

«Jupiter chaudes» et planètes flottantes

Certaines planètes ne tournent autour d'aucune étoile «mère». Le mécanisme de leur formation a peut-être été élucidé.

Les détections de planètes gravitant autour d'étoiles semblables au Soleil s'accroissent à un rythme accéléré. Elles semblent confirmer que la formation de systèmes équivalents au Système solaire est relativement commune. Cependant, certains de ces systèmes diffèrent du nôtre, et les modèles de formation des planètes généralement admis ne s'appliquent pas. En revanche, quand on suppose que de grosses planètes peuvent se former selon des mécanismes semblables à ceux qui donnent naissance aux étoiles, on explique alors l'existence de la plupart de ces systèmes exotiques.

Au cours de ces six dernières années, une soixantaine de planètes ont été découvertes autour d'étoiles semblables au Soleil. Les astronomes ont acquis la certitude qu'il ne s'agit pas d'étoiles, mais bien d'objets comparables aux planètes géantes du Système solaire (notamment Jupiter et Saturne), car leurs masses sont environ 1 000 fois inférieures à celle d'une étoile moyenne. Leurs orbites sont, cepen-

dant, très différentes de celles des planètes du Soleil. D'abord, certaines de ces géantes sont extrêmement proches de leur étoile parente. De tels objets, dangereusement proches des feux de leur étoile, ont été surnommés «Jupiter chaudes». Ensuite, un grand nombre d'entre elles circulent sur des orbites très elliptiques, alors que les planètes du Système solaire ont toutes, sauf Pluton, des orbites quasi circulaires. Plus récemment, on a même découvert une trentaine de planètes qui sont «dépourvues d'orbite» : elles n'appartiennent pas à un système stellaire mais dérivent, solitaires, dans l'espace, telles les étoiles. Comme la masse de ces objets est trop faible (inférieure à 15 masses de Jupiter) pour que des réactions thermonucléaires puissent avoir lieu dans leur cœur, on leur refuse le statut d'étoile. On appelle ces astres exotiques des «planètes flottantes».

Le Soleil se serait formé à la suite de l'effondrement gravitationnel d'un très vaste nuage protostellaire de gaz et de poussières. Peu de temps après, un disque de matière circulant autour de la jeune étoile aurait donné naissance aux planètes par accrétion des poussières qu'il contenait. Ce modèle prévoit que les orbites des planètes ainsi formées sont presque circulaires et que les planètes géantes se forment relativement loin de leur étoile. Il justifie difficilement l'existence de planètes à orbite très elliptique et ne peut expliquer la présence de planètes flottantes.



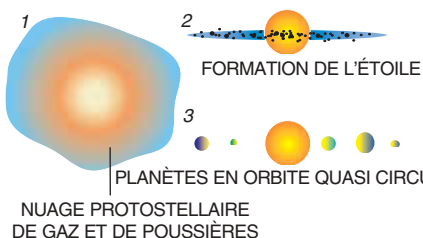
La nébuleuse d'Orion contient des planètes flottantes.

Comme alternative à ce modèle, nous avons étudié une autre possibilité. Des planètes pourraient se former dans le nuage protostellaire par condensation de petits «grumeaux», des fluctuations locales de la densité du nuage. Une fois formée, l'étoile centrale, éventuellement accompagnée de son disque d'accrétion classique, serait déjà entourée d'une nuée de planètes géantes sœurs, se déplaçant dans des plans très inclinés les uns par rapport aux autres. Les simulations numériques de l'évolution de tels systèmes montrent que ces planètes géantes interagissent fortement : quand une planète en croise une autre, elle lui cède de l'énergie et tombe vers le centre du système, tandis que l'autre en acquiert assez pour être éjectée de son orbite. Après quelques milliers de révolutions, la plupart de ces géantes sont expulsées dans l'espace ou englouties par leur étoile. Seules une ou deux survivantes restent au voisinage de l'étoile sur des orbites plus petites et très elliptiques. Un tel mécanisme explique à la fois l'existence des «Jupiter chaudes», des orbites très elliptiques et des planètes flottantes expulsées de leur système d'origine.

