

Disques circumstellaires de seconde génération et anneaux planétaires

Disques et anneaux, une caractéristique commune des étoiles et planètes

Environ 13 % des étoiles de la séquence principale possèdent des disques circumstellaires. D'abord détectés indirectement sous forme d'excès dans le spectre IR de ces étoiles, ces disques sont maintenant visibles grâce à l'imagerie directe. L'équipe de P.-O. Lagage a ainsi mis en évidence pour la première fois à 10 μm un vide de matière dans un tel disque, vu par la tranche, autour de l'étoile β Pictoris, une étoile A âgée de plusieurs dizaines de millions d'années, au moyen de la caméra TIMMI au foyer du télescope de 3,60 m de l'ESO.

A cette longueur d'onde, la luminosité de l'étoile est très réduite par rapport à celle du disque, ce qui permet de voir ce dernier jusqu'à des distances très proches de l'étoile. Le "vide" apparent au voisinage de l'étoile (Figure 5) est peut-être causé par une planète massive orbitant dans le disque (Pantin, Lagage & Artymowicz 1997). De tels disques sont probablement « de seconde génération », car des étoiles plus jeunes du même type n'en possèdent pas ou plus. D'autres disques, peut-être protoplanétaires, ont été mis en évidence à plus courtes longueurs d'onde autour d'étoiles plus jeunes (comme l'étoile de Herbig HD 100546).

Ces résultats ont été obtenus en utilisant une technique coronographique pour masquer l'étoile, couplée à un système d'optique adaptative (système ADONIS au télescope CFH) et à des logiciels spécifiques de filtrage et de déconvolution d'image mis au point par E. Pantin et J.-L. Starck (Pantin & Starck 1996, Murthag & Starck 1999).

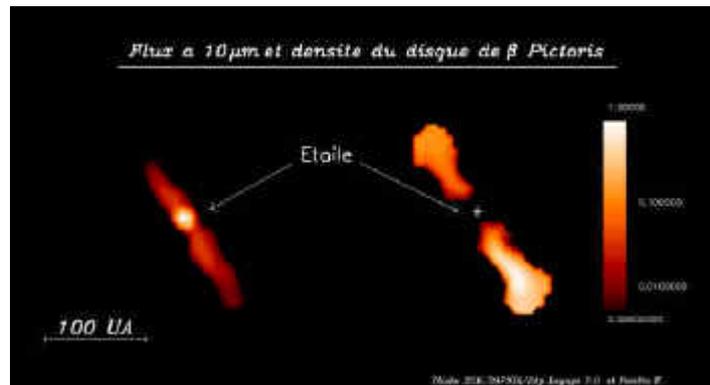
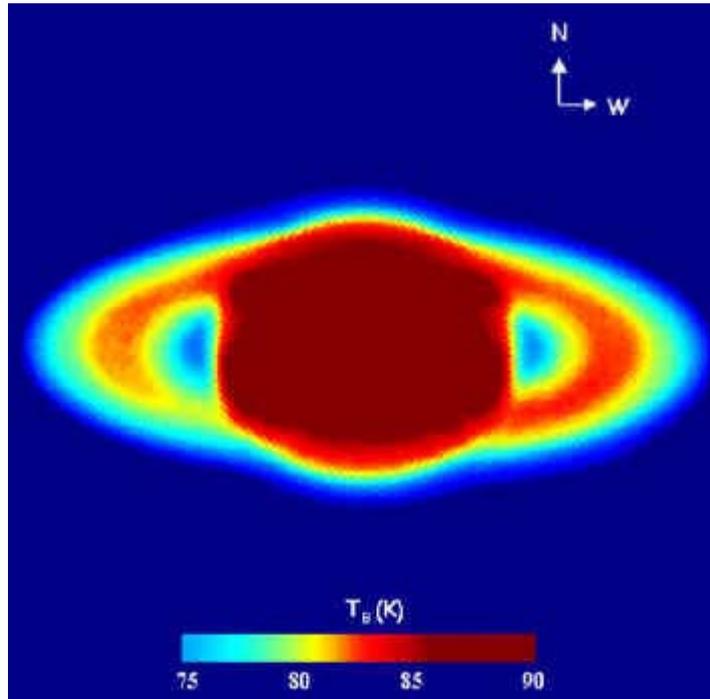


