



8. LE NOYAU DE LA COMÈTE DE HALLEY, tel que la caméra de la sonde *Giotto* permit de l'observer en mars 1986. Bien que cette comète soit surtout composée de glace, elle réfléchit peu la lumière, car sa surface est recouverte d'un matériau carboné. Les observations dans l'infrarouge réalisées lors du passage de 1986 ont confirmé que la molécule d'eau y est bien la plus abondante.

printemps 1997, Hale-Bopp est une nouvelle venue dans notre ciel ; elle est particulièrement massive et brillante. Sa température de spin est égale à 25 kelvins. Hartley-2 est une comète périodique de dimensions plus ordinaires, dont la température de spin a été évaluée à 35 kelvins. Ces faibles valeurs sont un indice des conditions de température dans lesquelles se seraient formées ces comètes à grande distance du Soleil.

La mesure du rapport du deutérium et de l'hydrogène dans les comètes fournit une autre information sur la façon dont les objets du système solaire se sont formés. Les astrophysiciens cherchent notamment à découvrir l'origine des matières dont sont constituées les comètes. Proviennent-elles du milieu interstellaire ? De la nébuleuse protosolaire ? Le deutérium a été formé aux premiers âges de l'Univers par nucléosynthèse primordiale, en même temps que l'hydrogène et l'hélium ; depuis, il est en permanence détruit dans les étoiles, où la nucléosynthèse stellaire le convertit en hélium 3 (qui contient trois nucléons au lieu de deux, comme l'hélium ordinaire). Des mesures dans

les météorites ou dans le vent solaire nous livrent la valeur du rapport du deutérium et de l'hydrogène dans la nébuleuse solaire primitive : environ $2,5 \times 10^{-5}$. Les astrophysiciens ont aussi mesuré ce rapport dans le milieu interstellaire local (entre le Soleil et les étoiles voisines) à partir des transitions ultraviolettes du deutérium et de l'hydrogène, et ont trouvé une valeur comparable légèrement inférieure : $1,5 \times 10^{-5}$.

En revanche, ils ont observé que cette valeur était plus élevée dans le milieu interstellaire éloigné : certains types de molécules, HCN et H_2O notamment, y « concentrent » le deutérium ; le phénomène est dû à des réactions chimiques à basse température.

Les astrophysiciens ont voulu comparer ces valeurs à celles que l'on mesure sur une comète. Pour évaluer le rapport du deutérium et de l'hydrogène dans la comète de Halley, les astrophysiciens ont utilisé le spectromètre de masse de la sonde *Giotto* ; plus récemment, ils ont réalisé des mesures de la transition submillimétrique de la molécule HDO depuis la Terre pour les comètes Hyakutake et Hale-Bopp. Dans tous les cas, ils ont obtenu un rapport de quelque 3×10^{-4} , égal à environ dix fois la valeur protosolaire, et 20 fois celle du milieu interstellaire local. Cette valeur élevée indique que la composition chimique des comètes est proche de celle des glaces et des poussières du milieu interstellaire éloigné.

Ce résultat soulève une nouvelle question : comment peut-on expliquer l'écart entre les valeurs du rapport entre le deutérium et l'hydrogène dans les comètes et dans les océans terrestres ($1,5 \times 10^{-4}$) ? Cet écart nous apporte de nouveaux indices sur l'origine de l'atmosphère terrestre. En effet, si celle-ci provenait entièrement d'impacts météoritiques cométaires, comme l'hypothèse en a été avancée, son rapport deutérium sur hydrogène devrait être au moins égal à celui des comètes. En effet, on ne connaît aucun

mécanisme susceptible de diminuer ce rapport, tandis qu'il est possible, comme nous l'avons vu dans le cas de Mars et de Vénus, de l'augmenter par effet d'échappement gravitationnel. Cette observation indique que l'eau de l'atmosphère terrestre ne provient pas entièrement des comètes, mais résulte, au moins en partie, d'un dégazage du globe.

Du système solaire aux exoplanètes

La découverte récente de nombreuses planètes extérieures au système solaire ouvre une nouvelle dimension à l'étude de l'eau dans l'Univers. Nous l'avons vu, l'eau liquide a joué un rôle majeur dans le développement de la vie sur la Terre. Il est donc naturel de rechercher des formes de vie extraterrestres en priorité aux endroits où l'eau liquide peut exister (le satellite Europe, par exemple) ou a pu exister dans le passé (la planète Mars). Il en va de même avec les exoplanètes que nous découvrirons dans le futur : les astrophysiciens s'intéresseront en priorité à celles qui, *a priori*, peuvent porter de l'eau liquide. Cette possibilité n'existe que si l'orbite d'une exoplanète n'est pas trop proche de son étoile sinon, le rayonnement étant trop fort, l'eau s'échappe. Jusqu'à présent, les moyens de détection disponibles ont limité la chasse aux exoplanètes aux seules planètes géantes ; nous ne sommes pas encore en mesure de détecter les « exoterras ». Peut-être cette découverte sera-t-elle faite dans le cadre de la mission COROT, qui sera lancée par le Centre national d'études spatiales, en 2004 ; à moins qu'il ne faille attendre les missions suivantes, plus ambitieuses, que l'agence spatiale européenne et la NASA préparent pour la fin de la décennie. Si l'on découvre de l'eau liquide sur les planètes extérieures au système solaire, la biologie aura là un nouveau champ de recherche sur la vie en conditions extrêmes.

Thérèse ENCRENAZ est astrophysicienne au Département de recherche spatiale, DESPA, à l'Observatoire de Paris, à Meudon.

F. COSTARD, *La planète Mars*, collection Que sais-je, Presses Universitaires de France, 2000.

Les terres célestes, dossier hors-série *Pour la Science*, avril 1999.

Th. ENCRENAZ et P. COX, *L'eau dans l'Univers*, compte-rendu de l'Académie des Sciences, Paris, tome I, série IV, pp. 981-993, 2000.

www.sat-net.com/spnews/syssol.html