

assez sensibles pour être appliquées en routine ; il faut en effet détecter les débris d'ADN largués par quelques cellules tumorales disséminées parmi les innombrables cellules saines du corps. Néanmoins, cette piste reste prometteuse.

À l'inverse, en présence de métastases, la détection d'ADN tumoral circulant n'est pas forcément associée à une évolution défavorable : en effet, la quantité d'ADN tumoral circulant est en grande partie liée à la mort des cellules tumorales, qui influe peu sur le devenir des patients (elle peut même être le signe d'une diminution de la masse tumorale).

Repérer les mutations pour mieux cibler les thérapies

La dernière piste d'utilisation des cellules tumorales circulantes et de l'ADN tumoral circulant est la prédiction de l'efficacité d'une thérapie. Il s'agit de faire coïncider celle-ci avec un biomarqueur qui indique une sensibilité particulière à un traitement donné. Certains médicaments ne sont en effet efficaces qu'en présence de mutations génétiques spécifiques : par exemple, le trastuzumab (Herceptin®), un anticorps monoclonal, stoppe la prolifération des cellules cancéreuses du sein seulement si elles sont porteuses d'anomalies dans le gène *HER2*, qui code un facteur de croissance. Actuellement, on détermine la présence de mutations dans les cellules tumorales en effectuant une analyse génétique des cellules prélevées par biopsie des tumeurs. Mais l'ADN tumoral circulant, qui correspond à des fragments d'ADN de cellules tumorales, reflète très bien les anomalies génétiques d'un cancer donné. Dans une étude que nous avons menée à l'institut Curie en 2015, les mutations retrouvées par biopsie chez une quarantaine de patients étaient quasiment identiques à celles retrouvées dans l'ADN tumoral circulant détecté lors d'une simple prise de sang. Ainsi, l'ADN tumoral circulant devrait remplacer dans un avenir proche la biopsie pour déterminer les mutations tumorales ayant un intérêt thérapeutique.

À l'inverse, l'utilisation prédictive des cellules tumorales circulantes, qui comportent dans leur noyau de l'ADN tumoral, reste limitée du fait de leur faible nombre chez certains patients. Leur intérêt semble

donc restreint aux composants ou aux anomalies génétiques, par ailleurs difficilement détectables dans le sang, telles que les changements du nombre de copies d'ADN ou les anomalies de l'ARN tumoral. Par exemple, selon une étude de 2014 de l'équipe de Jun Luo, de l'université Johns Hopkins à Baltimore, certaines formes d'ARN dans les cellules tumorales circulantes seraient associées à une résistance à l'hormonothérapie des cancers de la prostate. Là encore, cette étude préliminaire, sur quelques dizaines de patients, requiert d'être reproduite indépendamment dans de plus larges cohortes de patients pour être validée.

Malgré ces réserves, nous n'avons jamais été aussi proches de l'utilisation en routine de la « biopsie liquide » pour lutter contre les cancers. Déjà, fin 2014, une première autorisation a été donnée en Europe pour détecter des mutations d'un gène d'intérêt (*EGFR*) dans l'ADN tumoral circulant par prise de sang chez les patients atteints de cancer bronchique et dont la tumeur est inaccessible à une biopsie tumorale classique (solide). D'autres applications sont par ailleurs en cours d'exploration, telles que la détection de cancers de la bouche ou de l'oropharynx *via* des tests de détection d'ADN tumoral non plus sanguins, mais salivaires.

Outre ces aspects d'analyse, la microfluidique et la médecine s'attellent aujourd'hui à reproduire dans ces systèmes de puces microfluidiques des « organes miniaturisés » – des organes sur puce. Il s'agit de reproduire *in vitro* sur ce format de carte de crédit les fonctionnalités d'organes *in vivo*. Ce domaine soulève de nombreux espoirs, notamment pour une meilleure compréhension de mécanismes pathologiques tels ceux à l'œuvre dans le développement du cancer, mais aussi pour le criblage d'agents thérapeutiques sur ces modèles biomimétiques, qui permettent alors d'éviter l'expérimentation animale. La révolution microfluidique est en marche ! ■

La biopsie liquide

pourrait être utile
chez les patients ayant
un antécédent
de cancer
susceptible de récidiver

■ BIBLIOGRAPHIE

F. C. Bidard *et al.*, *Circulating tumor cells in breast cancer*, *Molecular Oncology*, vol. 10, pp. 418-430, 2016.

J. Autebert *et al.*, *High purity microfluidic sorting and analysis of circulating tumor cells: towards routine mutation detection*, *Lab Chip*, vol. 15, pp. 2090-2101, 2015.

M. Ilie *et al.*, « Sentinel » *circulating tumor cells allow early diagnosis of lung cancer in patients with chronic obstructive pulmonary disease*, *PLoS One*, vol. 9, n° 10, e111597, 2014.

