

## « SYSTEMES BINAIRES : FORMATION, EVOLUTION ET ENVIRONNEMENT »

### DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

*Les étoiles massives vivent en couple...*

Un changement de paradigme s'est imposé dans le domaine stellaire: une étude récente montre que plus de 70% des étoiles massives vivent au sein d'un couple stellaire (Sana et al. 2012). Cette binarité a des conséquences majeures sur l'évolution des étoiles, fortement influencée par la présence d'un "compagnon", en particulier via le transfert de matière, de moment angulaire, et la présence d'intenses vents stellaires (Chaty 2013). Le destin des couples d'étoiles massives est déterminé par l'évolution de chaque composante, l'étoile la plus massive s'effondrant en premier lors de l'explosion de *supernova*, donnant naissance à une étoile à neutron ou à un trou noir (Tauris & van den Heuvel, 2006). C'est alors que naît un système binaire compact -un objet compact orbitant autour de son compagnon-, faisant partie des astres les plus fascinants de l'Univers. L'étoile compagnon, massive, se caractérise par une puissante éjection de vent, et l'astre compact, baignant dans ce vent, attire une partie de cette matière, qui, accrétée, s'accumule à la surface, chauffée à des températures de plusieurs millions de degrés, émettant principalement dans le domaine des rayons X. Ces astres donnent souvent lieu à des variations extrêmes de luminosité, de plusieurs ordres de grandeur sur l'ensemble du spectre électromagnétique, sur des échelles de temps allant de la seconde au mois.

*...et influencent leur environnement !*

Il est aujourd'hui clairement établi que l'effondrement d'étoiles massives en supernova joue un rôle clé dans l'enrichissement du milieu interstellaire -depuis les atomes lourds jusqu'aux molécules complexes-, ainsi que dans le déclenchement de la formation de nouvelles étoiles. Par contre, l'étude de l'impact de ces étoiles massives sur leur environnement, tout au long de leur vie, a été longtemps négligée, et le sujet reste grandement méconnu.



*Fig. 1 : Système binaire : astre compact (à droite) orbitant autour d'une étoile massive (à gauche).*

Or, toute la matière éjectée via le vent de l'étoile massive, et non interceptée par l'astre compact, se disperse dans le milieu environnant, jusqu'à entrer en collision avec un milieu interstellaire dense, potentiellement à l'origine du déclenchement de nouvelles naissances d'étoiles, comme indiqué par nos observations récentes avec le satellite *Herschel* (Chaty et al. 2012, Coleiro et al. 2015).

#### Description du sujet de thèse :

Cette thèse propose d'étudier la formation des couples d'étoiles massives, ainsi que leur évolution et leur impact sur leur environnement, à partir d'observations multi-longueurs d'onde.

1. **La formation des étoiles massives** dépend principalement des caractéristiques du milieu interstellaire environnant à leur naissance -telles que densité, composition, métallicité...-, et de la masse des progéniteurs stellaires. Plusieurs observations de binaires compactes, couplées à des études statistiques, montrent que les couples d'étoiles massives naissent au sein de complexes de formation stellaire, berceau des étoiles les plus massives de notre Galaxie (Bodaghee et al. 2012, Coleiro & Chaty 2013). Ces études permettent aussi de suivre l'évolution des systèmes binaires, en particulier leur âge, leur vitesse, leur distance de migration à partir de leur lieu de naissance, etc.

2. **L'évolution des étoiles massives** au sein d'un système binaire est déterminée par de nombreux facteurs, tels que : rapport de masse, séparation

orbitale, et échanges de matière et de moment angulaire. Un échantillon important de binaires compactes est aujourd'hui répertorié, qui a considérablement crû ces dernières années, constitué d'astres à différents stades de leur évolution. Nous pouvons ainsi comparer les contraintes observationnelles sur les âges, *kicks*, et distances de migration de ces astres, avec les prédictions des modèles de synthèse de population. Enfin, le destin final d'un couple d'étoiles massives conduit aux événements les plus énergétiques de l'Univers, les deux composantes étant condamnées à entrer en collision : tant la fréquence que le déroulement de ces phénomènes restent à ce jour très méconnus.

**3. L'impact sur l'environnement des étoiles massives** est une question cruciale à toutes les étapes de la vie de ces étoiles. En effet, tout au long de leur vie, les étoiles massives éjectent un vent stellaire extrêmement puissant, dense et rapide, qui entre en collision avec le milieu interstellaire. Or, nous avons récemment montré, à partir d'observations avec le satellite *Herschel*, qu'un tel vent provenant d'une étoile massive située au sein d'une binaire compacte, pouvait créer une cavité dans le milieu interstellaire environnant, et potentiellement déclencher de la formation stellaire, comme l'indique la présence d'objets stellaires jeunes situés à la lisière de cette cavité (Coleiro et al. 2015). Enfin, aussi bien les explosions de supernova que les collisions d'astres compacts présentent un impact majeur sur le milieu interstellaire environnant, par la quantité de matière et d'énergie relâchée.

Pour conclure, cette thèse, couvrant de nombreux champs de l'astrophysique, depuis la formation stellaire jusqu'à l'impact sur l'environnement, via l'évolution stellaire, permettra de mieux comprendre ces formidables astres que sont les couples d'étoiles massives, dont le rôle est primordial au sein du cycle de la matière.

### DESCRIPTION GROUPE/LABO/ENCADREMENT

Cette thèse, encadrée par Sylvain Chaty, Professeur à l'Université Paris Diderot, se déroulera au sein du LEPCHE (Laboratoire d'Etude des Processus Cosmiques de Haute Energie), dans le laboratoire AIM (Astrophysique Interactions Modélisations). Ce laboratoire est idéal pour effectuer cette thèse couvrant plusieurs domaines de l'astrophysique, permettant des

interactions avec les différents groupes travaillant sur les systèmes binaires, la formation stellaire, le milieu interstellaire, les galaxies, etc...

### TRAVAIL PROPOSE

- Bibliographie
- Analyse d'observations en optique, infrarouge et radio de l'environnement d'étoiles massives : Observations déjà obtenues : satellite *Herschel*, VLT (instruments X-shooter, ISAAC), VLT-I (instrument PIONIER)
- Ecriture d'articles scientifiques
- Ecriture de propositions de temps de télescope (ESO, ALMA...)
- Présentations orales en congrès nationaux et internationaux

### FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

Master en Astronomie et Astrophysique

### COMPETENCES ACQUISES

Plusieurs compétences acquises et développées au cours de cette thèse seront valorisables et transférables à d'autres domaines: non seulement l'analyse d'image à différentes longueurs d'onde (optique, infrarouge, radio), ainsi que le traitement de données, mais aussi la rédaction d'articles, de propositions de temps de télescope, le travail en équipe, et les présentations orales en congrès nationaux/internationaux.

### COLLABORATIONS/PARTENARIATS

Diverses collaborations de recherche (nationales et internationales) seront poursuivies et/ou mises en place pendant la thèse.

### CONTACTS

Scientifique : Sylvain CHATY : [chaty@cea.fr](mailto:chaty@cea.fr)

### BIBLIOGRAPHIE

- Bodaghee et al., 2012, ApJ, 744, 108
- Chaty et al., 2012, POS, 176, 92
- Chaty, 2013, Advances in Space Research, 52, 2132
- Coleiro, Chaty, 2013, ApJ, 764, 185
- Coleiro, Chaty, Servillat et al., 2015, *subm.*
- Sana et al., 2012, Science, 337, 444
- Tauris T.M. & van den Heuvel E.P.J., 2006, in Compact stellar X-ray sources, 623-665