

Sébastien Charnoz
Institut de physique du globe de Paris
Premier auteur de l'étude
+ 33 (0)1 83 95 78 29
charnoz@ipgp.fr

Pierre-Yves Clause
Institut de physique du globe de Paris
Service communication
+ 33 (0)6 51 67 84 83 95
clausse@ipgp.fr

COMMUNIQUÉ DE PRESSE – EMBARGO – 22 AVRIL 17H - CET

Dès premiers solides du Système solaire aux planètes : le rôle décisif d'un refroidissement extrême et violent

Comment, à partir du gaz incandescent qui entoure une jeune étoile, émergent les premiers matériaux solides à l'origine des planètes ? Cette transition, du gaz au solide, appelée « condensation » constitue l'une des grandes questions encore ouvertes de la formation du Système solaire. Elle a eu lieu il y a 4,5 milliards d'années.

Une étude publiée dans la revue Nature par une équipe internationale pilotée par l'Institut de physique du globe de Paris (Institut de Physique du Globe de Paris/CNRS/Université Paris Cité), en collaboration avec l'Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie (IMPMC) (CNRS/MNHN/Sorbonne Université), l'Institute of Geochemistry and Petrology (IGP) (ETH Zürich) et le Centre de recherches pétrographiques et géochimiques (CRPG) (CNRS/Université de Lorraine), propose aujourd'hui un éclairage nouveau sur ce moment fondateur.

Un refroidissement soudain et extrême, moteur de la diversité des matériaux ...

Depuis des décennies, les modèles décrivent la formation des premiers minéraux comme un processus de condensation lent, gouverné par l'équilibre chimique : en se refroidissant lentement, le gaz de la nébuleuse solaire aurait donné naissance à des assemblages minéraux bien ordonnés. Mais cette vision peine à rendre compte de la diversité des météorites, ces fragments anciens qui témoignent des premières étapes de la formation planétaire.



Les chercheurs ont exploré une autre hypothèse. À l'aide d'un nouveau modèle décrivant la condensation du gaz solaire hors équilibre, ils montrent que, dans un environnement où le chauffage est fort et le refroidissement est rapide, la matière n'a pas le temps de suivre les lois de l'équilibre thermodynamique. Elle se fige dans des états transitoires ... ainsi des minéraux qui ne devraient pas apparaître à l'équilibre émergent naturellement en dehors de l'équilibre.

Ce cadre permet de faire émerger trois grands types d'assemblages minéralogiques seulement, en accord avec les trois grandes familles de météorites connues dans le Système solaire. La diversité des matériaux planétaires ne résulterait donc pas nécessairement de variations de composition à grande échelle dans la nébuleuse solaire, mais pourrait s'expliquer, en grande partie, par des conditions locales de formation — en particulier par la rapidité des épisodes de refroidissement.,ce qui témoigne de leur formation dans une nébuleuse solaire agitée de mouvements violents et d'épisodes de chauffage intenses dans les premiers cent mille ans.



Image de la protoétoile L1527, observée par le JWST, en cours de formation par l'effondrement d'un nuage moléculaire dans la constellation du Taureau. Un disque protoplanétaire est en train de s'assembler ; c'est dans ce disque que se forment les minéraux du futur système planétaire. @NASA



... Et de l'incorporation précoce de l'oxygène dans les premiers solides

Ces résultats apportent également un éclairage nouveau sur une autre question majeure : celle de l'origine de l'oxygène et de l'eau dans les planètes terrestres. Dans les modèles classiques, la formation de minéraux oxydés ou hydratés à partir d'un gaz de composition solaire reste difficile à expliquer sans faire intervenir des apports extérieurs. Ici, au contraire, les chercheurs montrent que lors d'un refroidissement rapide, certains éléments demeurent disponibles à basse température et peuvent être incorporés dans les solides en formation. Ce mécanisme offre ainsi une voie naturelle pour intégrer de l'oxygène — et potentiellement de l'eau — dès les premières étapes de la formation des matériaux planétaires.

L'image qui se dessine est celle d'une jeune nébuleuse solaire loin d'être calme. Plutôt qu'un environnement homogène évoluant lentement, il apparaît comme un milieu dynamique, ponctué d'épisodes de chauffage intense et de refroidissements rapides. Les observations récentes de disques protoplanétaires, notamment grâce au James Webb Space Telescope, révèlent d'ailleurs que ces phénomènes sont fréquents dans les systèmes stellaires en formation, confortant ainsi cette nouvelle interprétation.



*enstatite
chondrite*

*ordinary
chondrite*

*carbonaceous
chondrites*

Les trois classes de chondrites : les chondrites à enstatite, les chondrites ordinaires et les chondrites carbonées : elles possèdent de légères différences de concentrations des éléments non-volatils les plus abondants autour de la composition solaire (Si, Mg, Al, Ca et Fe) @IPGP



En reproduisant à la fois la diversité minéralogique et les états d'oxydation des météorites à partir d'un gaz initial unique, ce travail propose un changement de perspective important. Il suggère que la composition des planètes ne dépend pas uniquement de leur position dans le disque protoplanétaire, mais aussi des conditions physiques et dynamiques — en particulier des rythmes de chauffage et de refroidissement — qui ont présidé à la formation de leurs premiers constituants.

Portée par des équipes de l'IPGP et de ses partenaires, avec le soutien du CNRS, cette étude ouvre ainsi une nouvelle voie pour comprendre les premières étapes de l'histoire du Système solaire, et plus largement, celles de la formation des systèmes planétaires.

Référence

Non-equilibrium condensation of the first Solar System solids, Nature (2026)

DOI : [10.1038/s41586-026-10257-5](https://doi.org/10.1038/s41586-026-10257-5)

Sébastien Charnoz¹, Jérôme Aléon² Marc Chaussidon¹, Paolo A. Sossi³, Yves Marrocchi⁴, Patrick Franco¹

1 Université Paris Cité, Institut de physique du globe de Paris, CNRS, Paris, France.

2 Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie, UMR 7590, Sorbonne Université, Muséum National d'Histoire Naturelle, CNRS, Paris, France.

3 Institute of Geochemistry and Petrology, ETH Zürich, Zürich, Switzerland.

4 Université de Lorraine, CRPG, CNRS, UMR 7358, Nancy, France.