

LA NAISSANCE ACCÉLÉRÉE DES PLANÈTES

Les scientifiques pensaient que la formation des planètes dans le Système solaire avait été un processus lent et régulier, qui aurait commencé il y a environ 4,5 milliards d'années et se serait étendu sur plus de 500 millions d'années (*chronologie en bleu ci-dessous*). De nouvelles données, fournies par des météorites, par les taux de désintégration radioactive

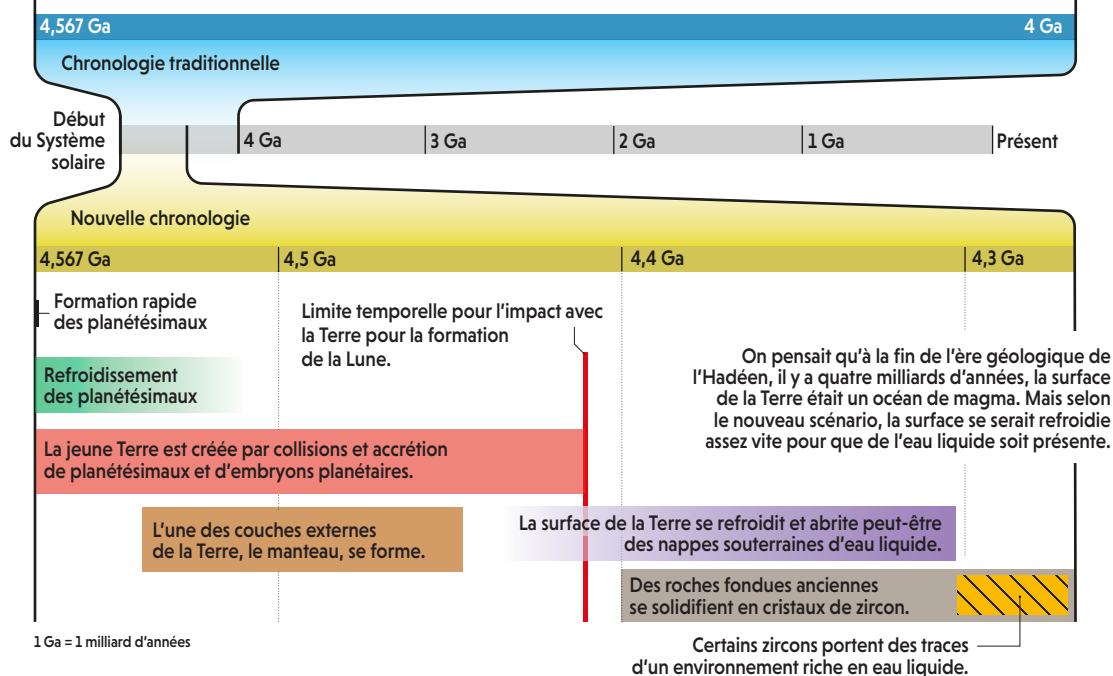
des éléments et par les observations des disques protoplanétaires autour des étoiles lointaines, indiquent que le Système solaire (y compris la Terre dans ses jeunes années) a évolué beaucoup plus vite (*chronologie en jaune*), en moins de 3 millions d'années, dans un tumulte de violentes collisions entre planétésimaux qui ont grandi, se sont détruits et reconstruits.

Il y a 4,567 milliards d'années, un nuage de gaz et de poussière s'est aplati en un disque autour d'une jeune étoile en formation, le futur Soleil. Le gaz et la poussière ont constitué de nombreux petits cailloux.

Chaque caillou a grossi progressivement jusqu'à faire quelques dizaines ou quelques centaines de kilomètres de diamètre, formant des planétésimaux. Ces derniers se sont agglomérés pour donner des embryons planétaires plus gros, atteignant la taille de Mars.

Ces embryons planétaires sont devenus assez massifs pour nettoyer leurs orbites des débris qui les encombraient. Les embryons, qui ont continué à grossir avec la poursuite des collisions, sont devenus des planètes.

La structure interne des planètes (dont la Terre) s'est différenciée en un noyau métallique et un manteau silicaté. Puis les planètes ont commencé à se refroidir. Le processus de formation des planètes a pris fin il y a 4 milliards d'années.



> chercheurs étaient bien en peine de dire où les planétésimaux avaient pu trouver l'énergie requise pour la fusion du métal.

C'est à ce stade qu'interviennent les idées sur l'aluminium radioactif. Chaque fois qu'un de ces atomes se désintègre, il produit une minuscule quantité de chaleur. En additionnant ces petites contributions, il serait possible d'obtenir une puissante source d'énergie dans le Système solaire primordial. Comme l'aluminium est l'un des six éléments les plus abondants dans les matériaux rocheux (avec le silicium, le magnésium, le fer, l'oxygène et le calcium), l'aluminium 26, qui a une demi-vie

d'environ 700 000 ans, aurait facilement chauffé au moins certains planétésimaux jusqu'à atteindre des températures de fusion.

