

LES OBJETS COMPACTS ET L'ASTROPHYSIQUE DES HAUTES ÉNERGIES

QU'EST CE QU'UN
OBJET COMPACT ?

Les objets compacts sont les résidus de l'évolution des étoiles normales'. Les naines blanches sont issues de l'évolution des étoiles de moins de 10 fois la masse du Soleil, et les étoiles à neutrons proviennent de l'effondrement du cœur d'une étoile massive après éjection de son enveloppe dans l'explosion d'une supernova. Les trous noirs sont produits dans l'effondrement des étoiles les plus massives.

1 - À l'exception des trous noirs supermassifs qui ne sont pas abordés dans ce poster.

	Naine blanche	Etoile à neutrons	Trou noir
Masse	de 0,4 à 1,4 fois la masse du Soleil	de 1,4 à plus de 2 fois la masse du Soleil	de 2-3 à plusieurs dizaines de masses solaires
Taille	comparable à la Terre	comparable à Paris	la taille pertinente est celle de l'horizon des événements : de 10 à 100 km
Masse volumique	-1 tonne par cm ³	-100 millions de tonnes par cm ³	
Echelle de temps des phénomènes associés	Heure, minute	Seconde, milliseconde	Seconde, milliseconde
Domaine spectral des phénomènes associés	Visible, ultra-violet	Radio (pulsars) - ultra-violet, rayons X et γ	Ultra-violet, rayons X et γ
Moyens d'observation	Télescopes au sol	Radio-télescopes au sol - Satellites	Satellites
Relativité ?	La relativité générale donne de petites corrections (<1%)	La relativité générale est importante (correction de ~10%)	Les trous noirs sont des objets relativistes par essence

On pourrait ajouter à ces propriétés une rotation pouvant être très rapide (jusqu'à 1000 tours par seconde) et un champ magnétique potentiellement très élevé pour les étoiles à neutrons et les trous noirs.

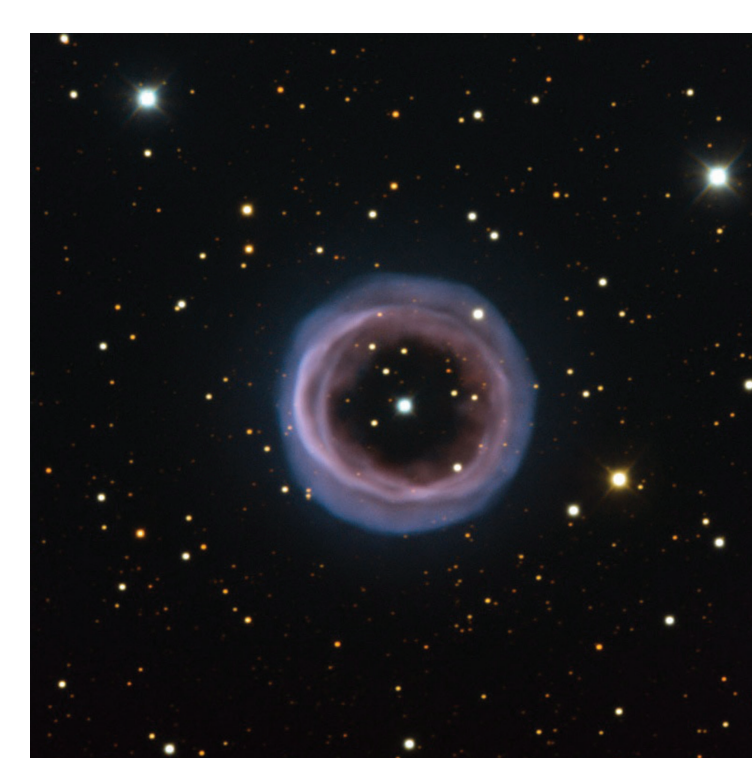
POURQUOI ÉTUDIER
LES OBJETS COMPACTS ?

