



# ÉCOLE DOCTORALE

SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT  
ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

Candidature à la composante « Physique de l'Univers » pour un début de contrat le 1<sup>er</sup> octobre 2018  
Le dossier doit être envoyé à [edstepup\\_pu@univ-paris-diderot.fr](mailto:edstepup_pu@univ-paris-diderot.fr).

---

## TITRE et NUMERO du SUJET :

« L'Univers gravitationnel : à la recherche des progéniteurs d'ondes gravitationnelles »  
« The gravitational universe: searching for progenitors of gravitational waves »

Nom de l'étudiant : **NOM, Prénom, mail**  
Directeur (trice) : **CHATY, Sylvain, PR ; [chaty@cea.fr](mailto:chaty@cea.fr)**  
Co-directeur (trice) : **PORTER, Edward, CR ; [porter@apc.in2p3.fr](mailto:porter@apc.in2p3.fr)**  
Equipe d'accueil : Laboratoires AIM (LEPCHE) et APC (Gravitation)

---

Financement (ou demi-financement) possible hors contrat doctoral

Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : *Offres\_de\_thèse*  
*Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale*

---

Développement du sujet et organisation du travail : (1 à 2 pages)

**Contexte :** La découverte, par l'observatoire *LIGO-Virgo* le 14 septembre 2015, d'ondes gravitationnelles (OG) issues de la fusion de deux trous noirs de masse stellaire, applaudie par l'ensemble de la communauté scientifique, fut inattendue en terme de sources astrophysiques: deux trous noirs stellaires aussi massifs (~ 30 masses solaires) n'avaient jamais été vus auparavant, bien qu'ils constituent probablement le sommet de l'iceberg. A partir de cette détection, plusieurs questions se sont immédiatement posées: comment de tels trous noirs peuvent-ils se former, et combien y en a-t-il dans notre Univers local et au-delà? Puis, la deuxième percée est venue avec la détection d'une kilonova associée à une fusion de deux étoiles à neutrons, le 17 août 2017. D'autres questions surgirent, telles que la nature du résultat d'une telle fusion. Plus généralement, l'une des questions les plus fondamentales, en termes d'astrophysique et de physique, concerne la nature des progéniteurs qui finiront par fusionner. Enfin, nous savons maintenant que de nombreuses fusions de ce type seront détectées par les observatoires OG actuels et futurs, mais nous ne savons pas quel sera le taux exact.

Les binaires stellaires hébergeant des objets compacts (en particulier les étoiles à neutrons et les trous noirs) constituent les meilleurs progéniteurs, évoluant jusqu'à fusionner en binaires de trous noirs, d'étoiles à neutrons ou d'étoiles à neutrons / trous noirs, et émettre des OG. L'évolution globale de ces binaires est encore sujette à de nombreuses incertitudes de certains paramètres de l'évolution des binaires, tels que : le kick reçu lors de la supernova, les effets de métallicité sur les vents stellaires, la phase d'enveloppe commune, déterminante pour la survie ou non du système binaire, le spin de chaque objet etc.

**Objectifs :** Pour répondre aux questions d'astrophysique et de physique fondamentale décrites ci-dessus, nous avons besoin d'un cadre commun, rassemblant la connaissance des objets astrophysiques tels que les binaires hébergeant des objets compacts, avec l'expertise scientifique et instrumentale des détecteurs d'ondes gravitationnelles. AIM et APC sont deux laboratoires idéaux pour entreprendre une telle étude à leur interface, offrant: i. une étude approfondie des binaires individuelles, une étude globale de l'ensemble des binaires, et une



# ÉCOLE DOCTORALE

## SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

COMPOSANTE PHYSIQUE DE L'UNIVERS

modélisation de l'évolution des populations binaires, afin de caractériser la nature des progéniteurs de fusion; et ii. l'expertise des détecteurs OG, la connaissance des détections et une estimation observationnelle des taux de fusion selon la sensibilité du détecteur. Le (la) candidat(e) s'insérera dans le groupe «Rates & Populations » au sein de la collaboration *Advanced LIGO – Advanced Virgo*.

Dans cette thèse, nous nous concentrerons sur une étude globale de synthèse de population binaire, que nous ferons évoluer à travers différentes étapes avec des paramètres choisis avec précision (rapport de masse, séparation orbitale, échange de masse et de moment cinétique). Le résultat de cette étude nous sera utile pour contraindre les taux de fusions observés par les détecteurs d'ondes gravitationnelles actuels et futurs. Cette thèse, en utilisant les détecteurs OG qui viennent d'ouvrir une nouvelle fenêtre sur l'Univers, nous permettra de mieux le comprendre.

**Description :** Au cours de cette thèse, nous modéliserons l'évolution des systèmes binaires en utilisant le code MESA : ([http://mesa.sourceforge.net/binary\\_controls\\_defaults.html](http://mesa.sourceforge.net/binary_controls_defaults.html)) afin de contraindre les paramètres encore mal connus (kick, métallicité, enveloppe commune, spin, etc). Nous utiliserons les nouvelles observations de binaires d'étoiles massives et de binaires accrétantes (obtenues à l'ESO ou délivrées par le satellite *Gaia*), pour en déduire des informations sur le mouvement propre –relié au kick–, sur les types spectraux de chacune des étoiles, et sur le fait que les binaires survivent ou non à la phase d'enveloppe commune (les binaires accrétantes contenant une étoile compagne de faible masse sont vues après cette phase, alors que celles contenant une étoile de grande masse sont vues avant). Nous comparerons ensuite les prédictions des modèles (MESA) aux informations données par les observations (ESO, *Gaia*), dans le but de contraindre les paramètres mentionnés ci-dessus. L'utilisation de ces modèles, aux paramètres contraints, permettra ensuite de faire évoluer les systèmes jusqu'à la fusion, et d'estimer plus précisément le taux de fusion d'objets compacts (binaires d'étoiles à neutron et/ou de trous noirs). La comparaison de ces taux de fusion aux courbes de sensibilité des détecteurs OG permettra finalement d'ajuster le taux de détection des futurs détecteurs.

