

la seconde méthode vise à créer de nouvelles variétés améliorées. Elle consiste à utiliser des variétés diploïdes sauvages ou améliorées et à les croiser pour créer des hybrides diploïdes. Traités à la colchicine, qui bloque la division cellulaire, ces hybrides deviendront des autotétraploïdes qui, croisés avec des diploïdes, donneront des triploïdes intra- ou interspécifiques stériles et parthénocarpiques. En 2003, deux hybrides ont passé le cap de la phase d'évaluation, mais une seule variété a été retenue. Cette dernière se caractérise par des fruits courts et nombreux au goût très différent de celui des Cavendish et par un retour de cycle très rapide, de l'ordre de quatre à cinq mois. Cependant, sa grande taille et son faux-tronc grêle sont peu compatibles avec une production intensive. En 20 ans, la création variétale a largement progressé et des hybrides ayant passé le stade de sélection de la résistance aux parasites (particulièrement des cercosporioses) sont en cours d'évaluation en milieu naturel.

Enfin, depuis quelques années, afin de mieux maîtriser les infections virales (et celles du charançon), on utilise des techniques d'amélioration différentes de l'hybridation classique, les gènes de résistance à ces parasites n'étant pas connus dans le genre *Musa*. En multipliant *in vitro* des bourgeons de la souche, les chercheurs obtiennent des suspensions de cellules, à partir desquelles ils sélectionnent des clones, parfois après avoir provoqué des mutations au hasard ou transféré des gènes conférant une résistance à une maladie. En Ouganda, à Cuba, en Colombie et dans quelques autres pays, des plants résistants à la cercosporiose noire et des variétés transgéniques résistants à la maladie de Panama, aux charançons et aux nématodes seraient en cours d'évaluation en plein champ. Comme toute recherche sur les OGM, ces travaux soulèvent de nombreuses questions écologiques ; souhaitons que l'évaluation de la biosécurité soit réalisée avec rigueur et indépendance.

En Guadeloupe et en Martinique, les agriculteurs, en étroite collaboration avec les chercheurs du CIRAD, de l'INRA (Institut national de la recherche agronomique), de l'IRD (Institut de recherche pour le développement), du CEMAGREF (Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement) et de diverses équipes universitaires, dévelop-

La banane, rites et symboles		
Depuis longtemps « au service des humains », le bananier est intégré à la culture et aux croyances de nombreuses sociétés. En Inde, il est mentionné dans divers textes sacrés dès le VI^e siècle avant notre ère. Selon les croyances chrétiennes de l'Inde et du Sri Lanka, la banane était le fruit défendu offert par Ève à Adam, et la grappe de raisin de l'histoire des Hébreux devenait un régime de bananes. La touffe de bananiers, avec son pied-mère, ses rejets fils et petits-fils, est souvent rapprochée de la famille humaine. Le juriste musulman Abu Hanifa (VIII^e siècle) fait ainsi dire à son disciple : « Pourquoi donc, mon fils, ne me ressembles-tu point ? » Son fils lui répond : « Je suis comme le bananier, qui n'est bon à quelque chose qu'après la mort de sa mère. »	Nombre d'ethnies associent le bananier à la féminité. Chez les Mélanésien, il symbolise la femme (produisant des fruits comme la femme donne naissance). Chez les Yanomami (Amazonie), la femme et l'homme occupent deux positions extrêmes, à l'image du bananier et du palmier dans le cycle agricole : le bananier est la première plante à fructifier et disparaître, alors que le palmier, dernière à fructifier, subsiste même lorsque le jardin est devenu improductif. Les Bamoun (Cameroun), quant à eux, enterrent le placenta du nouveau-né au pied d'un bananier si c'est une fille, d'un palmier si c'est un garçon. En Afrique des Grands Lacs (Ouganda, Rwanda, Burundi), le bananier est au cœur des traditions des peuples du Buganda,	du Buhaya et du Busoga. Le garçon adulte offre comme dot des bananiers de la variété « Mpolongoma » (lion). Et s'il délaisse sa femme, celle-ci recourt au cultivar Enzinga, dont les bananes disposées en spirale sont censées empêcher les maris de batifoler. Le bananier est aussi le pilier de l'économie familiale : la présence de bananiers porteurs de régimes permet d'obtenir un prêt. La bière de banane se partage dans les réunions masculines qui marquent la vie familiale et publique, ainsi que lors de diverses autres cérémonies. Dans certaines cultures, enfin, le bananier est associé à la méditation : parce qu'il disparaît après avoir porté ses fruits, Bouddha en a fait le symbole de la fragilité et de l'instabilité des choses de ce monde.

pent une démarche associant stratégie culturale, lutte biologique et utilisation de variétés résistantes : interruption des cycles de développement des pathogènes pour réduire leur dispersion (combinaisons de jachères et de rotations des cultures), création et développement de variétés résistantes compatibles avec les conditions d'exportation, développement des plantes qui assurent le couvert végétal entre deux périodes de culture bananière, amélioration des techniques de lutte contre le charançon et les maladies post-récolte.