Les objets compacts peuvent être étudiés « pour eux-mêmes » (on s'intéresse alors à leur structure et leur évolution) ou pour l'effet qu'ils exercent sur leur environnement en particulier quand ils sont associés à une autre étoile dans un système binaire serré. L'accrétion par l'objet compact de matière en provenance du compagnon peut alors donner lieu à une grande variété de phénomènes : formation d'un disque d'accrétion, instabilités thermiques ou dynamiques, flashes thermonucléaires, production d'un jet, etc.

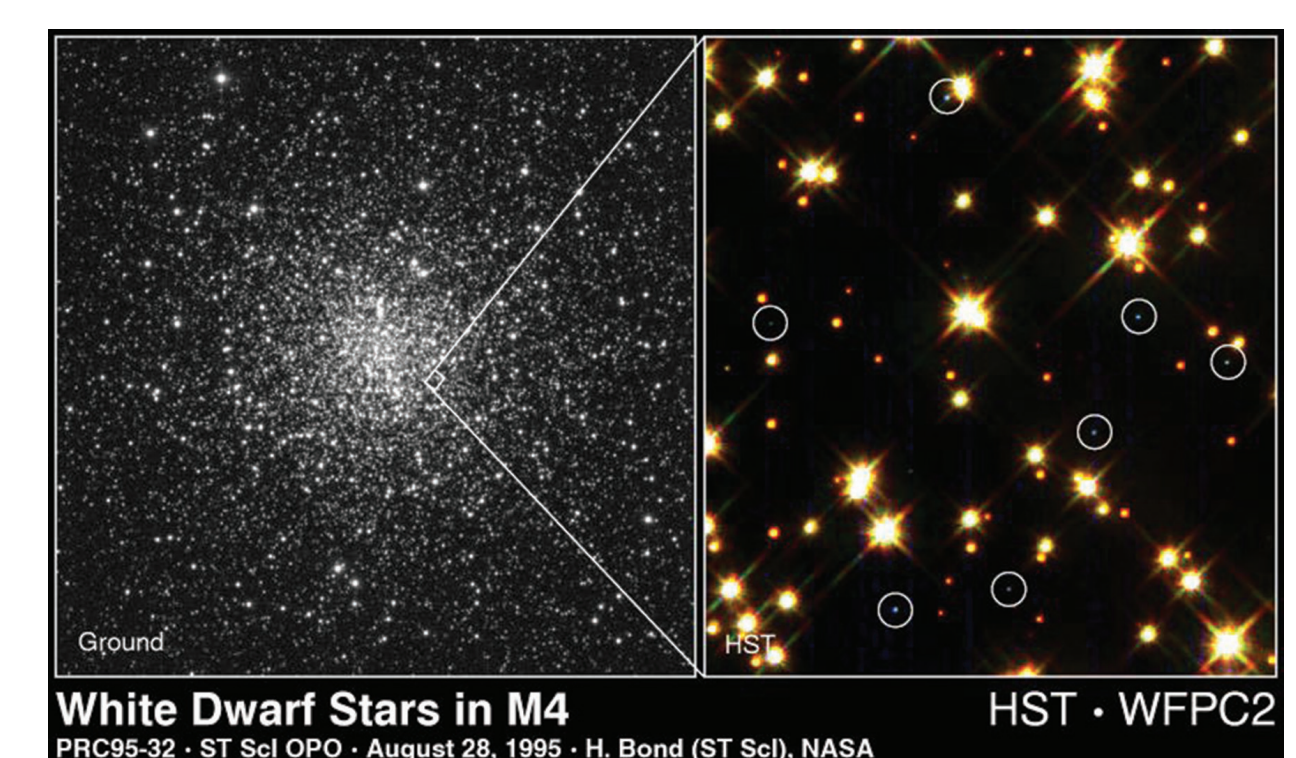
TROIS EXEMPLES
DE RECHERCHE SUR
LES OBJETS COMPACTS
À L'IAP

LE REFROIDISSEMENT DES NAINES BLANCHES

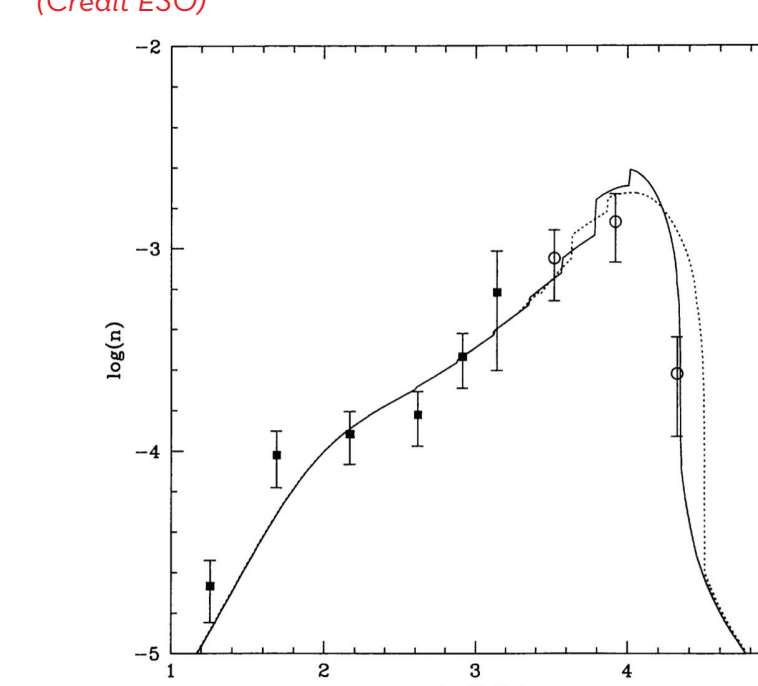
Les naines blanches sont constituées de carbone et d'oxygène avec une fine atmosphère d'hydrogène et/ou d'hélium. Elles proviennent du cœur d'une étoile mis à nu après l'éjection de l'enveloppe externe qui forme une « **nébuleuse planétaire** ». Au moment de leur formation leur intérieur est très chaud (100 millions de degrés). Il va lentement se refroidir, d'abord en émettant des neutrinos puis par transport de chaleur à travers l'atmosphère. Progressivement l'intérieur se cristallise et devient solide ! Un modèle détaillé du refroidissement permet d'estimer l'âge d'une naine blanche à partir de sa luminosité et de faire ainsi de ces étoiles des chronomètres cosmiques permettant de dater certains amas globulaires ou le disque de notre Galaxie.



La nébuleuse planétaire Sharpley 1 (Crédit ESO)



