

Un petit astre proche

Un objet de faible masse et peu lumineux a été détecté – prouesse technique – à proximité du Soleil.

La Voie lactée est une galaxie spirale, caractérisée par un cœur dense et de long bras où naissent les étoiles. Le Soleil est à la périphérie du bras spiral majeur, à quelque 28 000 années lumière du centre galactique. Les astronomes estiment qu'il y aurait, dans la Voie lactée, entre 100 et 200 milliards d'étoiles, fourchette dont l'imprécision trahit à quel point la démographie stellaire est méconnue. Pour améliorer cette estimation, ils déterminent la densité stellaire au seul endroit de la Galaxie qui nous soit accessible, le voisinage du Soleil, et ils extrapolent cette densité à l'ensemble de la Galaxie. L'inventaire doit être le plus exhaustif possible, car toute erreur est multipliée, après extrapolation, par quelque 100 milliards! C'est pourquoi, la découverte d'un astre au voisinage du Soleil est toujours importante. Avec une équipe internationale d'astrophysiciens, nous avons découvert une nouvelle étoile, probablement une naine brune, à seulement 13 années-lumière du Soleil.

Les astronomes définissent le voisinage solaire par une sphère de 32 années-lumière de rayon, centrée sur le Soleil. Ils connaissent déjà environ 300 étoiles à l'intérieur de ce volume, mais l'inventaire n'est pas terminé. À combien d'étoiles peut-on s'attendre? On sait qu'il y a environ 50 systèmes stellaires à moins de 16 années-lumière du Soleil. Dans une sphère de rayon deux fois plus grand (32 années-lumière), il devrait y avoir environ huit fois plus d'étoiles, c'est-à-dire 400. Où se cachent les quelque 100 astres qui manquent à l'appel? Les astronomes

estiment qu'il doit s'agir pour l'essentiel d'étoiles peu lumineuses dont la masse est comprise entre 7,5 pour cent et 30 pour cent de celle du Soleil, voire d'objets encore plus petits : des naines brunes.

Une naine brune est un astre trop peu massif pour que les réactions de fusion thermonucléaire des noyaux d'hydrogène y aient lieu régulièrement. Grâce à ces réactions, qui commencent dès que leur température centrale atteint trois millions de degrés, les étoiles brillent. Or, la température du cœur d'une étoile diminue avec sa masse. Quand cette dernière est inférieure à 6 pour cent de celle du Soleil, aucune réaction thermonucléaire ne se déclenche. Celle des naines brunes ne dépasse pas 7,5 pour cent de la masse solaire et leur évolution se résume à un lent refroidissement. Les caractéristiques spectrales de ces astres froids expliquent qu'ils sont si difficiles à détecter. D'autres naines brunes se cachent probablement dans le voisinage solaire. Si l'on parvenait à évaluer leur nombre à l'échelle de la Galaxie, on aurait sans doute découvert l'une des clés du mystère de la masse manquante, cette fraction notable de la masse de l'Univers, manifestement présente, mais invisible.

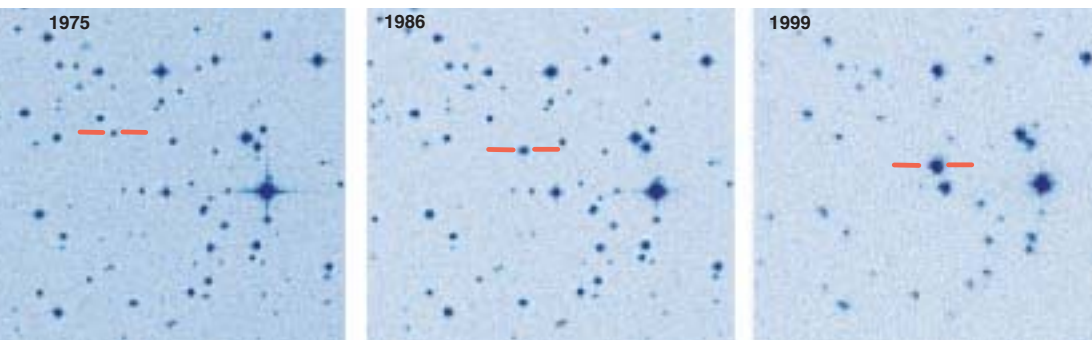
DENIS-P J1048-39, l'astre que nous avons découvert, est à la transition entre une étoile et une naine brune. Après que notre confrère espagnol Eduardo Martin a pointé le plus grand télescope du monde (Keck I) sur DENIS-P J1048-39, il est apparu que son atmosphère ne contenait pas de lithium. Si cet élément manque dans l'atmosphère, c'est qu'il a été entièrement consommé. La masse DENIS-P J1048-39 excède donc six pour cent de celle du Soleil, sinon, aucune réaction thermonucléaire n'aurait pu consommer le lithium. Grâce à une mesure spectroscopique, nous avons établi que la température du rayonnement de DENIS-

