

L'histoire géologique des chondrites

Comme le souligne Alan Rubin, les météorites sont des objets fascinants. Ils permettent aux planétologues de toucher au quotidien un monde qui peut paraître éloigné et abstrait. En particulier, les chondrites, morceaux d'astéroïdes formés il y a 4,567 milliards d'années et peu modifiés depuis, sont une fenêtre sur la naissance et les premiers instants du Système solaire. Mais le message qu'elles nous délivrent est parfois complexe à déchiffrer.

En effet, certaines chondrites ont connu des modifications lors de l'histoire géologique des astéroïdes. La décroissance radioactive d'éléments tel l'aluminium 26 a abouti à des températures de quelques dizaines ou cen-

taines de degrés Celsius pendant plusieurs milliers d'années. Cet épisode thermique a pu, par exemple, modifier la composition de la matière carbonée et des minéraux, mais aussi estomper le contour des chondres. De la glace d'eau était initialement présente au sein de certains astéroïdes. Sous l'effet de la température, elle a fondu quelques millions d'années après l'accrétion des astéroïdes. Les fluides aqueux résultants ont alors interagi avec la roche, aboutissant notamment à la production de phases minérales hydratées (par exemple des phyllosilicates ou des carbonates). Ces épisodes d'altérations aqueuse et thermique ont ainsi plus ou moins modifié la composition chimique, la pétrogra-

phie et la minéralogie initiales des chondrites : ils brouillent les pistes !

Les chondrites sont au cœur de nombreux débats, concernant notamment l'origine de la matière carbonée et de l'eau qu'elles contiennent, les implications potentielles pour la planète Terre, les liens entre astéroïdes et comètes, et entre le Système solaire et le milieu interstellaire environnant. Il est donc indispensable d'étudier l'histoire géologique des astéroïdes avant de pouvoir interpréter les caractéristiques actuelles des chondrites en termes de propriétés de la nébuleuse solaire.

De nouvelles météorites, telles Tagish Lake, Paris, Sutter's Mill, ont intégré nos collections. Aucune ne satis-

fait les caractéristiques des groupes jusqu'à maintenant définis et décrits par Alan Rubin. Nous attendons beaucoup de l'étude de ces objets particuliers, mais aussi des futurs échantillons d'astéroïdes rapportés sur Terre par des missions spatiales telles Hayabusa-2, OSIRIS-REx, et des futures météorites collectées lors des campagnes annuelles organisées par la NASA en Antarctique par exemple. Nous espérons découvrir de nouvelles informations sur la formation du Système solaire et sur les astéroïdes peuplant la ceinture située entre Mars et Jupiter.

Lydie Bonal

Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble, IPAG, Université Joseph Fourier, CNRS

Mars, ce qui est nettement plus proche du Soleil que les distances estimées pour les autres groupes de chondrites.

Une deuxième classe, celle des chondrites « ordinaires », comporte trois groupes distincts, mais proches, étiquetés H, L et LL, qui s'identifient par l'abondance de fer qu'elles contiennent et aussi par la forme chimique sous laquelle le fer est présent. Le qualificatif « ordinaire » se rapporte à la prévalence de ces chondrites : elles constituent 74 pour cent des météorites récupérées sur Terre. Ces trois groupes étant surreprésentés, cela indique que les météorites correspondantes viennent d'une région du Système solaire où les forces gravitationnelles sont favorables à leur propulsion vers la Terre.

Propulsion par Jupiter

John Wasson, de l'Université de Californie à Los Angeles, a proposé que les chondrites ordinaires proviennent d'une région légèrement plus proche du Soleil que le centre de la ceinture d'astéroïdes, située entre les orbites de Mars et de Jupiter. Les astéroïdes, situés à 2,5 fois la distance Terre-Soleil (2,5 unités astronomiques), décrivent trois orbites autour du Soleil en 12 ans ; c'est le temps que met Jupiter, à 5,2 unités astronomiques, pour faire une seule révolution. Le rapport entier de ces périodes conduit à un phénomène de résonance qui peut déstabiliser l'orbite des astéroïdes sous l'influence du champ gravitationnel de la planète. Certaines sont alors

dirigées vers la partie interne du Système solaire, où se trouve la Terre.

