

NEWCOMPSTAR

EXPLORER LA PHYSIQUE FONDAMENTALE
AVEC LES ÉTOILES COMPACTES

2014 – 2017

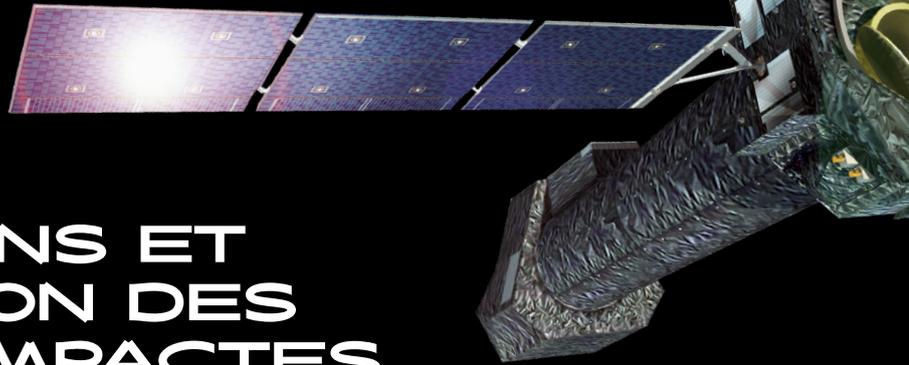


Les étoiles compactes telles que les étoiles à neutrons, les étoiles étranges ou les étoiles hybrides sont des laboratoires uniques qui nous permettent d'étudier les composants élémentaires de la matière et leurs interactions dans des conditions que les laboratoires sur Terre ne peuvent pas atteindre. Ces astres exceptionnels ont déjà permis des découvertes révolutionnaires en physique nucléaire et subatomique, en théorie quantique des champs, en relativité générale et en physique des hautes énergies.

La prochaine génération de télescopes et de détecteurs d'ondes gravitationnelles nous donnera la possibilité de faire de nouvelles découvertes en complément de celles déjà réalisées grâce aux expériences de physique nucléaire et subatomique.

L'Action MPNS COST MP1304 « Explorer la physique fondamentale avec les étoiles compactes » (NewCompStar) a réuni des experts reconnus dans le domaine de l'astrophysique, de la physique nucléaire et de la gravitation afin d'explorer ce domaine de recherche fascinant et stimulant grâce à une approche interdisciplinaire. En plus d'un projet de recherche innovant pré-établi, le réseau ainsi formé a mis en place un programme spécifique pour former une nouvelle génération de scientifiques dont l'expertise couvrant de nombreux domaines et les compétences multiples sont aussi adaptées au transfert de connaissances et à l'innovation.

Fig. 1 – Le télescope XMM-Newton, observatoire en rayons X de l'agence spatiale européenne.
Crédit : Spacecraft Icons at NASA Science



1. OBSERVATIONS ET MODÉLISATION DES ÉTOILES COMPACTES

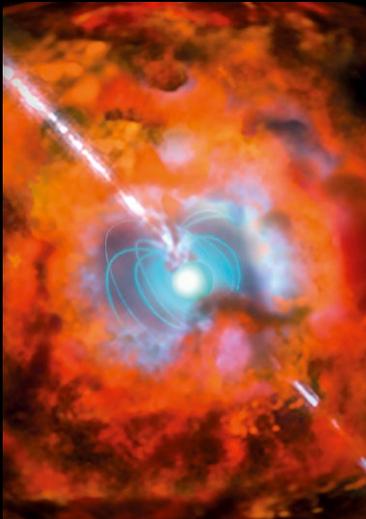


Fig. 2 – Sursauts gamma et magnétars. Les sursauts gamma sont les phénomènes les plus violents de notre Univers. Nous savons aujourd'hui que les sursauts « longs » sont émis lors de la mort des étoiles massives, tandis que les « courts » sont probablement dus à la fusion de deux objets compacts âgés (étoiles à neutrons et/ou trous noirs). Représentation artistique d'une supernova et du sursaut gamma associé créés par un magnétar, une étoile à neutrons avec un très fort champ magnétique, en rotation rapide. Crédit : ESO (<http://www.eso.org/public/images/eso1527a/>)

De nouveaux télescopes sur Terre et dans l'espace ont récemment permis de grandes avancées dans notre compréhension de l'astrophysique des étoiles compactes. En outre, des instruments actuellement opérant ou en préparation, comme FAST le plus grand radiotélescope à réflecteur unique du monde, LOFT qui permettra d'observer et de modéliser le signal émis par les pulsars avec une précision jamais atteinte et SKA avec sa grande sensibilité, nous fourniront une mine d'informations sur les étoiles compactes.

