

Ces particules minuscules – les plus grosses ont la taille d'un grain de sable – parsèment le Système solaire, formant des étoiles filantes quand elles pénètrent dans l'atmosphère. L'idée nouvelle est la suivante : non seulement ces solides auraient déposé sur la Terre l'eau et les gaz qui ont favorisé l'apparition de la vie, mais ils auraient apporté des molécules organiques analogues à celles que l'on voit aujourd'hui dans les systèmes vivants.

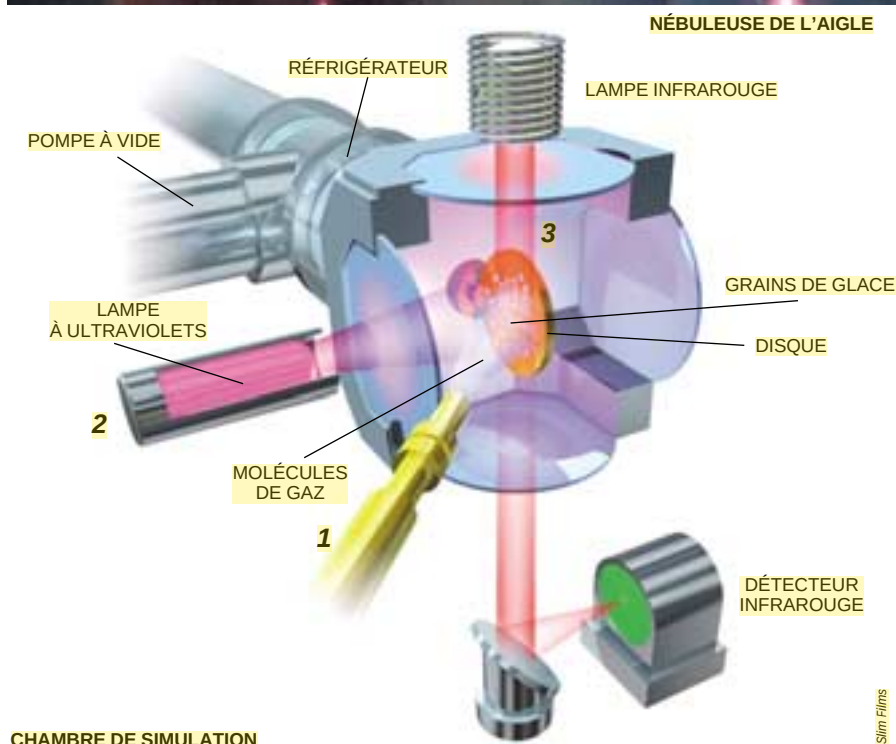
En effet, grâce à l'observation des comètes, on sait que ces visiteurs glacés abondent en composés organiques. En 1986, les caméras embarquées sur les sondes *Giotto* et *Véga* ont révélé que la surface de la comète de Halley comportait un matériau sombre qui ressemble au kérogène carboné de certaines météorites ; les spectromètres de masse ont décelé des traces de molécules riches en carbone. Plus récemment, l'observation depuis la Terre des chevelures et des queues des comètes Hyakutake et Hale-Bopp a révélé de nombreux composés organiques, tels le méthane et l'éthane. Plusieurs sondes spatiales exploreront d'autres comètes durant les 20 prochaines années (voir l'encadré de la page 75).

Lorsqu'une comète s'approche du Soleil, une part de sa matière est éjectée sous la forme de gaz et de poussières, dont une partie est ensuite attirée par la Terre. Des équipes de la NASA recueillent des particules cométaires dans la haute atmosphère, grâce à l'avion ER2, qui vole deux fois plus haut qu'un avion de ligne : à 20 kilomètres d'altitude, les poussières spatiales se collent à des plaques de plastique enduites d'huile, dans les collecteurs

