

Une «perle de soufre»

Une bactérie visible à l'œil nu a été découverte. Elle pourrait dépolluer les eaux du littoral.

Imaginez un zoologiste à la recherche de nouvelles espèces de souris. Les plus grosses connues sont de la taille d'un gros rat, mais il en découvre une de la taille d'un... éléphant. C'est ce qui est arrivé à Heide Schulz et ses collègues de l'Institut Max Planck de Brème : ils cherchaient des bactéries capables de produire du soufre à partir des sulfures et en ont trouvé une d'un volume 100 fois supérieur à celui de la plus grosse connue. Cette bactérie baptisée *Thiomargarita namibiensis* («la perle de soufre de Namibie») est visible à l'œil nu.

Au large de la Namibie, à bord du navire *Petr Kottsov*, les microbiologistes ont recueilli des sédiments déposés par 100 mètres de fond en espérant découvrir des espèces capables d'oxyder les sulfures telles que *Thioploca* et *Beggiatoa*, présentes au large du Chili et du Pérou. Ces deux zones présentent les mêmes caractéristiques : un courant ascendant apporte des eaux riches en éléments nutritifs à la surface, où de nombreuses espèces de plancton prospèrent, puis meurent. Les restes sédimentent et sont dégradés par d'autres bactéries qui produisent du sulfure d'hydrogène.

Des bactéries *Thioploca* et *Beggiatoa* ont bien été trouvées, mais elles cohabitaient avec de petites sphères brillantes de 0,1 à 0,7 millimètre de diamètre, qui ont été identifiées comme des bactéries, malgré les réticences de la communauté scientifique, surprise par la taille.

Le cytoplasme de ces cellules, c'est-à-dire leur milieu intérieur, est confiné en une

Lorsque l'océan est calme, *Thiomargarita namibiensis* (au centre) reste dans le sédiment dont elle extrait les sulfures d'hydrogène (flèches vertes). Pendant les tempêtes, le sédiment est remué, la bactérie, au contact de l'eau emmagasine des nitrates (flèches jaunes) dans sa vacuole. Elle produit du soufre qui est stocké sous forme de petites billes d'aspect nacré et de l'azote qui est libéré.

mince couche autour d'un grand compartiment nommé vacuole, rempli de granules de soufre (voir la figure) brillants, qui donnent à la bactérie son aspect perlé. *Thiomargarita namibiensis* exploite l'énergie libérée par une chaîne de réactions biochimiques où interviennent des sulfures et des nitrates. Ainsi, l'organisme oxyde les sulfures en soufre et transforme les nitrates en azote. Cependant, dans l'habitat de la bactérie, les premiers sont présents uniquement dans les sédiments océaniques, tandis que les seconds n'existent que dans l'eau.

Comment utiliser deux éléments qui ne coexistent pas au même endroit ? Les bactéries Sud-américaines confrontées au même problème s'assemblent en petites chaînettes de quelques individus entourées par une gaine de mucus. Elles établissent ainsi un tunnel entre les milieux sulfuré et nitraté.

Thiomargarita namibiensis vit également en groupe (de 10 à 50 individus). Sa stratégie est néanmoins différente : elle profite des mouvements des sédiments remués, par exemple lors des tempêtes, pour emmagasiner des nitrates dans sa vacuole dès qu'elle est au contact de l'eau. Lorsque le temps se calme, elle retombe dans le sédiment où, à la manière d'un plongeur en apnée, elle utilise sa réserve jusqu'à la prochaine tempête.

Ce comportement explique sa taille : d'un point de vue évolutif, on conçoit que plus une bactérie est grosse, plus ses réserves sont importantes et plus longtemps elle peut attendre le prochain contact avec l'eau lors de la prochaine tempête.

Thiomargarita namibiensis, déjà utile pour le biotope marin, car elle dégrade les sulfures qui sont toxiques pour de nombreuses espèces, sera peut-être également utilisée par l'homme pour nettoyer les eaux côtières des nitrates issus des engrais déversés dans les champs et entraînés par les eaux de pluie jusqu'au littoral. Néanmoins, les microbiologistes

n'ont pas encore réussi à isoler la bactérie en culture. De plus, sa croissance est très lente : la population de *Thiomargarita namibiensis* double en une ou deux semaines, tandis qu'il suffit de 20 minutes à la bactérie *Escherichia coli*. Cet obstacle reste à lever.

Cartes d'extinction

L'extinction des étoiles révèle la masse des nuages moléculaires.

Les nuages de gaz froids et denses qui constituent près de dix pour cent de la masse de notre Galaxie sont essentiellement formés d'hydrogène. Grâce à un nouveau traitement des comptages d'étoiles, nous avons établi les cartes des nuages de gaz, révélant nombre de cœurs denses où se forment les étoiles.