\*\*\*ENGLISH\*\*\*

**Context :** The discovery, by the *LIGO-Virgo* collaboration on Sept. 14th 2015, of gravitational waves (GW) from the merger of two stellar-mass black holes, applauded by the whole scientific community, was unexpected in terms of astrophysical sources: two such heavy stellar-mass black holes (~30 solar masses) had never been seen before, although they likely constitute the tip of the iceberg. From this detection, several questions immediately arose: how can such black holes form, and how many are there in our local Universe and beyond? The second breakthrough came with the detection of a kilonova associated with the merger of two neutron stars, on Aug. 17th 2017. Further questions arose, such as the nature of the outcome of such a merger. More generally, one of the most fundamental questions in terms both of astrophysics and physics, concerns the nature of the progenitors for this type of system. Finally, we now know that many such mergers will be detected by current and future GW observatories, but we do not know the exact rate.

Stellar binaries hosting compact objects (especially neutron stars and black holes) constitute the best progenitors, evolving until eventually merging in binary black holes (BBH), binary neutron stars (BNS) or black hole/neutron star binaries (BH/NS), and emitting GW. The overall evolution of such binaries is still subject to many uncertainties about some parameters of binary evolution, such as: the natal kick received during each supernova event, metallicity effect on stellar wind, common envelope phase, conditioning the survival of the system, spin of each component, etc...

**Scientific aims :** To address the fundamental astrophysical and physical questions described above, we need a common framework, putting together the knowledge of astrophysical objects such as binaries hosting



École Doctorale : **STEP UP** : Bâtiment Condorcet - Bureau 376A  
Université Paris Diderot, Case courrier 7008 - 75205 Paris Cedex 13  
Tél.: +33(0)1. 57.27.61.10 - Email : edstepup\_pu@univ-paris-diderot.fr





# ÉCOLE DOCTORALE

## SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

### COMPOSANTE PHYSIQUE DE L'UNIVERS

compact objects, with the scientific and instrumental expertise of GW detectors. AIM and APC are two ideal laboratories to perform such a study at their interface, offering: i. an intensive study of individual binaries, a global study of the whole population of binaries, and a modeling of binary population evolution, in order to characterize the nature of merger progenitors; and ii. expertise of GW detectors, knowledge of GW detections, and an observational estimate of merger rates according to detector sensitivity. The candidate will work within the "Rates & Populations" working group of the *Advanced LIGO – Advanced Virgo* collaboration.

In this PhD thesis we will focus on an overall study of binary population synthesis, that we will evolve through various stages with accurately chosen parameters (mass ratio, orbital separation, mass and angular momentum exchange). The outcome of this study will be useful in constraining the rates of mergers as observed by current and future gravitational wave detectors. This PhD thesis, by using GW detectors that have just opened a new window to the Universe, will allow us to better understand it.

**Description :** During this PhD thesis, we will model the evolution of the binary systems using the MESA code: ([http://mesa.sourceforge.net/binary\\_controls\\_defaults.html](http://mesa.sourceforge.net/binary_controls_defaults.html)) in order to constrain the parameters still poorly known (kick, metallicity, common envelope, spin, etc.) We will use the new observations of massive stars binaries and of accreting binaries (obtained at ESO or delivered by the *Gaia* satellite), to derive informations on the proper motion -linked to the kick-, on the spectral types of each stars, and whether or not the binaries survive the common envelope phase (accreting binaries containing a low mass companion star are seen after this phase, while those containing a massive star are seen before). We will then compare the predictions of the models (MESA) with the information given by the observations (ESO, *Gaia*), in order to constrain the parameters mentioned above. Using these models, with constrained parameters, will allow us to make the systems evolve until the merging, and to accurately estimate the merging rate of compact objects (BBH, BNS, BH/NS). The comparison of these merging rates with the sensitivity curves of the GW detectors should finally allow us to adjust the detection rate of the future detectors.

**Description Groupe/labo/encadrement :** Cette thèse, encadrée par S Chaty (PR Université Paris Diderot et Institut Universitaire de France) et E. Porter (DR CNRS), sera effectuée à l'interface entre les laboratoires AIM et APC. Ces deux laboratoires sont idéaux pour effectuer cette thèse, couvrant plusieurs domaines de l'astrophysique en adéquation avec les thématiques de recherche, et permettant des discussions avec les différents groupes travaillant sur les systèmes binaires et les ondes gravitationnelles.



École Doctorale : **STEP UP** : Bâtiment Condorcet - Bureau 376A  
Université Paris Diderot, Case courrier 7008 - 75205 Paris Cedex 13  
Tél.: +33(0)1. 57.27.61.10 - Email : edstepup\_pu@univ-paris-diderot.fr