C. Alix-Panabières et K. Pantel, *Circulating tumor cells: liquid biopsy of cancer*, *Clin. Chem.*, vol. 59, n° 1, pp. 110-118, 2013.

F. C. Bidard *et al.*, *Going with the flow: from circulating tumor cells to DNA*, *Sci. Transl. Med.*, vol. 5, n° 207, pp. 207ps14, 2013.

L'ESSENTIEL

- Une exoplanète géante semble entourée d'un système d'anneaux 200 fois plus étendu que celui de Saturne.
- Les modélisations suggèrent la présence d'un satellite de la taille de Mars au cœur même des anneaux. Ce serait la première lune à être détectée en dehors du Système solaire.
- Au moyen d'observations quotidiennes et des données d'archives, astronomes professionnels et amateurs collaborent pour étudier ce système plus en détail.

Ron Miller

UN AIR DE SATURNE. Autour d'une étoile distante de 400 années-lumière, une planète géante arbore un système d'anneaux qui serait 200 fois plus étendu que celui de Saturne. Sur cette vue d'artiste, le premier plan est occupé par une lune, grande comme Mars, nichée dans les anneaux de la planète que l'on distingue au centre de l'image. L'étoile brille sur la gauche.

Une exoplanète aux anneaux géants

Matthew Kenworthy

Des astronomes ont découvert, autour d'une lointaine étoile, une planète dotée d'un immense système d'anneaux, et peut-être une lune.



■ L'AUTEUR



Matthew KENWORTHY est maître de conférences en astronomie à l'observatoire

de Leyde, aux Pays-Bas. Il étudie les exoplanètes et fabrique des coronographes optiques pour faciliter leur photographie.

Ces immenses anneaux seraient les premiers

à être découverts en dehors du Système solaire

C'en est un secret pour personne, l'astronomie se développe en grande partie dans les bureaux et les observatoires où travaillent les chercheurs. Mais si vous souhaitez entendre les théories les plus fascinantes, il faut parfois s'aventurer là où les esprits baissent la garde et laissent libre cours aux idées les plus folles. Ainsi, dans l'un des meilleurs bars de Tucson, aux États-Unis, le « 1702 », tout près de l'observatoire Steward de l'université d'Arizona, mon collègue Eric Mamajek, de l'université de Rochester, m'a confronté à une énigme qui nous a embarqués dans une folle chasse au trésor : trouver en dehors du Système solaire la première planète munie d'anneaux. Cette quête étonnante a nécessité les télescopes les plus modernes, mais aussi des observations astronomiques datant d'un siècle. Ce faisant, nous avons trouvé non seulement un système d'anneaux plus grand que celui de Saturne, mais également ce qui semble être une lune nouvellement née.

L'histoire débute un peu plus tôt en cette année 2011 à l'université de Rochester, lorsque Eric Mamajek et son doctorant Mark Peca ont constitué un catalogue de jeunes étoiles proches de la Terre. Afin de connaître l'âge de ces astres, le duo analyse les vitesses de rotation stellaire. En effet, les étoiles jeunes tournent sur elles-mêmes plus vite que les étoiles plus âgées, et leur vitesse de rotation est obtenue en scrutant l'apparition et la disparition des taches stellaires (des régions plus sombres et plus froides à la surface de l'étoile).

L'une des prétendantes au catalogue d'étoiles jeunes n'a pas de nom, juste un code qui correspond à la campagne d'observation SuperWASP dont sont issues les données (débutée en 2004 afin de détecter des exoplanètes) et à sa position dans la constellation du Centaure : 1SWASP J140747.93-394542.6. Nous l'appellerons J1407 pour simplifier. À l'instar des autres étoiles étudiées, J1407, distante de quelque 418 années-lumière, est trop lointaine pour que ses taches soient visibles directement. Par conséquent, les chercheurs se reportent sur la « courbe de luminosité » (la luminosité reçue en fonction du temps) et espèrent y mesurer les légères

diminutions de luminosité dues à l'apparition des taches stellaires sur l'astre au fil de sa rotation.

L'analyse de la variation de la luminosité indique bien que l'étoile J1407 est une jeune étoile en rotation rapide. Cependant, les données enregistrées et archivées depuis quelques années livrent d'autres informations étonnantes. En 2007, cette étoile *a priori* quelconque s'est mise à clignoter irrégulièrement pendant de nombreuses nuits, avant de s'assombrir au point de devenir quasi invisible sur une semaine, et de finalement retrouver son éclat habituel. En revanche, les données récoltées sur d'autres périodes n'indiquent pas de telles évolutions de luminosité. L'événement isolé de 2007 n'a alors pas retenu l'attention, et les données sont restées inexploitées. Mais Eric Mamajek, après en avoir pris connaissance début 2011, n'a cessé d'y repenser.

