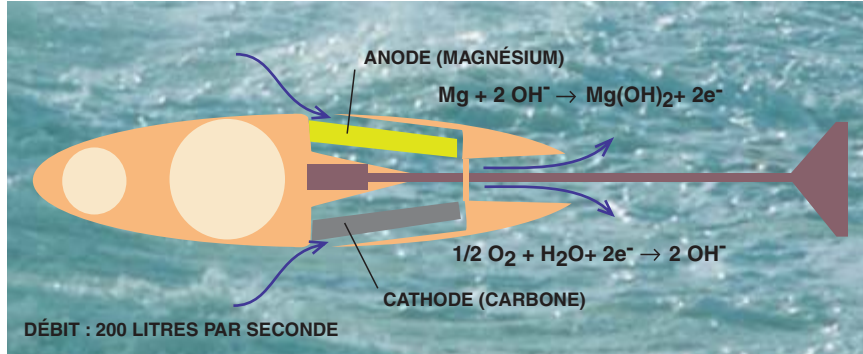


se déplace à faible profondeur. D'autres bactéries catalysent la réduction de l'oxygène, et le courant délivré par la pile augmente au cours des premiers jours passés sous l'eau. Il varie ensuite en fonction des fluctuations des paramètres auxquels les bactéries sont sensibles, telles que la température ou la luminosité.

Le courant délivré par la pile dépend aussi des mers où le robot évolue. Des essais ont été menés par l'Organisme de recherche militaire norvégien FFI dans la mer du Nord et dans la Méditerranée. Dans la Méditerranée, l'eau est plus chaude et plus salée, et sa conductivité est supérieure ; le courant délivré par la pile l'est aussi. En revanche, le dépôt calcaire, plus important, réduit la durée de



Clipper, un robot autonome mis au point par la Direction générale de l'armement, utilise des piles à eau de mer pour sa propulsion. Il a la forme d'un cigare de quatre mètres de longueur sur un mètre de largeur. Il parcourt 1 000 kilomètres à quatre nœuds avec la même pile.

vie de la cathode. Celle de la pile est surtout limitée par la taille de l'anode, laquelle dépasse parfois un mètre de longueur. Elle dépend aussi de la puissance demandée et du débit de l'eau de mer. Une pile à eau de mer est utilisée

pour la propulsion d'un robot sous-marin mis au point par la Direction générale de l'armement (DGA) et par le FFI. Des essais vont commencer au Bassin des carènes avant que le robot ne soit plongé dans de plus grands fonds.

Les plus anciens dinosaures sauropodes

Ils ont été trouvés en Thaïlande et ont plus de 200 millions d'années.

Les sauropodes sont presque l'archétype du dinosaure, avec leur silhouette caractéristique : une petite tête, un long cou, un corps massif soutenu par des membres en forme de pilier, et une très longue queue. Ces grands animaux herbivores ont connu un succès évolutif considérable tout au long du Jurassique (–205 à –135 millions d'années) et du Crétacé (–135 à –65 millions d'années). Parmi eux figurent les plus grands animaux terrestres ayant existé : *Diplodocus* atteignait une trentaine de mètres de longueur, et on a estimé que *Brachiosaurus* pouvait peser jusqu'à 80 tonnes (et il ne s'agit là que de formes connues par des squelettes complets ; d'après certains restes fragmentaires, les animaux auraient été encore plus grands).

Jusqu'à une date récente, cependant, on ne savait rien de l'histoire des sauropodes avant le Jurassique. Le plus ancien spécimen connu, *Vulcanodon karibaensis*, trouvé au Zimbabwe, datait du début du Jurassique. De la période précédente, le Trias (–245 à –205 millions d'années), on n'avait signalé que quelques traces de pas fort douteuses au Lesotho. Tout cela a changé avec l'identification, par notre équipe franco-thaïlandaise, d'ossements de sauropodes dans le Trias de Thaïlande. Ces restes proviennent de grès rouges déposés en milieu fluvial, correspondant à une formation géologique (la Formation Nam Phong) qui a pu être

datée par des géologues pétroliers d'après les grains de pollen et les spores qu'elle contient : ces microfossiles indiquent un âge Trias supérieur (Norien supérieur ou Rhétien, soit entre –210 et –205 millions d'années).

