parallaxes, affirmations rapidement démenties.

En 1838, l'astronome et mathématicien allemand Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) soutient que la seule conclusion que l'on puisse tirer des tentatives de mesure de la parallaxe des étoiles fixes, c'est que ces valeurs sont infimes, inatteignables par les méthodes d'observation à disposition. En d'autres termes, toutes les étoiles observées

jusqu'alors avaient vraisemblablement des parallaxes bien inférieures à une seconde d'arc, et se trouvaient sans doute à une distance plus de 200 000 fois supérieure à celle de la Terre au Soleil. On en déduisit que la mesure de la parallaxe de Sirius faite par Huygens (sept secondes d'arc) était fausse.

LA PATIENCE DE BESSEL

Bessel semble près de renoncer, frustré par plus de 20 années d'efforts infructueux, quand, enfin, il rapporte la première mesure réussie de la parallaxe d'une étoile fixe. Pour ce faire, il avait choisi l'étoile double 61 de la constellation du Cygne, dont la position au firmament change de cinq secondes d'arc par an, ce qui semblait faire de cette étoile l'une des plus proches du Soleil.

Durant 98 nuits claires, en 1837 et 1838, Bessel détermine les différences angulaires entre l'étoile double 61 et deux étoiles proches peu brillantes (certainement beaucoup plus éloignées du Soleil), avec la précision inégalée jusqu'alors de 0,13 seconde d'arc. Si le professeur de Königsberg passa de nombreuses nuits inconfortables, l'œil rivé à son télescope, sa patience fut récompensée : au mouvement, déjà connu, de l'étoile dans le firmament se superposait une petite variation, exactement celle que l'on attendait d'un effet de parallaxe. Bessel en déduisit une parallaxe de 0,314 seconde d'arc, ce qui correspondait à une distance de 10,4 années-lumière. Toute la communauté des astronomes applaudit ce progrès considérable.

Au milieu du XIX^e siècle, la méthode laborieuse de mesure de la parallaxe est un peu améliorée avec la lunette astronomique, mais la précision reste médiocre. Ce n'est qu'au début du XX^e siècle que la photographie fait réellement progresser la méthode. Le repérage des petites étoiles sur une plaque photographique est notablement plus simple et plus rapide que l'observation à l'œil nu avec une lunette. En 1935, on disposait déjà de 4 000 mesures de parallaxe déterminées par des photographies. En 1991, la récolte était de 8 000, avec une précision toujours meilleure.

Pourtant, ce n'était pas encore satisfaisant, car la valeur de la plupart des mesures de parallaxe étaient à peine supérieures à l'erreur de mesure (environ un centième de seconde d'arc) : on ne peut déduire l'éloignement d'une étoile à partir de la parallaxe – à un facteur deux près – que lorsque l'erreur moyenne de la mesure est inférieure à 20 pour cent de la valeur absolue. En 1991, ce critère d'exactitude n'était satisfait que par 1 800 des 8 000 étoiles dont la parallaxe avait



Friedrich Wilhelm Bessel fut le premier, en 1838, à déterminer la parallaxe d'une étoile et, par conséquent, sa distance à la Terre ; il s'agissait de l'étoile double 61 de la constellation du Cygne. Sa distance a été déterminée à nouveau par le satellite HIPPARCOS : elle est égale à 11,4 années-lumière, et cette étoile double se déplace de 1,5 degré au firmament, en l'espace d'un millénaire (flèches sur la carte stellaire ci-dessus), valeur qui correspond à trois fois le diamètre de la Lune.

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-

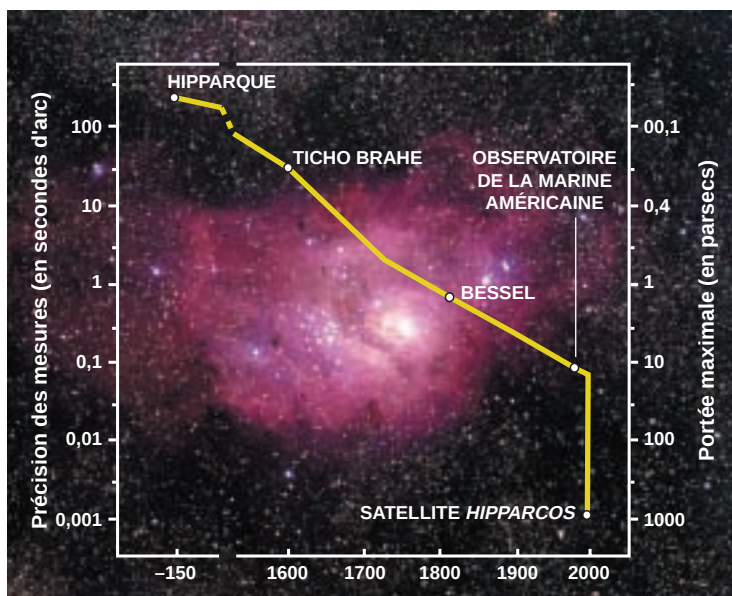
nomes purent enfin sonder l'immensité de l'Univers sur des milliards d'années-lumière, tandis que les mesures de distance à l'aide du déplacement de parallaxe ne permettaient pas de dépasser 300 années-lumière. Pour déterminer des distances supérieures, les astronomes recoururent à des méthodes indirectes, 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

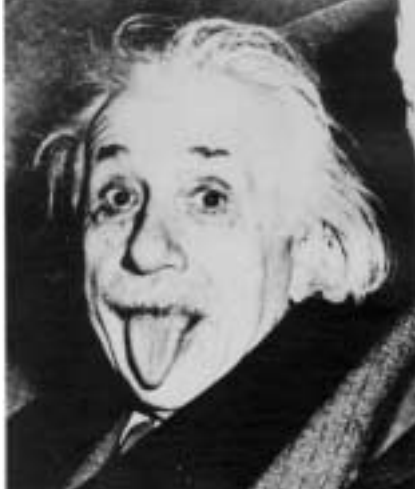
construction d'un instrument de mesure placé dans l'espace. Avec un tel instrument, il espérait déterminer la parallaxe de quelque 700 étoiles avec une précision de l'ordre de 0,01 seconde d'arc. Il fallut attendre 13 ans, pour que l'Agence spatiale européenne (ESA) décide la construction d'un tel satellite. 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 métabotropique 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.