« J'ai affiché dans mon bureau un tirage de la courbe de luminosité, et je l'ai regardée pendant des semaines », me raconta-t-il quelque temps plus tard dans ce bar de Tucson. « Cette structure et ces détails dingues étaient uniques. À quoi donc pouvaient être dus ces rapides changements de luminosité de l'étoile ? » Peu après cette discussion, nous avons commencé à collaborer pour résoudre le mystère. Nous avons rapidement écarté les coupables les plus évidents, tels des dysfonctionnements de détecteurs ou de mauvaises conditions d'observation. Quelle qu'en soit sa nature, la source des mystérieuses baisses de luminosité de J1407 ne se trouvait pas sur Terre.

Une étoile qui clignote bizarrement

Nous savions pertinemment que des planètes sont également à l'origine de semblables diminutions de luminosité lorsqu'elles « transitent » devant leur étoile, vue depuis la Terre. Eric Mamajek et Mark Peca ont bien récupéré la courbe de luminosité de J1407 dans la base de données du relevé SuperWASP, qui a permis à ce jour de trouver 118 planètes en transit en surveillant environ 31 millions d'étoiles... Nous avons conclu que quelque chose de très rapide et volumineux devait éclipser J1407 et la faire clignoter. La rapidité des fluctuations de luminosité suggérait que l'objet « masquant » était passé devant le disque stellaire à une vitesse de 30 kilomètres par seconde, et néanmoins l'éclipse

avait persisté pendant 56 jours ! Cette durée signifiait que l'objet devait avoir une taille supérieure à 180 millions de kilomètres.

Seules quelques explications plausibles sont compatibles avec un objet d'une telle taille. Une par une, nous les avons envisagées, et nous les avons écartées. S'agirait-il d'une ceinture de poussières en orbite près de l'étoile ? Non, car aucun rayonnement infrarouge n'a été observé autour de J1407, un tel rayonnement étant révélateur de la présence de poussières chaudes. Devrions-nous imaginer un système binaire constitué d'une étoile de type géante rouge capable d'éclipser son plus petit compagnon (une naine blanche, une étoile à neutrons ou un trou noir) ? Non, car ces systèmes émettent beaucoup plus de rayons X, et J1407 ne semble pas être une étoile géante.

Ce clignotement serait-il dû à l'ombre créée fortuitement par un objet flottant dans l'espace interstellaire profond, entre la Terre et l'étoile ? J1407 serait-il un système complexe à trois étoiles dont l'un des compagnons, large de 180 millions de kilomètres, produirait des éclipses ? Aucune de ces possibilités ne correspondait davantage aux données. En fin de compte, l'explication compatible avec toutes les observations et qui restait la plus simple demeurait toutefois bien étrange : les chutes mesurées de la luminosité seraient le fait d'un système d'anneaux géant (quelque 200 fois plus

étendu que celui de Saturne) en orbite autour d'une planète invisible qui serait passée devant son étoile J1407, en 2007.

Mais quels indices nous ont menés sur la piste d'un système d'anneaux ? Le niveau de détail visible à toutes les échelles temporelles était sans doute la caractéristique la plus frappante de la courbe de luminosité : l'éclipse globale durait 56 jours, mais des changements rapides se produisaient parfois en seulement vingt minutes. Ces derniers nous amenèrent à penser que l'objet masquant avait de nombreuses sous-structures. En outre, la forme quasi symétrique de la courbe de luminosité suggérait un objet de géométrie elliptique ou circulaire, à l'image du système d'anneaux de Saturne. Si notre approche est juste, ces immenses anneaux planétaires seraient les premiers à être découverts en dehors du Système solaire.

La chasse aux planètes

Si nous étions réellement face à un système d'anneaux géant, alors il devrait y avoir une planète également géante autour de J1407 qui maintiendrait ces anneaux en place. Nous nous sommes donc mis en quête de cette planète, que nous nommons J1407b, à l'aide de deux des plus imposants observatoires : le télescope de 10 mètres de diamètre Keck II, à Hawaï, et le télescope VLT de 8,2 mètres, au Chili.

Même les plus massives et les plus brillantes des planètes restent faiblement lumineuses et difficiles à distinguer aux abords de leur étoile hôte. Par chance, J1407 est une jeune étoile dont l'âge est estimé à seulement 16 millions d'années : toute planète gazeuse géante en orbite autour d'elle brillerait encore fortement dans l'infrarouge en raison de la chaleur de sa récente formation. Étant donné la distance qui nous sépare de J1407, une planète se déplaçant sur une orbite équivalente à Jupiter (la plus importante des planètes du Système solaire) serait séparée de l'étoile d'un angle de 50 millisecondes. Cette valeur est équivalente à la distance entre les poteaux de but d'un terrain de foot vus depuis la surface de la Lune. Bien que difficile, une telle observation est à notre portée.