Les chondrites de Rumuruti (du nom de la localité du Kenya où la seule chute observée s'est produite) forment la troisième classe. Ces chondrites, dites R, sont rares et ressemblent aux chondrites ordinaires par beaucoup de leurs propriétés chimiques. Mais leur matrice est plus abondante, et le rapport de l'oxygène 17 sur l'isotope plus léger, l'oxygène 16, y est supérieur. De hautes températures dans la nébuleuse ont tendance à égaliser les concentrations des différents isotopes. Ainsi, plus un objet se forme loin du Soleil, plus sa composition a des chances de conserver les différences d'abondance isotopiques de l'oxygène. Le déséquilibre mesuré suggère que les chondrites R se seraient formées plus loin du Soleil que les chondrites ordinaires.

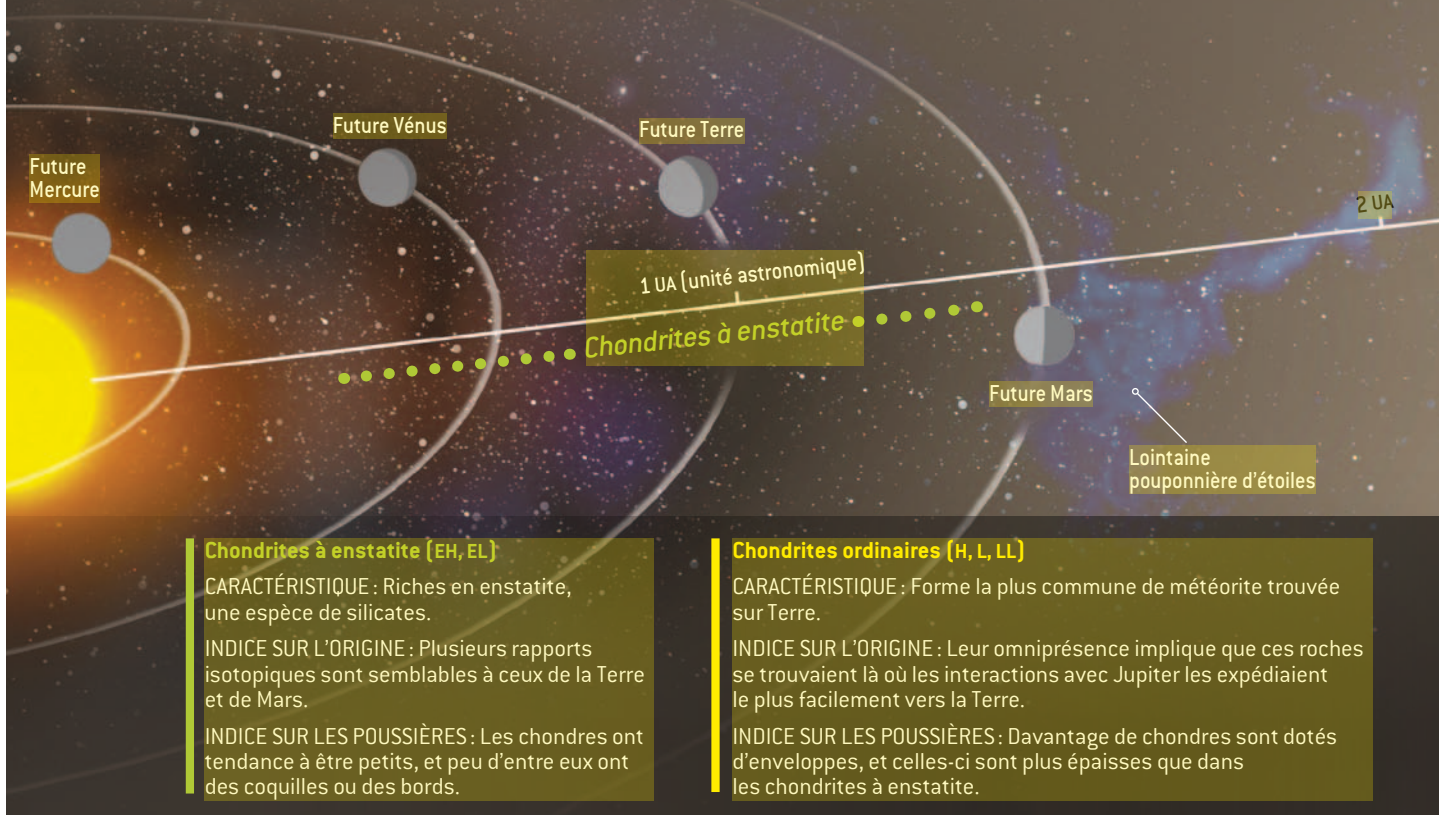
Des températures élevées ont aussi pour effet de casser les liaisons moléculaires des composés organiques, qui se trouvent en plus grande concentration dans la quatrième classe, celle des « chondrites carbonées », que dans les autres classes de chondrites. Les chondrites carbonées étaient presque certainement en orbite à des distances encore plus grandes du Soleil que les chondrites R. Les chondrites carbonées elles-mêmes se subdivisent en six groupes principaux, à chacun desquels on peut attribuer une position plus spécifique dans la nébuleuse