P J1048-39 est voisine de 2 200 °C. Seul un astre dont la masse n'excède pas neuf pour cent de celle du Soleil peut avoir une telle température. Pour savoir avec certitude si DENIS-P J1048-39 est bien une naine brune, c'est-à-dire si sa masse est inférieure à 7,5 pour cent de la masse solaire, il faudrait pouvoir la comparer à un astre similaire, mais dont la masse est bien connue. Les astrophysiciens espèrent en trouver un au sein d'un système binaire, car les masses des compagnons qui les composent se déduisent de l'observation de leurs orbites. Quelle que soit la nature de DENIS-P J1048-39, elle est en tout cas la seule de son espèce aussi proche de la Terre, ce qui la rend précieuse dans l'étude des phénomènes qui se produisent dans l'atmosphère des objets à la transition entre étoile et naine brune, notamment la formation de grains solides et d'aérosols liquides, voire l'apparition de phénomènes météorologiques.

Nous avons réalisé, après l'avoir découverte, qu'elle avait déjà été photographiée, mais jamais identifiée. Jean Guibert et Françoise Crifo de l'Observatoire de Paris ont retrouvé sa trace sur des plaques photographiques qui avaient plus de 30 ans. Ils ont ainsi pu montrer qu'entre 1975 et 1999 DENIS-P J1048-39 a parcouru un chemin considérable dans le ciel, ce qui n'est possible que s'il s'agit d'un objet proche. Nous avons comparé sa luminosité avec celle d'astres de même nature, d'éloignement connu, et nous avons conclu que DENIS-P J1048-39 se trouve à seulement 13 années-lumière du Soleil : elle fait partie des 40 premières étoiles groupées autour du Soleil.

Depuis quelques années, les astronomes tentent de compléter le catalogue des étoiles. Le nouvel astre doit son nom au programme européen *Deep Near Infrared Sky Survey (Relevé du ciel dans le proche infrarouge)* ou DENIS, qui a permis sa découverte. L'objectif de ce programme est la cartographie des quelque 100 millions d'étoiles et 250 000 galaxies visibles. À la fin de l'année 2000, près de 90 pour cent du ciel austral avait été cartographié grâce à un télescope de un mètre de diamètre installé à l'Observatoire de la Silla au Chili, et à des caméras sensibles au rayonnement infrarouge, précisément celui qu'émettent surtout les naines brunes et les étoiles de faible masse.

Xavier DELFOSSE, Laboratoire d'astrophysique de Grenoble,
Thierry FORVEILLE,
Télescope CFH, Hawaii



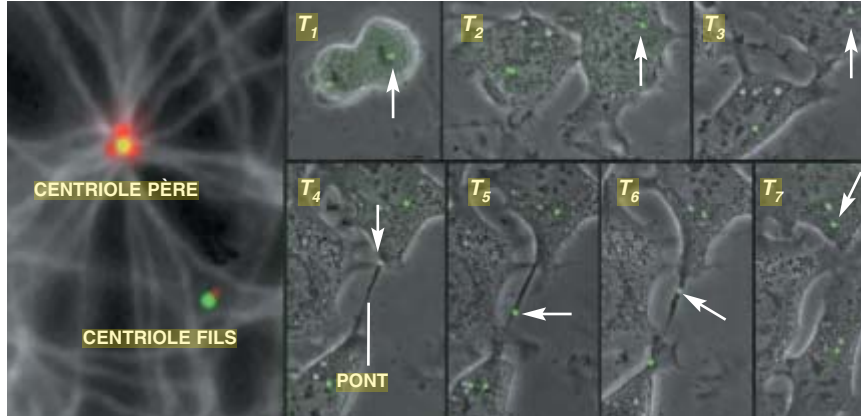
L'astre DENIS-P J1048-39 (entre les traits rouges) a été photographié en 1975, 1986 et 1999 : on constate qu'il a parcouru un chemin considérable dans le ciel par rapport aux étoiles fixes. Il s'agit d'un objet proche : on a calculé qu'il est éloigné de 13 années-lumière du Soleil.

