

Magali Deleuil :

« L'astrophysique, une passion depuis toujours ! »

Interview réalisée par **Stéphanie Escoffier**^(1, 2) et **Sandrine Morin**^(1, 3) (sandrine.morin@univ-rouen.fr)

(1) Commission Femmes et Physique (F&P) de la Société Française de Physique

(2) Centre de physique des particules de Marseille (CPPM, UMR7346 CNRS et Aix-Marseille Université), 163 avenue de Luminy, Case 902, 13288 Marseille Cedex 09

(3) Laboratoire Polymères, Biopolymères, Surfaces (PBS, UMR6270 CNRS), IUT d'Évreux, 27004 Évreux Cedex



Magali Deleuil est professeure des universités au Laboratoire d'astrophysique de Marseille (LAM/CNRS). Elle a été responsable scientifique du programme de la mission spatiale CoRoT, qui a permis la découverte de la première planète rocheuse en transit autour d'une étoile semblable au Soleil.

Aujourd'hui, elle est responsable pour la France de la mission européenne CHEOPS, lancée en 2019, qui vise à déterminer les propriétés des populations des petites exoplanètes, proches de leur étoile. Pour la future mission spatiale PLATO, elle est membre du Conseil scientifique de l'Agence spatiale européenne (ESA). Par ailleurs, Magali Deleuil est membre sénior de l'Institut universitaire de France depuis 2016.

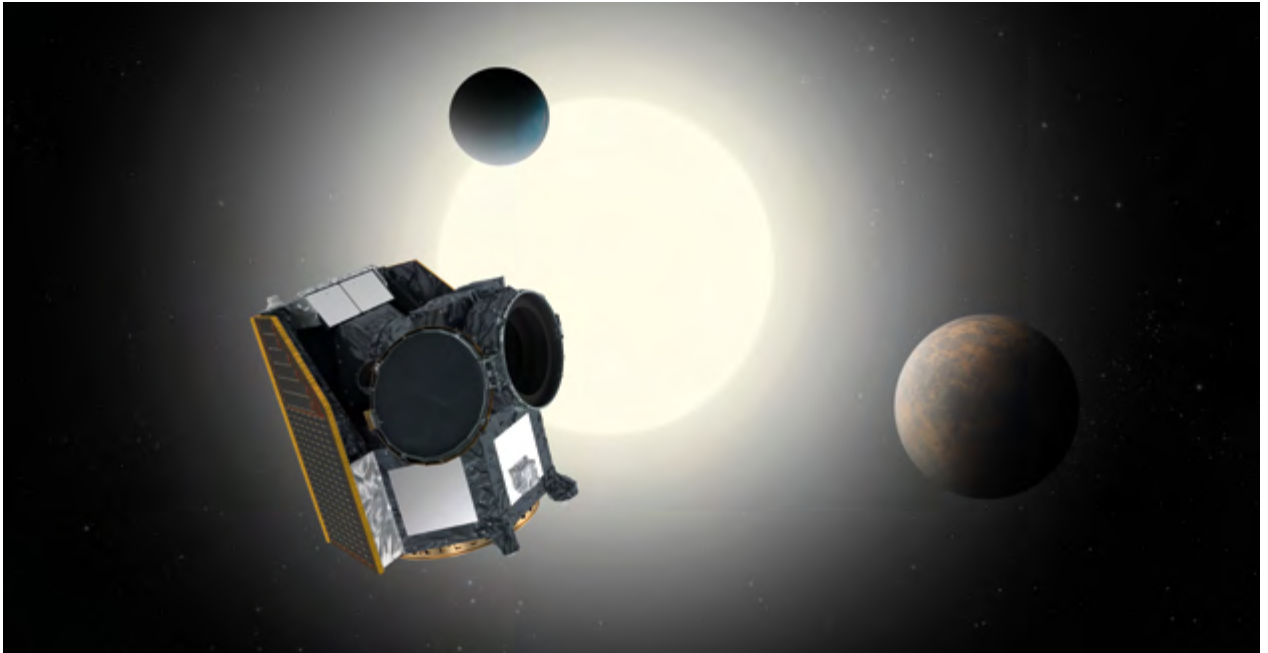
Elle vient de recevoir le prix CNES-Astrophysique et sciences spatiales 2023 de l'Académie des sciences.