L'interaction étroite entre les théoriciens et les observateurs dans le cadre de cette Action a permis le développement d'une approche globale dédiée à l'étude des propriétés et de la phénoménologie des étoiles à neutrons, prenant en compte à la fois la microphysique et la modélisation théorique de l'espace-temps.

L'objectif de l'Action a été de réunir les différents résultats, parfois contradictoires, obtenus grâce aux observations dans le domaine radio, X et gamma, et de les confronter avec les prédictions théoriques (par exemple, simulations hydrodynamiques et magnétohydrodynamiques des étoiles à neutrons, modèles de glitch – changement brusque de la période de révolution d'un pulsar, processus d'émission du rayonnement, modèles d'atmosphère et de magnétosphère, simulations de supernova) et leurs implications (par la modélisation de la population des étoiles à neutrons).

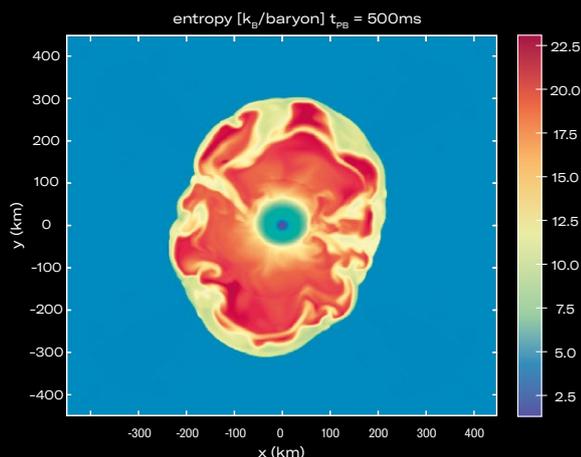


Fig. 3 – Supernova gravitationnelles : fascinants feux d'artifice cosmiques. Capture d'une simulation tridimensionnelle de supernova gravitationnelle : entropie par baryon lors du début de l'explosion dans une région de 1000 km autour de la supernova.
Crédit : K. Ebinger, O. Heinemann, M. Liebendörfer

2. PHYSIQUE DE L'INTERACTION FORTE : THÉORIE ET EXPÉRIENCES DE LABORATOIRE

Les étoiles compactes et les phénomènes astrophysiques observés qui y sont associés permettent de fortement contraindre les propriétés de la matière ultra-dense (les densités excèdent celles du noyau atomique) et chaude, telles que l'équation d'état, la superfluidité, les coefficients de transport et les paramètres d'élasticité. Comprendre les propriétés de la matière en interaction forte dans des conditions extrêmes nécessite de réunir des experts de la théorie quantique des champs à basse énergie et de la théorie à N-corps. En effet, l'un des principaux problèmes avec la théorie quantique des champs, qui décrit l'interaction et la dynamique des quarks et des gluons, est qu'elle non-perturbative dans les conditions rencontrées dans les étoiles compactes. De plus, les effets liés à la dynamique à N-corps tels que l'appariement et le comportement collectif rendent le diagramme de phase de la matière hadronique très riche et en même temps, difficile à décrire.

Il n'est pas simple de relier les expériences de physique nucléaire aux propriétés physiques des étoiles compactes. Cependant c'est la complémentarité entre ces deux aspects (expériences de physique nucléaire et observations astronomiques) qui est novatrice et au cœur de l'Action COST, et elle aura des répercussions sur tous les modèles théoriques d'étoiles compactes.

