

# Phénomènes d'accrétion magnétique en astrophysique de laboratoire: le projet POLAR

Le projet POLAR est un projet d'astrophysique de laboratoire dont l'objectif est de reproduire les processus de hautes énergies que l'on rencontre dans les variables cataclysmiques magnétiques. Au fait que le rayonnement, la matière et le champ magnétique sont fortement couplés dans ces environnements extrêmes, s'ajoute la difficulté à les observer directement, ce qui complique encore leur modélisation. Grâce aux remarquables propriétés de similarité qu'ils présentent, nous pouvons, à l'aide des lasers de puissance, en reproduire une réplique homothétique et caractériser sa dynamique. Ainsi, les expériences lasers deviennent des outils essentiels et complémentaires aux observations astronomiques afin de tester, valider et améliorer notre compréhension des phénomènes astrophysiques.

E. Falize • B. Loupiaz • J.-P. Leidinger • C. Busschaert CEA-DAM Île-de-France  
 A. Ravasio • M. Koenig • A. Dizière • C. D. Gregory Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses (LULI),  
 École Polytechnique, Palaiseau  
 C. Michaut • C. Cavet Laboratoire Univers et Théorie (LUTH), CNRS, Observatoire de Paris, Meudon

La mise en service progressive d'installations lasers concentrant de plus en plus d'énergie est une opportunité unique de produire des écoulements hydro-radiatifs représentatifs de ceux que l'on rencontre dans les environnements astrophysiques de hautes énergies. Nous avons récemment montré que l'on pouvait simuler en laboratoire les processus d'accrétion qui interviennent dans un type d'objets particulier que l'on appelle les variables cataclysmiques magnétiques (VCms) [1,2].

Les VCms sont des systèmes binaires en interaction, dans lesquels une naine blanche magnétique accrète de la matière provenant d'une étoile compa-

gnon de faible masse [3]. Le champ magnétique de certaines naines blanches est tellement puissant que le plasma accrété est directement guidé par les lignes de champ qui vont le ramener au niveau de leurs pôles magnétiques. On parle dans ce cas d'objets de type *polar* (figure 1). Dans ces objets, l'impact du plasma supersonique ( $v \sim 1000$  km/s) avec la photosphère de la naine blanche donne naissance à un choc fort (le choc d'accrétion) qui remonte progressivement le plasma accrété.

Lorsque la matière traverse le choc d'accrétion, elle atteint des températures de l'ordre de  $10^8$  K avant de tomber sur la surface de l'objet compact. Ces conditions extrêmes sont telles que le plasma

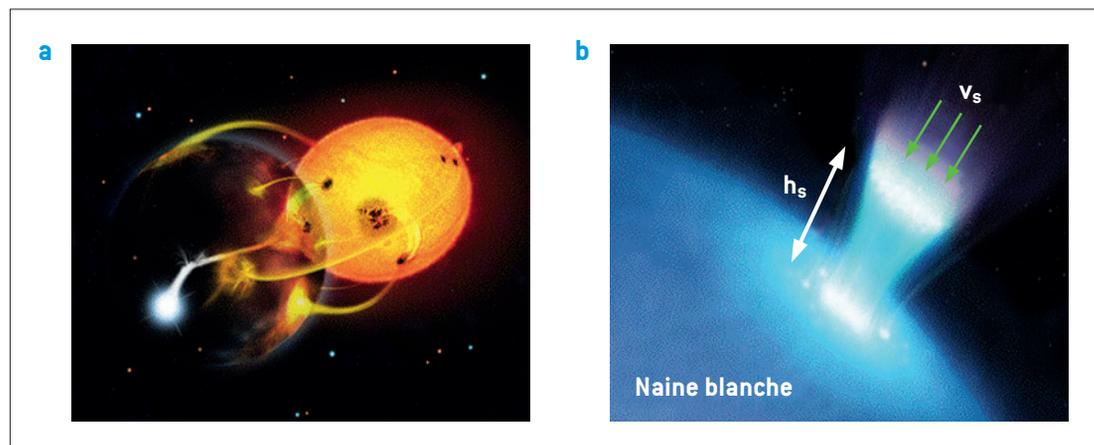
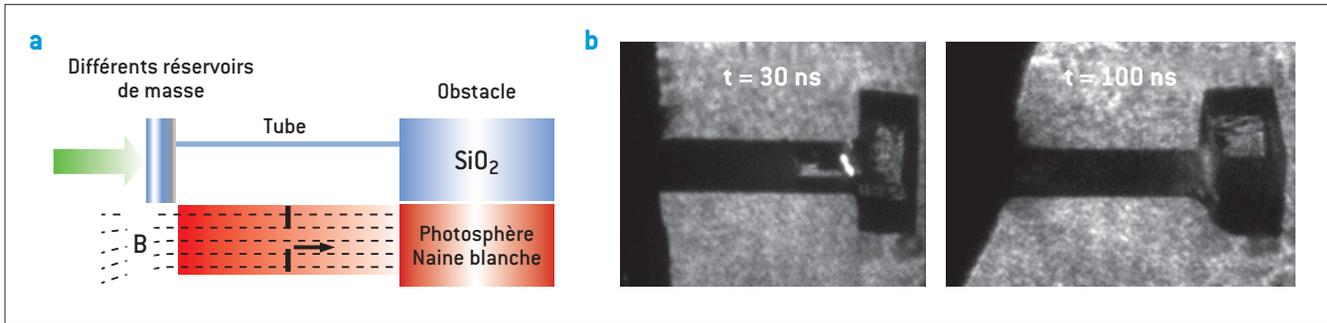


Figure 1. (a) Vue d'artiste d'une variable cataclysmique magnétique de type polar. (b) Zoom sur la zone d'accrétion proche de la surface de la naine blanche.



