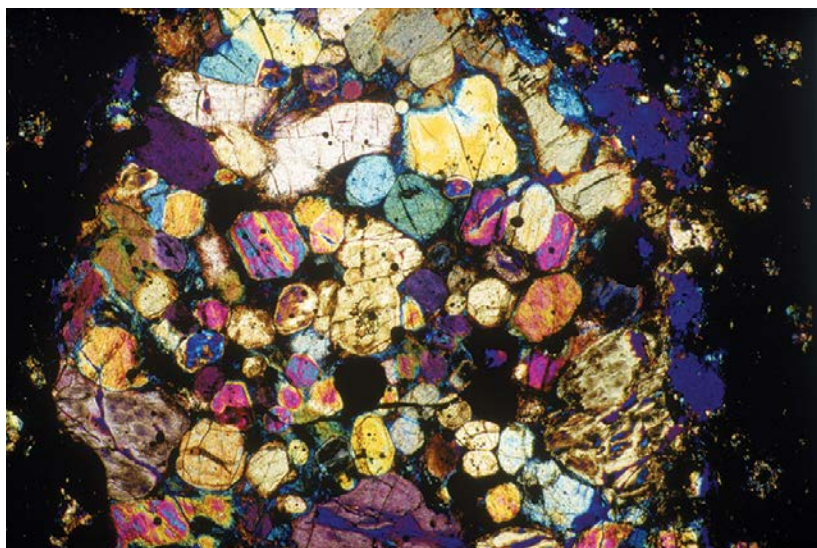




Coupe d'un échantillon de la météorite Allende, observée au microscope en lumière polarisée. L'étude du matériau de la météorite a révélé des traces d'un champ magnétique dont était doté le planétésimal parent.

hafnium restant dans le manteau ont continué à se désintégrer en tungstène. En mesurant les concentrations de hafnium et de tungstène restés dans le manteau, on a pu estimer que la formation du noyau terrestre s'est achevée environ 30 millions d'années après la naissance du Système solaire.

De la même façon, des mesures isotopiques réalisées sur des météorites ferreuses ont montré qu'elles provenaient d'objets formés dans les 500 000 ans qui ont suivi les premières condensations de gaz et de poussière du disque protoplanétaire. Si les météorites ferreuses sont des fragments du noyau de planétésimaux qui ont volé en éclats à la suite d'impacts, cela voudrait dire que les planétésimaux ont effectivement dû se former, fondre et créer des noyaux de fer dans cette minuscule fenêtre temporelle.

FORMATION PLANÉTAIRE ACCÉLÉRÉE

Des données expérimentales montrant clairement que le Système solaire s'est formé beaucoup plus vite qu'on ne le pensait, les spécialistes devaient désormais expliquer comment les planètes ont pu apparaître aussi vite. La balle était de nouveau dans le camp des théoriciens. Par quel mécanisme la poussière et les cailloux, de taille comprise entre quelques micromètres et quelques centimètres, tous en orbite autour du jeune Soleil, ont-ils réussi à s'assembler pour former des objets jusqu'à 10 millions de fois plus gros (des planétésimaux de 100 kilomètres de diamètre) en seulement 500 000 ans?

La réponse est tout sauf évidente. La physique classique indique que de petits agrégats de poussière qui entrent en collision peuvent facilement se lier grâce aux forces électromagnétiques, un peu comme l'électricité statique tend à créer des moutons de poussière

domestique. Par ailleurs, un effet d'amortissement des impacts, l'énergie du choc étant absorbée par compression et perte de porosité, aide les amas à rester collés plutôt qu'à rebondir les uns sur les autres et à se séparer.

Mais, en grossissant, ces corps finissent par atteindre un obstacle: la «barrière du mètre». En effet, à partir d'une certaine taille, ces cailloux deviennent trop gros pour être tenus par les forces électromagnétiques, et ils sont encore trop peu massifs pour être maintenus en un seul bloc par l'attraction gravitationnelle. Les impacts, même à très faible vitesse, entraînent la destruction plutôt que l'accrétion de ces agglomérats. Il semble alors impossible d'obtenir des corps de un mètre de diamètre ou plus. Pourtant, nous savons que cette barrière du mètre a été franchie: la planète sur laquelle nous nous tenons aujourd'hui le prouve. D'autres processus doivent donc être en jeu.