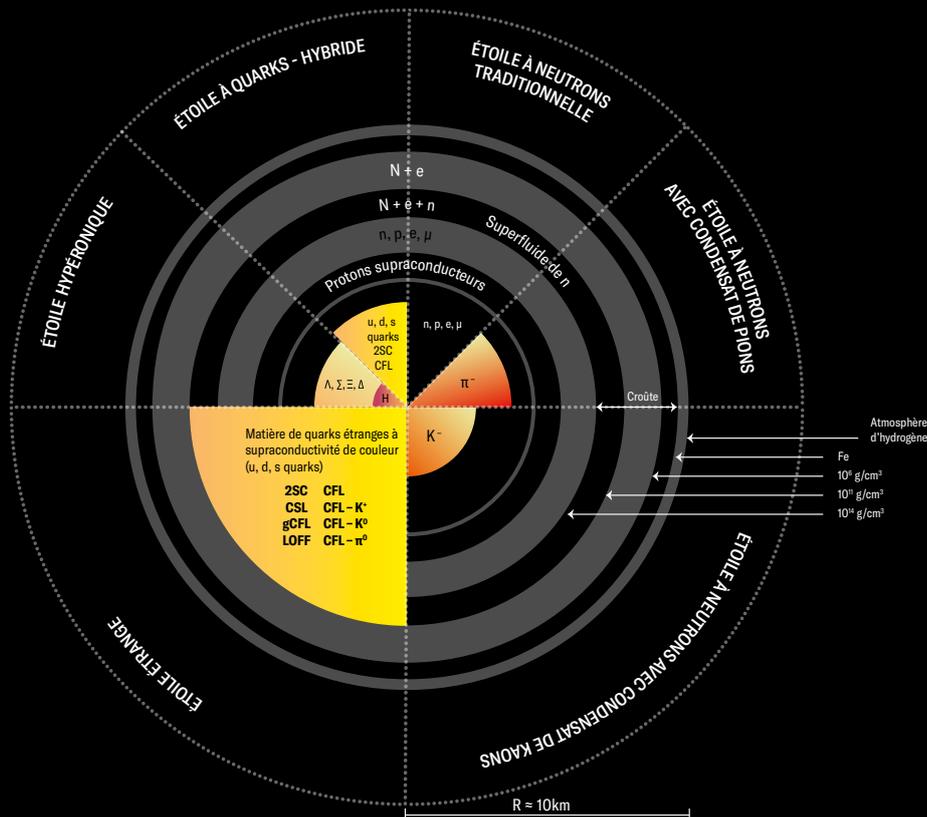


Fig. 4 – De quoi les étoiles à neutrons sont-elles faites ? Voici quelques unes des prédictions des modèles sur les types de matière existant à l'intérieur des étoiles à neutrons.

Crédit : F. Weber

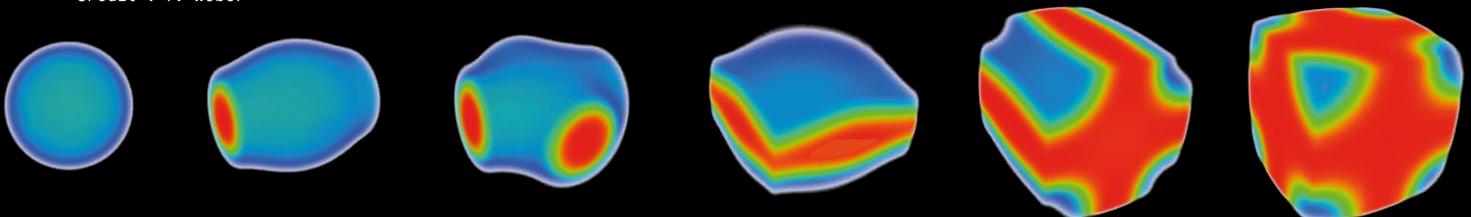


Fig. 5 – Quelle est la structure de la croûte d'une étoile à neutrons ? La croûte interne est formée par un réseau de noyaux atomiques qui sont déformés et forment des structures exotiques appelées « pâtes » - pasta. Elles sont immergées dans un fluide de neutrons et un gaz d'électrons relativistes. Ces phases de pasta ont des formes qui vont des noyaux sphériques aux tubes, aux feuilles, et aux bulles de matière nucléaire. L'un des défis de l'Action a été de déterminer les conséquences potentiellement observables par les télescopes et les détecteurs de ces phases de pasta. Crédit : H. Pais et J. Stone

3. GRAVITATION : THÉORIE ET OBSERVATIONS

En raison de leur champ gravitationnel fort, les étoiles à neutrons sont des sources d'ondes gravitationnelles potentiellement détectables, soit lorsqu'elles sont dans un système binaire, soit seules lors de la supernova gravitationnelle qui marque leur naissance, lorsqu'elles s'effondrent sur elles-mêmes formant un trou noir ou lorsqu'elles oscillent de manière non sphérique. La phase de spirale et la coalescence d'un système binaire formé soit de deux étoiles à neutrons soit d'une étoile à neutrons et d'un trou noir sont des sources d'ondes gravitationnelles que les détecteurs LIGO et Virgo peuvent observer. De telles observations fourniront des informations importantes sur la gravité en champ fort, l'équation d'état et l'origine des sursauts gamma courts.

Les ondes gravitationnelles émises lors de la fusion d'un système binaire d'étoiles à neutrons dépendent de la masse de chaque étoile du système, du rapport de leur masse et de l'équation d'état. La modélisation numérique du signal émis en ondes gravitationnelles est essentielle pour permettre une telle observation.

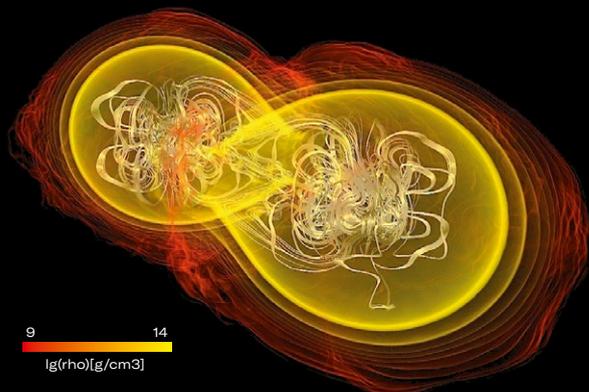


Fig. 7 – Fusion d'un système binaire composé de deux étoiles à neutrons magnétiques. Sont représentées la masse et les lignes de champ magnétique au moment de la fusion. *Crédit : FIAS/GU/AEI*