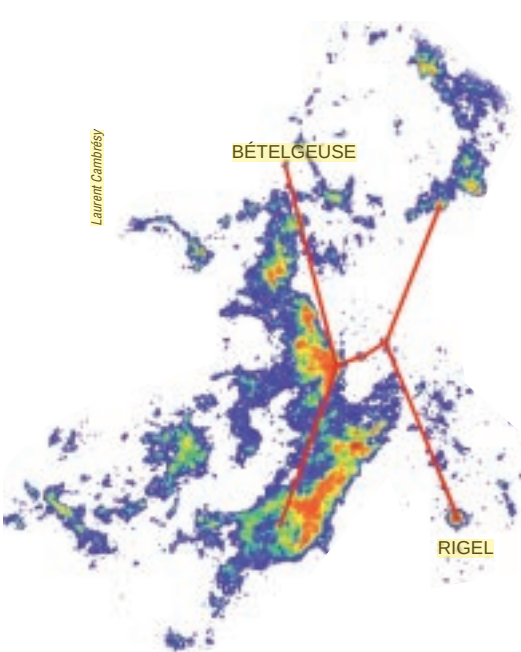
Par nuit claire, lorsque la Voie lactée déchire le ciel, on discerne des zones sombres où les étoiles semblent absentes. Le phénomène ne résulte pas d'un déficit d'étoiles dans cette région du ciel, mais de la présence de gigantesques nuages de gaz et de poussières interstellaires interposés entre les étoiles et la Terre. Comment étudier ces nuages ? En comptant les étoiles. On connaît la répartition des étoiles en fonction de la région du ciel et on déduit la quantité de matière qui absorbe la lumière du quotient de la densité d'étoiles qui résulte du comptage et de la densité théorique d'étoiles.

Cette approche, utilisée depuis 1923, était manuelle : jusqu'en 1996, on comptait le nombre d'étoiles dans chaque case d'une grille posée sur une plaque photographique. En remplaçant la grille de taille fixe par une grille informatique adaptative et en filtrant le bruit à l'aide d'une décomposition en ondelettes (une transformation mathématique adaptée au traitement des images sur plusieurs échelles spatiales), nous avons reconstruit la géométrie des nuages.

Grâce à la résolution des cartes, on mesure une extinction de l'ordre de cinq magnitudes (une extinction de une magnitude représente une luminosité 2,5 fois inférieure). Toutefois, cette extinction est une moyenne qui résulte de la résolution des comptages et on peut estimer que l'extinction est supérieure. Par exemple, dans le nuage d'Orion, on a calculé une extinction de 20 magnitudes visuelles, soit une absorption d'un facteur 100 millions.

À quoi cela correspond-t-il ? L'œil humain discerne les étoiles de magnitude inférieure à six (plus la magnitude est élevée, plus l'étoile est faible). Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel, ayant une magnitude de $-1,6$, une extinction de 8 magnitudes suffit à la rendre invisible à l'œil nu ($-1,6 + 8 > 6$). En conséquence, si l'on plaçait Sirius derrière le nuage d'Orion, elle disparaîtrait de notre vue.

Lorsque l'on étudie des régions très absorbantes, l'extinction de la lumière visible ne suffit plus, car les étoiles du



Cette carte du nuage moléculaire d'Orion montre l'étendue du nuage par rapport à la constellation d'Orion, aisément identifiable sur le ciel. Les régions rouges sont celles où l'extinction des étoiles situées à l'arrière du nuage est la plus forte et donc où l'absorption de la matière est la plus grande. On estime ainsi la masse du nuage à près de 300 000 fois la masse du Soleil.

fond sont tellement absorbées qu'elles disparaissent. Aussi, complète-t-on ces observations avec des comptages dans l'infrarouge proche (longueurs d'onde de l'ordre du micromètre). Cette gamme de longueur d'onde est bien adaptée à l'observation de ces régions : moins sensible à l'extinction, elle permet de sonder les cœurs les plus denses des nuages.

L'un des objectifs du relevé DENIS est justement de cartographier tout le ciel austral dans l'infrarouge proche. Commencées en 1996, à l'observatoire de la Silla, au Chili, les observations de ce relevé ont déjà permis de cartographier le nuage du Caméléon. On a ainsi distingué une dizaine de cœurs denses, alors que les observations dans le visible n'en faisaient apparaître que quatre. Les données de DENIS sont également un remarquable outil de recherche d'étoiles jeunes, car celles-ci émettent la majeure partie de leur rayonnement dans l'infrarouge. Toujours dans le nuage du Caméléon, on a trouvé une cinquantaine de candidats étoiles jeunes (en plus des 130 connues auparavant dans ce nuage). Leur statut devra être confirmé par des observations

spectrales. Les comparaisons des cartes d'extinction avec les observations dans le domaine radio sont également fructueuses. Les différences entre les cartes d'émission du monoxyde de carbone (CO) et les cartes d'extinction révèlent les régions où le monoxyde de carbone est détruit par un fort rayonnement stellaire local. De même, la comparaison entre cartes d'extinction dans le proche infrarouge (ou dans le visible) et l'émission dans l'infrarouge lointain (obtenue par les satellites IRAS et ISO) indique la nature des grains du nuage : les variations du quotient extinction sur émission traduisent probablement des changements dans la composition chimique des grains de poussière.