Le disque de poussières reconstitué à partir de l'étude des chondrites est très similaire à celui des disques protoplanétaires autour des étoiles T Tauri.

LE SYSTÈME SOLAIRE AVANT LES PLANÈTES

L'auteur a examiné de nombreuses caractéristiques chimiques et structurales de quatre classes de chondrites (ci-dessous), qui se divisent en 12 groupes principaux (repérés par leurs initiales). Il a ainsi précisé les modèles indiquant la provenance approximative des météorites de ces 12 groupes et déduit les

quantités relatives de poussières dans le voisinage à l'époque de leur formation (sur la carte, les pointillés indiquent une plage probable de zones possibles). Ses résultats indiquent que le maximum de poussières (voile le plus dense) est associé aux chondrites carbonées CR, CV et CK, qui étaient en orbite



à partir de leurs propriétés chimiques, isotopiques et structurales.

Outre leur composition chimique, les structures internes des chondrites livrent des renseignements sur la quantité de poussières présente au voisinage immédiat de leur lieu de formation. Les poussières ont joué un rôle crucial à toutes les étapes de l'évolution du Système solaire. Quand le nuage de matière initial qui a produit le Soleil et les planètes s'est effondré sur lui-même, la densité de poussières a augmenté. Le rayonnement infrarouge a été efficacement piégé, ce qui a fait croître la température au centre du nuage. Cela a donné naissance à la proto-étoile. Plus tard, les poussières (et, à plus grande distance du centre, la glace) se sont fixées dans les environs du plan médian de la nébuleuse et se sont agrégées en corps plus gros et poreux nommés planétésimaux, dont la taille allait de quelques mètres à des dizaines

de kilomètres. Certains de ces planétésimaux ont fondu avec la chaleur dégagée par les éléments radioactifs présents dans la roche. Les planétésimaux fondus sont dits « différenciés » car leur composition chimique est modifiée par rapport à celle des corps « primitifs » comme les chondrites. Les planètes se sont finalement formées à partir d'un ensemble disparate de planétésimaux fondus et non fondus ; les comètes et les astéroïdes parents des chondrites, de composition plus uniforme, proviennent uniquement de planétésimaux non fondus.

Une structure en couches

Les chondrites permettent d'estimer l'abondance de poussières à l'endroit où un groupe donné de chondrites s'est formé. En effet, dans les chondrites, les chondres sont constitués de coquilles (plus souvent

qualifiées d'anneaux, car les chondrites sont étudiées en lames minces) chargées de poussières entourant un noyau de silicate. Les chondres de certaines météorites carbonées, par exemple, comportent souvent un noyau, ou chondre « primaire », pris dans une coquille sphérique secondaire de matériau fondu – ou igné – de composition similaire au chondre primaire. La coquille secondaire est souvent elle-même entourée d'une coquille tertiaire, l'enveloppe ignée, qui est composée de grains de minéraux plus fins que ceux du noyau central (voir la figure 2).

De nombreux spécialistes des météorites ont suggéré que les coquilles secondaires ont été créées quand un chondre, solidifié après l'événement de fusion initial, a acquis une coquille poreuse de poussières dont la couche externe, (mais pas le chondre interne) a subi une fusion dans un second temps. Par la suite, des phénomènes