Un agent de division

Le centrosome, un organe normalement situé au centre de la cellule, se déplace, lors de l'ultime étape de la division cellulaire, pour donner son feu vert à la séparation des cellules.

La vie repose sur un mécanisme essentiel : la division cellulaire. Durant cette division, le matériel génétique, et tous les constituants cellulaires, doivent être reproduits. Toute une série de contrôles intervient à des étapes cruciales du cycle de division : le cycle peut être interrompu pour que d'éventuelles erreurs (dans la répllication de l'ADN, par exemple) soient corrigées. Quand l'erreur n'est pas réparable, la mort des cellules peut même être déclenchée pour assurer la survie de l'organisme. En «filmant» des cellules en cours de division observées au microscope, nous avons découvert que l'ultime étape de la division des cellules de mammifères est contrôlée par un des organites intracellulaires, le centrosome, qui, après avoir «constaté» que tout se déroule correctement, se déplace de sa position centrale vers la périphérie où il «autorise» la poursuite de la division.

Le centrosome, une structure constituée de protéines, est situé au centre de la cellule, où il a un rôle d'«organisateur». De lui rayonnent, vers la périphérie cellulaire, des polymères de protéines, les microtubules, qui constituent un squelette dynamique, une ossature



Le centrosome d'une cellule en cours de division, d'où rayonnent les microtubules (à gauche), se déplace vers le pont qui relie les cellules en cours de division, puis retourne vers sa position centrale (ce centrosome est repéré par les flèches blanches).

souple. Pendant le cycle de division cellulaire, le centrosome, qui renferme deux petites unités protéiques, les centrioles, se reproduit par duplication de chacune de ces sous-unités. Les deux centrosomes ainsi formés, qui contiennent toujours un ancien centrosome (père) et un nouveau centrosome (fils), se placent de part et d'autre du noyau ; chacun sera le centrosome de l'une des deux cellules produites lors de la division.

À l'aide d'un microscope équipé d'une vidéo-caméra numérique, nous avons étudié le mouvement des centrosomes pendant la division cellulaire. Pour cela, nous avons introduit dans le génome des cellules étudiées un gène codant une protéine des centrioles couplée à une petite protéine fluorescente ; ainsi, nous pouvons suivre les centrosomes, qui sont les seuls constituants cellulaires fluorescents, dans les cellules vivantes. Lorsque la cellule se divise, elle se contracte en son milieu et forme un étranglement, dont on croyait qu'il se resserrait jusqu'à la séparation complète des deux nouvelles cellules. Nous avons observé que l'étranglement aboutit en fait à la formation d'un «pont» stable entre les deux cellules filles, qui peut persister plusieurs heures, et ne se rompt qu'après un curieux manège du centrosome : une fois l'étranglement formé, les centrosomes de chaque centrosome s'éloignent l'un de l'autre. Le centrosome père, d'où rayonnent les microtubules qui maintiennent la forme de la cellule, est moins mobile que le fils et garde une position centrale. Pourtant, le centrosome père de l'un ou des deux centrosomes quitte soudain son poste central (toujours lié aux microtubules qui se déplacent avec lui) et avance rapidement vers le pont étroit qui relie les deux cellules naissantes, y reste quelques minutes et reprend sa position centrale. Alors seulement les cellules se séparent. Par ailleurs, la plupart des cellules privées de centrosome, ou dont le centrosome père n'a pas la possibilité d'effectuer cette courte excursion, n'achèvent pas leur division.

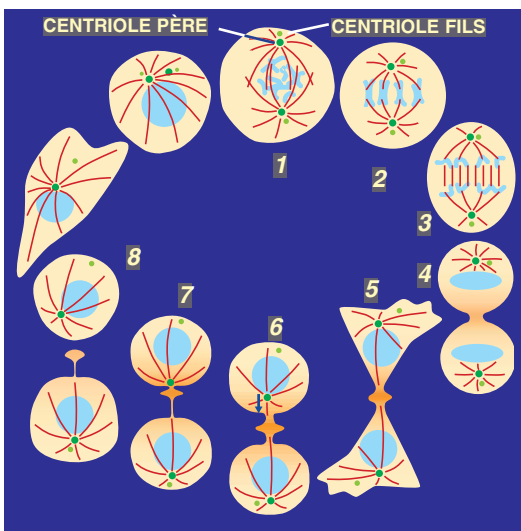
Pourquoi le «centre organisateur» des microtubules de la cellule doit-il lui-

même se déplacer? La question est ouverte. Le centrosome, au cœur du réseau de microtubules, est l'organite le mieux placé pour recevoir et centraliser toutes les informations spatiales et environnementales de la cellule. Lors de la division cellulaire, il pourrait rassembler et analyser les informations sur le déroulement des étapes de division et, lorsque tout s'est bien passé, déclencher la fission cellulaire.