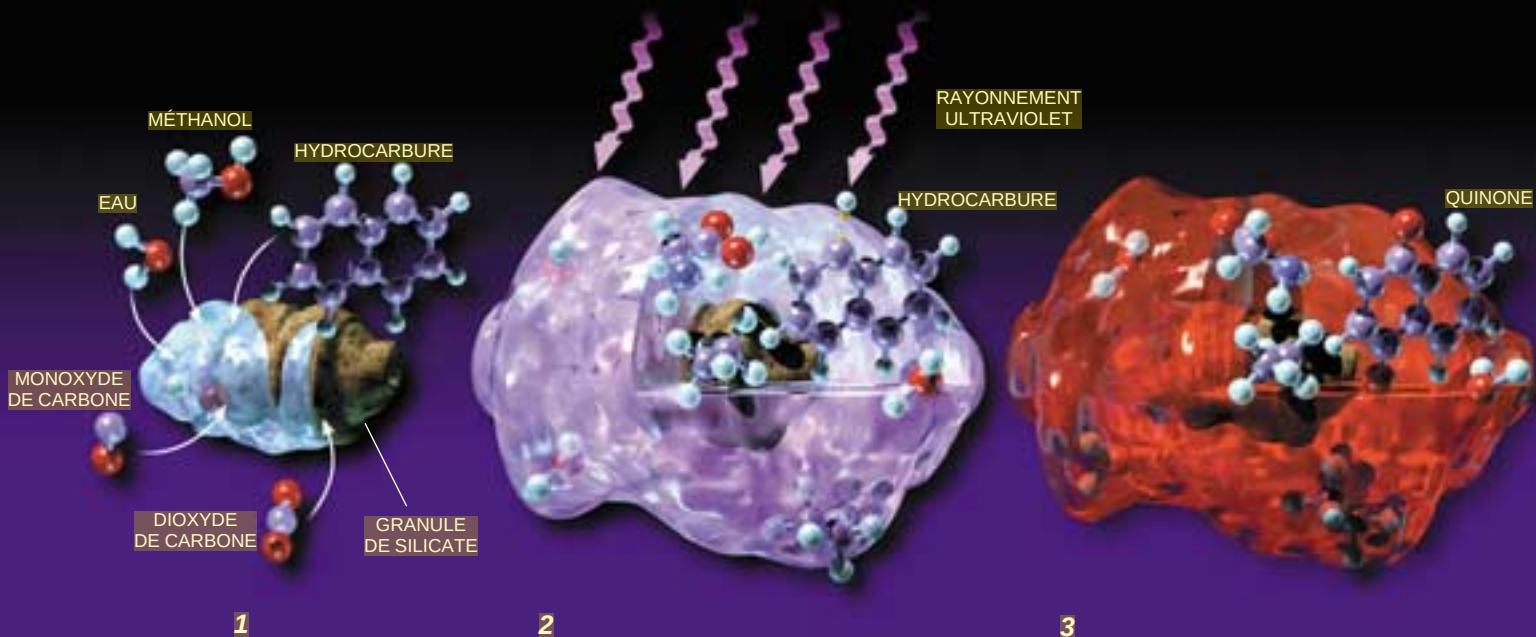
3. ON REPRODUIT EN LABORATOIRE les conditions des régions froides des nuages interstellaires, telle la Nébuleuse de l'Aigle (en haut à droite). À l'intérieur d'une chambre métallique de la taille d'une boîte à chaussures (à droite), un réfrigérateur et une pompe engendrent un vide glacé analogue à celui de l'espace. Des molécules simples, libérées sous forme gazeuse par un injecteur en cuivre (1), gèlent sur un disque analogue au cœur de silicate d'un grain de glace spatial. Une lampe à ultraviolets éclaire la glace ainsi formée d'un rayonnement similaire à celui des étoiles (2). Une lumière infrarouge, également analogue à celle des étoiles, est ensuite projetée à travers la glace (3). La comparaison des spectres d'absorption infrarouge obtenus avec cette chambre et ceux obtenus par satellites révèle que la composition de la glace fabriquée en laboratoire est très similaire à celle de la glace des nuages interstellaires.



