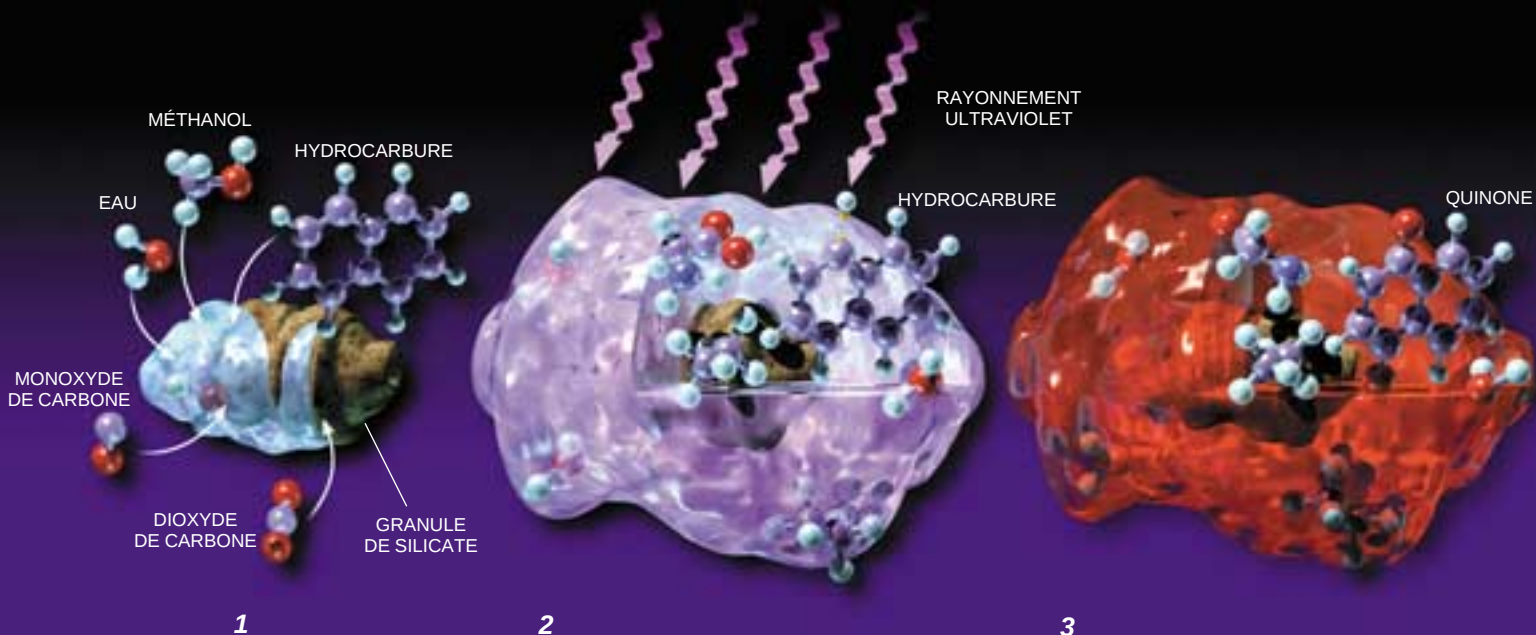




4. LA GLACE INTERSTELLAIRE commence à se former lorsque des molécules telles que l'eau, le méthanol et des hydrocarbures gèlent sur de microscopiques grains de silicate (des sortes de grains de sable) qui dérivent dans les nuages interstellaires denses (1). Alors que les grains de glace grossissent (jusqu'à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

l'intérieur de la nébuleuse : l'échauffement de la glace de la nébuleuse primitive aurait dissocié les molécules, qui se seraient réorganisées lors de la formation des planètes.

Dans cette hypothèse, les molécules chauffées dans la nébuleuse solaire, puis gelées à l'intérieur des comètes, devraient porter les signatures isotopiques propres aux planètes et aux autres objets du Système solaire interne (jusqu'à l'orbite d'Uranus). Or, les poussières cométaires sont, pour la plupart, enrichies en éléments tels que le deutérium (un isotope de l'hydrogène dont le noyau contient un proton et un neutron). L'enrichissement en deutérium est caractéristique des réactions chimiques dans l'espace interstellaire froid, loin de la fournaise de la nébuleuse solaire. Aux températures voisines du zéro absolu ($-273,15^{\circ}\text{C}$), peu de molécules d'isotopes lourds sont cassées, de sorte que ces molécules, tel le deutérium, s'accumulent avec le temps.

Lorsque deux hypothèses s'opposent ainsi, la vérité est souvent entre les deux. D'ailleurs les poussières spatiales contiennent à la fois des molécules qui ont été modifiées par une

chaleur intense et d'autres molécules non modifiées. Néanmoins, nombre d'observations effectuées dans les deux ans qui ont suivi l'étude des comètes Hale-Bopp et Hyakutake soutiennent l'hypothèse de l'héritage interstellaire des comètes. Ainsi, de nombreuses équipes ont constaté des similarités frappantes entre des molécules des comètes et celles des grains de glace interstellaires ; les enrichissements en deutérium étaient comparables. De surcroît, la mesure de l'état de spin des atomes d'hydrogène de la glace de la comète Hale-Bopp (qui révèle les transformations que la glace a subies) confirme que ces atomes n'ont jamais été à une température supérieure à 25 kelvins (-248°C).