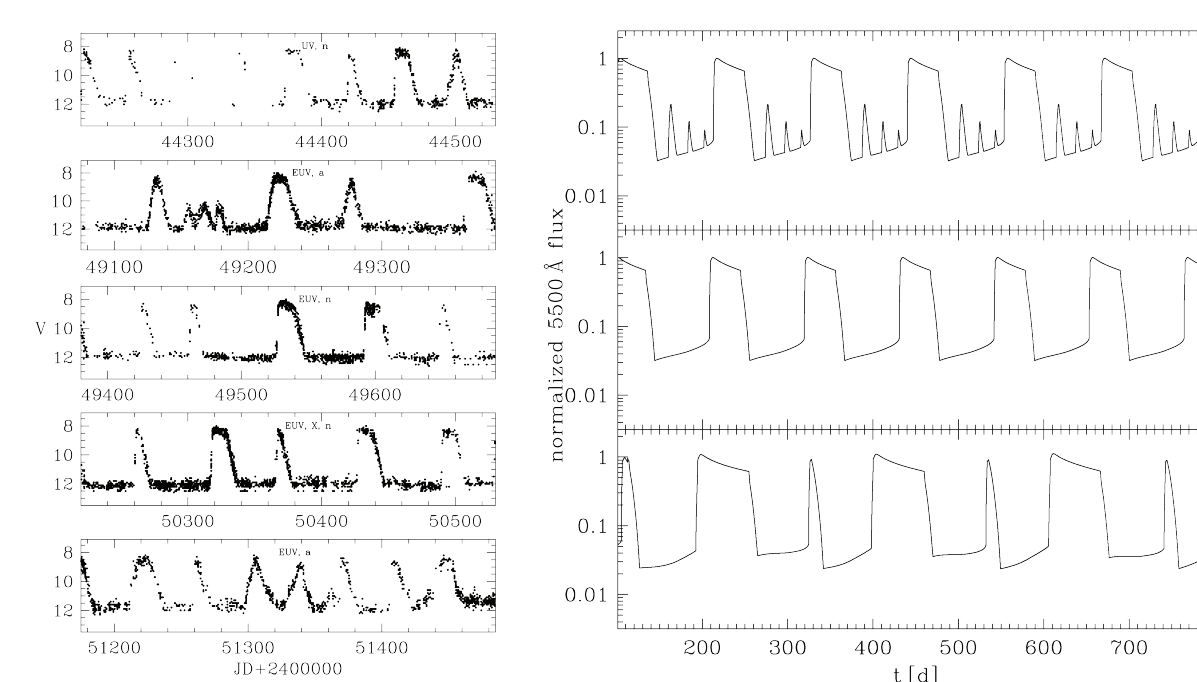
White Dwarf Stars in M4
PRC95-32 - ST Sci OPO - August 28, 1995 - H. Bond (ST Sci), NASA
HST - WFPC2
Les naines blanches de l'amas globulaire M4 (entourées d'un petit cercle dans l'image de droite). Les plus vieilles ont un âge de 12 milliards d'années. (Crédit NASA/HST)



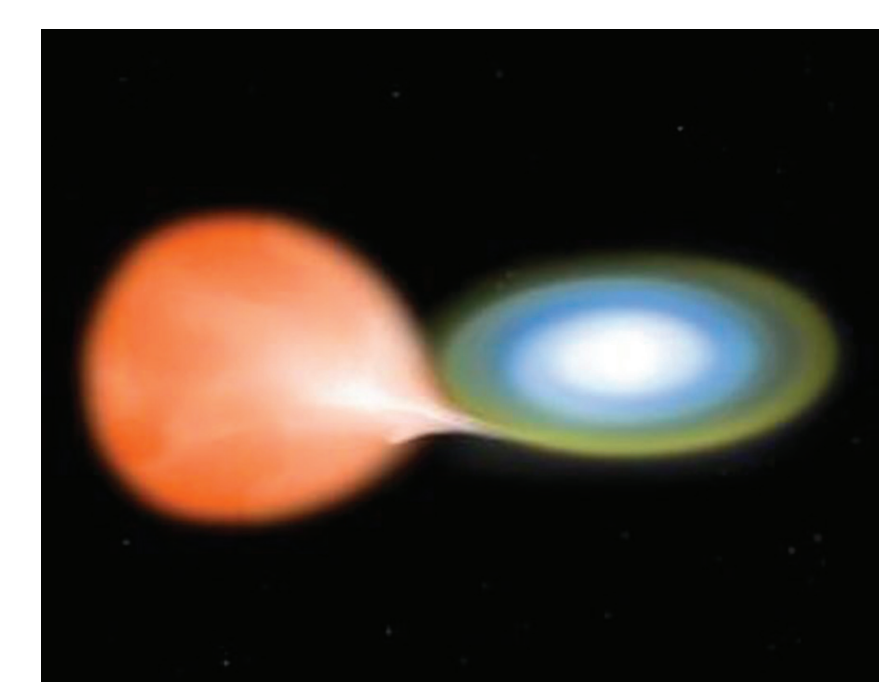
Répartition de la luminosité des naines blanches dans le disque de notre Galaxie. La coupe aux faibles luminosités ($10^{-4} L_{\odot}$) correspond aux plus anciennes naines blanches. Par comparaison avec un modèle (collaboration IAP/Université de Barcelone) cette fonction de luminosité permet de fixer l'âge du disque dans un intervalle de 10 à 12 milliards d'années.

