

Nébuleuses planétaires en pleines formes

Les étoiles comme le Soleil finissent leur vie en éjectant leur matière dans le milieu interstellaire. Les formes variées des nébuleuses qui en résultent dépendent des caractéristiques de l'étoile agonisante, de sa composition, de son environnement stellaire comme de l'existence ou non d'un champ magnétique. Revue de détail.

Jacques-Olivier Baruch
est journaliste
à *La Recherche*.

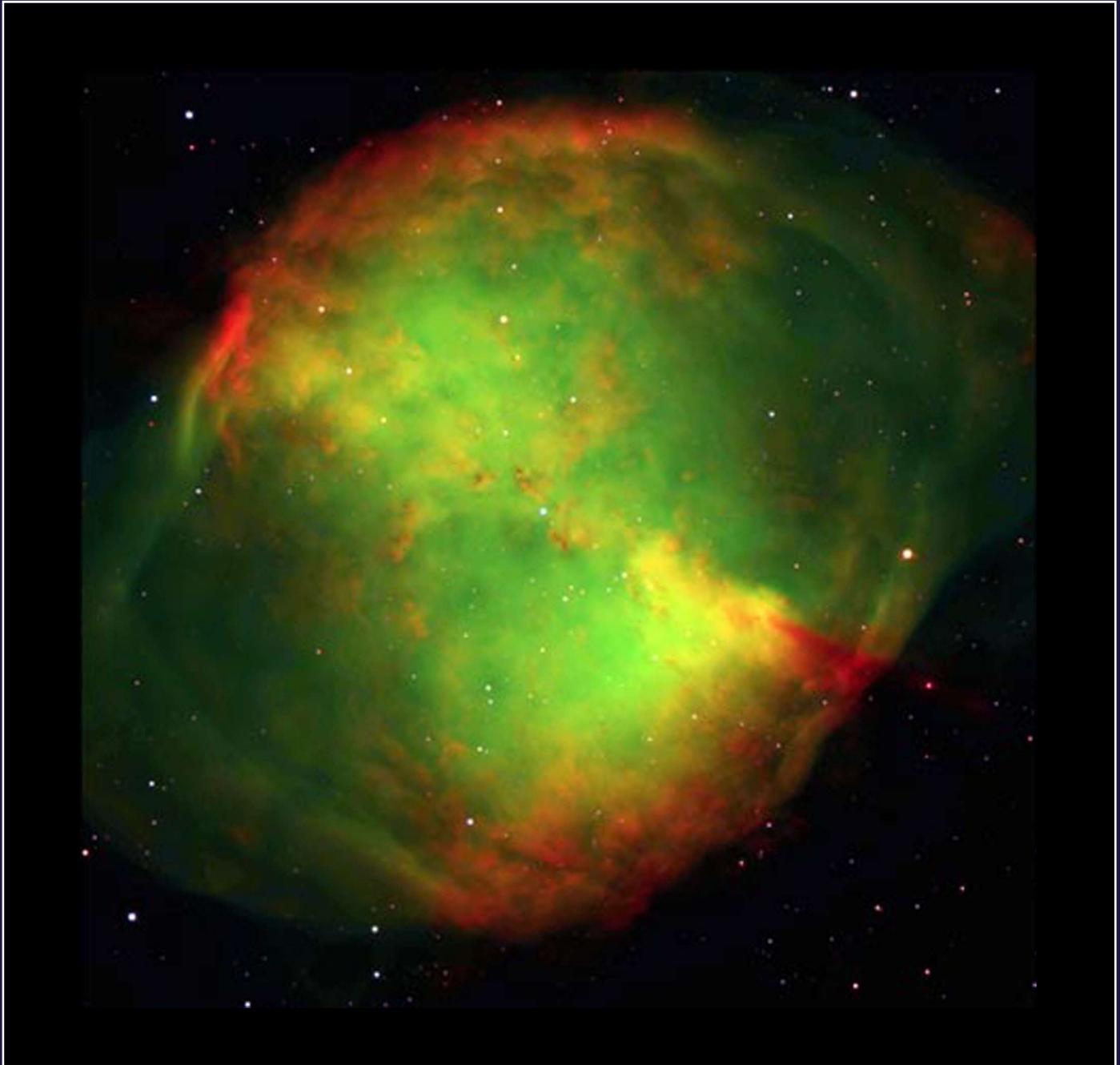
Elles sont bien nébuleuses, mais n'ont rien de planétaires à part la forme sphérique de certaines. Les astronomes du XVIII^e siècle crurent à tort que ce pouvait être des planètes. Ces nuages de gaz sont le stade final des étoiles ressemblant à notre Soleil. Devenues instables

