

SÉMINAIRES PROPOSÉS PAR
LE PLANÉTARIUM PEIRESC (APAP)

Cours d'initiation à l'astronomie

Fiche 09

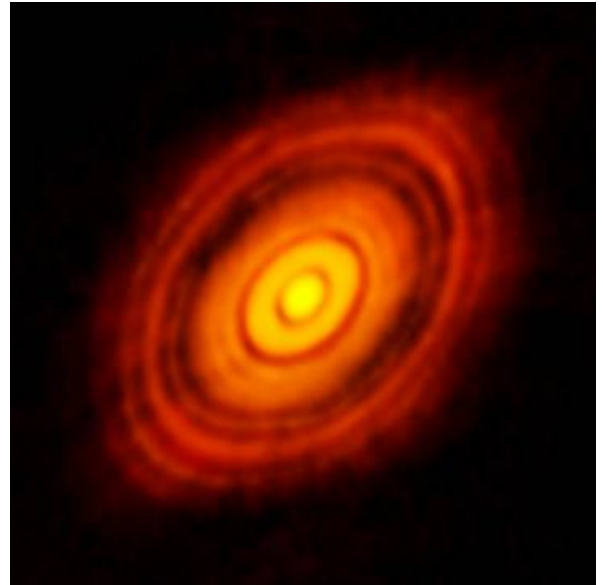
Exoplanètes et formation des systèmes planétaires

Les propriétés physico-mécaniques du Système solaire (cf *diaporama*) avaient conduit les astronomes, avant même que les progrès des télescopes aient rendu possible l'observation d'autres systèmes planétaires, à l'élaboration de différentes **théories sur la formation des planètes** autour de leur étoile.

Aujourd'hui, l'étude des **grandes nébuleuses** de type « **pouponnières d'étoiles** » à l'aide d'instruments modernes permet l'observation de **disques protoplanétaires** où se forment probablement des planètes autour de très jeunes étoiles. Les images les plus précises de ces « **proplyds** » (pour « **protoplanetary disks** ») ont été réalisées par le radiotélescope ALMA (cf *ci-contre*).

Les émissions radio de ces disques de poussière révèlent de véritables **sillons**, où la matière serait récoltée par de gros objets en cours d'accrétion : des **protoplanètes** ! (du grec **protos** : premier, primitif).

Avec la multiplication des découvertes et des observations de disques protoplanétaires autour d'étoiles très jeunes (âgées d'un à quelques millions d'années seulement pour certaines) les étapes envisagées de la formation de ces systèmes vont être considérablement raccourcies : des systèmes planétaires pourraient se structurer bien plus vite que supposé préalablement !



Le proplyd **HL Tauri**, dans la constellation du taureau, à 450 al de la Terre, fut le premier immortalisé par ALMA en 2014. L'étoile centrale, invisible ici en radio, est âgée de moins d'un million d'années ! Les sillons sombres semblent indiquer l'accrétion de gros corps.

Conjugées avec la découverte de nombreuses exoplanètes déjà formées (cf *cours précédent*), ces observations vont bouleverser les théories en vigueur.

Par exemple, de très grosses planètes gazeuses (géantes) se formeraient fréquemment à proximité relative de leur étoile, contrairement à ce qu'on observe actuellement dans le Système solaire ; Jupiter et ses cousines étant éloignées de notre étoile.

Certaines nébuleuses présentent des dimensions colossales, comprenant de multiples régions de formation stellair à différents stades observables. On y trouve de vastes sous-ensembles complexes :

- régions sombres riches en poussière (**nébuleuse obscure**).
- groupes d'étoiles bien formées (**amas ouverts**).
- régions HII (hydrogène ionisé), formées de gaz excité par de jeunes étoiles chaudes (**nébuleuses en émission**).
- **nébuleuses par réflexion** qui réfléchissent comme leur nom l'indique la lumière des étoiles déjà formées.

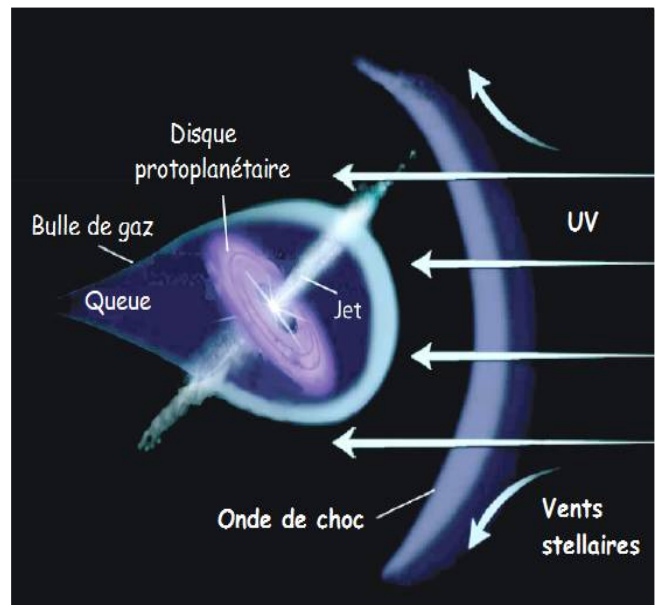
D'autres nébuleuses de moindre importance, ne contenant pas l'ensemble de ces caractères, peuvent être qualifiées dans leur globalité par leur caractéristique principale : la **nébuleuse de la Tête de Cheval**, par exemple, est dite nébuleuse obscure – la **nébuleuse de la Rosette** est quant à elle une nébuleuse en émission (région HII).