Plusieurs idées ont été proposées pour résoudre cette énigme. La plupart font intervenir des mécanismes qui compriment et concentrent le matériau du disque protoplanétaire. Les pistes font notamment intervenir des effets de turbulence qui projettent les particules les unes sur les autres. Ces forces tourbillonnaires pourraient inclure des phénomènes tels que les ondes de Kelvin-Helmholtz, qui se développent entre le gaz et la couche de poussière du disque. La compression de certaines régions riches en matériau les unes sur les autres pourrait former des objets plus gros.

Anders Johansen, de l'université de Lund, en Suède, a proposé un mécanisme d'instabilité de courant. Indépendamment d'Hal Levison, de l'institut de recherche du Sud-Ouest, à San Antonio, au Texas, il a travaillé, avec Michiel Lambrechts, sur un autre modèle, dit d'«accrétion de galets». Ses calculs indiquent que même les plus petits morceaux de poussière et de gravier se seraient accumulés, par des effets gravitationnels et par friction avec le gaz, sur certaines orbites pour venir s'ajouter à un planétésimal en croissance, et cela suffisamment vite pour que des planétésimaux naissent très tôt dans l'histoire du Système solaire.

Si ces scénarios expliquent comment les planétésimaux se sont formés en un temps relativement court, ils sont insuffisants pour déclencher la différenciation de ces corps en un noyau et un manteau. Si les planétésimaux s'étaient initialement formés à partir de matériaux du disque primordial où métaux et silicates étaient intimement mêlés, alors seules des températures élevées et une fusion interne au moins partielle auraient assuré que le métal coule vers le centre et forme un noyau. Des calculs montraient notamment que la chaleur libérée quand ces objets relativement petits se fracassent les uns sur les autres est insuffisante pour atteindre le point de fusion. Par conséquent, les >

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

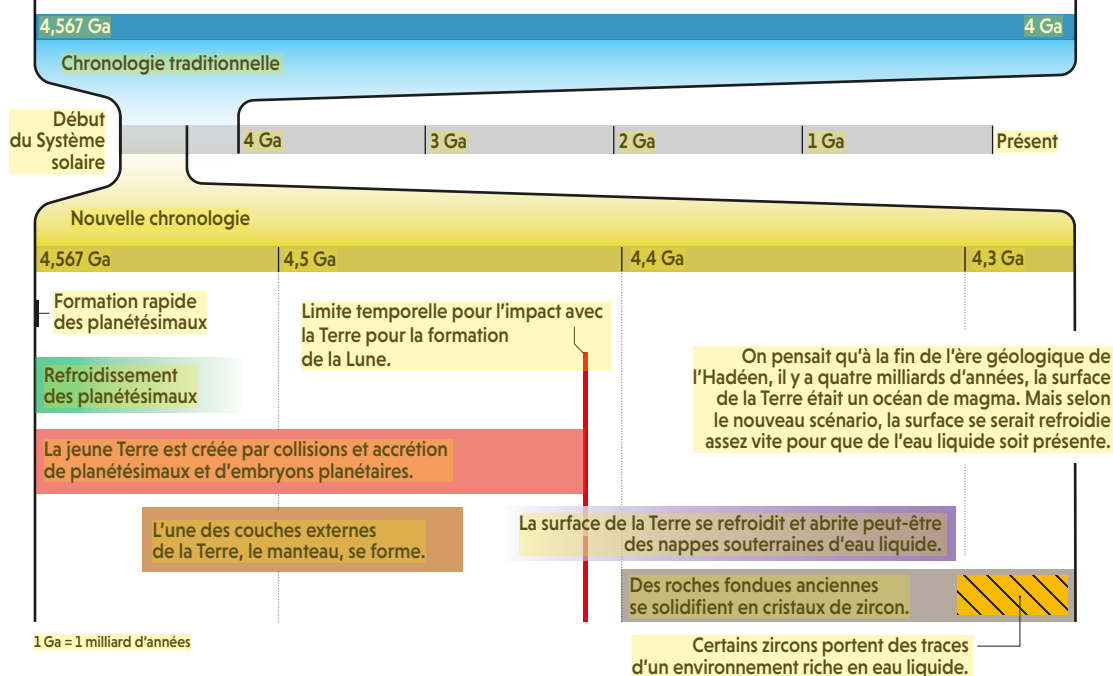
des éléments et par les observations des disques protoplanétaires autour des étoiles lointaines, indiquent que le Système solaire (y compris la Terre dans ses jeunes années) a évolué beaucoup plus vite (*chronologie en jaune*), en moins de 3 millions d'années, dans un tumulte de violentes collisions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