

## Simulation de chocs dans les étoiles pulsantes

Claire Michaut, Marco Mancini – LUTH

Océane Saincir, doctorante – LUTH & Labo de Math. de l'U. de Reims (LMR)

Laurent Di Menza (LMR), Serge Bouquet (CEA-DIF/DPTA) – tous deux affiliés au LUTH

Pierre Kervella, Sylvestre Lacour – Equipe HRA du LESIA

Dans le cadre de l'action fédératrice Etoiles, nous proposons une collaboration entre théoriciens d'une part et observateurs d'autre part, avec une application concrète aux étoiles pulsantes. Typiquement, une étoile est un plasma chaud et dense qui subit de fortes modifications au cours de sa vie, lesquelles provoquent des écoulements supersoniques et radiatifs. Or la modélisation de ces phénomènes est loin d'être facile et parfaitement comprise. Au LUTH, notre équipe a développé le code HADES 2D pour la simulation de modèles hydrodynamiques radiatifs. Le projet est pluriannuel.

Après une interruption du projet, due à l'état de santé de deux de ces membres, nous espérons bien recueillir de nouveaux résultats de simulations numériques cette année 2018.

Le contexte est de traduire en observable la conséquence de la propagation de chocs dans les enveloppes de céphéides. La méthode est de produire des simulations numériques avec le code HADES de la pulsation de l'enveloppe, de laisser évoluer le comportement hydrodynamique sur un nombre de cycles assez grands, car il y a des collisions de chocs. Puis, nous calculons l'émission et l'absorption de la raie  $H\alpha$  le long d'une ligne de visée, afin de reconstruire un observable.

En effet, les observations de céphéides menées par le LESIA, montrent un spectre  $H\alpha$  en absorption, sauf lors de la phase critique de rebond, après le passage au rayon minimum, où apparaît une composante en émission. P. Kervella et ses collègues supposent que la physique de l'enveloppe est altérée par la présence de chocs forts, car le décalage Doppler dans le spectre d'émission est net.

Nous avons commencé par définir le cadre précis des simulations numériques que nous devons menées et les étapes à franchir. Nous considérons que la pulsation est engendrée dans la photosphère et débouche dans l'enveloppe. Afin de contenir celles-ci, nous avons ajouté la force gravitationnelle notre schéma numériques. Notre céphéide de référence est I-Carinae. Nous étudierons le choc, au cours du temps, dans la dite enveloppe. D'après Nardetto et al. 2008, les chocs auraient des vitesses autour de 100 km/s, donc on prendra une taille d'enveloppe de l'ordre de 3 unités astronomiques.

Les enveloppes d'étoiles présentent un gradient de densité massique en fonction du rayon, donc nous savons d'ores et déjà que la propagation des chocs sera soumise à des effets d'accélération (ou décélération dans le sens opposé) parce que le milieu n'est pas homogène. Nous devons donc mener une étude académique de la propagation des chocs en milieu non uniforme.

Nous avons déjà reconstruit un observable autour de la raie  $H\alpha$  dans une étoile non pulsante, mais de type P-Cygni dû au vent stellaire. C'est le point de départ qui nous permet d'étudier les variations qualitatives de cette raie au cours de nos simulations et en fonction des opacités du milieu au passage du choc.

Le budget AFE contribue aux déplacements Reims/Paris, pour O. Saincir et L. Di Menza (1,6 k€). A la présentation de nos travaux à la conférence EPS-PPD'18, à Prague (~2,4 k€). Nous demandons 4 k€ à l'AFE.