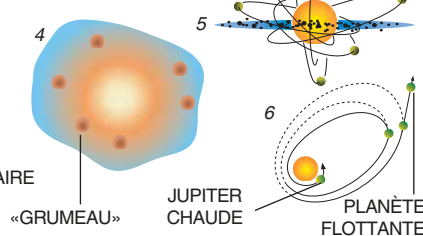
Ainsi, le mécanisme de formation de certaines planètes géantes extrasolaires semble s'apparenter davantage à celui des étoiles qu'à celui des planètes classiques. Toutefois, certains des objets détectés sont trop légers pour être le résultat d'un tel mécanisme. La croissance par accrétion dans un disque et la condensation à partir de grumeaux se produisent sans doute toutes deux dans l'Univers.

Caroline TERQUEM et John PAPALIOZOU,
Institut d'Astrophysique de Paris

a FORMATION DES PLANÈTES PAR ACCRÉTION



b FORMATION DES PLANÈTES PAR CONDENSATION



Les étoiles se forment par effondrement d'un nuage protostellaire. Quelques millièmes de la masse du nuage peuvent s'organiser en un disque de gaz et de poussières tournant autour de l'étoile. Dans le modèle de formation des planètes par accrétion (a), des poussières donnent naissance aux planètes (2 et 3). Selon le nouveau modèle proposé (b), les planètes se forment à partir de grumeaux de densité supérieure à celle qui règne, en moyenne, dans le nuage protostellaire (4). De telles planètes ont des orbites très inclinées les unes par rapport aux autres (5). Elles interagissent très fortement (6), de sorte que certaines perdent de l'énergie et tombent vers l'étoile. Elles y sont englouties ou bien adoptent une orbite et très proche de l'étoile. Celles qui récupèrent cette énergie sont éjectées du système et errent dans l'espace : ce sont les planètes flottantes.

Bactéries éclairantes

Des bactéries lumineuses servent de leurre aux prédateurs des mollusques qui les hébergent.

Les calmars, les seiches et autres céphalopodes sont connus pour leur poche à encre noire qui leur permet d'échapper à leurs prédateurs, mais certains disposent aussi d'un organe lumineux qui fonctionne grâce à des bactéries luminescentes. Située sous le ventre, cette «lampe» servirait d'appât en attirant les proies, tel le «lamparo» d'un bateau de pêche, mais son rôle est surtout défensif. Normalement, les céphalopodes sont repérés par les prédateurs qui voguent au-dessous, parce qu'ils se détachent en contre-jour sur la surface de l'océan éclairé par le Soleil ou par la Lune. L'«ampoule» à bactéries placée sous le ventre leurre les prédateurs en nimbant les céphalopodes d'un halo laiteux, qui estompe leur silhouette. Au laboratoire marin Kewalo de l'Université d'Hawaii, à Honolulu, Margaret McFall-Ngai et son équipe ont montré que ce sont les bactéries elles-mêmes qui déclenchent la formation de leur niche écologique, l'organe lumineux.

Euprymna scolopes est une sépiole, un céphalopode de petite taille proche des seiches, mais qui n'a pas d'os calcifié. Le jour, elle somnole, enfouie dans les sédiments ; au crépuscule, elle chasse. L'organe lumineux n'a pas une fonction vitale : à la naissance, les petites sépioles en sont dépourvues et, au laboratoire, elles n'en acquièrent pas tant que leur milieu reste stérile. L'organe ne se développe qu'après un contact avec *Vibrio fischeri*, une bactérie spécifique de l'environnement marin d'*Euprymna scolopes*.



Comme d'autres sépioles, celle d'Indonésie fait varier sa luminosité au fond de l'océan.

En sa présence, la sépiole secrète un mucus visqueux qui, tel un aimant, attire les bactéries de cette espèce. Celles-ci s'agglutinent près de pores, situés à proximité du futur organe, pénètrent dans des sortes d'alvéoles épithéliales et déclenchent la formation de la glande lumineuse transparente.