Vers une production durable

La recherche prospective s'intéresse aussi à trois aspects très différents. D'abord, elle prend en compte les perspectives du marché. Des niches particulières de marché se développent : banane biologique, banane équitable..., mais aussi une diversification des goûts, qui appelle à développer de nouvelles variétés. Ensuite, elle étudie les risques d'évolution du parasitisme : depuis moins de dix ans, on a vu une extension inquiétante de maladies et parasites émergents, tels le flétrissement bactérien en Afrique ou la maladie

des raies noires en Martinique. Il s'agit donc de veiller à la durabilité des résistances parmi les variétés sélectionnées et d'éviter les contournements de ces résistances par les agents pathogènes.

La mise en place d'une production et d'une protection intégrées, enfin, impose l'étude des relations entre la durabilité du système de culture (notamment des résistances aux attaques de pathogènes) et l'agrodiversité qui y règne, fruit de la réintroduction d'une diversité organisée (rotation, variétés, etc.) et de la promotion d'une diversité naturelle au niveau des sols.

Avec ces nouvelles conceptions et pratiques, on peut être optimiste quant à l'avenir de la culture de la banane pour l'exportation. En revanche, les productions de bananes légume – base de la sécurité et de l'indépendance alimentaire des pays pauvres – n'ont pas bénéficié de recherches soutenues avant les années 1970. Depuis, l'impact de la cercosporiose noire sur beaucoup de ces cultures a fait émerger, au plan international, la nécessité d'une recherche spécifique, axée sur la mise au point de variétés résistantes au parasitisme, l'utilisation de pesticides – trop onéreuse – étant exclue dans les pays concernés. ■



Improbables

L'ESSENTIEL

✓ Les astronomes ont, de façon inattendue, découvert des planètes autour d'étoiles à neutrons (résidus d'explosions en supernova), de naines blanches (cadavres d'étoiles de type solaire) ou de naines brunes (étoiles avortées).

✓ Ces planètes situées dans des systèmes extrêmes témoignent de l'universalité et de la robustesse du processus de formation planétaire.

L'un des spectacles les plus poignants des cieux est celui d'une naine blanche. Un tel astre a une masse comparable à celle de notre Soleil, mais il figure parmi les moins brillants, et son éclat ne cesse de faiblir.

Il ne s'agit pas tant d'une étoile que du cadavre d'une étoile. Pendant une durée pouvant atteindre dix milliards d'années, cet astre a été très semblable au Soleil et a brillé avec le même éclat. Mais lorsqu'il a commencé à être à court de combustible, il a connu une violente agonie. Il s'est dilaté jusqu'à 100 fois sa taille actuelle et est devenu 10 000 fois plus brillant (phase dite de « géante rouge »), avant d'éjecter par bouffées ses couches externes et de se recroqueviller en une braise rougeoyante de la taille de la Terre. Pour le reste de l'éternité, la naine blanche

restera inerte, en rayonnant de moins en moins d'énergie, s'éteignant peu à peu.

Et il y a plus triste encore. Avec nos collègues, nous avons trouvé dans notre Galaxie plus d'une douzaine de naines blanches autour desquelles tournent des astéroïdes, des comètes et peut-être même des planètes ; en d'autres termes, des cimetières de systèmes stellaires entiers.

Tant que les étoiles étaient en vie, elles se levaient chaque jour sur l'horizon de ces corps célestes. Elles en réchauffaient doucement le sol et faisaient s'agiter le vent. Des organismes vivants en ont peut-être même profité. Mais quand ces étoiles sont mortes, elles ont vaporisé ou englouti leurs planètes proches (ou internes), n'épargnant que celles occupant les marges lointaines et glacées.

Au fil du temps, les naines blanches ont détruit à leur tour la plupart de ces



Ron Miller

Il existe des planètes autour d'étoiles atypiques, où il ne devrait pas y en avoir. Le processus de formation planétaire serait-il plus universel qu'on ne le pensait ?

planètes

Michael Werner
et Michael Jura

survivantes par effets de marée. Ces systèmes préfigurent le sort de notre propre système quand le Soleil mourra.

