

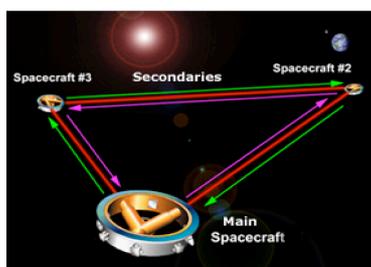
Ondes gravitationnelles

L'émission d'ondes gravitationnelles (OG) qui se produit lors du mouvement de plusieurs masses a été formalisée dans le cadre de la théorie de la relativité générale en 1916. L'existence de ces ondes a été mise en évidence, de manière indirecte (observation du pulsar PSR 1913+16) mais aucune détection directe n'a encore eu lieu.

La propagation d'une OG, induit des déformations de l'espace temps extrêmement faibles que seules, celles émises par des objets astrophysiques très massifs sont potentiellement détectables.

Du fait de leurs très faibles interactions avec la matière, elles sont très peu altérées lors de leur propagation. Ainsi elles sont un moyen complémentaire d'accéder à des caractéristiques d'objets tels que des systèmes binaires formés de trous noirs, d'étoiles à neutrons ou de naines blanches.

Leurs détection et leurs analyses ouvrent un champ scientifique d'investigation très large qui va de l'astrophysique à la cosmologie en passant évidemment par la relativité générale.



Le projet LISA.

Laser Interferometer Space Antenna (LISA)

Dès les années 1960 les premiers détecteurs terrestres voient le jour. Actuellement tous sont basés sur des méthodes interférométriques. Mais devant les difficultés inhérentes aux bruits sismiques sur terre qui rendent la détection des OG impossible pour des fréquences inférieures à quelques au Hertz, un projet spatial comprenant trois satellites en orbites est mis en œuvre par la NASA et l'ESA. Ce projet spatial se propose de détecter des sources d'ondes gravitationnelles dans un domaine de fréquences compris entre 10 μ Hz et 100 mHz. Il est donc complémentaire des détecteurs terrestres.

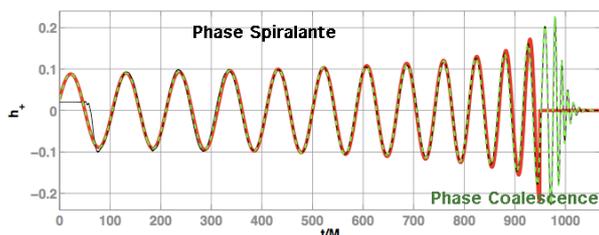
Sujet 1 : Fusionnement de deux trous noirs super-massifs

Parmi les candidats qui émettent un rayonnement détectable, les systèmes binaires de trous noirs dont la masse est supérieure à 1 million de masses solaires, dits trous noirs super-massifs, font partie des phénomènes rares mais particulièrement intéressants.

Jusqu'en 2005, seule la partie «spirante» (i.e. avant la coalescence) était bien modélisée, grâce aux calculs post-newtonien (PN). Les derniers progrès de la relativité numérique permettent de décrire le rapprochement des deux trous noirs jusqu'à leur coalescence, ainsi que la phase de vibration qui s'ensuit. Une étude fine et réaliste de la détection de ces phénomènes est d'ores et déjà possible.

Un des objectifs de ce travail est de quantifier les effets d'un traitement précis des derniers instants de la coalescence sur la détermination des paramètres du système, tels que masses, spins, polarisation, distance, direction de provenance.

Une autre objectif important consiste à optimiser le raccordement des formes d'onde avec les meilleures approximations PN. L'approche à "un corps effectif", puissant outil de modélisation de formes d'ondes complètes, peut quant à elle bénéficier de l'emploi d'approximations meilleures que celles qui sont actuellement utilisées. En outre, afin d'améliorer la précision des formes d'onde analytiques, certaines effets post-newtoniens, comme les interactions spin-orbite à l'ordre 2,5PN ou les interactions monopole-quadrupole, doivent être ajoutées à l'expression analytique des polarisations de l'onde.



Forme d'onde de deux trous noirs

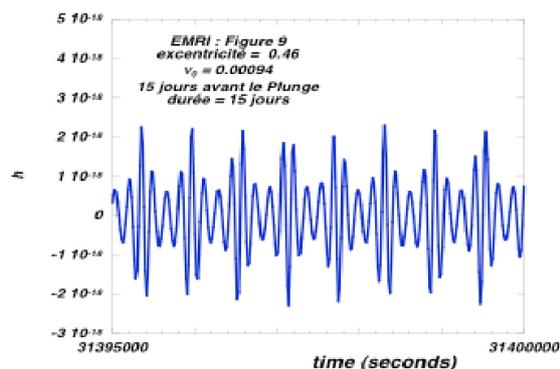
Sujet 2 : Étude de systèmes binaires à rapport de masse extrême

Parallèlement aux objets de masse similaire ils existent aussi des systèmes binaires dont le rapport de masse est très important (plusieurs milliers). Ces systèmes sont formés essentiellement d'un "petit" objet comme une étoile à neutrons, une naine blanche spiralant autour d'un trou noir. L'existence de tel systèmes (EMRI pour Extreme Mass Ratio in Spiral) est très probable. L'étude de leur émission permet d'aborder, au niveau fondamental, le problème des orbites relativistes et, au niveau de l'astrophysique, la population stellaire autour des trous noirs et par voie de conséquence le dénombrement des trous noirs.

La description des OG émises par ces objets est très complexe, en effet la dynamique de la révolution de la faible masse autour du trou noir est ultra relativiste (orbite elliptique, réaction de radiation, ...). La forme de l'onde présente donc des formes compliquées.

On se propose ici de faire une étude systématique de leurs formes d'ondes et d'en déduire un modèle permettant de faciliter leur description en vue de leur identification dans les programmes d'analyse.

Le travail consistera à rechercher une approche commune pour leur simulation en partant d'une part des équations d'évolution et d'extraction d'onde post-newtoniennes (PN), valides pour des systèmes de masses comparables, et d'autre part des formes d'ondes obtenues par des techniques numériques permettant de s'approcher au mieux des orbites pour les EMRI. En particulier, il sera nécessaire de déterminer l'évolution PN de l'excentricité de la binaire en présence de spin au moyen du formalisme post-newtonien.



Forme d'onde d'une EMRI

Dans les deux cas le logiciel LISACode sera utilisé pour simuler la détection de ces formes d'ondes par LISA et pour étudier quantitativement la précision obtenue sur les paramètres des systèmes, tels que masses, spins, polarisation, distance, direction de provenance, en fonction de la variation du rapport de masse. Ce travail sera mené à bien en collaboration étroite avec le groupe de Gravitation Relativiste et Cosmologie (IAP, Paris), dont les approximations PN sont une des spécialités.

Il va de soi qu'une première approche de ces deux sujets, peuvent faire l'objet de stages. Indépendamment nous proposons un stage qui a pour but de mettre à l'épreuve une méthode permettant de localiser au mieux la position d'une source dans le ciel pour préciser la direction de cette source. En effet, non content d'avoir la potentialité de détecter des OG, LISA vu son mouvement permet de localiser les sources dans l'espace. La méthode consiste à utiliser une formulation spécifique de l'interférométrie (Time Delay Interferometry) qui permet dans un premier temps d'annuler le bruit inhérent aux Lasers, mais qui en plus possède en son sein des propriétés permettant d'annuler la réponse du détecteur à une onde gravitationnelle provenant d'un point spécifique de l'espace.