Femmes et Physique : Magali, pouvez-vous nous définir le terme « exoplanète », et en quoi consiste votre travail dans ce domaine ?

Magali Deleuil : Une exoplanète est une planète située hors de notre système solaire, en orbite autour d'une autre étoile. La détection d'une exoplanète est extrêmement difficile car, contrairement à une étoile, une planète n'est pas une source de lumière naturelle ; essentiellement, elle réfléchit la lumière de son étoile. Ainsi, lorsqu'on reçoit un photon d'une planète, on en reçoit également plus d'un milliard provenant de l'étoile. Pour illustrer la difficulté de l'exercice, détecter une planète comme la Terre équivaut à ce qu'un observateur situé à Paris distingue un ver luisant placé à 10 cm de la lumière d'un phare au large de Marseille.

F&P : Quelles sont les différentes méthodes de détection à votre disposition ?

MD : D'une part par imagerie, en atténuant le plus possible la lumière de l'étoile de façon à faire ressortir uniquement celle de la planète. Cette atténuation est possible jusqu'à un facteur d'environ un million, ce qui permet de détecter plus facilement les planètes massives, jeunes et situées à grande distance orbitale de leur étoile. Pour ce faire, on utilise des techniques de coronagraphie pour masquer la lumière de l'étoile, des techniques optiques poussées pour concentrer la lumière de l'étoile et limiter la diffusion lumineuse, et des techniques pour corriger les effets de la turbulence atmosphérique terrestre. Attention, la détection se présente comme un point lumineux : on ne voit pas une surface résolue avec des continents, des nuages, etc... Même si c'est ce qu'on aimerait !



1. Impression d'artiste de la mission CHEOPS, avec en arrière-plan un système d'exoplanètes. En réalité, CHEOPS est situé sur une orbite terrestre.

Les autres techniques sont basées sur la détection des effets induits par la présence de la planète sur son étoile. Tout d'abord, la méthode des transits, qui se présente comme une baisse de la lumière de l'étoile à chaque passage de la planète entre son étoile et l'observateur, lorsque le plan de son orbite est proche de la ligne de visée. La profondeur du transit donne une mesure de la taille de la planète. Par ailleurs, si la planète a une atmosphère, on pourra, pendant le transit, la sonder en spectrométrie pour l'analyser. Encore une fois, ce travail est difficile car le signal, très faible, est noyé dans celui de l'étoile.

Une autre méthode est celle des vitesses radiales, qui permet, en mesurant le mouvement propre de l'étoile sur la ligne de visée, de détecter le mouvement périodique d'une planète autour de l'étoile. Plus la planète est petite, plus les signaux sont faibles et difficiles à détecter. Par les mesures de vitesses radiales, on arrive aujourd'hui, suite aux découvertes de Michel Mayor et Didier Queloz [1], à avoir une précision de l'ordre du m/s, voire moins, ce qui est nécessaire pour détecter une « Terre ». Mais il faut être patient car ces mesures se font sur plusieurs années, et nécessitent des techniques de traitement du signal de plus en plus sophistiquées pour extraire le signal des planètes de celui de leur étoile à ce niveau de précision extrême.

F&P : Vos recherches se basent-elles sur une de ces techniques particulières ou sur l'ensemble ? Quelle est votre spécialité ?

MD : Depuis les premières missions spatiales (CoRoT, Kepler [2]), on a vu l'intérêt de coupler la méthode des transits à celle des vitesses radiales. Ce couplage permet de sécuriser la détection et d'estimer la densité de la planète et donc sa composition. On peut ainsi commencer à faire de la physique !

