

OFFRE D'EMPLOI

Doctorant

- **La distance de Baade-Wesselink des Céphéides du groupe local**

Pour comprendre la nature de l'énergie noire, il faut mesurer le taux d'expansion de l'univers, c'est-à-dire la constante de Hubble (H_0), avec une précision et une exactitude de 1%, ce qui est l'objectif de plusieurs groupes au niveau international, dont le groupe d'Adam Riess (co-récepteur du prix Nobel de 2011) qui pilote le projet SHOES (Riess+16, Riess+21). Il existe principalement deux méthodes pour mesurer H_0 avec une précision à mieux que 1-2%: d'une part, le rayonnement de fond cosmologique, et d'autre part, la détermination des distances dans l'univers. Ces deux approches présentent actuellement des désaccords significatifs: on parle de 'tension'. La valeur de Riess+21 est 5 sigma plus élevée que celle déduite du rayonnement de fond cosmologique établie par le satellite Planck.

Les Céphéides, grâce à leur relation période-luminosité (PL, Leavitt & Pickering 1912), sont actuellement utilisées pour étalonner l'échafaudage des échelles de distances dans l'univers et pour contraindre la constante de Hubble (Riess et al. 1998; 2011 Nobel prize). Une première façon d'étalonner la relation PL est d'utiliser les parallaxes trigonométriques des Céphéides Galactiques (HST, Gaia). Une deuxième approche consiste à appliquer la méthode de Baade-Wesselink de détermination de distance des Céphéides. Le principe de la méthode est simple: il s'agit de comparer les dimensions linéaire et angulaire de la Céphéide afin de déterminer sa distance au moyen d'une simple division. Les mesures photométriques (associées à une relation brillance de surface - couleur) et/ou interférométriques fournissent la variation du diamètre angulaire photosphérique de l'étoile sur tout le cycle de pulsation, tandis que la variation du diamètre linéaire est déterminée par une intégration temporelle de la vitesse pulsante (V_{puls}) de l'étoile. La détermination de cette dernière, à partir du décalage Doppler de la raie spectrale (V_{rad}) est extrêmement délicate et fait intervenir ce que l'on appelle le facteur de projection, p , défini par $V_{puls} = p \cdot V_{rad}$. Ce nombre résume à lui seul toute la physique de l'atmosphère de la Céphéide (assombrissement centre-bord, gradient de vitesse et dynamique atmosphérique). Le facteur de projection a été étudié sous différents angles à l'aide de modèles hydrodynamiques ou via la haute résolution spectrale (Nardetto et al. 2004, 2006, 2009, 2017).

Une première partie de cette thèse consiste à appliquer la méthode de BW inverse à partir des mesures photométriques, vélocimétriques et astrométriques de Gaia (Data Release 4 prévue au second semestre 2026) afin d'en déduire le facteur de projection de centaines de Céphéides dans la Voie Lactée et dans les nuages de Magellan. Cette analyse apportera des contraintes uniques sur le facteur de projection et permettra in fine non seulement de mieux comprendre la structure dynamique de l'atmosphère des Céphéides mais également d'améliorer l'exactitude de la méthode de BW. Une deuxième partie de la thèse consistera à appliquer la méthode de Baade-Wesselink aux Céphéides du groupe local de galaxies à l'aide de l'instrument spectroscopique multi-objets FLAMES/VLT. Cette étude permettra également de préparer les cas scientifiques de l'instrument ELT/MOSAIC à l'horizon 2032.

Ces travaux s'insèrent dans le projet ANR Unlockfactor ainsi que dans le projet Araucaria de détermination de distances dans le groupe local (<https://araucaria.camk.edu.pl/>). La Thèse s'effectuera à l'Observatoire de la Côte d'Azur sur le site du Mont Gros.

- **Thématique / Contexte**

Distances dans l'univers. Constante de Hubble. Céphéides et méthode de Baade-Wesselink.

Il existe à ce jour 2 méthodes pour estimer la constante de Hubble (H_0) à mieux que 2%: par l'analyse du rayonnement de fond cosmologique (PLANCK) d'une part, et par les déterminations de distances (Céphéides, binaires à éclipses, supernova 1a). Les 2 méthodes sont incompatibles à hauteur de 5.5 sigma. Il s'agit, par l'étude de la physique des Céphéides, de vérifier l'absence de biais dans la méthode des 'distances'.

- **Objectifs**

1/ exploiter les données du satellite Gaia (photométrie, spectroscopie et parallaxes) afin d'apporter des contraintes sur la méthode de Baade-Wesselink et en particulier le facteur de projection.

2/ appliquer la méthode de BW à un ensemble de Céphéides dans le groupe local (LMC, SMC, NGC 6822, IC 1613, WLM, NGC 3109, NGC 55, NGC 300) à l'aide de l'instrument spectroscopique multi-objets FLAMES/VLT

3/ Ouvrir la voie à l'étude des Céphéides avec le spectroscopie multi-objet MOSAIC/ELT en cours de développement à l'horizon 2032

- **Méthode**

La thèse reposera essentiellement sur des données photométriques et spectroscopiques. Un des points clefs est que les relevés en spectroscopie multi-objets fourniront des courbes de vitesses radiales potentiellement mal échantillonnées sur le cycle de pulsation. L'utilisation de « templates » avec l'aide de Machine Learning est envisagé.

- **Résultats attendus**

Une meilleure compréhension de la physique des Céphéides (photosphère, atmosphère, environnement)

Renforcer la méthode de Baade-Wesselink de façon à ouvrir des applications extragalactiques avec l'ELT

- **Références bibliographiques**

Thèse d'habilitation (voir les références à l'intérieur)

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018arXiv180104158N/abstract>

et plus récemment:

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023A%26A...671A..14N/abstract>

- **Précisions sur l'encadrement**

La thèse se passera au Mt Gros à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Des missions à l'étranger (Pologne, Mt Wilson en Californie, Chili) sont possibles et à prévoir. Il est aussi envisagé d'observer en mode télécommande sur l'interféromètre CHARA (Mt Wilson) depuis le plateau de Calern dans l'arrière pays Grassois.

- **Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche**

Cette proposition de Thèse est financée dans le cadre de l'ANR Unlockpfactor

- **Ouverture Internationale**

La thèse est au cœur d'un large réseau de collaboration et en particulier fait partie du projet Araucaria de détermination de distances dans le groupe local. Une ERC Synergy (UniverScale) a été obtenue dans le cadre du projet Araucaria (PIs: G. Pietrzynski, W. Gieren, P. Kervella):

<https://araucaria.camk.edu.pl/>

Ce projet de thèse vise également à préparer le cas scientifique « Cepheids » de l'ELT/MOSAIC. Le laboratoire Lagrange et l'Observatoire de la Côte d'Azur ont la responsabilité du WP11 (optiques de relais) de l'instrument.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle, ...

3 publications de rang A en premier auteur et plusieurs publications en co-auteur sont prévues

- **Collaborations envisagées**

Avec les collègues du projet Araucaria essentiellement pour les aspects distances dans l'univers et la photométrie. Pour l'analyse et le machine learning, plusieurs collègues nous aideront : P. Kervella (LESIA, Paris) et A. Mérand (ESO).

- **Profil et compétences recherchées**

- Maîtrise de python préférable.
- Bon niveau en Anglais parlé/écrit.
- Maîtrise des outils statistiques
- physique stellaire
- skill in Python preferred.
- Good level of spoken/written English.
- skill in statistical tools
- stellar physics

Date de début de contrat souhaité: 1er octobre 2025