

Chaire de professeur junior - Site Université Côte d'Azur

Modélisation des exoplanètes

Établissement/organisme porteur : Université Côte d'Azur / Observatoire de la Côte d'Azur

Nom du chef d'établissement/d'organisme : Stéphane Mazevet

Site concerné : Université Côte d'Azur

Région académique : Région Sud Provence Côte d'Azur

Établissements/organismes partenaires : CNRS (INSU), Observatoire de la Côte d'Azur

Nom du projet : Modélisation des exoplanètes

Mots-clés : exoplanètes, formation planétaire

Durée visée : 4 ans

Thématique scientifique : Astrophysique

Section (s) CNU/CoNRS/CSS correspondante (s) : 17 (CoNRS) ; 34 (CNU)

Stratégie d'établissement : *décrire en quoi le recrutement est en lien avec la stratégie de l'établissement (15 lignes maximum)*

Le domaine des exoplanètes est en plein essor et représente déjà plus d'¼ du temps des grands observatoires astrophysiques internationaux. Avec l'Observatoire de la Côte d'Azur, notre site présente des atouts forts et reconnus à l'international dans ce domaine : une expertise de pointe au niveau instrumental, en particulier sur l'interférométrie, et au niveau théorique sur la structure et formation planétaire. 2 ERC Advanced ont été attribuées en 2021 pour respectivement la caractérisation des étoiles par interférométrie et pour la recherche des origines de la Terre. Nous sommes également moteurs et responsable scientifique d'une demande de PEPR (20M€) sur l'origine des planètes et de la Vie qui fait suite à l'organisation d'un atelier spécifique de la prospective INSU dont nous étions responsables. Notre site a incontestablement des compétences reconnues internationalement tant sur le développement de nouveaux instruments que sur la modélisation théorique de la formation planétaire ou de leurs intérieurs. **Toutefois, nous avons identifié un manque d'expertise lié à la modélisation, l'observation et l'interprétation des atmosphères des exoplanètes.**

L'intérêt pour notre site est clair, car **il concerne notre rôle dans le développement et l'exploitation des grands instruments sol et espace du futur.** Les interfaces sont multiples et liées au tissu économique local (Optique, Satellites, Numérique...) comme nous l'avons illustré dans notre réponse à l'appel PIA4 Excellence au sein du projet Univcities. Cela concerne les projets sur les exoplanètes qui sont au cœur de la prospective de l'Observatoire pour les cinq prochaines années, que ce soit en haute résolution spectrale (HIRES/ELT), coronagraphie (SPHERE+, PCS/ELT), caractérisation des systèmes étoiles-exoplanètes par interférométrie (SPICA/CHARA, ERC-Adv ISSP), photométrie (PLATO, ASTEP), spectroscopie des atmosphères exoplanétaires (JWST, ARIEL), mais aussi le travail sur les planètes géantes (JOVIAL, JUNO, future mission NASA/ESA vers Uranus), et les travaux sur l'origine des planètes (ERC-Adv Holy Earth).

Stratégie du laboratoire d'accueil : décrire en quoi le recrutement est en lien avec la stratégie du laboratoire d'accueil (15 lignes maximum)

Le recrutement de Vivien Parmentier permet de combler un manque identifié au niveau des compétences du laboratoire en transfert radiatif, en dynamique atmosphérique des atmosphères planétaires et entre modélisation théorique et instrumentation pour l'observation des exoplanètes. Il s'inscrit dans une volonté de renforcer les liens entre théorie et instrumentation et d'apporter une dimension observationnelle forte qui permettra de participer aux plus grands projets internationaux de caractérisation des exoplanètes. Cette dynamique a été engagée avec la création de *l'Équipe Transverse Exoplanètes* qui regroupe des chercheurs des équipes essentiellement théoriques, *Théorie et Observations en Planétologie, Physique Stellaire et Solaire*, et essentiellement instrumentales, *Méthodes Physiques pour l'Observation et Signal et Image* autour de la thématique des exoplanètes et des grands projets futurs. L'expérience de V. Parmentier en modélisation des atmosphères planétaires (hydrodynamique, transfert radiatif) couplée à son implication directe dans les grands programmes d'observation renforce les liens entre plusieurs équipes du laboratoire Lagrange et permet le développement d'un programme vigoureux autour du thème des exoplanètes sur notre site.

Un vivier d'excellents candidats a déjà été identifié.

Résumé du projet scientifique : 15 lignes maximum

25 ans après leur découverte, et après l'attribution du prix Nobel 2019 à Michel Mayor et Didier Queloz, le domaine des exoplanètes évolue vers la caractérisation de ces nouveaux mondes. C'est un véritable changement conceptuel qui va nécessiter l'utilisation des instruments les plus performants au monde : notamment le JWST (télescope spatial infrarouge de 6 m, lancé fin 2021), le futur télescope géant ELT (télescope européen de 39 m de diamètre) ou la mission ARIEL de l'ESA (lancement 2029). La décennie à venir permettra de mesurer la composition et la dynamique des atmosphères d'exoplanètes, avec les objectifs de comprendre les mécanismes de formation planétaire et la prévalence de la vie dans l'univers. Le projet scientifique de V. Parmentier vise ainsi à acquérir la capacité de modéliser les interactions entre radiation, chimie, microphysique et dynamique des fluides dans les atmosphères d'exoplanètes. Ces modèles produiront des observables capables d'être directement comparés aux futures observations. Cela permettra de détecter des molécules dans ces atmosphères et mènera à une quantification de leurs abondances qui est une étape essentielle pour comprendre la formation planétaire et détecter de manière non ambiguë la présence de vie sur les planètes habitables.