Cette recherche se fait dans de grandes collaborations internationales. Pour CoRoT, il a fallu identifier les besoins

et préparer les demandes de temps sur les différents instruments, se répartir les tâches, savoir comment échanger et analyser les données. Dans ces groupes, je suis spécialiste de la méthode des transits mais j'ai pu travailler sur les vitesses radiales. La dernière phase est l'interprétation des données, avec des modèles développés par différentes personnes. Par exemple, je travaille aujourd'hui avec un planétologue spécialiste du système solaire pour développer un modèle de structure interne des planètes rocheuses ou riches en eau, afin de disposer d'un modèle « maison » pour l'interprétation de nos mesures de masse et de rayon des planètes.

F&P : Sur quel projet travaillez-vous aujourd'hui, et avec combien de collaborateurs ?

MD : Je travaille sur la préparation de la mission PLATO et l'exploitation scientifique de la mission CHEOPS (fig. 1). Celle-ci a été sélectionnée suite à l'appel à projet en 2012 et la mission a été lancée de Kourou en décembre 2019. CHEOPS [3] est une mission ciblée sur une seule étoile parce qu'on sait, grâce aux mesures par vitesse radiale, qu'elle possède une ou plusieurs planètes, et l'objectif est de déterminer leur nature par la mesure de transits. Pour cela, les missions de transit ont été une véritable révolution ! Les premières données de CHEOPS sont arrivées en 2020. Au LAM, nous avons fourni le logiciel de réduction des données, ce qui permet de passer des images brutes à la courbe de lumière. Tous les grands pays européens sont représentés avec 80 scientifiques signataires des articles, ce qui n'inclut pas tous les ingénieurs, techniciens et administratifs qui ont travaillé également sur ce projet. Pour la future mission PLATO, prévue pour 2026, ce sont douze laboratoires français qui sont impliqués, avec plus de 80 chercheurs.

“ Le confinement a changé notre façon de travailler : il a marqué la fin des déplacements et de l’obligation à prendre le train ou l’avion pour aller discuter d’un projet ! Pour CHEOPS, le travail s’est fait à distance...”

F&P : Pouvez-vous nous en dire plus sur ce futur projet qui révolutionnera le domaine des exoplanètes ?

MD : La mission spatiale PLATO aura pour objectif de détecter les planètes analogues à la Terre, en visant des étoiles brillantes. Pour les planètes que l’instrument détectera, PLATO nous fournira leur rayon, mais aussi l’âge des systèmes, ce qui est important pour essayer de déterminer des tendances évolutives. Il mesurera également leur masse par vitesse radiale, afin de connaître leur nature rocheuse ou gazeuse. Pour le futur plus lointain, il y aura aussi le fameux télescope IR/O/UV, proposé à la NASA et présélectionné pour 2040-2050. L’instrument vise à fournir des images directes d’exoplanètes semblables à la Terre autour d’étoiles semblables au Soleil, et à caractériser le contenu de leur atmosphère par spectrométrie, de l’ultraviolet à l’infrarouge. Pour ma part, je serai alors à la retraite !

F&P : Depuis combien de temps travaillez-vous sur les exoplanètes, et pourquoi avoir choisi ce domaine ?

MD : J’ai commencé à travailler sur ce sujet en 1997, après une réunion sur CoRoT dans mon laboratoire. J’avais fait des études de physique à la Faculté des Sciences de Marseille pour faire de l’astrophysique. En terminale, j’avais vu une émission « Les Dossiers de l’écran » avec des astrophysiciens : j’avais trouvé ça génial ! Je me suis donc renseignée sur les études en astrophysique et on m’a dit à l’époque : « Ne fais pas ça, c’est complètement bouché, ça ne mène à rien ! ». Je me suis accrochée et, après mes études de physique, j’ai fait une thèse sur des étoiles évoluées au Laboratoire d’Astronomie Spatiale à Marseille. À l’issue de ma thèse, on m’a proposé de faire des observations de l’étoile *Beta Pictoris*, puis le traitement des données. Ce travail m’a permis de rencontrer l’astrophysicien Alfred Vidal-Madjar, que j’avais remarqué aux Dossiers de l’écran ! Incroyable !