D'autres biologistes ont observé que les cellules privées de centrosome non seulement n'achèvent pas leur division, mais qu'elles ne reprennent pas leur cycle cellulaire : l'absence de centrosome pendant cette étape ultime est un signal suffisant pour interdire une nouvelle duplication des cellules. Ainsi, le centrosome participerait aussi au contrôle de la prolifération, de la différenciation, voire de la migration des cellules, en traitant des informations provenant de l'intérieur comme de l'extérieur de la cellule et en émettant à son tour des signaux. Dans un tissu, chaque cellule fait partie d'une «communauté» cellulaire, où les signaux périphériques émis par les voisins doivent être analysés en permanence, et pris en compte ; il pourrait être essentiel que les informations soient centralisées pour que le comportement de chaque cellule soit asservi à celui de ses voisines.

Les différentes étapes de la division cellulaire sont autant de cibles potentielles pour empêcher la prolifération tumorale des cellules défectueuses. Les mécanismes de surveillance de l'ultime étape de la division cellulaire semblent participer au contrôle de la prolifération cellulaire : les cellules normales, en cas d'échec de cette dernière étape, n'ont plus l'«autorisation» de se diviser. En revanche, si cette interdiction est levée, les cellules peuvent se reproduire sans contrôle, et chaque nouvelle division engendre des cellules de plus en plus anormales. Le centrosome pourrait être une des cibles des futurs médicaments contre le cancer.

Matthieu PIEL et Michel BORNENS, CNRS-UMR 144, Institut Curie



Au cours de la division cellulaire, les constituants sont dupliqués (1 à 4). Pour que les cellules se séparent, le centrosome père doit s'être déplacé vers le pont qui les relie et avoir donné son autorisation (5 à 8).

Énergie et douleur

La molécule qui fournit leur énergie aux cellules est aussi un messager de la douleur.

L'ATP (l'adénosine triphosphate) est la principale ressource énergétique des cellules. Toutefois, cette molécule joue aussi un rôle à l'extérieur de la cellule : John Wood, de l'Université de Londres, et Debra Cockayne, des Laboratoires *Roche*, ont précisé le rôle de cette molécule dans le circuit de la douleur. Les premiers indices du rôle de l'ATP dans la douleur sont apparus vers le milieu des années 1970. Au cours d'une expérience, des biologistes ont appliqué des compresses imbibées d'un extrait cellulaire riche en ATP sur la peau saine de volontaires. Ces derniers ont alors eu la sensation que la compresse recouvrait une blessure.

Une molécule n'agit sur une cellule qu'à condition d'être reconnue par un récepteur qui lui est spécifique et qui est présent sur la membrane cellulaire. Quel est le récepteur spécifique de l'ATP?

Identifié en 1995, c'est le troisième membre de la famille des récepteurs P_2X : il fut nommé P_2X_3 . On a ensuite montré que seules les cellules nerveuses qui participent au circuit de la douleur portent le récepteur P_2X_3 . Cette molécule forme l'extrémité d'un canal membranaire qui s'ouvre quand une molécule d'ATP s'y lie. Lorsque l'ouverture a lieu, la répartition des charges électriques de part et d'autre de la membrane change, ce qui engendre un signal électrique propagé jusqu'au cerveau.

J. Wood et D. Cockayne ont étudié des souris génétiquement modifiées, qui sont dépourvues de récepteurs P_2X_3 . Ces souris sont peu sensibles aux blessures, mais restent sensibles aux autres types de douleurs, par exemple aux brûlures ou encore aux chocs électriques. On évalue la douleur ressentie par les animaux en mesurant le nombre de fois où ils lèchent une patte douloureuse. Qu'elles aient ou non des récepteurs P_2X_3 , les souris réagissent avec la même intensité à un stimulus douloureux qui n'est pas dû à une blessure.

Les biologistes ont aussi mis en évidence que l'ATP joue un rôle dans la miction. Les souris dépourvues du récepteur P_2X_3 urinent moins souvent que les



Pour soulager une patte douloureuse, une souris ou un chat la lèche.

autres. L'ATP semble jouer un rôle lorsque la pression augmente dans la vessie : lorsque la couche de cellules qui recouvre la paroi interne de la vessie est distendue par la pression, elle libérerait de l'ATP. Cette émission serait perçue par les récepteurs de terminaisons nerveuses en contact avec la vessie comme une envie d'uriner. Ils ont aussi constaté que les souris dépourvues de récepteurs P_2X_3 ne perçoivent pas la chaleur et l'on s'interroge : l'ATP participe-t-il aussi à la perception de la chaleur par la peau?