Une fois amorcé, le système s'auto-entretient. Comme les bactéries ont une durée de vie très courte, le stock en est renouvelé chaque jour : le matin, la plupart d'entre elles (90 à 95 pour cent) sont rejetées dans l'eau de mer, tandis que celles qui sont restées en place se multiplient activement. Le soir venu, le dispositif est de nouveau prêt à fonctionner.

Après leur rencontre, la sépiole et la bactérie entretiennent une relation symbiotique permanente. Les bactéries se nourrissent des peptides de l'enveloppe qui les renferme, et elles fournissent l'éclairage, par le biais d'une enzyme, la luciférase. Toutefois, les sépioles gardent la maîtrise de la luminosité : elles disposent de tissus qui jouent le rôle de lentilles, de réflecteurs et d'obturateurs, grâce auxquels elles font varier l'intensité lumineuse à volonté, voire même la direction du faisceau lumineux émis.

En Méditerranée, certaines sépioles sont également pourvues d'un dispositif d'éclairage, mais il fonctionne avec d'autres bactéries. Parfois, une espèce de sépiole a «ses» propres bactéries lumineuses. Ce type de relations symbiotiques est assez fréquent chez les céphalopodes. Chez les seiches, des glandes, dites accessoires, deviennent rouges à maturité sexuelle, et cette coloration est due à la synthèse de caroténoïdes par des bactéries symbiotiques. Quant aux calmars, certains cumulent deux associations symbiotiques : un type de bactéries assure la luminescence, un autre la coloration des glandes accessoires.

En fait, les céphalopodes actuels sont des invertébrés dotés d'une évolution cérébrale remarquable, mais on ne connaît pas tous les maillons de leur chaîne évolutive. Les biologistes pensent que leur survie est peut-être liée à la faculté d'adaptation de leurs bactéries symbiotiques. Pour Renata Boucher-Rodoni, au Laboratoire de biologie des invertébrés marins et malacophagie du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, ces bactéries représentent un fil d'Ariane qui pourrait permettre aux biologistes de reconstituer l'histoire évolutive des céphalopodes et de retrouver leur ancêtre commun et la toute première bactérie qui les a éclairés.

Marie-Thérèse LANDOUSY

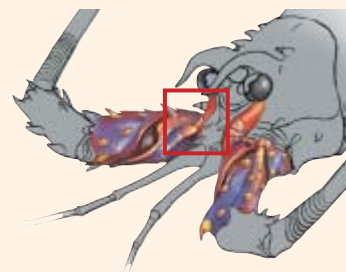
BRÈVES

Je est un autre

Se mettre à la place de quelqu'un d'autre ! Jean Decety et Perrine Ruby, de l'Unité INSERM 280, ont mis en évidence les mécanismes cérébraux qui autorise ce dédoublement de la personnalité. Un tomographe par émission de positons a enregistré l'activité cérébrale de volontaires à qui l'on a demandé de s'imaginer en train d'utiliser un objet usuel ou d'imaginer une autre personne manipulant cet objet. Les résultats montrent que des aires, notamment celles de la programmation des mouvements, sont activées dans tous les cas, tandis que d'autres interviennent dans la distinction entre soi et l'autre. Les sujets se représentent l'action réalisée pour un autre, sans toutefois aller jusqu'à se confondre avec lui.

La langouste virtuose

Comment les langoustes effraient-elles leurs prédateurs ? En jouant du violon ! De nombreux animaux, tels les criquets, produisent un son par le frottement de pièces rigides et rugueuses. Toutefois, grâce à des microphones et des micro-capteurs, Sheila Patek, de l'Université Duke, a montré que les langoustes utilisent la friction de deux tissus mous pour créer un son : de la même façon qu'un archet glisse sur les cordes d'un violon, une pièce souple, nommée plectrum, de la base de l'antenne de l'animal glisse sur une bande de tissus mous qui joint le point d'ancrage de l'antenne à l'œil.