Jeff Hester et Paul Scowen, Arizona State University et NASA



Slim Films



4. LA GLACE INTERSTELLAIRE commence à se former lorsque des molécules telles que l'eau, le méthanol et des hydrocarbures gèlent sur de microscopiques grains de silicate (des sortes de grains de sable) qui dérivent dans les nuages interstellaires denses (1). Alors que les grains de glace grossissent (jusqu'à un dix-millième de

millimètre), le rayonnement ultraviolet des étoiles proches casse quelques-unes des liaisons chimiques des composés gelés (2). Les molécules brisées se recombinent en structures, telles les quinones, qui ne se formeraient jamais si les fragments étaient libres de se disperser (3).

situées sous les ailes de l'avion. Avec ses collègues, l'un d'entre nous (S. Sandford) a analysé ces particules microscopiques et trouvé que certaines contenaient 50 pour cent de carbone : c'est plus que dans tout autre objet extraterrestre connu. Bien qu'en moyenne les poussières spatiales contiennent seulement dix pour cent de carbone, elles apportent quotidiennement 30 tonnes environ de substances organiques à la Terre.

Les gros astéroïdes qui s'écrasent sur la Terre sont mieux connus que les comètes et que les poussières interplanétaires. Constitués principalement de métal et de roche, certains contiennent également des molécules organiques, telles que des bases des acides nucléiques (les molécules constitutives de l'ADN), des cétones (molécules qui renferment le groupe C=O), des quinones (composés cycliques où deux atomes d'hydrogène sont remplacés par des atomes d'oxygène), des acides carboxyliques (contenant le groupe COOH), des amines (contenant le groupe NH₂) et des amides (contenant le groupe N(O)C). Parmi les composés organiques des météorites, 70 sortes d'acides aminés sont particulièrement importantes. Huit de ces acides aminés font partie du groupe des 20 acides aminés utilisés par les cellules vivantes pour fabriquer les protéines, mais ils ont une particularité qui se rapproche des acides aminés du règne vivant : leur chiralité.

Les acides aminés sont asymétriques et existent donc par paires, l'une étant l'image de l'autre dans un miroir. Comme nos mains, les acides aminés sont soit droits, soit gauches. Pour des raisons mal comprises et à de rares exceptions près, les acides aminés des organismes vivants sont gauches. Or, les expériences de S. Miller créent les deux formes en nombre égal. D'où l'intérêt de l'hypothèse extraterrestre : en 1993, John Cronin, de l'Université d'Arizona, a observé que la forme gauche de plusieurs acides aminés extraits de deux météorites était plus abondante que la forme droite. Pour certains, la chiralité gauche serait apparue sur Terre par hasard. Cependant, l'analyse des météorites carbonées indique que cette particularité moléculaire a pu être prédéterminée par une force physique extraterrestre.

Du point de vue biologique, les acides aminés sont peut-être les molécules organiques les plus importantes dans les météorites, mais ce ne sont pas les plus abondantes. La plupart des atomes de carbone des météorites sont dans des molécules de kérogène, un matériau composé en partie d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, tel le benzène. Les astrochimistes ont fait d'intéressantes découvertes dans la météorite martienne ALH84001. Ils y ont identifié des hydrocarbures identiques à ceux que l'on trouve dans la suie, dans la viande grillée ou dans

les gaz d'échappement automobiles (la météorite ALH84001 est celle où certains pensent avoir détecté des fossiles de micro-organismes martiens).

Glacière ou brasier ?

D'où viennent les molécules organiques que les comètes, les météorites et les poussières apportent sur la Terre ? Certains astronomes ont supposé que des réactions dans l'eau liquide diffusant à l'intérieur des comètes mères ou des corps parents des météorites sont en partie responsables de leur riche contenu organique (sous certaines conditions, l'eau liquide peut exister dans les comètes et dans les météorites). Toutefois, ces réactions ne pourraient engendrer la grande quantité de molécules organiques gelées des nuages interstellaires sombres.

Ces poussières gelées semblent plutôt être des vestiges de la formation du Système solaire : ce dernier est né de la condensation d'une nébuleuse, c'est-à-dire un disque de gaz et de poussières en rotation. Certains supposent que, lors de la naissance du Soleil et des planètes, ces glaces sont restées au bord du disque, à l'abri de l'effondrement. Dans ce réfrigérateur cosmique, la glace serait restée inaltérée durant des milliards d'années.

Pour d'autres, les molécules organiques extraterrestres sont nées à