Les premiers ossements ont été trouvés en 1998 par un habitant d'un village de la province de Chaiphum (Nord-Est de la Thaïlande), qui chassait de nuit des écureuils volants dans une forêt et remarqua sur le sol des objets brillants au clair de lune. Ces objets se révélèrent être de gros ossements. Les paléontologues du Service géologique de Thaïlande ayant été alertés, des fouilles furent organisées et permirent de recueillir une partie d'un squelette, comprenant des vertèbres et des os des ceintures et des membres. Ce spécimen a été décrit sous le nom d'*Isanosaurus attavipachi* (le « reptile de l'Isan », nom du Nord-Est de la Thaïlande, où il a été découvert, et dédié au géologue thaï Pricha Attavipach). Il s'agit du plus ancien dinosaure sauropode connu à ce jour. L'animal ne semble pas avoir été très grand (du moins pour un sauropode) : sa longueur est estimée à quelque 6,5 mètres, mais sa croissance n'était pas achevée, comme l'indique le degré d'ossification de ses vertèbres. Les caractères de son squelette montrent qu'il s'agit bien d'un sauropode à part entière, et non d'un représentant des prosauropodes, autre groupe de grands dinosaures abondamment représentés dans le Trias. *Isanosaurus attavipachi* présente aussi des caractères primitifs : par exemple, les vertèbres du cou sont encore assez peu allongées, contrairement à ce que l'on voit chez des sauropodes plus évolués.

La découverte d'*Isanosaurus attavipachi* démontre de façon concrète que les sauropodes firent leur apparition dès

le Trias, ce que l'on supposait, mais de façon théorique faute de fossiles. On peut d'ailleurs penser qu'à la fin du Trias, ces dinosaures avaient déjà derrière eux une assez longue histoire, mais les prédécesseurs d'*Isanosaurus attavipachi* restent à découvrir. Quoi qu'il en soit, notre connaissance des sauropodes du Trias supérieur de Thaïlande n'en est encore qu'à ses débuts, et des surprises nous attendent sans doute. La preuve en est que quelques mois après la première découverte, une villageoise à la recherche de champignons dans la même forêt a trouvé à peu de distance du premier site les restes d'un deuxième squelette. Il appartient aussi à un sauropode, mais ses dimensions sont nettement plus imposantes que celles d'*Isanosaurus attavipachi* : d'après la taille de son humérus, l'animal aurait mesuré près de 13 mètres de longueur. Non seulement les sauropodes étaient déjà présents au Trias supérieur, mais dès cette période lointaine certains d'entre eux atteignaient une taille gigantesque.

Eric BUFFETAUT
et le Groupe franco-thaïlandais de
recherche sur les dinosaures



Le fémur d'*Isanosaurus attavipachi*.

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.

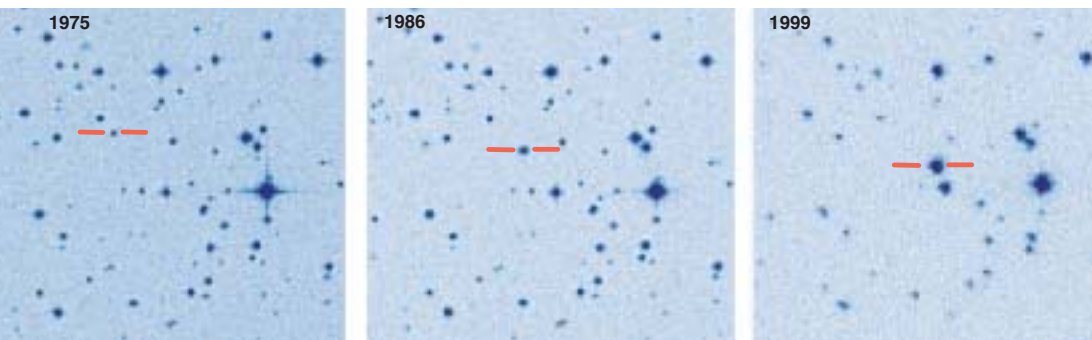
DENIS-P J1048-39, l'astre que nous avons découvert, est à la transition entre une étoile et une naine brune. Après que notre confrère espagnol Eduardo Martin a pointé le plus grand télescope du monde (Keck I) sur DENIS-P J1048-39, il est apparu que son atmosphère ne contenait pas de lithium. Si cet élément 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 FORVILLE,
Télescope CFH, Hawaï



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.