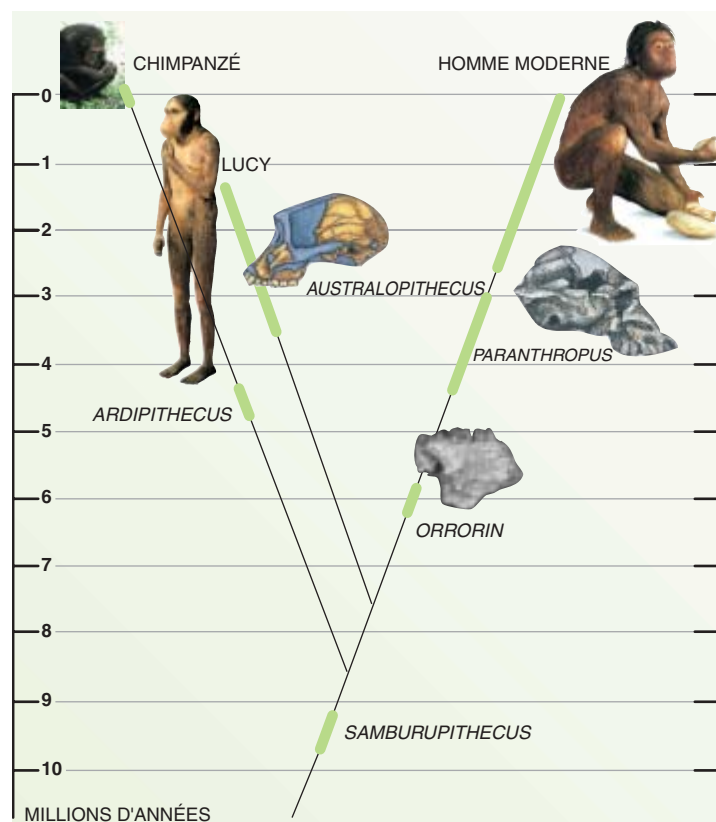
Une molécule qui agirait en bloquant les récepteurs P_2X_3 sera-t-elle une nouvelle substance contre la douleur? C'est peu probable, car l'ATP étant une molécule omniprésente, son inhibition aurait sans doute des conséquences graves sur le fonctionnement de l'organisme.

Vieux de six millions d'années

*Notre ancêtre *Orrorin tugenensis* grimpait aux arbres, mais marchait déjà sur ses deux pieds.*

À l'automne dernier, des restes d'hominidé ont été découverts au pied des collines Tugen, dans la Vallée du Rift, au Kenya. Ils datent de six millions d'années environ, ce qui fait de cet hominidé le plus ancien découvert à ce jour. Ce titre était jusqu'ici détenu par *Ardipithecus ramidus*, qui vivait en Éthiopie il y a environ quatre millions d'années, quelques centaines de milliers d'années avant les australopithèques. L'expédition, composée de paléontologues du Collège de France et d'une organisation non gouvernementale de promotion du patrimoine culturel kenyan, nommée *Community Museum of Kenya*, a récolté 13 ossements d'*Orrorin tugenensis* (l'homme «originel» des monts Tugen) sur quatre sites. Ils ont révélé que cet hominidé était plus «humain» qu'*Ardipithecus ramidus*, et moins «simiesque» que *Samburupithecus*, le grand singe le plus évolué découvert à ce jour parmi nos ancêtres. La divergence entre la lignée de l'homme et celle des autres hominidés serait plus ancienne que prévu, de même que l'apparition de la bipédie.

Martin Pickford, du Collège de France, avait étudié la géologie de la région des monts Tugen dans les années 1970 : des couches sédimentaires alternent avec des couches de lave. En 1974, il y avait trouvé une molaire inférieure, dans une couche de sédiments située entre une couche de lave volcanique de 6,2 millions d'années et une couche de lave basaltique de 5,6 millions d'années. L'origine de la dent était restée inconnue, parce qu'elle avait été érodée par un fleuve qui avait coulé à cet



Dans le nouvel arbre généalogique, revu après la découverte d'*Orrorin tugenensis*, les australopithèques ne seraient pas nos ancêtres. Ils auraient divergé de notre lignée il y a sept à huit millions d'années.