Les astronomes ont toujours envisagé l'existence de planètes en orbite autour d'autres étoiles. Mais ils imaginaient découvrir des systèmes ressemblant au Système solaire, centrés sur une étoile semblable au Soleil. Or quand les découvertes ont commencé à déferler, il y a une quinzaine d'années, il est vite apparu que les systèmes planétaires peuvent être très différents du nôtre. Le premier exemple a été 51 Pegasi, une étoile de type solaire dotée d'une planète plus massive que Jupiter et dont l'orbite est plus petite que celle de Mercure.

À mesure que les instruments gagnaient en sensibilité, des cas encore plus étranges se sont révélés. L'étoile de type solaire HD 40307 abrite trois planètes de masses

comprises entre quatre et dix masses terrestres, dont les orbites sont au moins deux fois plus petites que celle de Mercure. L'étoile de type solaire 55 Cancri A possède pas moins de cinq planètes (de masses allant de 10 à 1 000 masses terrestres et des rayons orbitaux allant de un dixième de celui de Mercure à environ celui de Jupiter) et une, voire deux étoiles compagnons ! Les systèmes planétaires imaginés par la science-fiction font pâle figure à côté des vrais...

Les systèmes associés à des naines blanches montrent qu'il n'est même pas nécessaire que les étoiles soient de type solaire. En effet, un véritable bestiaire de planètes sont en orbite autour de corps qui ne sont eux-mêmes pas plus gros que des planètes. La diversité de ces systèmes est aussi grande que celle des systèmes associés à des étoiles ordinaires.

Les astronomes ne s'attendaient pas à une telle omniprésence des systèmes planétaires, ni à leur robustesse ou à l'universalité des processus qui président à leur formation. Les systèmes planétaires semblables au nôtre pourraient ne pas être les plus répandus.

Bien qu'on l'ait un peu oublié aujourd'hui, la première planète extrasolaire découverte et confirmée était en orbite autour d'une étoile très différente du Soleil : il s'agissait du pulsar PSR 1257+12,

1. UNE NAIN BRUNE est une étoile trop petite – parfois à peine plus massive que Jupiter – pour que les réactions de fusion s'allument en son cœur. Les astronomes ne pensaient pas trouver des planètes autour de ces étoiles avortées. Pourtant, il existe maintenant des indices de minisystèmes stellaires autour des naines brunes et d'autres objets improbables.

un cadavre stellaire ultradense, qui concentre une masse supérieure à celle du Soleil dans un diamètre d'une vingtaine de kilomètres seulement (on parle d'étoile à neutrons) et qui émet en outre un signal radio périodique. L'événement qui a engendré ce monstre, l'explosion en supernova d'une étoile de 20 masses solaires, a été bien plus violent que la fin d'une étoile de type solaire, et il est impensable que des planètes y aient survécu. Cette première planète extrasolaire a donc dû naître des cendres de l'explosion.

Un système qui renaît de ses cendres

Bien que les supernovae éjectent l'essentiel de leurs débris dans l'espace, une petite partie reste liée par la gravitation et retombe en formant un disque en orbite autour du résidu stellaire. Les disques sont les berceaux des planètes. On pense que les systèmes stellaires, dont le nôtre, naissent d'un nuage interstellaire amorphe de poussière et de gaz qui s'effondre sous sa propre gravité. La loi de conservation du moment cinétique empêche une partie du matériau de s'effondrer jusque sur l'étoile nouvellement née et le conduit à former un disque. Au sein de ce dernier, la poussière et le gaz s'accrètent pour former des planètes. Un processus comparable a pu se produire dans le disque résiduel de la supernova.

Les astronomes ont découvert la première planète, puis deux autres, autour du pulsar PSR 1257+12 en observant des écarts périodiques dans les impulsions radio qu'il émet. En effet, l'attraction gravitationnelle des planètes fait légèrement osciller l'étoile, et modifie ainsi la distance que doivent parcourir les impulsions. Malgré des recherches intensives, on ne connaît pas de système comparable autour d'un autre pulsar. Le pulsar PSR B1620-26 possède au moins une planète (détectée de la même façon). Mais elle est tellement loin de l'étoile qu'elle ne s'est sans doute pas formée à partir de débris : elle aurait été arrachée à une autre étoile.

En 2006 cependant, le télescope spatial *Spitzer* a découvert une émission infrarouge inattendue en provenance de l'étoile à neutrons 4U 0142+61. Elle pourrait provenir de la magnétosphère de l'étoile ou d'un disque circumstellaire. Cette étoile à neutrons s'est formée lors de l'explosion

Les astronomes détectent en général les planètes extrasolaires par leurs effets sur le spectre lumineux (méthode des vitesses radiales), la luminosité (méthode des transits) ou la position (astrométrie) de leur étoile hôte. Dans la plupart des cas évoqués dans cet article, les astronomes se focalisent sur un indice plus indirect : la présence d'un disque de poussière autour de l'étoile. Certaines étoiles nouvellement nées sont accompagnées d'un disque protoplanétaire, lieu supposé de formation des planètes. Les étoiles mûres arborent parfois un disque de débris, résultant de collisions ou d'évaporation de comètes et d'astéroïdes. Il signale la présence de planètes actuelles ou passées.