LES NOVAE NAINES : INSTABILITÉ DANS LE DISQUE D'ACCRÉTION AUTOUR D'UNE NAIN BLANCHE

Dans une nova naine le transfert de masse à partir du compagnon n'est pas stable : après une phase d'accumulation lente, le disque d'accrétion se vide sur la naine blanche, produisant les variations d'éclat observées (fig. ci-contre à gauche). Souvent celles-ci ne sont pas régulières, ce que le modèle (fig. ci-contre au milieu) tente de reproduire en jouant sur la structure du disque ou le taux de transfert de masse.

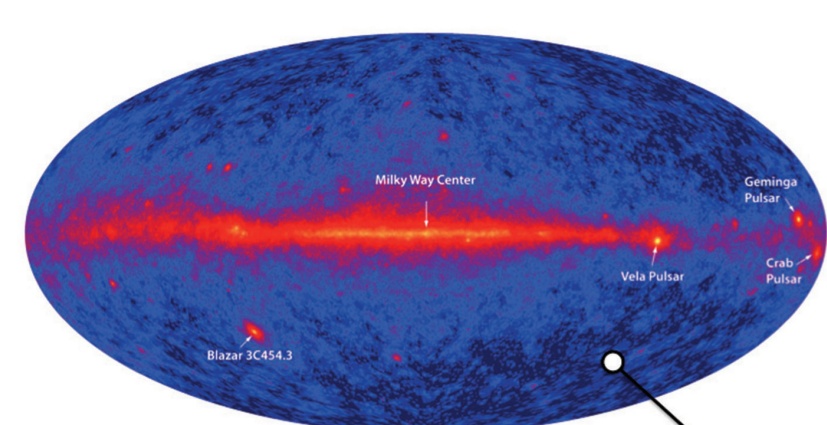


La première figure représente la courbe de lumière d'une nova naine (domaine visible) : noter les variations d'éclat. La seconde figure présente les résultats d'un modèle développé en partie à l'IAP pour cette nova naine. La troisième figure est une vue d'artiste d'une nova naine avec le disque d'accrétion autour de la naine blanche et une étoile compagnon qui l'alimente. (Crédits : Schreiber, Hameury & Lasota, A&A, 410, 239 (2003) pour les deux premières figures ; CXC/M.Weiss pour la figure à droite)

