

« ÉTUDE DE LA FORMATION DES ÉTOILES MASSIVES »

RESUME

Contrairement au cas des étoiles de faible masse, le scénario exact de formation des étoiles massives est encore sujet à débat avec deux problématiques majeures : la fragmentation initiale (les régions de formation d'étoiles massives contiennent un grand nombre de masse de Jeans) et la pression de radiation (la luminosité des étoiles massives est suffisamment élevée pour contrebalancer l'effondrement gravitationnel). Pour chacune de ces problématiques, il a été proposé différents modèles : Bonnell et al. 2004 et McKee & Tan 2003 pour la fragmentation, Yorke & Sonnhalter 2002 et Rosen et al. 2016 pour la pression de radiation. Ces modèles sont encore débattus aujourd'hui, en partie car les simulations numériques sont encore très limitées (de par leurs conditions initiales idéalisées ou les processus physiques modélisés). Le but de cette thèse est de mener des simulations numériques de magnéto-hydrodynamique radiative afin de mieux contraindre les différents scénarios de formation des étoiles massives actuellement proposés et de confronter les résultats numériques aux observations (ALMA par exemple).

DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Le scénario en deux étapes (Larson 1969) de formation des étoiles de faible masse est bien établi. Le gaz du nuage moléculaire initialement optiquement mince subit un premier effondrement isotherme jusqu'à atteindre les densités où il devient opaque. Le gaz forme alors un premier cœur hydrostatique. L'accrétion permet ensuite d'augmenter la température jusqu'à atteindre le seuil de dissociation de H₂, réaction endothermique, qui provoque un second effondrement jusqu'à la formation de la proto-étoile.

Dans le cas des étoiles massives, le scénario exact de formation est encore sujet à débat avec deux problématiques majeures : la fragmentation initiale (les régions de formation d'étoiles massives contiennent un grand nombre de masse de Jeans) et la pression de radiation (la luminosité des étoiles massives est suffisamment élevée pour contrebalancer l'effondrement gravitationnel). Pour chacune de ces problématiques, il a été proposé différents modèles qui sont encore débattus aujourd'hui.

En ce qui concerne la fragmentation, le modèle de « competitive accretion » (Bonnell et al. 2004) considère que les nuages moléculaires se fragmentent en un grand nombre de fragments de même faible masse. Les étoiles massives naissent ensuite de l'interaction de ces petits fragments. A l'inverse, le scénario de « core accretion » (McKee & Tan 2003) considère que les étoiles massives se forment de la même manière que les étoiles de faible masse, la turbulence et le champ

magnétique permettant de diminuer la fragmentation initiale.

En ce qui concerne la pression de radiation, dans le modèle de « disk-accretion » (Yorke & Sonnhalter 2002), l'accrétion sur l'étoile massive se fait principalement par le disque et une éjection de matière d'origine radiative a lieu perpendiculairement à ce disque. Dans l'autre modèle proposé, particulièrement efficace en présence de turbulence (Rosen et al. 2016), des instabilités de Rayleigh-Taylor radiative se développent à l'interface entre des bulles radiatives et l'enveloppe, ces instabilités permettant d'alimenter l'accrétion sur l'étoile.

Pour des raisons de coût en temps de calcul, et contrairement au cas des étoiles de faible masse, les simulations numériques sont encore très limitées pour l'étude des étoiles massives. Elles ne couvrent qu'une partie seulement des conditions initiales et ne tiennent pas compte simultanément de tous les processus physiques à l'œuvre. En particulier, peu d'études modélisent de manière couplée l'influence du champ magnétique (a fortiori les effets de MHD non idéale) et du transfert radiatif (magnéto-hydrodynamique radiative).

Le but de cette thèse est de mener des simulations numériques de magnéto-hydrodynamique radiative afin de mieux contraindre les différents scénarios de formation des étoiles massives actuellement proposés et de confronter les résultats numériques aux observations (ALMA par exemple).

DESCRIPTION

GROUPE/LABO/ENCADREMENT

Cette thèse, encadrée par Matthias González, Maître de Conférences à l'Université Paris Diderot, sera effectuée au sein du LMPA (Laboratoire de Modélisation des Plasmas Astrophysiques), dans le laboratoire AIM (Astrophysique, Instrumentation, Modélisation). Ce laboratoire est à la pointe des simulations numériques en astrophysique en France ([projet COAST](#)) et compte en son sein un groupe d'observateurs de régions de formation d'étoiles mondialement reconnus (P. André, A. Maury).

Laboratoire LMPA : <http://irfu.cea.fr/Sap/>

[Page personnelle Matthias González](#)

TRAVAIL PROPOSE

Pendant cette thèse, le(la) doctorant(e) utilisera le code RAMSES (Teyssier et al. 2002) pour modéliser la formation des étoiles massives. Ce code contient actuellement différents modules de magnéto-hydrodynamique : MHD idéale (Fromang et al. 2006), effets non-idéaux de diffusion ambipolaire et ohmique (Masson et al. 2012), ainsi que différents modules de transfert radiatif : diffusion à flux limité (Commerçon et al. 2011, 2014, González et al. 2015) et modèle M1 (Rosdhal et al. 2013). La plupart de ces modules ont été (co-)développés par des membres du laboratoire AIM.

Dans un premier temps, une étude comparative des différents modèles de transfert radiatif sera menée dans le contexte de la formation d'une étoile massive isolée. Un intérêt particulier sera porté sur une modélisation fine de l'irradiation stellaire (importance des effets multigroupes par exemple). Les mécanismes physiques à l'origine d'éjection de matière, de la formation et de la fragmentation du disque d'accrétion seront étudiés.

Dans un second temps, il conviendra de mener des simulations à plus grande échelle de nuages moléculaires donnant naissance à plusieurs étoiles massives. Elles permettront d'étudier la problématique de la fragmentation initiale ainsi que la fonction de masse initiale.

Tout au long de la thèse, des observations synthétiques à partir des résultats de simulations

et de polarisation. Ces cartes synthétiques seront inter-comparées aux observations.

FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

Stage de master 2 préalable proposé par l'encadrant.

Un master 2 en astrophysique ou simulation numérique est vivement souhaité.

Langages de programmation : Fortran, python.

Eventuellement calcul parallèle : MPI/OpenMP.

COMPETENCES ACQUISES

Autonomie, synthèse de résultats et écriture de rapports (français et anglais), présentations orales (français et anglais).

Programmation, calcul haute performance.

COLLABORATIONS/PARTENARIATS

Collaboration avec Benoît Commerçon (CRAL, ENS Lyon)

CONTACT

Matthias González (matthias.gonzalez@cea.fr)