Pendant deux ans, nous nous sommes attelés à obtenir une « image » de la planète tout en traquant les oscillations de l'étoile dues à la faible force d'attraction de cet objet invisible en orbite. Pour chaque révolution de la planète, l'étoile montrerait un balancement latéral infime. Nous avons également mis à contribution un réseau d'astronomes professionnels et amateurs afin d'effectuer un suivi de la luminosité de J1407 toutes les nuits, à la recherche d'une nouvelle atténuation qui signalerait le début d'une éclipse.

Hélas, nous n'avons rien trouvé. Ce résultat n'invalide pas pour autant l'existence de la planète ; même dix fois plus

UN CURIEUX MOTIF D'OMBRES ET DE LUMIÈRE

Une courbe de luminosité (le tracé de la variation de luminosité d'un objet en fonction du temps) est un outil essentiel pour étudier les étoiles. Une brève augmentation de la luminosité résulte parfois d'une éruption stellaire, tandis qu'une baisse momentanée signale le surgissement des taches stellaires ou l'ombre d'une planète en orbite. Mais les fluctuations complexes de la courbe de luminosité de l'étoile J1407 en 2007 (*ci-dessous*) ne ressemblent à rien de connu. Par un étrange phénomène, l'étoile a scintillé et pâli pendant plusieurs mois.

Pendant 56 jours, la luminosité de J1407 a fortement chuté, ce qui laisse penser que l'étoile a été masquée par un objet de 180 millions de kilomètres de diamètre.



Les points représentent l'intensité de la luminosité stellaire ; les interstices sont un manque d'information (lumière du jour ou mauvais temps). Les variations de la luminosité suggèrent une structure cachée.

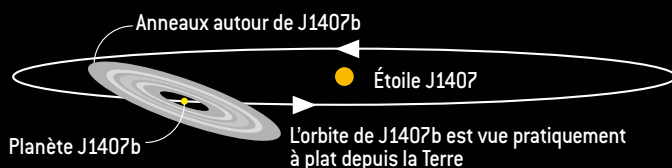
massive que Jupiter, J1407b aurait pu aisément nous échapper. Il est également possible que nous ayons regardé au mauvais moment, lorsque la planète restait cachée derrière son étoile. Cependant, ces non-détections nous ont au moins permis d'éliminer certains types de compagnons, telles des étoiles de faible masse dont nos instruments auraient révélé l'éclat.

Malgré les doutes, nous avons persisté, essayant de déduire l'architecture des anneaux dont nous supposons la présence autour de J1407b. De longs mois durant, notre équipe a développé des modèles informatiques pour extraire de l'information sur la constitution et la structure tridimensionnelle des anneaux à partir de la courbe de luminosité de J1407.

Face au tableau blanc et réfléchissant au problème avec plusieurs autres collègues, nous avons soudain eu une idée : même si nous ne connaissions pas le nombre exact et la localisation des anneaux, la pente des segments de la courbe de luminosité est susceptible de nous renseigner sur la géométrie globale du système d'anneaux, tel son alignement avec l'étoile centrale.

COMMENT CARTOGRAPHIER

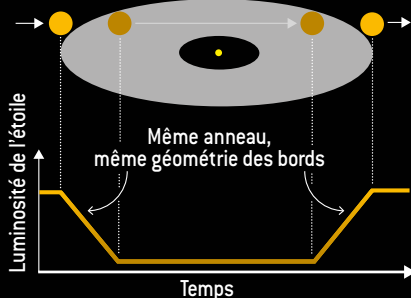
Après avoir envisagé tout un éventail d'explications possibles, les astronomes ont conclu que le scintillement de l'étoile devait être dû à l'ombre saccadée d'un vaste système d'anneaux porté par une planète invisible en orbite autour de l'étoile. Pour le démontrer, ils ont créé un modèle numérique de ce système afin de tester les différentes configurations d'anneaux susceptibles d'induire une telle variation dans la courbe de luminosité.



Du point de vue de l'observateur, le passage d'une planète devant une étoile équivaut au passage d'une étoile derrière la planète ; par souci de simplicité, c'est cette seconde perspective qui a été adoptée ci-dessous.

