

## Mémoire

**Auteur :** Bellon, Kyde

**Promoteur(s) :** Mahler, Guillaume

**Faculté :** Faculté des Sciences

**Diplôme :** Master en sciences spatiales, à finalité approfondie

**Année académique :** 2024-2025

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/23892>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# Beyond single-plan strong lens modelling: Study of the impact of massive structures along the line-of-sight

Kyde Bellon

*Promoter:* Guillaume Mahler (ULiège)  
Master in Space Sciences - University of Liège  
Academic year 2024-2025

## ABSTRACT

General Theory of Relativity teaches us that a massive object curves the spacetime frame, such that a particle travelling in a straight line would seem to bend around its centre of mass. Gravitational lensing is the result of this effect and is composed of a source emitting photons, one or many deflectors affecting the local spacetime frame and an observer that receives the light that appears bent around the deflectors. In the strong gravitational lensing regime, the observer sees multiple deformed and magnified images of the same source depending on the lens geometry, i.e. the position of the source and the deflector to the line of sight. Understanding and modelling the lens geometry allows us to estimate the total mass and its distribution in the deflector plane. The model can be constructed thanks to parametric methods that explore the parameter space and minimise the differences in position between the images observed and the model predictions. This master's thesis explores the impact of line-of-sight structures between the foreground deflector and the sources at multiple scales. First, we construct single-plane and multi-plane models of the Zig-Zag lens, J1721+8842. Those models have different associations of three image groups that differ in the source and path of the light rays. Their comparison shows different geometries of lenses that retain a similar feature close to the single-plane models for the foreground lens. We compute the total mass of the deflectors and obtain values that differ from the literature. Second, we analyse the overdensity of galaxies between redshifts  $z = 1.02$  and  $z = 1.09$  of Abell 370 and divide it into three groups. For each of them, the masses are computed using the velocity dispersion, which is obtained based on the redshift of the galaxies. The position of each galaxy in the source plane is computed using an existing model of Abell 370 to find the barycentre of each group. The mass potential of the three groups is then added to the model, generating a displacement of images in the source plane. We show no correlation between the scale of the displacement and the magnification of the images. However, the displacement generated scaled up to 0.6 arcseconds, where the typical root-mean-squared value for position uncertainty of the current best models ranges from 0.2 to 1.0 arcseconds. In both cases, we conclude that line-of-sight structures have a significant impact on the total mass and mass distribution of the foreground structure and lens geometry.

# Au-delà de la modélisation par lentille forte à plan unique : étude de l'impact des structures massives le long de la ligne de visée

Kyde Bellon

*Promoteur:* Guillaume Mahler (ULiège)  
Master en Sciences Spatiales - Université de Liège  
Année académique 2024-2025

## RÉSUMÉ

La théorie de la relativité générale nous apprend qu'un objet massif courbe le tissu de l'espace-temps de telle sorte qu'une particule voyageant en ligne droite semblera dévier autour de son centre de masse. L'effet de lentille gravitationnelle est le résultat de ce phénomène. Il est composé d'une source émettant des photons, d'un ou plusieurs déflecteurs qui courbent localement l'espace-temps et d'un observateur recevant la lumière de la source dont la trajectoire semble avoir été courbée. Dans le régime fort des effets de lentille gravitationnelle, l'observateur voit des images multiples d'une même source déformées et magnifiées selon la géométrie de la lentille, la position de la source et du déflecteur par rapport à la ligne de visée. Comprendre et modéliser la géométrie de la lentille permet d'estimer la masse totale et sa distribution dans le plan du déflecteur. Le modèle peut être construit grâce à des méthodes paramétriques qui explorent l'espace des paramètres et minimisent la différence en position des images observées avec les prédictions du modèle. Ce mémoire explore l'impact des structures le long de la ligne de visée, placée entre le déflecteur en avant-plan et les sources, et ce à plusieurs échelles. Tout d'abord, nous construisons des modèles à plan unique et multi-plans de la Zig-Zag Lens, J1721+8842. Ces modèles sont composés de différentes associations de 3 groupes d'images qui diffèrent par leur source et le trajet de leurs rayons lumineux. Leur comparaison montre des géométries de lentille différentes qui présentent une caractéristique similaire proche du modèle à plan unique de la lentille en premier plan. Nous calculons la masse totale des deux déflecteurs et obtenons des valeurs différentes de la littérature. Ensuite, nous analysons une surdensité de galaxies situées entre les redshifts  $z = 1,02$  et  $z = 1,09$  d'Abell 370 et les divisons en trois groupes. Pour chacun d'eux, leurs masses sont calculées via leurs vitesses de dispersion, elles-mêmes obtenues sur base des redshifts des galaxies. La position de chacune des galaxies est calculée grâce à un modèle existant d'Abell 370 pour trouver le barycentre de chaque groupe. Le potentiel massique des trois groupes est ensuite ajouté au modèle, induisant un déplacement des images dans le plan source. Nous montrons qu'il n'y a pas de corrélation entre l'ordre de grandeur du déplacement et la magnification de l'image. Cependant, le déplacement généré peut être aussi grand que 0,6 arcseconde alors que les valeurs typiques d'erreur s'étalent de 0,2 à 1,0 arcseconde pour les meilleurs modèles de lentille. Dans les deux cas, nous pouvons conclure

que les structures le long de la ligne de visée ont un impact significatif sur la masse totale et la distribution de masse du déflecteur situé en avant-plan et la géométrie de la lentille.