La **nébuleuse de la Carène** (hém. sud), située à 8500 al du Soleil, est une des plus grandes nébuleuses connues, avec une largeur estimée à 300 al ! Elle contient un très grand nombre d'amas ouvertes, dont **Trumpler 14**, âgé de moins de 7 Ma.

Ces régions étant riches en poussières, les jeunes systèmes planétaires, y compris leurs étoiles, se forment dans une enveloppe opaque qui nous rend l'observation difficile, en tous cas en lumière visible. Les infrarouges et les ondes radio (cf ALMA en haut de page) nous sont donc d'un grand secours. Ce premier stade observable est qualifié de **globule obscur** (comme les **globules de Bok**, courants dans les régions HII, dont la masse atteint typiquement 10 à 50 masses solaires, et qui donnent en général naissance à des systèmes stellaires doubles ou multiples). A mesure que les poussières se dissipent, les éventuels disques protoplanétaires vont se révéler plus précisément (cf diaporama et schéma ci-contre).

L'effondrement gravitationnel de la matière conduit à la formation d'un disque, dont la rotation s'accélère à mesure qu'il se contracte et s'échauffe. Au centre du disque, la majeure partie des gaz (Hydrogène et Hélium) issus de la nébuleuse vont accréter, formant un objet massif et dense (donc sphérique), siège de la fusion thermonucléaire. **Une étoile est née !** Une fois celle-ci formée, le disque rémanent ne contient plus qu'une infime partie de la matière initiale, typiquement de l'ordre du pourcent. Ce disque, formé majoritairement des mêmes gaz que l'étoile, va peu à peu refroidir et se structurer, sous l'effet de forces d'abord électromagnétiques puis gravitationnelles. Des comètes et petits astéroïdes naîtront probablement, **et plus tard des planètes !**



Ce disque, formé majoritairement des mêmes gaz que l'étoile, va peu à peu refroidir et se structurer, sous l'effet de forces d'abord électromagnétiques puis gravitationnelles. Des comètes et petits astéroïdes naîtront probablement, **et plus tard des planètes !**

Cas particulier : les théories actuelles expliquent assez mal la formation des **étoiles les plus massives**, certes rares mais bien réelles. L'une des hypothèses porte sur la collision de disques d'accrétion de plus petites étoiles en formation !

A noter que les étoiles massives se forment dans de très gros amas, elles contraignent de façon très importante un milieu environnant riche en étoiles de toutes tailles. Ces étoiles massives ayant une vie très courte, elles « meurent » alors que leurs petites voisines entament à peine leur vie d'étoile : elles joueraient donc un rôle majeur dans l'évolution des systèmes planétaires en formation :

- En libérant un **champ ultraviolet** intense, favorisant la production de régions HII propices à la formation stellaire.
- En enrichissant le milieu environnant en **éléments lourds** (jusqu'au Fer), nécessaires à la formation d'objets solides.
- En contribuant par leur masse énorme et par libération d'une **onde de choc** colossale à l'instabilité des nébuleuses, favorisant ainsi les déséquilibres nécessaires au processus de formation de systèmes planétaires.

- **Système solaire** : notre système, celui du Soleil.
 - **Système planétaire** : un système comprenant au moins une étoile et une planète.
 - **Système stellaire** : un système de plusieurs étoiles liées par gravité (systèmes doubles, triples etc).
NB1 : Dans un système stellaire, une ou plusieurs étoiles peuvent posséder des planètes, et donc former un ou plusieurs système(s) planétaire(s) distincts.
NB2 : Le Système solaire est donc un système planétaire qui n'est pas contenu dans un système stellaire.

Les petits corps en accrétion dans le disque protoplanétaire connaissent de multiples perturbations, certains tirant leur épingle du jeu et creusant leur propre sillon (cf HL Tauri page 1). Beaucoup vont se percuter, s'éliminer, se fragmenter, s'expulser ; certains termineront leur vie dans l'étoile, certains quitteront le système à peine formé. Mais d'autres continueront à s'agglomérer, certains allant jusqu'à se densifier, s'arrondir et se différencier (par gravité, cf schéma) jusqu'à devenir de véritables **protoplanètes** :

- Dans les régions les plus froides du disque, certains corps rassembleront précocement autour de leur noyau les gaz majoritaires de la nébuleuse primitive (H, He). Ils formeront alors d'immenses **planètes gazeuses**.
- Plus près de l'étoile, où les conditions ne permettent pas l'accrétion d'éléments volatiles en grande quantité, les objets demeureront plus modestes, mais solides !

Ces **planètes rocheuses** en devenir, sphériques, denses et initialement très chaudes, seront soumises durant des millions d'année à un intense bombardement météoritique, contribuant encore à les enrichir en éléments divers. Certaines sont déjà entourées d'une enveloppe gazeuse, mais c'est par dégazage qu'elles formeront l'essentiel de leur **atmosphère**.

Et qui sait, peut-être l'une sera-t-elle, après quelques millions d'année encore, le siège d'une nouvelle chimie complexe, la chimie de la vie ?

Schéma de la formation planétaire, de la nébuleuse primitive à la planète.

