

Nos recherches ont aussi soulevé une nouvelle énigme. On pensait traditionnellement que les disques de débris étaient pauvres en gaz parce que le gaz originel devait être soufflé en à peine quelques millions d'années. Or *Alma* a montré que bien des disques de débris contiennent du dioxyde de carbone gazeux. On peut interpréter cela comme le résultat de collisions de comètes au sein du disque qui, à mesure qu'elles sont broyées en débris de plus en plus petits, libèrent de la glace carbonique, sublimée par la suite en gaz. Quelques systèmes défient cependant cette explication, parce qu'ils contiennent de telles quantités de gaz qu'il faudrait des taux de collisions cométaires invraisemblables pour les produire.

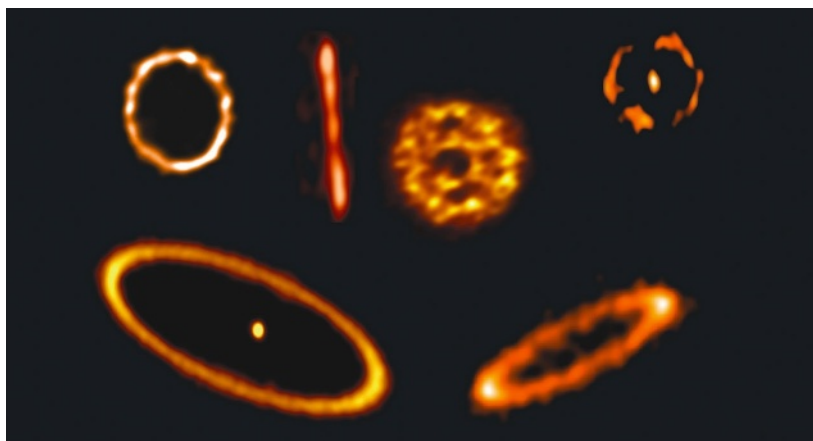
Cette découverte pose une question : est-il possible qu'une partie du gaz originel se maintienne au sein de ces disques non pas pendant quelques millions d'années mais pendant des dizaines de millions d'années ? Pour le moment, nous n'avons pas de réponse.

FUTURS ÉCLAIRAGES À D'AUTRES LONGUEURS D'ONDE

J'ai démarré ma thèse au moment où *Alma* ouvrait les yeux pour la première fois sur le ciel ; et je prends aujourd'hui mon premier poste universitaire alors qu'on assiste à une fascinante transition vers l'astronomie multi-longueurs d'onde. *Alma* a contribué à bouleverser notre compréhension des disques circumstellaires en révélant des complexités de structure et de composition chimique que l'on ne pouvait que deviner il y a quelques décennies. Mais *Alma* ne peut répondre à toutes les questions que nous nous posons.

Tous les disques de débris que j'ai mentionnés ici sont comparables à notre ceinture de Kuiper : de froids anneaux de poussière dans la banlieue extérieure de leurs systèmes solaires. Jusqu'ici, les astronomes ont bataillé en vain pour réaliser des images de ceintures comparables cette fois à notre ceinture d'astéroïdes : nous les décelons seulement sous la forme d'un excès d'infrarouges près de l'étoile mère, exactement comme aux jours anciens du satellite *Iras*.

Pour obtenir des images des régions internes des systèmes extrasolaires, il nous faut accéder à des longueurs d'onde plus courtes, correspondant à des grains de poussière plus chauds. Le télescope spatial *James-Webb* (*JWST*) devrait être lancé en 2021 et nous espérons qu'il prendra les premières photos de ces analogues de notre ceinture d'astéroïdes. De surcroît, le *JWST* fonctionnera à des longueurs d'onde qui correspondent aux émissions des silicates (des minéraux comme l'olivine ou les pyroxènes, que l'on retrouve également sur Terre), ce qui devrait nous renseigner directement sur la composition des grains des disques.



Plus loin dans le futur, les très grands télescopes de la prochaine génération, actuellement en construction, devraient recueillir leurs premières lumières entre le milieu et la fin des années 2020. Ces télescopes auront des diamètres supérieurs à 24 mètres, soit une surface collectrice plus de cinq fois supérieure à celle des plus grands télescopes au sol actuels, et ils pourront peut-être photographier directement les planètes dont nous ne pouvons pour le moment que déduire la présence à partir de l'observation des disques.

L'enquête décennale sur l'astronomie et l'astrophysique – une étude impliquant toute la discipline destinée à guider les futurs investissements aux États-Unis – est en cours. Quatre missions phares de la Nasa sont à l'étude dans ce cadre, dont les retombées pour les sciences planétaires pourraient être considérables dans les années 2030 et au-delà.

Le télescope spatial *Origins*, un observatoire infrarouge cryogénique, devrait déceler la façon dont l'eau contenue dans les nébuleuses où se forment les étoiles est finalement transférée au sein des disques circumstellaires, fournir un échantillon statistiquement significatif de la population de disques de faible masse (indiquant ainsi si notre système est particulier ou au contraire banal), et bien d'autres choses. D'autres candidats comme *Luvoir* (*Grand recenseur ultraviolet/optique/infrarouge*) et *Habex* (*Observatoire des exoplanètes habitables*) sont des missions destinées à produire des images directes susceptibles de caractériser de nombreuses exoplanètes, parmi lesquelles certaines pourraient être semblables à la Terre.

Quelle que soit celle de ces missions qui sera finalement choisie, il y a une chose dont je suis sûre : notre compréhension du Système solaire, de sa formation et de sa place au sein d'un univers peuplé de systèmes planétaires change tous les jours. Quant à la boule au ventre que l'on ressent à chaque fois que l'on attend de découvrir à quoi ressemblent les dernières observations, cette impression ne disparaît jamais. ■

Les disques de débris, ici photographiés par *Alma*, constituent un stade plus tardif de l'évolution des disques protoplanétaires, une fois que l'étoile et ses planètes se sont formées. Ces ceintures brillantes de débris sont comparables à la ceinture de Kuiper du Système solaire.

BIBLIOGRAPHIE

R. Miranda et R. R. Rafikov, **On the planetary interpretation of multiple gaps and rings in protoplanetary disks seen by ALMA**, *Astrophysical Journal Letters*, vol. 878(1), article L9, 2019.

ALMA Partnership et al., **The 2014 ALMA long baseline campaign : First results from high angular resolution observations toward the HL Tau region**, *Astrophysical Journal Letters*, vol. 808(1), article L3, 2015.

M. A. MacGregor et al., **Millimeter emission structure in the first ALMA image of the AU Mic debris disk**, *Astrophysical Journal Letters*, vol. 762(2), article L21, 2013.