**Figure 2.** (a) Principe de la cible laser. Le tube joue le rôle du champ magnétique et l'obstacle celui de la surface de la naine blanche. (b) Ombroscopie à deux temps différents. On voit le plasma remplir le tube. C'est lors de la collision avec l'obstacle que le choc retour se forme et remonte le plasma du tube.

émet un puissant rayonnement qui modifie les propriétés physiques de la matière accrétée [1]. Puisque la principale source de rayonnement X provient de la zone d'accrétion et que celle-ci n'est pas altérée par une source secondaire, les VCms sont des objets parfaits pour étudier les phénomènes d'accrétion dans des conditions extrêmes. Malheureusement, cette zone possède une extension spatiale faible, de l'ordre du rayon de la naine blanche ( $L \sim 1000$  km), rendant difficile son observation directe et sa caractérisation. Par conséquent, toute notre compréhension repose sur des modèles astrophysiques, quelquefois contradictoires, rendant compte des observables. Dans la perspective de discriminer les différents modèles, l'expérience s'avère être une opportunité unique et fondamentale.

Grâce aux propriétés de similarité remarquables que présentent ces écoulements, nous avons montré théoriquement que l'utilisation d'une loi d'échelle adaptée permettait de reproduire et de caractériser ces chocs en laboratoire [1,4,5]. Ainsi, des phénomènes qui ne sont pas observables à l'échelle astrophysique deviennent étudiables en laboratoire. C'est l'un des rares phénomènes astrophysiques qui mêle l'hydrodynamique à des processus radiatifs dont on peut concevoir une véritable maquette. Les résultats théoriques montrent qu'il est alors nécessaire d'atteindre des vitesses ( $v \sim 500$  km/s) et des températures ( $T \sim 10^6$  K) caractéristiques de celles que l'on créera avec le Laser Mégajoule. Afin de nous préparer au mieux à l'arrivée de ce type d'installation, il est indispensable de réaliser des expériences pertinentes sur des aspects physiques spécifiques du problème étudié avec des installations plus flexibles dans le but de caractériser plus facilement le plasma de laboratoire et de valider certaines parties du dimensionnement.

C'est ce qui a été fait lors de la première expérience associée au projet POLAR et qui a été réalisée sur l'installation du LULI2000 [2].

Son objectif était de produire un choc retour dans une colonne de plasma et d'observer sa dynamique tout en caractérisant le flot de plasma incident. Pour cela, de nouveaux schémas de cibles ont été proposés et testés, et de nombreux diagnostics ont été simultanément mis en place dans le but de caractériser, dans son intégralité, la dynamique du plasma créé (figure 2). Au cours de cette expérience, nous avons obtenu des résultats qui ont confirmé l'apport essentiel des lasers de puissance sur la compréhension des phénomènes d'accrétion dans les VCms.

Ainsi, grâce à cette approche inédite et originale, nous avons ouvert une nouvelle voie qui s'avère très prometteuse. Ces études permettront de mieux comprendre et modéliser les processus d'accrétion intervenant dans les VCms en reproduisant de véritables modèles réduits de phénomènes astrophysiques de hautes énergies.

## RÉFÉRENCES

- [1] E. FALIZE *et al.*, "Analytical structure of steady radiative shocks in magnetic cataclysmic variables", *Astrophys. Spac. Sci.*, **322**, p. 71-75 (2009).
- [2] E. FALIZE *et al.*, "The scalability of the accretion column in magnetic cataclysmic variables: the POLAR project", *Astrophys. Spac. Sci.* (2011) doi [10.1007/s10509-011-0655-4](https://doi.org/10.1007/s10509-011-0655-4).
- [3] K. W. WU, "Accretion onto magnetic white dwarfs", *Spac. Sci. Rev.*, **93**, p. 611-649 (2000).
- [4] E. FALIZE, A. DIZIÈRE, B. LOUPIAS, "Invariance concepts and scalability of two-temperature astrophysical radiating fluids", *Astrophys. Spac. Sci.* (2011) doi [10.1007/s10509-011-0677-y](https://doi.org/10.1007/s10509-011-0677-y).
- [5] E. FALIZE, C. MICHAUT, S. BOUQUET, "Similarity properties and scaling laws of radiation hydrodynamic flows in laboratory astrophysics", *Astrophys. J.*, **730**(2), 96 (2011).