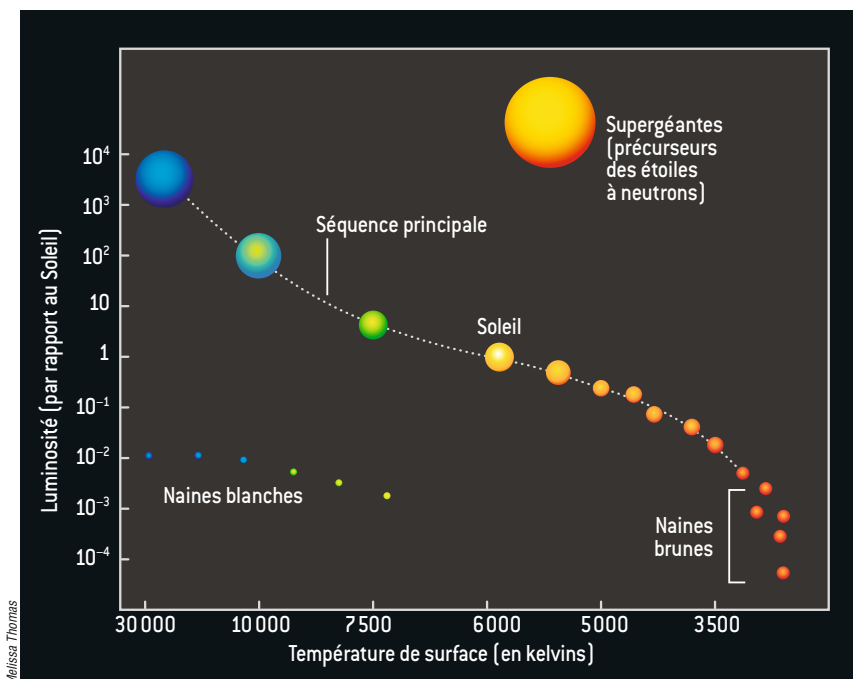
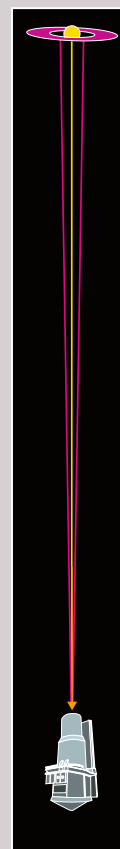
On distingue ces deux types de disques par la façon dont ils rayonnent dans l'infrarouge l'énergie de la lumière stellaire reçue. Le télescope spatial *Spitzer*, lancé en 2003, s'est révélé être une machine à découvrir des disques. Ses caméras infrarouges à grand champ cap-

turent en une seule image des centaines d'étoiles et repèrent celles ayant peut-être un disque et méritant une étude plus approfondie.

Spitzer s'inscrit dans le prolongement des télescopes spatiaux infrarouges tels que IRAS (*Infrared Astronomical Satellite*) dans les années 1980 et ISO (*Infrared Space Observatory*). Contrairement à IRAS, qui réalisait un relevé complet du ciel, *Spitzer* pointe des corps célestes particuliers pour les étudier avec précision.

Après plus de cinq ans d'observations, la réserve d'hélium liquide de *Spitzer* destinée à maintenir la température du télescope proche du zéro absolu est épuisée. *Spitzer* s'est réchauffé à une trentaine de kelvins, ce qui réduit considérablement son acuité infrarouge. Il pourra cependant continuer à scruter le ciel dans l'infrarouge proche jusqu'à mi-2011 au moins. L'Observatoire spatial *Herschel*, lancé en mai 2009, et le télescope spatial *James Webb*, dont le lancement est prévu en 2014, prendront le relais.

Même lorsque le système stellaire observé est trop lointain pour être spatialement résolu, le spectre lumineux révèle sa composition.



2. C'EST AUTOUR DES ÉTOILES ORDINAIRES, appartenant à la « séquence principale » (bande bien définie dans le diagramme liant la luminosité à la température de surface), que les astronomes ont d'abord recherché des systèmes planétaires semblables au nôtre. Mais il existe des systèmes autour d'objets hors de la séquence principale, telles les naines blanches et les naines brunes.