Mais qu'est-ce qui les aurait empêchés de fondre complètement sachant que les nouvelles observations indiquent clairement que certains des planétésimaux avaient des écorces extérieures non fondues, comme c'est par exemple le cas du corps dont est issu Allende ? Deux effets s'opposent concernant la chaleur du planétésimal. Plus un planétésimal est massif et grand, plus son intérieur contient d'aluminium 26 et produit de la chaleur. Mais, à l'inverse, plus un planétésimal est gros, plus sa

surface laisse échapper de la chaleur sous forme de rayonnement vers l'espace.

En prenant en compte cette compétition entre production et perte de chaleur, ainsi que la courte demi-vie de l'aluminium 26, nous avons estimé la taille du planétésimal qui a donné naissance à Allende. Pour accumuler assez d'énergie et atteindre la température de fusion, le corps aurait eu au moins 10 kilomètres de rayon (peut-être jusqu'à 200 kilomètres) et se serait formé en seulement 2 millions d'années après la naissance du Système solaire.

Jusqu'alors, la plupart des chercheurs envisageaient que les planétésimaux fondaient intégralement ou restaient entièrement primitifs. Mais Ben Weiss et moi avons suggéré une configuration hybride formée d'un noyau fondu et d'une écorce externe non fondue préservant le matériau le plus primitif du Système solaire. Cette structure était celle qui expliquait le mieux les caractéristiques de la météorite Allende: sa composition de matériau primitif non altéré par un chauffage important et les indices de la présence d'un champ magnétique.

La surface primitive du planétésimal n'a pas fondu car l'espace environnant la refroidissait et parce que la poussière froide du disque protoplanétaire continuait à s'y agglomérer au fil du temps. N'ayant pas été touchée par le

Il semble aujourd'hui que ces planétésimaux hybrides étaient, en réalité, très communs. Les chercheurs ont trouvé pas moins de quatre autres planétésimaux précurseurs de météorites qui auraient abrité un noyau à dynamo magnétique. Par ailleurs, cette idée est confortée par le fait que d'autres sources possibles de magnétisation ont été écartées: Allende et ses homologues n'ont pas été magnétisées par un champ produit dans le Soleil, ni par le disque de poussière lui-même, ni par des panaches transitoires dus à des impacts. Si le Système solaire des tout débuts était vraiment peuplé de centaines ou même de milliers de planétésimaux différenciés, filant à toute allure et en tous sens et générant une chaleur intense et des dynamos magnétiques comme de minuscules Terres, cela implique que tout le Système solaire nouveau-né renfermait beaucoup plus de chaleur que les géologues ne le pensaient.

DES COLLISIONS RÉVISÉES

D'autres idées ont également affaibli la représentation classique d'une croissance linéaire des planètes. Pendant des années, pour des raisons de simplicité et de faisabilité numérique, toutes les simulations de formation des planètes supposaient que dans chaque collision de planétésimaux, tout le matériau des deux protagonistes se combinait pour former un nouvel objet plus gros. Cette fusion totale était la règle même quand les planétésimaux se formaient à partir de la poussière. Mais récemment, Erik Asphaug, de l'université d'État de l'Arizona, a proposé une nouvelle modélisation du processus de collision. Selon ses résultats, certaines collisions seraient constructives et produiraient des objets plus massifs, tandis que d'autres impacts seraient destructeurs: l'impacteur arracherait du matériau à l'objet cible et poursuivrait sa route en provoquant d'autres dégâts plus loin.

Dans ce contexte, c'est seulement lorsque le Système solaire a atteint l'âge d'une dizaine de millions d'années que les choses ont commencé à se stabiliser, des objets étant devenus assez gros pour le rester et survivre. En effet, à mesure que les planétésimaux sont entrés en collision et ont formé des embryons planétaires plus gros, leur masse et donc leur gravité ont augmenté. À partir d'une certaine taille, la gravité était suffisante pour qu'à chaque fois que l'orbite d'un embryon planétaire croisait celle d'un autre objet, ce dernier était soit attiré et accreté en vertu de l'attraction gravitationnelle soit projeté sur une autre orbite.

Ainsi, les planètes en cours de croissance ont commencé à nettoyer leurs orbites, une orbite bien dégagée constituant l'un des critères pour accéder au rang de planète. Dès lors, les corps de petite taille ont eu de moins en moins d'espace où occuper des orbites stables et non perturbées par les planètes de plus en plus imposantes; c'est ➤

Le Système solaire jeune renfermait plus de chaleur que ne le pensaient les géologues

chauffage, l'écorce a conservé une trace du champ magnétique produit par la partie interne de la structure du planétésimal, le noyau de métal fondu et sa dynamo magnétique.

Nous ne sommes pas les premiers à avoir envisagé une différenciation partielle. Le géologue John Wood avait proposé une telle structure dans sa thèse au MIT, en 1958. Mais personne n'avait poussé l'hérésie jusqu'à suggérer qu'Allende, l'archétype des météorites primitives non fondues, aurait pu voir le jour dans une telle structure hybride, ou que celle-ci était fréquente, et même déterminante, aux débuts du Système solaire.