Trajectoire de l'étoile derrière les anneaux

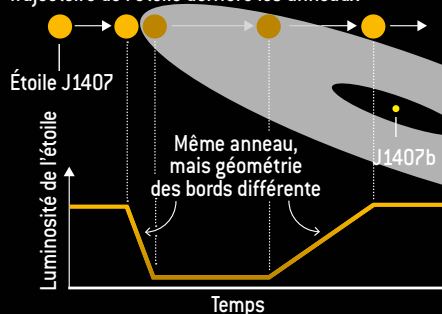
Trajectoire de l'étoile derrière les anneaux



MODÈLE DE BASE

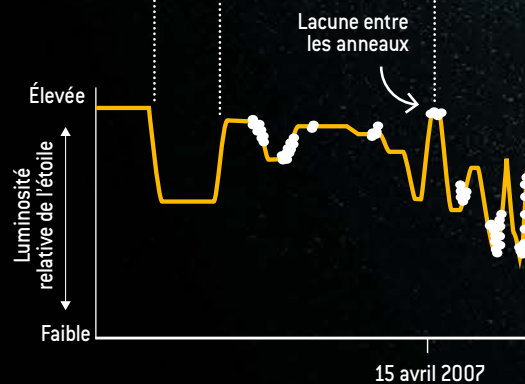
Tout système d'anneaux autour d'une planète forme un ensemble symétrique d'ellipses gigognes. Si cette planète transite devant son étoile et que son système d'anneaux est précisément aligné avec notre ligne de visée, la signature du transit dans la courbe de luminosité sera symétrique. Quand un anneau passe devant l'étoile, son bord d'attaque va projeter une ombre, suivie un peu plus tard d'une seconde ombre correspondant à son bord de fuite. Dans ce scénario idéal, la symétrie permet de compter facilement les anneaux et de cartographier leurs espacements.

Trajectoire de l'étoile derrière les anneaux



SYSTÈME INCLINÉ

En réalité, la plupart des systèmes d'anneaux apparaîtront très probablement inclinés, ce qui produira une courbe de luminosité dissymétrique. Dans ces cas, l'inclinaison, le nombre et l'espacement des anneaux seront mesurés grâce aux propriétés des pentes de la courbe de luminosité.



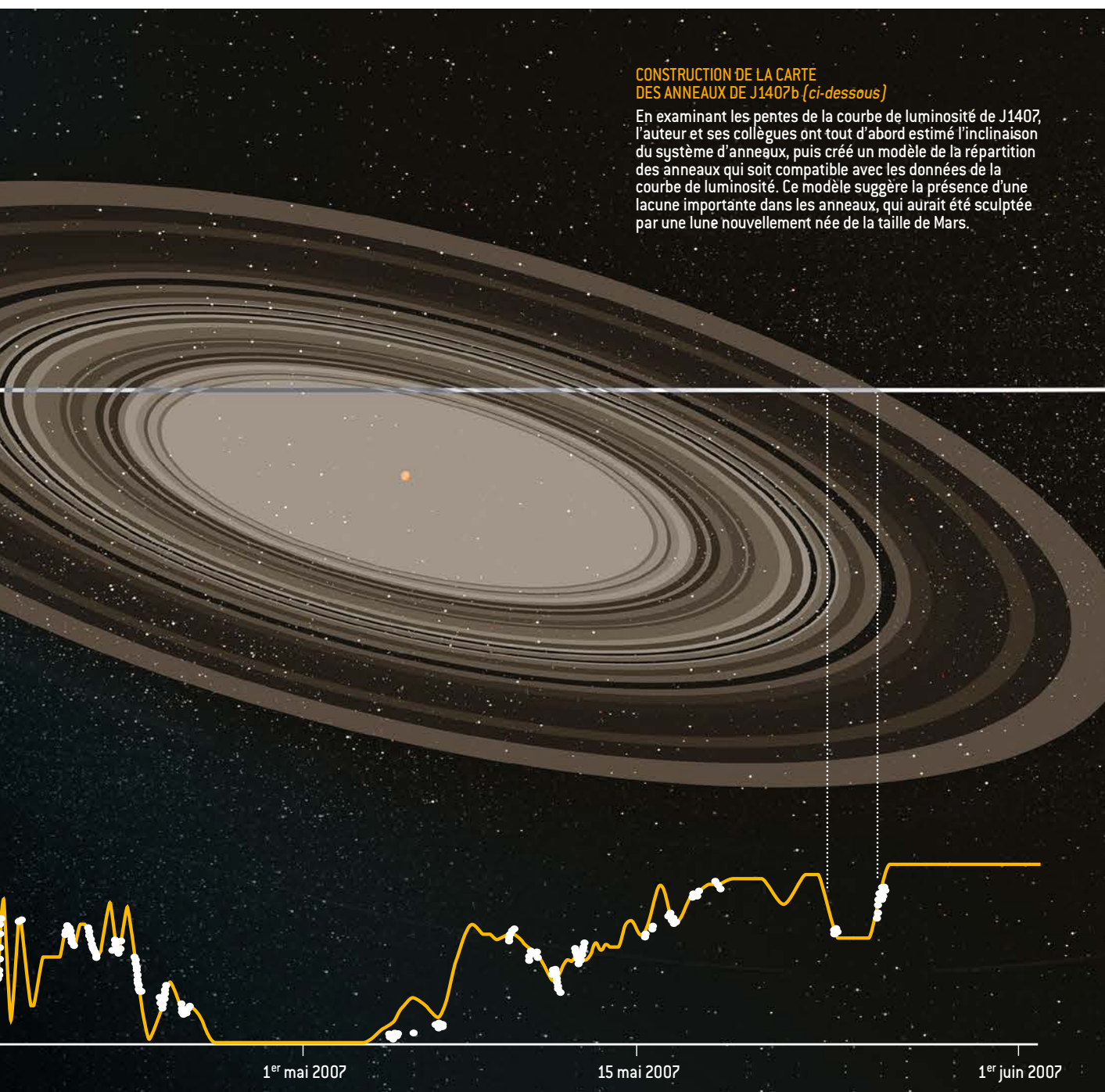
Grâce à cette idée, nous étions désormais en mesure de compléter notre modèle informatique qui décrit les anneaux et de produire des courbes types fondées sur des hypothèses d'orientation et d'inclinaison des anneaux. Comme nous l'espérions, l'une des configurations testées correspondait exactement aux motifs observés dans les données de luminosité de J1407!