Ensuite, j’ai été conviée aux réunions de préparation de la mission CoRoT, et j’y ai pris ma place ! Après le lancement de CoRoT en 2007, mon activité a complètement basculé sur les exoplanètes. J’aime beaucoup travailler sur les missions spatiales. Cela consiste à collaborer étroitement avec les ingénieurs du domaine spatial qui conçoivent l’instrument de sorte qu’il soit capable de répondre aux objectifs scientifiques, et ensuite à préparer le profil de la mission : comment et où observer ? pour quelle durée ? Il convient aussi de préparer les logiciels qui assureront le traitement et l’analyse des données, et qui sont développés bien en amont. Pour CHEOPS, le logiciel a été commencé en 2013 pour être livré en 2019. Il devait être opérationnel et efficace dès les premiers jours d’observation. Dans le spatial, on travaille avec un calendrier piloté par les agences spatiales et ce travail en équipe est très contraignant. Chaque groupe rend des comptes régulièrement. Ces points se font surtout en visioconférence.

F&P : Vous avez vécu des moments difficiles pour ces projets. Comment avez-vous fait face ? Est-ce que le fait d’être une femme a rendu les choses encore plus difficiles ?

MD : Tenir le calendrier, surtout en tant qu’enseignante-chercheuse, est parfois très difficile. J’ai dû travailler le soir et les week-ends. Avec la mission CoRoT, j’ai eu la chance d’être nommée à l’IUF ce qui m’a dégagé du temps, ça a été magique pour concilier mes différentes tâches. Dans ces projets, il faut vraiment être présente dans les discussions pour ne pas subir les prises de décisions. La situation n’est pas simple quand on doit affronter ces projets, ces réunions, la charge d’enseignement à l’Université et la vie de famille avec des enfants en bas âge. Il faut savoir gérer la pression de tous les côtés. On est toujours tiraillé en tant que femme entre ce qu’on peut faire et ce qu’on pourrait faire. Pour ma part, je n’avais pas d’interlocutrice, de mentore à Marseille, ça m’aurait peut-être aidée. Mes collaborateurs étaient à Paris. La conciliation de l’ensemble est difficile quand il faut être disponible et trouver des solutions, de garde notamment. Ça a été sportif par moment !

F&P : Pensez-vous que la communauté scientifique devrait être plus sensible à ces questions pour l’organisation d’événements et de réunions ?

MD : Oui, j’en ai pris conscience lors d’une conférence de Femmes et Sciences où a été présenté le modèle masculin neutre qui dit qu’il faut être disponible 24 heures sur 24, mobile géographiquement... C’est une réalité, et moi-même j’étais biaisée là-dessus. En toute franchise, le confinement a changé notre façon de travailler : il a marqué la fin des déplacements et de l’obligation à prendre le train ou l’avion pour aller discuter d’un projet ! Pour CHEOPS, le travail s’est fait à distance et ça continue, à la demande notamment des jeunes collègues. Cette période a remis les choses en perspective.

F&P : A-t-il été difficile de vous faire une place en tant que femme dans le milieu de l’astrophysique ?

MD : C’est une question compliquée, car il est difficile de connaître la part du genre d’une personne dans l’appréciation scientifique. Il est cependant possible que la parole féminine soit moins écoutée que celle d’un homme. J’ai eu

un exemple dans une réunion importante pour la mission spatiale PLATO où, pour la première fois, une jeune collègue nous avait rejoint. Elle n'avait pas été écoutée et ses propos avaient été repris par d'autres collaborateurs masculins. Ces situations conduisent les femmes à adopter des postures plus « dures », comme crier pour se faire entendre, répéter les choses, être peut-être plus agressives que nécessaire pour pouvoir être entendues. J'imagine que le fait d'être une femme m'a sûrement aidé pour entrer à l'IUE, mais je ne souhaiterais pas penser devoir ma carrière au fait d'être une femme. J'ai du mal avec les quotas en science, parce qu'à mon avis le problème se situe bien plus en amont. En revanche, je suis sensible à la notion de plafond de verre et je pense que la prise de conscience doit se faire tout au long du processus de recrutement et de promotion. Ces questions sont encore plus difficiles à interpréter quand on raisonne sur des petits nombres comme celui des physiciennes. L'astrophysique est un domaine avec une proportion de femmes de l'ordre de 20 à 30 %, ce qui n'est pas si mal !