La tisseuse de circuits électroniques

La veuve noire est une araignée qui tisse une soie particulièrement résistante. Et si l'on se servait de cette soie pour fabriquer des fils conducteurs, minces et solides ? Markus Koch et Michael Stuke, de l'Institut Max Planck ont réussi, par l'action abrasive d'un laser, à amincir des brins de cette soie jusqu'à un diamètre compatible avec les connexions les plus fines des circuits électroniques actuels. Les brins conservent leur solidité. Ils devraient maintenant être recouverts de métal par un procédé électrochimique ; on obtiendrait alors de longs fils conducteurs souples, fins et résistants.

De nouveaux poissons-chats

L'Institut de recherche pour le développement et l'Institut de recherche sur les pêcheries de Jakarta ont étudié les différentes espèces de poissons-chats qui peuplent les eaux indonésiennes. Diversité biologique, phylogénie, abondance, zones de répartition, ont été



IRD

suivies dans une enquête minutieuse commencée en 1996. À la clé, trois nouvelles espèces et la découverte qu'une des espèces locales, *Pangasius djambal*, est adaptée à la pisciculture. Son goût et la couleur blanche de sa chair sont fort appréciés des Indonésiens, et c'est un des poissons-chats qui atteint la plus grande taille à l'âge adulte (de trois à cinq kilogrammes). Enfin, ses larves ne se dévorent pas entre elles, un cannibalisme qui limite souvent les taux de survie dans les stations piscicoles.

Étoiles mangeuses de planètes

L'étoile HD82943 a été prise en flagrant délit de «planéticide» par une équipe de l'Institut d'astrophysique de Gran Canarias. On a observé les reliefs du repas de l'étoile dans son spectre, sous la forme des raies du lithium 6. Cet isotope, rapidement détruit dans les étoiles de type solaire, ne survit qu'au sein des planètes plus froides : on en déduit que le lithium avait été récemment «absorbé» par l'étoile, dont on suppose qu'elle venait d'engloutir une ou plusieurs de ses planètes qui contenait l'élément révélateur.

Un assemblage de virus

Certaines tumeurs du cerveau restent difficile à traiter. Un petit pas en direction d'un traitement vient d'être franchi chez la souris. Le virus de la poliomyélite se fixe sur une molécule exprimée en abondance par les cellules de ces tumeurs. Il a une qualité que l'on recherche pour tous les traitements anticancéreux : il est bien ciblé. Malheureusement, on ne peut injecter du poliovirus au risque de déclencher la maladie. Une équipe de l'Université Duke a eu l'idée de combiner ce virus avec un rhinovirus, responsable du rhume. Le virus modifié ne confère plus la maladie, mais conserve son pouvoir de destruction des cellules malignes visées. Après une injection, les souris ont été débarrassées de leur tumeur cérébrale.

Le son des bulles

Dans les mousses, les petites bulles éclatent autant que les grosses, et les explosions se produisent en cascade.

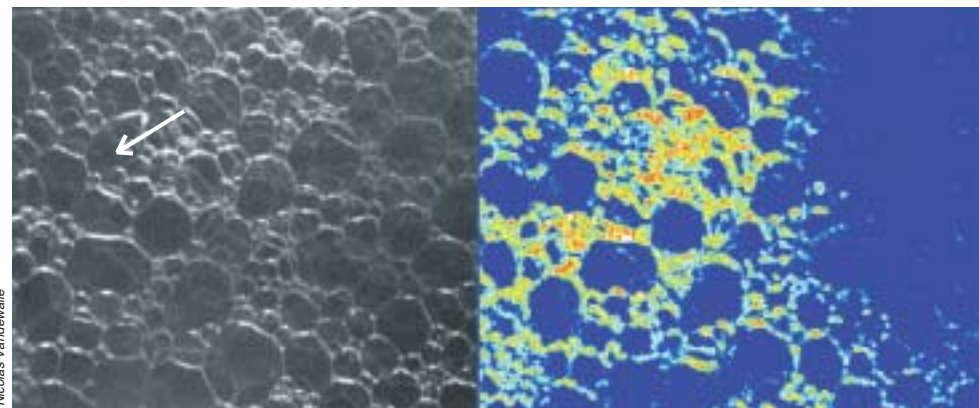
Qui ne s'est jamais laissé bercer dans son bain par l'apaisant crépitement de la mousse? Les bulles semblent éclater au hasard : il n'en est rien. Le crépitement n'est pas régulier, mais se produit par salves. Quand une bulle explose, elle provoque la disparition en cascade des bulles de son voisinage.