L'utilisation systématique des comptages d'étoiles est un outil puissant pour cartographier les nuages moléculaires proches. Ces cartes ont déjà révélé de nouveaux nuages, tel un sixième nuage d'une masse d'environ 10 000 masses solaires dans la constellation du Loup. Gageons que les données de DENIS, dont les observations continueront jusqu'en 2000, révéleront d'autres surprises.

Laurent CAMBRÉSY, Obs. de Meudon

Calcul verbal

Notre cerveau traite différemment calcul exact et calcul approché.

Les ordinateurs calculent par des méthodes différentes, et dans des zones différentes des microprocesseurs, avec des entiers ou avec des multiples de puissances de dix positives ou négatives (les nombres «à virgule flottante»). Les informaticiens ignoraient que leurs propres capacités de calcul suivent aussi deux chemins différents : lorsque nous souhaitons donner un résultat exact, nous utilisons des circuits neuronaux associés au langage, tandis que la production d'un résultat approximatif repose sur un «sens des nombres» de type analogique.

Des personnes atteintes de lésions cérébrales ne peuvent répondre à la question simple «neuf est-il plus proche de dix ou de cinq?», bien qu'elles récitent sans problème des tables de multiplication. À l'opposé, des individus incapables d'additionner deux et deux savent toutefois que le résultat est plus proche de trois que de neuf. Par ailleurs, des enfants de six mois, qui ne savent ni compter ni parler, manifestent un sens des quantités : ils sont surpris lorsque trois marionnettes passent derrière un rideau et quand il n'en reste qu'une une fois le rideau levé. Ces quelques

indices, parmi d'autres, incitent à penser que nous pouvons manipuler des nombres sans savoir compter, et que cette manipulation sollicite des capacités différentes de celles du calcul exact.

Pour tester ces hypothèses, Stanislas Dehaene et ses collègues du Centre hospitalier Frédéric Joliot d'Orsay et de l'Institut de technologie du Massachusetts ont entraîné des bilingues au calcul mental, dans l'une de leurs deux langues. Ils leur ont appris à choisir, entre deux solutions possibles, le résultat exact ou le plus proche d'une série d'additions en base dix, en base six ou en base huit, ou la valeur approchée du logarithme à base deux ou de la racine cubique de plusieurs nombres.

Premier résultat, encourageant pour les écoliers, l'entraînement améliore les performances dans tous les exercices : le temps de réponse diminue. Cette amélioration est-elle transférable dans l'autre langue ? Pour le calcul exact, la réponse arrive toujours beaucoup plus vite dans la langue d'entraînement : on retrouve le fait, souvent rapporté, que les bilingues comptent préférentiellement dans la langue où ils ont d'abord appris à le faire. Pour les calculs approchés, en revanche, l'entraînement dans une seule langue réduit le temps moyen de réponse dans les deux langues.

On obtient le même résultat lorsque, plutôt que la langue, on change les nombres sur lesquels portent les opérations : pour les approximations, l'amélioration est

conservée, mais pas pour le calcul exact. Le bénéfice de l'entraînement reposerait donc sur la mémorisation des résultats exacts, dans la langue où ils sont appris, tandis que, pour les approximations, le processus de réflexion lui-même semble accéléré.

L'observation, en imagerie par résonance magnétique, des zones du cerveau actives pendant les calculs et le suivi de cette activité en temps réel par électroencéphalographie (on détecte l'activité électrique à la surface du crâne) confirment que nous traitons très différemment les deux types de calculs. Notamment, le calcul exact active fortement, dans le lobe frontal inférieur gauche, une zone stimulée aussi par des exercices linguistiques, telles des associations sémantiques entre des mots. Nous utilisons dans ce cas les tables d'addition et de multiplication que nous avons apprises verbalement, et nous retenons sous la même forme les résultats des opérations : l'entraînement n'est pas facilement transférable à de nouveaux exercices (nous n'avons pas enregistré l'association nécessaire entre le problème et la solution), ni à une autre langue. En revanche, le calcul approché fait appel, dans les deux lobes pariétaux, à des zones actives aussi lorsque nous manipulons mentalement des objets, ou, plus étrangement lorsque nous bougeons les mains : ferions-nous inconsciemment des approximations sur nos doigts ?