Armés de ce nouvel élément, nous avons déterminé la structure du système, reliant chaque partie de la courbe de luminosité à différents anneaux distribués autour de la planète J1407b. Chaque rupture de la pente de la courbe de luminosité marque le début ou la fin du transit d'un anneau devant l'étoile. Ainsi, le décompte de ces points d'inflexion nous indique la présence

d'au moins vingt-quatre anneaux. Si l'on prend en compte le manque de données inhérent aux occasionnelles mauvaises conditions d'observation nocturne, nous estimons que le système comporte probablement une centaine d'anneaux.

Nous avons le privilège de saisir le système d'anneaux de J1407b à un stade particulier de son évolution. En effet,

UN SYSTÈME D'ANNEAUX



LES MAJESTUEUX ANNEAUX DE SATURNE

ne sont pas aussi uniques qu'on le pensait. Ils seraient même surpassés en taille par des systèmes géants tels que celui de J1407b, qui sont sans doute monnaie courante dans la Galaxie.

NASA, JPL et Space Science Institute

considérons un instant le système d'anneaux de Saturne et sa transformation au fil du temps. L'apparence monobloc de ses anneaux est en fait une illusion. Ces derniers sont constitués de particules de glace qui tracent des orbites circulaires autour de la planète. Les anneaux, formés d'agrégats de particules, sont malmenés par de minuscules lunes (des lunes mineures) qui sont en orbite en leur sein et jusqu'au-delà de leur bord externe. Il est admis que Saturne était autrefois doté d'anneaux plus larges, mais que les petites particules situées en périphérie du système se sont regroupées sous l'effet de leur attraction mutuelle. Ce processus, de plus en plus efficace à mesure que les masses se sont concentrées, a formé certaines des lunes de Saturne qui nous sont familières. Ce spectacle, aussi beau qu'éphémère, n'est plus de notre temps et il aurait fallu une bonne dose de chance pour l'observer ailleurs, en « direct ».

Comme le système d'anneaux de Saturne il y a longtemps, celui de J1407b semble aujourd'hui en transition. Notre modèle suggère que le système présente une large brèche, probablement formée par ce que les astronomes n'ont jamais vu

auparavant : une lune (une exolune nouvellement née) en orbite autour de J1407b. D'après nos calculs, ce satellite ferait le tour de J1407b en presque deux années et aurait la masse de Mars. À lui seul, l'espacement dans les anneaux ne peut constituer une détection catégorique d'exolune. Mais si la réalité de J1407b et de son système d'anneaux se confirme, ce sera la meilleure indication disponible pour dévoiler l'existence de ces objets que les astronomes recherchent depuis longtemps.

Sur la piste d'une exolune de la taille de Mars

Ce système exotique nous offre un panorama spectaculaire. En arrivant de l'espace interstellaire, vous seriez ébloui par la luminosité de l'étoile primaire dominant allègrement l'éclat terne, mais rougeoyant, de sa planète. À l'approche de cette dernière, les anneaux se dévoileraient par de brillantes rayures sur le fond sombre de l'espace. Ceinturé de débris variés produits par les collisions, le plan des anneaux serait envahi par des agrégats de matière. Le plus gros d'entre eux, à savoir une lune de la taille de Mars, aura balayé un espace important

dans le système et créé une grande lacune. Si cette lune est dotée d'une atmosphère, les particules égarées issues des anneaux brûleraient sous l'effet des frottements lors de leur traversée, en emplissant le ciel d'une pluie de météores scintillants.