Rien de plus facile que de fabriquer de la mousse : on souffle de l'air dans de l'eau savonneuse ou on l'agite vigoureusement, et des bulles se forment, et emprisonnent de l'air. Leurs parois, composées de molécules de savon et d'eau, sont très fines (quelques centaines de nanomètres). Plus les parois contiennent d'eau, plus elles sont épaisses et moins elles sont fragiles. Les bulles sont empilées comme des oranges écrasées ; elles reposent sur l'eau et les bulles supérieures sont en contact avec l'air. L'eau circule entre les bulles, soumise à deux forces : les forces de gravité attirent l'eau vers la bas et les forces de capillarité attirent l'eau essentiellement vers le haut, en l'«aspirant» du réservoir d'eau savonneuse. Au sommet de la mousse, les forces de gravité sont supérieures aux forces de capillarité, et peu à peu, l'eau s'écoule entre les bulles, mais aussi au sein des parois. Les parois des bulles de surface s'assèchent, s'amincissent, deviennent plus fragiles, et finissent par éclater quand leur paroi n'est plus assez élastique pour résister aux contraintes. À long terme, les bulles disparaissent.

Nous avons mis en œuvre une étude statistique de l'éclatement des bulles de savon et de bière, grâce à des enregistrements sonores. Une explosion dure quelques millisecondes seulement, et entre 500 et 1 000 bulles éclatent par minute selon la mousse. Il est donc très rare que deux explosions soient simultanées (environ 0,5 pour cent des explosions seulement), c'est pourquoi nous pouvons séparer les différentes explosions des bulles. L'intensité sonore étant proportionnelle au volume de la bulle qui éclate, nous avons calculé la taille des bulles qui explosent en fonction du temps. Nous avons aussi évalué les durées qui séparent deux explosions successives, et montré que les grosses bulles explosent aussi souvent que les petites.

En analysant les durées entre les éclatements successifs, nous avons montré que ceux-ci se produisent par «cascades». Nous avons cherché à en déterminer les mécanismes, grâce à l'analyse vidéo. L'explosion d'une bulle provoque une perturbation des bulles à la surface et au sein de la mousse. Nous avons mesuré qu'en surface, les bulles se réorganisent sur des distances importantes : de l'ordre de 10 diamètres de bulles (les bulles mesurent entre cinq et huit millimètres de diamètre). En profondeur, des bulles montent et prennent la place de celles qui ont explosé, mais ce phénomène se limite aux premières bulles voisines. L'explosion d'une bulle provoque aussi une minuscule turbulence de l'air qui détruirait les parois les plus fragiles des bulles environnantes, ce qui explique pourquoi les cascades d'explosions apparaissent, mais pas pourquoi elles s'arrêtent. La prochaine fois que vous prenez une bière, écoutez les salves de bulles qui crépitent, et attention aux turbulences!

Nicolas VANDEWALLE,
Université de Liège



Nicolas Vandewalle

Une mousse avant l'éclatement d'une bulle (à gauche). Lorsqu'une bulle éclate (flèche), elle perturbe toute la région environnante ; les zones colorées en jaune-vert (à droite) représentent les parois des bulles que l'explosion a perturbées. Les bulles en surface sont touchées sur une distance environ égale à 10 diamètres de bulles (les bulles mesurent cinq à huit millimètres).