Résumé du projet d'enseignement : 15 lignes maximum

Sur la base de sa formation à l'École Normale Supérieure, de ses enseignements à l'Université d'Oxford (Électromagnétisme, Physique Statistique, Mécanique des Fluides, Optique), Vivien Parmentier contribuera aux enseignements de Physique de l'Université Côte d'Azur en particulier en Méthodes Numériques, Programmation pour la Physique et Hydrodynamique au niveau License. Il développera un module (aussi appelé METEOR) pour le master MAUCA qui explorera la thématique des atmosphères d'exoplanètes, depuis la dynamique atmosphérique des Jupiters chauds jusqu'à la détection de biomarqueurs. Son profil permet également d'envisager une contribution notable aux services nationaux

d'observation en plein développement liés aux télescopes spatiaux JWST, ARIEL et à l'interprétation des données PLATO dans le cadre du WorkPackage « Composition of Giant Planets » (PI : T. Guillot, OCA). Ainsi, il combinera la compréhension de la physique des atmosphères de manière générale, l'apprentissage des technique numériques de modélisation spécifiques aux atmosphères ainsi que la découverte des techniques d'observation de ces planètes, illustré par les données des plus grands télescopes actuels dans l'espace ou au sol. Ce thème, à la fois récurrent dans l'actualité grand publique et à la pointe de la recherche, contribuera à l'attractivité de la formation de Physique de l'Université Côte d'Azur.

Synthèse financière : à réaliser à partir de la fiche financière jointe, décrire les besoins financiers et leur répartition pour mener à bien le projet scientifique (doctorant, post-doctorant, IT, équipement, ...)

Total financé sur CPJ (dont package ANR)	560 k€
Co-financement	100 k€
Total du projet	660 k€

Diffusion scientifique : préciser les résultats attendus en termes de diffusion scientifique (publications, communications,...)

Le projet mènera à de nombreuses publications à fort impact. Vivien Parmentier publie actuellement une dizaine d'articles par an (16 en 2021), un rythme qui devrait augmenter avec l'arrivée de nouvelles observations auxquelles il est associé. Cela concerne des observations spatiales (25h comme PI et 150h comme co-I sur le James Webb Space Telescope, 1 programme PI et 7 co-I sur le télescope spatial Hubble) ou bien des observations à haute résolution spectrale depuis le sol (130h sur IGRINS/Gemini-Sud, 3 nuits sur MAROON-X/Gemini-Nord). Les premières observations avec IGRINS ont déjà donné lieu à un article accepté dans *Nature* tandis que les récentes observations avec Hubble ont donné lieu à un article dans *Nature Astronomy*.

Les résultats du projet seront également diffusés dans de nombreux colloques internationaux et écoles d'été (une partie en tant qu'invité et une partie en tant que contributeur).

Science ouverte : le projet s'inscrit-il dans une démarche de science ouverte ? Si, oui décrire sa mise en œuvre.

Les données observationnelles seront intégrées dans une base de données ouverte à la communauté tandis que les codes numériques développés pour la modélisation des atmosphères des exoplanètes seront mis à disposition sur github. Enfin, tout sera mis en œuvre pour que les publications soient disponibles sur arxiv.

Science et société : le projet envisage-t-il une communication auprès du grand public ? Si oui : préciser de quelle manière et à quelle échéance

De par l'intérêt pour la découverte des exoplanètes, leur caractérisation et la recherche de la Vie dans l'Univers, le projet se prête à la communication avec le grand-public. Les publications de Vivien Parmentier donnant régulièrement lieu à des communiqués de presse repris dans les journaux spécialisés (par ex. *New Scientist*) et les journaux nationaux (par ex. *le Monde* et *le Figaro*). Des actions locales en collaboration avec les groupes amateurs et l'espace muséal de l'Observatoire de la Côte d'Azur seront aussi programmées.

Indicateurs : préciser les indicateurs de suivi du déploiement du projet et la méthodologie de leur suivi

Les indicateurs principaux de suivi du projet concernent la production scientifique d'une part ainsi que la participation aux grandes missions d'observation dédiées aux exoplanètes d'autre part. Les progrès et les réalisations autour de ces deux axes seront suivis de manière annuelle par une cellule regroupant le Vice-Président recherche et innovation de l'UCA, le directeur de l'Observatoire de la Côte d'azur, le directeur du laboratoire Lagrange et le responsable scientifique du groupe transverse exoplanètes.