F&P : Dans votre carrière, avez-vous rencontré des mentor.e.s et/ou avez-vous rempli ce rôle ?

MD : Des gens que j'ai admirés pour leurs qualités scientifiques et humaines, oui certainement, comme Alfred Vidal-Madjar, grâce auquel je me suis retrouvé en astronomie, ou Anne-Marie Lagrange. Annie Baglin (astrophysicienne à l'Observatoire de Paris) a également joué un grand rôle dans ma carrière. C'est quelqu'un que j'admire profondément pour son côté battante et moteur notamment. Mais je n'ai pas réellement eu de mentor.e avec un rôle actif comme on l'entend aujourd'hui. Il y a cependant des personnes à qui je dois des opportunités dans ma carrière, comme ma collègue Cécile Gry qui m'a fait travailler sur *Beta Pictoris*, ou encore Pierre Barge à Marseille. Effectivement, je ne me suis pas construite toute seule ! La façon de faire de l'astronomie a énormément changé entre le moment où j'ai fait ma thèse et maintenant, notamment par la quantité des données. Aujourd'hui, j'essaie donc d'accompagner au mieux mes thésards et mes postdocs, pour qu'ils trouvent leur place dans cette communauté.

F&P : Auriez-vous un message à faire passer aux jeunes filles qui souhaitent s'orienter vers l'astrophysique ?

MD : Ne pas hésiter à se laisser une chance ! Il faut tenter de réaliser ses rêves, même si ça passe par quelques échecs qui peuvent se révéler être des victoires ! Il faut aussi se donner les moyens d'y arriver, travailler et être prête à rebondir, car ce n'est pas parce qu'on a une formation académique que le monde économique nous est fermé. Aujourd'hui nous formons en physique des gens qui sont suffisamment versatiles dans de nombreux domaines et qui ont des compétences monnayables dans le monde économique. C'est valable pour la thèse, mais aussi au niveau de la formation en Master. J'y crois en tout cas, et il y a un travail de promotion de nos formations à l'Université à faire au niveau des entreprises et des jeunes.

F&P : Pour le mot de la fin, pouvez-vous nous dire si dans votre recherche sur les exoplanètes, l'objectif est de trouver une nouvelle « Terre » ?

MD : Oui, c'est clair, notre communauté aimerait répondre aux questions : « Sommes-nous seuls dans l'Univers ? », « Sur quelle autre planète y a-t-il une activité biologique ? », mais je ne crois pas à d'autres planètes habitables possibles pour nous. Les preuves de toute façon sont compliquées à obtenir. Pour y aller ensuite, c'est une autre histoire, et les chiffres sont là : *Proxima Centauri*, le système planétaire le plus proche de nous, est déjà à 4,2 années-lumière, soit 270 000 fois la distance Terre-Soleil ! Et c'est déjà compliqué d'aller sur Mars ! Pas de planète B donc ! Il faut que nous prenions soin de la nôtre ! ■

1
2
3

- 1• Michel Mayor et Didier Queloz ont reçu le prix Nobel de physique en 2019 pour leur découverte de la première exoplanète en 1995 depuis l'Observatoire de Haute-Provence.
- 2• CoRoT (COnvection, ROtation et Transits planétaires) est le premier télescope spatial lancé en 2006, destiné à l'étude de la structure interne des étoiles et à la recherche d'exoplanètes. Kepler est un télescope spatial développé par la NASA et lancé en 2009 pour détecter des exoplanètes.
- 3• <https://cheops.unibe.ch/fr/>