J1407b représente pour les astronomes bien plus que la possibilité d'imaginer des paysages saisissants. Les planètes gazeuses géantes en orbite rapprochée autour de leur étoile sont parmi les compagnons les plus faciles à détecter. Sans surface solide, elles offrent des perspectives médiocres pour la vie telle que nous la connaissons. Mais une lune imposante qui graviterait autour de celle-ci serait bien différente, car elle offrirait une surface rocheuse porteuse d'eau relativement hospitalière pour la vie. Si le Système solaire est une référence, notre galaxie abriterait des milliers de milliards de grosses lunes en orbite autour de planètes géantes. Prouver l'existence de lunes autour de géantes gazeuses extrasolaires élargirait le champ des possibles pour les lieux d'apparition de la vie.

Depuis quelques années, un petit noyau de chercheurs traque sans relâche les exolunes, principalement par l'intermédiaire des effets indirects qu'elles

induisent sur le mouvement de leurs hôtes. Les planètes en transit atténuent de manière précise et périodique la luminosité de leur étoile mère, mais la masse d'une importante et invisible exolune entraîne un décalage supplémentaire dans le déroulement par ailleurs régulier des éclipses. Des astronomes tels que David Kipping, de l'université Columbia, ont mené des études poussées pour mettre au jour ces signatures d'exolunes dans les courbes de lumière de planètes à transit découvertes par le satellite *Kepler* de la Nasa. À ce jour, ils n'en ont trouvé aucune. Mais la lune possible de J1407b nous amène à penser que ces recherches porteront bientôt leurs fruits.

Cependant, la planète comme sa lune restent hypothétiques. Les plus grands télescopes et les instruments les plus sensibles sur Terre ne sont pas encore parvenus à trouver des preuves irréfutables de leur existence. En revanche, des données plus anciennes et archivées, recueillies grâce à des technologies aujourd'hui rudimentaires, seraient en mesure de nous apporter ces preuves...

Retour vers le futur

Le centre d'astrophysique Harvard-Smithsonian, à Cambridge aux États-Unis, accueille de nombreux chercheurs qui récupèrent les données des télescopes spatiaux, écrivent des articles, exécutent des simulations et assistent à des séminaires. À quelques mètres de ce bâtiment plein d'animation, hébergés dans une annexe aux murs de briques où peu de monde s'aventure, se trouvent les Harvard Plate Stacks et ses piles de grosses enveloppes en papier posées sur de longues étagères couvrant les murs jusqu'au plafond sur trois étages. Il ne s'agit pas d'un magasin de vente de disques en vinyle : ces écrans contiennent en réalité plus de un million de plaques photographiques provenant de divers observatoires, soit un quart de la collection mondiale. Cela représente un siècle d'observations du ciel nocturne.

Ces clichés historiques sont maintenant passés en revue par le projet *Digital Access to a Sky Century @ Harvard*, qui a pour objectif de numériser et de mettre en ligne toutes les données stockées sur ces fragiles plaques de verre. Nous avons déterminé que J1407 apparaît sur environ 700 de ces plaques, des images prises entre 1901 et 1984. Avec ces

données complémentaires, nous espérons dévoiler d'autres éclipses et déterminer ainsi leur fréquence. Pour l'heure, notre meilleure estimation est que la prochaine éclipse de J1407 se produira au cours de la décennie à venir.

La course est engagée pour trouver de nouveaux systèmes d'anneaux géants et d'exolunes semblables à celui dont on soupçonne la présence autour de J1407b

Nous sommes ainsi toujours à la recherche d'une preuve définitive de l'existence de la planète et de ses anneaux. Des astronomes enthousiastes surveillent J1407 presque toutes les nuits et cherchent à observer la baisse de luminosité attendue quand les anneaux les plus externes commencent à passer devant l'étoile. Lorsque cela se produira, de nombreuses observations seront menées pour étudier les anneaux beaucoup plus en détail. Nous utiliserons les spectrographes des plus grands télescopes afin de collecter une partie de la lumière stellaire filtrant à travers et autour des anneaux (ce qui révélera leur composition chimique et la façon dont elle varie avec la distance à J1407b). Et pour ne rien gâcher, J1407 est une étoile relativement brillante visible depuis l'hémisphère Sud, facile à observer : des astronomes du monde entier munis de petits télescopes seront en mesure d'enregistrer les fluctuations de luminosité de l'étoile en temps réel et d'offrir une surveillance en continu, 24 heures sur 24.

