
Nicolas Douillet

Analyse des données de LISA : une méthode en problème inverse
Pour l'estimation des paramètres des binaires galactiques

RESUME

Depuis le début des années 2000, la construction et le développement des grands interféromètres (VIRGO, LIGO) pour la **détection des ondes gravitationnelles** en font aujourd'hui un enjeu majeur pour des domaines tels que l'astrophysique, la cosmologie et la physique fondamentale. En plus de confirmer la théorie de la relativité générale d'Einstein, elle permettra de mettre à jour et de caractériser des corps cosmiques longtemps demeurés hypothétiques, voire exotiques (car non directement détectables dans la gamme des ondes électromagnétiques), tels que des binaires de trous noirs supermassifs, d'étoiles à neutrons ou de naines blanches. Il sera ainsi possible de cartographier les fonds galactique et extra-galactique, fournissant au passage une nouvelle compréhension de notre univers et de sa population.

Dans cet optique, **LISA** est un ambitieux projet de **détecteur interférométrique spatial** dont l'intérêt principal par rapport aux interféromètres terrestres déjà existant réside dans sa sensibilité en basses fréquences grâce à son isolation des bruits sismiques terrestres.

LISA, du point de vue de sa conception, consiste en une constellation de trois satellites en formation triangulaire équilatérale et en orbite héliocentriques. Les trois stations sont reliées entre elles par 6 liens lasers. Au cours de l'année 2011, ce design est remis en cause pour des raisons budgétaires, mais quels que soient ses résultats, LISA nous donnera des informations de poids pour faire progresser la théorie par l'expérience.

Etant donnée que toute l'information exploitable de LISA est issue des flux de données à la sortie de ses phasemètres, la juste analyse de ces données est cruciale, car parmi les différentes étapes de la mission, et comme pour d'autres étapes (la conception des micro-propulseurs par exemple) le degré de criticité est proportionnel au degré de difficulté.

Dans ce contexte, une partie de l'**analyse des données de simulation LISA** fait l'objet de cette thèse, au cours de laquelle, je me suis attaché à estimer les paramètres des ondes générées par les **binaires galactiques**. L'intérêt de ce choix d'ondes particulières est qu'elles représentent le meilleur compromis entre une forme d'onde générale incluant les principaux paramètres angulaires, tout en ayant un modèle -relativement- simple (moins de paramètres comparées aux autres formes d'ondes). Cette double caractéristique nous a permis d'élaborer une méthode d'analyse originale et robuste pour l'estimation des paramètres de l'onde, axée sur la compréhension du modèle d'onde, de la géométrie de LISA, et de l'espace de recherche des paramètres. Elle se différencie dans ce sens des méthodes de recherche statistiques et probabilistes qui explorent l'espace des paramètres de manière pseudo-aléatoire, guidées par

le maximum de vraisemblance.

La philosophie de notre travail de recherche était de développer notre méthode de manière suffisamment générale et plastique, pour pouvoir ensuite l'appliquer à d'autres types d'ondes plus complexes. C'est la raison pour laquelle elle comporte, entre autres, des techniques plus élaborées que ne le requiert à priori cette forme d'onde. La méthode que nous avons développée se présente sous la forme d'un code modulaire, écrit en Matlab où chaque module correspond à une parmi les six principales phases que compte de la recherche hiérarchique des paramètres :

1. **Détection hétérodyne basse fréquence** de la fréquence de la porteuse du signal,
2. **Extraction de l'enveloppe** du signal après filtrage passe bas,
3. Balayage de l'espace des moindres carrés par maillage triangulaire dynamique,
4. Correction de l'ambiguïté fondamentale de LISA avec son effet Doppler,
5. Optimisation / convergence par l'algorithme BFGS après vérification de la concavité locale,
6. Estimation de l'amplitude.

Cette recherche s'effectue en partant des paramètres de la source les plus apparents (et des plus importants), vers les plus implicites : ν (fréquence), θ (latitude sur l'écliptique), φ (longitude sur l'écliptique), ψ (polarisation), ι (inclinaison orbitale), h (amplitude) dans cet ordre.

Les études statistiques que nous avons menées sont principalement de deux natures : celles visant à vérifier la robustesse au bruit de la méthode et de l'estimation des paramètres, et celles visant à mesurer la précision atteinte sur les paramètres de localisation angulaire. Cette dernière catégorie nous a également permis de vérifier certaines symétries du système et de quantifier la corrélation entre certains paramètres.

Dans le cadre des travaux d'analyse de données menés par la communauté LISA-France, et dans le contexte plus global de l'analyse des données de LISA en général il est envisageable d'étendre cette méthode aux autres types d'ondes gravitationnelles connues.