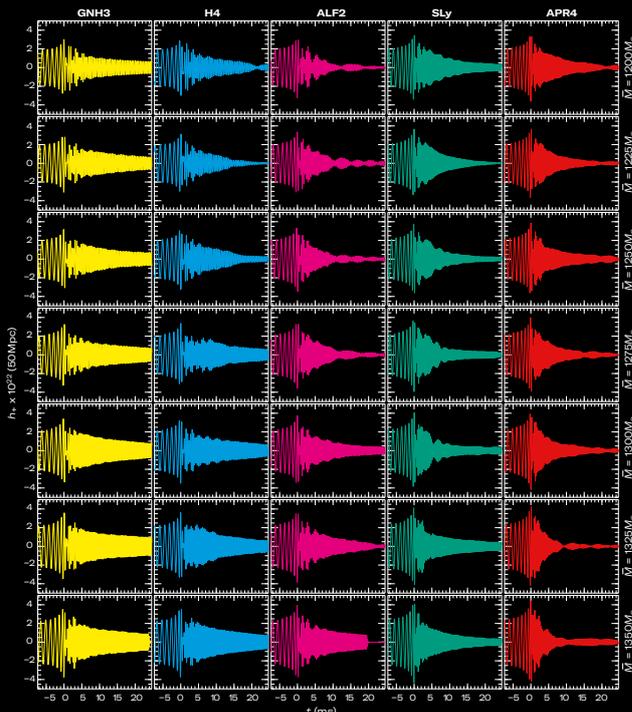


Fig. 8 – Modélisation numérique du signal émis en ondes gravitationnelles lors de la coalescence de systèmes binaires d'étoiles à neutrons. Chaque colonne correspond à une équation d'état donnée et les couleurs à différentes masses du système binaire. *Image Credit : FIAS/GU/AEI*

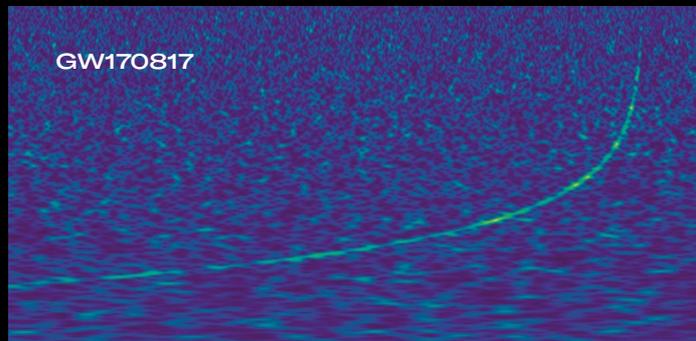


Fig. 6 – Ces données de LIGO montrent le signal surnommé « gazouillis » - chirp émis lors de la phase de spirale d'un système de deux étoiles à neutrons. *Crédit : LIGO*

cost
EUROPEAN COOPERATION
IN SCIENCE & TECHNOLOGY

COST Association AISBL
Avenue Louise 149, 1050 Brussels, Belgium
T +32 (0)2 533 3800, F +32 (0)2 533 3890
office@cost.eu, www.cost.eu



COST est financé dans
le cadre du programme européen Horizon 2020

LE RÉSEAU

29 pays ont fait partie de NewCompstar avec en plus quatre instituts de deux autres pays en tant que Near Neighbouring Countries Institutions et trois autres instituts comme International Partner Countries Institutions

PAYS PARTICIPANTS À COST

Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Croatie, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Islande, Israël, Italie, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie.

COST NEAR NEIGHBOUR

Countries Institutions
IOFFE, JINR Dubna, MEPHI,
Sternberg Astronomical Institute
et Yerevan State University

COST International Partner

Countries Institutions
Monash University,
University of Melbourne
et Kent State University

NewCompStar COST Action

L. Rezzolla (Président), P. Pizzochero (Vice-Président)

Comité de direction

G. Barnafoldi, F. Burgio, M. Chernyakova,
V. Ferrari, J. A. Font, I. Jones, P. Haensel,
P. Pizzochero, C. Providencia, M. Oertel,
N. Rea, L. Rezzolla, A. Sedrakian, I. Vidaña

<https://compstar.uni-frankfurt.de>

Crédits des images

Rayons X : NASA/CXC/SAO; Optical : NASA/STScI;
Infrarouge : NASA/JPL/Caltech; Radio : NSF/NRAO/
VLA; Ultraviolet : ESA/XMM-Newton

Mis en forme par Gráfico 21, Portugal 2017
Graphic design & Typeface par Bürocratik