Si la glace cométaire provient d'un nuage interstellaire, pourquoi n'en serait-il pas de même des molécules organiques ? Les astronomes voient la trace des composés organiques partout dans l'Univers, en particulier dans les nuages interstellaires. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont les molécules porteuses de carbone les plus abondantes de l'Univers : elles contiendraient au moins 20 pour cent du carbone galactique total.

Grâce aux observations astronomiques des nuages interstellaires, tel celui de la Nébuleuse de l'Aigle, on analyse la composition des particules microscopiques de poussière et de glace à des distances de plusieurs centaines d'années-lumière. Ces nuages sombres absorbent une partie du rayonnement infrarouge des étoiles proches. Lorsque le rayonnement non absorbé atteint la Terre, on sépare ses longueurs d'onde à l'aide d'un réseau (qui agit comme un prisme). On obtient un spectre indiquant quelles longueurs d'onde ont été absorbées par le nuage. Comme la lumière absente à ces longueurs d'onde correspond à des liaisons chimiques particulières, on déduit les caractéristiques chimiques du nuage absorbant.

Des nuages dans le laboratoire

En comparant les spectres infrarouges des nuages interstellaires avec des mesures en laboratoire effectuées sur des systèmes analogues aux glaces interstellaires, plusieurs équipes ont montré que les grains de glace dans les nuages sombres sont congelés sur

Matières premières ou vie réelle ?

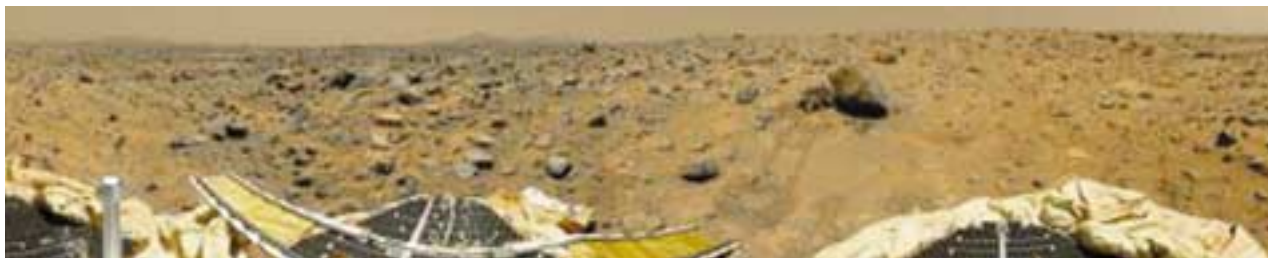
L'idée de matériaux du vivant apportés sur Terre par les comètes et les météores est loin du concept de panspermie, selon lequel des organismes vivants dérivant dans l'espace auraient colonisé la planète. Au XVII^e siècle, après que le médecin italien Francesco Redi eut attaqué l'idée ancienne de génération spontanée, on a supposé que la vie ne pouvait provenir que de la vie. Suivant cette idée, le chimiste suédois Svante Arrhenius supposa en 1908 que le rayonnement des étoiles déplaçait des micro-organismes d'un monde à un autre.

Encore récemment, peu de scientifiques admettaient cette colonisation extraterrestre. En 1996, la découverte de structures minérales qui s'apparentent aux restes fossilisés de micro-organismes, sur la météorite martienne ALH84001, a ravivé la théorie de la panspermie, tandis que la même année, des scientifiques concluaient que les planètes internes avaient échangé des tonnes de débris, ces derniers milliards d'années. Peu de scientifiques pensent néanmoins que la vie soit jamais apparue sur Mars ou que des

organismes martiens aient survécu au voyage de 80 millions de kilomètres vers la Terre. Même si une bactérie résistait au choc la propulsant dans l'espace, le rayonnement ultraviolet et le vide extrêmement froid de l'espace, durant les millions d'années de périple, la détruiraient probablement (à moins que la bactérie ne reste à l'abri, au cœur de petites météorites).

Pourquoi supposer une colonisation martienne quand la vie a pu naître sur la Terre ? Si Mars bénéficiait de conditions propices par le passé, la vie y est peut-être apparue indépendamment ; après tout, les comètes et les météores qui ont ensemencé la Terre d'eau et de molécules organiques offraient le même service à tout le Système solaire.

En décembre 1999, une nouvelle sonde de la NASA ira chercher des signes de vie sur le sol martien. Toutefois, même si l'on trouve de la vie sur la planète rouge, on prouvera difficilement que ces organismes ont survécu au voyage jusqu'à la Terre et qu'ils s'y sont établis.



Paysage martien en 1997.

Jet Propulsion Laboratories/NASA