PhD thesis subject

F. Millour, B. Lopez

Imaging the spinning dust nebulae around dusty Wolf-Rayet stars.

Wolf-Rayet stars are very massive stars at the verge of exploding as supernovae. They are part of the stellar diversity one can see at the tip of massive stars evolution, among LBV, blue supergiants, red supergiants, yellow hypergiants and so on. Wolf-Rayet stars produce large amounts of metallic elements (Nitrogen, Carbon, etc.) which interact with the nearby environment through a very dense outflowing wind of particle. These winds are so powerful that they can break the equilibrium of cool gaz and dust clouds, and as such are among the candidates for triggering star formation regions. Around some Wolf-Rayet, dust can condense very close to the central star. These stars are thought to be binary, and the shock between the two winds of the stars play an important role for dust formation. It is mandatory to understand dust formation conditions around these stars for understanding the shaping of the nebulae and the way the huge amount of gaz and dust material is recycled into the interstellar medium.

A few dusty Wolf-Rayet stars have been observed with optical long-baseline interferometry, but most of these datasets remained untouched so far. With interferometric datasets, one can constrain the geometry of the dusty nebula around these stars with unprecedented resolution.

We developed in Nice a toy model based on an analytical approach to make a first interpretation of interferometric datasets. An update of the model is clearly necessary to improve the matching with existing data. Among the many parameters of the models, the opening angle of the shock is revealing the wind parameters of the two stars and, hence, provide a possibility to estimate the spectral type and masses of the embedded stars. To make a full interpretation of interferometric data, a 3D Radiative transfer model to simulate the environment of dusty WR stars is needed.

Resolving dusty Wolf-Rayet stars is one of the science goals of the MATISSE instrument, the second-generation mid-infrared interferometric instrument of the Very Large Telescope Interferometer. The preparation work of this observing program is started, but a lot of uncertainties remain on e.g. the number of observable stars, the physical parameters constrained by MATISSE observations, the imaging potential of the instrument on such targets. A part of the work will be dedicated to characterize the imaging power of MATISSE in the context of WR stars. New imaging algorithms have been developed in Nice, which take into account the differential phases. One of these algorithms, self-calibration, needs a theoretical studies to evaluate its performances in different conditions. The work on WR star will enable such a case study.

The thesis work is aimed at making a significant advance on that field: the student will make a theoretic work to implement a “pinwheel” nebula model in an existing radiative transfer model. He will have access to existing datasets on dusty WR stars. He will be working on building the Guaranteed Time Observations program on Wolf-Rayet stars of MATISSE and will prepare the observations work with expected results from the instrument. He may contribute to the development of the instrument via the test period in Nice in 2015, and the commissioning period in Paranal, expected to occur in 2016. He will be in an ideal position to contribute to the first MATISSE science observations.

Sujet de thèse

F. Millour, B. Lopez

Étude des nébuleuses spirales de poussière autour des étoiles de Wolf-Rayet.

Les étoiles de Wolf-Rayet (WR) sont des étoiles massives, sur le point d'exploser en supernova. Elles font partie des étoiles de la fin de la séquence évolutive des étoiles massives : LBV, supergéantes rouges, hypergéantes jeunes, etc. Les étoiles de WR produisent en grande quantité les éléments métalliques (Azote, Carbone, etc.) qui interagissent avec l'environnement proche via un vent très dense. Ces vents sont tels qu'ils peuvent rompre l'équilibre de nuages de gaz et de poussière proches, produisant de nouvelles zones de formation stellaires. De la poussière peut condenser proche de l'étoile centrale. Dans ce cas, il s'agit non pas d'une étoile simple mais d'une étoile double, et le choc entre les vents des deux étoiles joue un important rôle dans le processus de formation de poussières. Il est important de comprendre les conditions de la formation de poussières pour comprendre la formation de ces nébuleuses de poussières ainsi que la manière dont le gaz et la poussière sont recyclées dans le milieu interstellaire.

Quelques étoiles de WR contenant de la poussière ont été observées par interférométrie optique à longue base, mais la plupart des données n'ont jamais été analysées. L'interférométrie permet de contraindre la géométrie des nébuleuses autour des WR avec une résolution angulaire inégalée.

Nous avons développé à Nice un modèle analytique pour interpréter des données interférométriques de WR contenant de la poussière. Une mise à jour de ce modèle est nécessaire pour améliorer l'accord aux données existantes. Parmi les paramètres du problème, l'angle d'ouverture du choc révèle les paramètres relatifs des deux vents stellaires, ce qui donne la possibilité de mesurer certains paramètres des deux étoiles. L'interprétation fine des données nécessitera la mise au point d'un modèle de transfert radiatif 3D de l'environnement de ces étoiles.

La résolution des nébuleuses de poussières autour des étoiles WR est l'un des objectifs scientifiques de l'instrument MATISSE, l'instrument infrarouge thermique du Very Large Telescope Interferometer. Le travail de préparation de ce programme d'observation est à peine commencé, et plusieurs aspects mériteraient clarification, tels que le nombre exact de sources observables, quels paramètres physiques sont contraints par des observations MATISSE, ou encore le potentiel d'imager ces nébuleuses. Une partie du travail sera donc d'évaluer les capacités d'imagerie de MATISSE dans le contexte des étoiles de Wolf-Rayet. Plus spécifiquement, un algorithme, self-cal, a été développé à Nice pour prendre en compte les phases différentielles. Une étude théorique donnera des indications sur les performances de cet algorithme pour différents modèles de WR.

Le but de ce travail de thèse est de faire une avancée significative dans ce domaine : l'étudiant travaillera à mettre en place un modèle de nébuleuse spirale 3D en utilisant un code de transfert radiatif. Il aura accès à des données existantes pour comparer son modèle avec des observations. Il travaillera à construire le programme d'observations de MATISSE sur les étoiles WR et préparera le travail en énonçant des prédictions issues de son modèle. Il pourra contribuer au développement de l'instrument, actuellement en tests à Nice, et aux périodes de commissioning prévues en 2016. Il sera en bonne position pour participer aux premières observations scientifiques de l'instrument.