Figure 5 Observations avec la caméra TIMMI (10 mm) du disque autour de l'étoile β Pictoris, vu par la tranche. À gauche, l'émission IR, à droite une image reconstruite de la densité obtenue par l'application d'un modèle d'émission thermique des grains. Le vide qui apparaît au centre pourrait être dû à une planète orbitant à proximité de celle-ci (Pantin, Lagage et Artymowicz 1997).

Des disques sont également présents autour de toutes les planètes géantes du système solaire. Les simulations numériques cherchant à reproduire la structure et l'évolution dynamique des anneaux planétaires ou les outils d'observation et d'analyse de leurs propriétés physiques sont les mêmes que pour l'étude des disques circumstellaires.

L'observation des anneaux de Saturne par C. Ferrari et al. avec la caméra CAMIRAS montée sur le télescope du CFH (Figure 6) a permis de déterminer la distribution de température dans les anneaux et d'en déduire une inertie thermique très faible de la surface des grains (Ferrari et al. 1999). A l'occasion du passage de la Terre dans le plan des anneaux de Saturne en 1995, plus d'une demi-douzaine de nouveaux satellites de Saturne ont été découverts par A. Brahic et coll. (Roddiier et al. 1996, Charnoz et al. 2001). Ces nouveaux objets sont des « grumeaux » dans l'anneau F qui pourraient être des agrégats temporaires de matériau.



Un code numérique, développé à l'origine pour l'étude des anneaux planétaires, a permis de mettre en évidence le phénomène de diffusion collisionnelle, mécanisme par lequel la naissance d'un proto-Jupiter, même de faible masse, pourrait avoir inhibé l'accrétion planétaire au niveau de la ceinture des astéroïdes (Charnoz et al. 2001).

Figure 6 : Les anneaux de Saturne observés par CAMIRAS à 20,5 μm en août 1999 au télescope du CFH. Les particules tournent autour de Saturne dans les sens des aiguilles d'une montre. En passant derrière Saturne (Sud), elles se refroidissent puis se réchauffent en ressortant sur l'anse Est. On déduit de la variation de température une inertie thermique très faible de la surface, caractéristique d'une surface très poreuse ou faite de glace d'eau sous forme amorphe (Ferrari et al. 1999).

On admet généralement que le système solaire s'est formé à partir d'un disque gazeux protoplanétaire. Les observations de disques semblables autour d'étoiles T Tauri suggère également que le disque primordial était turbulent. B. Dubrulle a élaboré un nouveau scénario de la formation du système solaire, dans lequel la turbulence est prise en compte de façon auto-cohérente (voir la méthode utilisée dans le chapitre « Physique Nucléaire »). A grande échelle, l'effet stabilisant de la rotation influe sur l'évolution de la température et la densité de la nébuleuse solaire primitive, et par là sur la coagulation et la sédimentation des grains. Egalement, les vortex à grande échelle piègent les grains de poussière, et donc en font localement augmenter la densité. Ces vortex deviennent donc des sites privilégiés pour la formation de planètes. A petite échelle, la rotation différentielle entraîne le développement de structures cohérentes, modifie le taux des réactions chimiques (comme l'enrichissement en deutérium, Drouart et al. 1999, Robert et al. 2000), et influence le transport à grande échelle par effet de viscosité turbulente. Des travaux sont en cours pour construire un modèle turbulent de type Langevin pour le disque protoplanétaire, sans paramètre ajustable, qui permette de prendre en compte des effets dépendants du temps et des inhomogénéités spatiales.