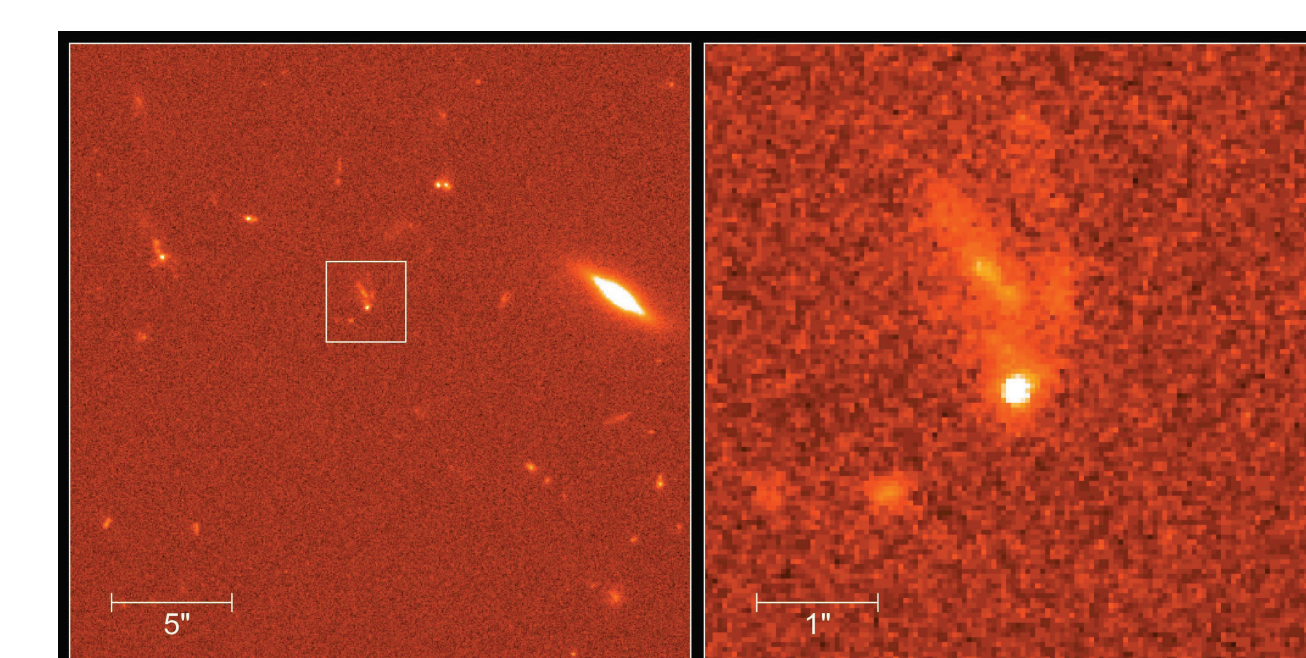
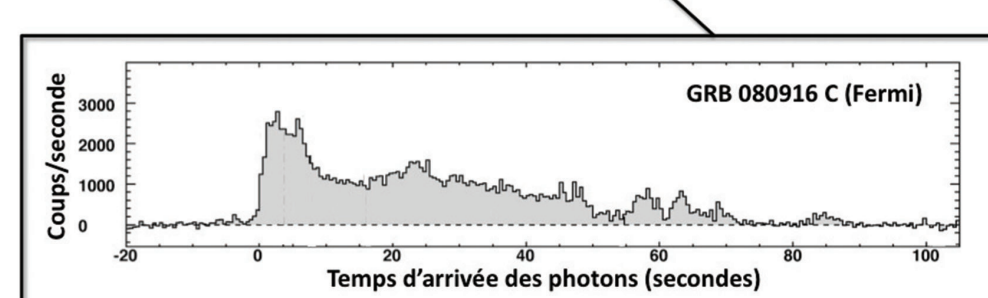


LES SURSAUTS GAMMA

Les sursauts gamma sont parmi les phénomènes astrophysiques les plus extrêmes. Ils se présentent comme de très brefs épisodes d'émission gamma (de quelques millisecondes à quelques centaines de secondes), si intenses que pendant sa courte durée un sursaut gamma est la source la plus brillante de l'Univers ! Ils se produisent dans des galaxies lointaines. Leur lumière a voyagé pendant plusieurs milliards d'années avant de nous parvenir. Ils sont associés à des cataclysmes cosmiques conduisant à la formation d'un trou noir entouré d'un disque d'accrétion. Ce système éjecte de la matière à une vitesse proche de celle de la lumière. C'est cet éjecta ultra-relativiste qui émet le sursaut gamma. A l'IAP, nous modélisons la physique extrême mise en jeu et nous nous intéressons aussi à l'utilisation des sursauts gamma pour explorer l'Univers à grande distance, c'est-à-dire très jeune.



Le ciel vu dans le domaine gamma et un exemple de sursaut gamma très brillant détecté par le satellite Fermi. La courbe montre l'intensité en fonction du temps. La durée du phénomène est ici d'environ 100 s. (Crédits : Fermi collaboration)



La galaxie hôte du sursaut gamma GRB 990123 observée dans le visible par le télescope spatial Hubble. La figure de droite est un zoom sur la galaxie. L'observation est faite quelques jours après le sursaut gamma et la lumière résiduelle (appelée rémanence) est encore très intense (point brillant au centre). Lorsque ce sursaut a été émis, l'Univers n'était âgé que d'environ 4 milliards d'années contre 13 aujourd'hui. (Crédits : NASA/HST)

Vues d'artiste d'un sursaut gamma. On reconnaît les éléments principaux du modèle : le disque d'accrétion autour d'un trou noir nouvellement formé et le jet ultra-relativiste. (Crédits : Aurore Simonnet/Sonoma State University, NASA)