Notre plongée dans les anneaux géants de J1407b n'est que le début d'une longue série d'études concernant les mécanismes de formation des systèmes stellaires. Il est admis que les planètes géantes nouvellement nées sont flanquées de disques circumplanétaires tumultueux qui se condensent en anneaux et en lunes. Nous espérons bientôt détecter d'autres systèmes de ce type grâce aux ombres qu'elles projettent au loin et sur nous, à travers la Galaxie. Maintenant que nous savons ce que nous cherchons, la course est engagée pour trouver de nouveaux systèmes d'anneaux géants et d'exolunes semblables à celui dont nous soupçonnons la présence autour de J1407b. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

M. A. Kenworthy et E. E. Mamajek, **Modeling giant extrasolar ring systems in eclipse and the case of J1407b : Sculpting by exomoons ?**, *Astrophysical Journal*, vol. 800(2), article n° 126, 2015.

E. E. Mamajek *et al.*, **Planetary construction zones in occultation : Discovery of an extrasolar ring system transiting a young Sun-like star and future prospects for detecting eclipses by circumsecondary and circumplanetary disks**, *Astronomical Journal*, vol. 143(3), article n° 72, 2012.

Entretien avec J.-Ph. Beaulieu, **Petites, sombres, lointaines : comment les détecter ?**, *Dossier Pour la Science*, n° 64, 2009.

■ SUR LE WEB

Portail pédagogique du Labex ESEP sur les systèmes planétaires et les exoplanètes : www.esep.pro/Sciences-pour-les-Exoplanetes-et.html



UNE NOUVELLE ESPÈCE HUMAINE,
Homo naledi, soulève de nombreuses
questions sur l'origine et l'évolution
des australopithèques et du genre humain.

L'incroyable

Homo naledi

Kate Wong

**Petite, le cerveau gros comme une orange,
à la fois primitive et proche de nous, une espèce humaine
mise au jour en 2013 fait parler d'elle
et agite le milieu des paléanthropologues.**

Un murmure d'approbation s'élève dans la cave. Lee Berger vient d'ouvrir la caisse n°2, qui contient les ossements fossiles qui définissent *Homo naledi*. Cinq autres de ces caisses, initialement destinées à accueillir des fusils d'assaut, sont pleines d'autres fossiles enchâssés dans de la mousse. Religieusement, Lee Berger sort un maxillaire et une mandibule... D'un geste étudié, il les positionne l'un au-dessus de l'autre avant de nous présenter l'ensemble en souriant. Les flashes crépitent. Les stylos courent... La douzaine de journalistes présents sont sous le charme. Plus tard, Lee Berger passera d'un spécimen à l'autre, répondant volontiers à toute question, prenant la pose dans son blazer de cuir... Finalement, il nous invitera à réaliser des selfies avec l'autre célébrité présente, à l'origine de notre présence dans la cave à fossiles de l'université du Witwatersrand : *Homo naledi*.

Comme il y a cinq ans pour *Australopithecus sediba*, Lee Berger a organisé pour *H. naledi* un grand spectacle médiatique. Le verbe haut, le sens de la mise en scène et plus généralement le style de cet Indiana

L'ESSENTIEL

- Des spéléologues ont découvert en 2013 une salle pleine de fossiles dans la grotte Rising Star, non loin de Johannesburg, en Afrique du Sud.
- En deux expéditions, l'équipe de Lee Berger a extrait 1 550 fossiles correspondant à plus de 15 individus.
- Ils appartiennent à une nouvelle espèce humaine semble-t-il très ancienne, même si elle n'a pas encore été datée.
- La présentation en fanfare de cette découverte majeure a suscité un malaise dans la communauté des paléanthropologues.

Jones sont en train d'en faire le paléoanthropologue le plus connu du monde... et le plus décrié parmi ses pairs. Sa dernière découverte, faite à partir de 2013, est pourtant vraiment spectaculaire : alors que, le plus souvent, les nouvelles espèces humaines sont décrites à partir d'une ou de deux pièces fossiles, Lee Berger a exhibé 1 550 fossiles d'*H. naledi* ; et, chose sidérante pour le connaisseur, les caractères que l'on y lit font tantôt penser à un australopithèque, tantôt à un humain ou alors... n'avaient jamais été observés auparavant.

Déjà dans le cas d'*Au. sediba*, plutôt qu'un fossile isolé, Lee Berger avait présenté deux squelettes assez complets. Aussitôt, il avait voulu y voir des ancêtres du genre humain. Pour *H. naledi*, il affirme quelque chose d'encore plus énorme : il soutient que cette forme au cerveau de la taille d'une orange était humaine et qu'elle pratiquait des rituels funéraires ! Tout cela s'agissant d'une forme fossile peut-être très ancienne, mais aussi peut-être récente, puisqu'elle n'a pas encore été datée...

Pour comprendre comment Lee Berger en vient à de telles affirmations, le mieux