après qu'en leur cœur l'hydrogène a arrêté de fusionner en hélium, ces étoiles ont grossi, sont devenues des géantes rouges, ont connu quelques soubresauts thermonucléaires et ont dispersé leurs couches superficielles ionisées dans le milieu interstellaire, formant ces nuages diaprés. En leur centre, le cœur de l'étoile s'est contracté, chauffé, formant un astre très brillant, mais très petit, une naine blanche. Voilà pour le schéma global.

Mais toutes les étoiles de type solaire ne réagissent pas de la même manière. Pour preuve, les formes si différentes des quelque 2 800 nébuleuses planétaires connues dans notre galaxie. La plupart (80 %) sont irrégulières, sans qu'on en connaisse la cause. Deux hypothèses sont en lice. Certains astrophysiciens arguent que ces étoiles vieillissantes ne gravitent pas seules. La forme biscornue des nébuleuses planétaires provient de l'influence d'une étoile compagne, ⇨

La structure bipolaire de nébuleuse du Papillon (M 2-9) serait la conséquence de l'éjection de matière d'une étoile qui gravite près d'une étoile compagne. La matière éjectée auparavant s'enroule sous la forme d'un disque qui défléchit le vent de l'étoile agonisante, formant cette paire de jets qui ressemblent aux ailes d'un papillon.





© VLT / ESO

Haltère ou diabololo?

« Le 12 juillet 1764, alors qu'il répertorie les nébuleuses afin de ne pas les confondre avec les comètes, le Français Charles Messier voit une petite tache floue dans la constellation du Petit Renard : la 27^e nébuleuse (M27) de son catalogue apparaît ronde, un peu rougeâtre, à l'image d'une planète. Sa forme bipolaire (à peu près invisible ici sur cette image composite du télescope spatial Hubble) poussa les astronomes à la nommer "nébuleuse de l'Haltère" (*Dumbbell* en anglais) ou "du Diabololo". C'était la première nébuleuse planétaire répertoriée. Jusqu'à il y a cinq ans, environ 1 800 nébuleuses planétaires étaient

connues. Mon programme d'observation m'a permis d'en rajouter plus de 1 000. Toutes les étapes de formation y sont représentées. De la nébuleuse qui commence à interagir avec le milieu interstellaire, à l'étoile centrale qui a éjecté de la matière mais brûle en ce moment même son azote central, jusqu'à un type qu'on n'avait jamais vu auparavant, autour de V1018 Sco, une très intense source Maser, un phénomène qui accroît l'émission de micro-ondes de la part de particules, comme le fait un laser avec la lumière [1]. »

[1] M. Cohen *et al.*, *MNRAS*, 357, 1189, 2005.



Quentin A. Parker, Observatoire anglo-australien (AAO) et département de physique, université Macquarie, Sydney, Australie.

ASTROPHYSIQUE

PORTFOLIO

⇒ qui s'est retrouvée englobée dans l'atmosphère de l'étoile en fin de vie lorsque celle-ci a commencé à grossir. Perturbant le gaz qui s'échappe, elle détruit la belle forme sphérique que la nébuleuse aurait si la vieille étoile avait été solitaire. Ce ne peut être qu'une partie de l'explication, car beaucoup moins de quatre cinquièmes des étoiles vivent en couple.

D'autres invoquent alors l'influence du fort champ magnétique de la petite étoile agonisante. Ce champ peut se former par l'effet dynamo créé quand le cœur de l'étoile qui se contracte se met à tourner plus vite que son atmosphère. Il peut aussi être une relique de celui qui existait auparavant. La nébuleuse planétaire

qui se forme subit alors son influence. Les particules éjectées par l'étoile suivent préférentiellement les lignes de champ et heurtent le milieu interstellaire suivant certaines directions privilégiées. D'où ces formes bizarres. À l'appui de cette hypothèse, une équipe allemande vient, pour la première fois, de détecter les champs magnétiques de 4 étoiles entourées de nébuleuses planétaires [1].

En attendant de connaître précisément la physique de ces éjections de matière, les astrophysiciens nous convient à en admirer l'éventail très riche de formes et de couleurs. Pour le plaisir. ■■ J.-O. B.

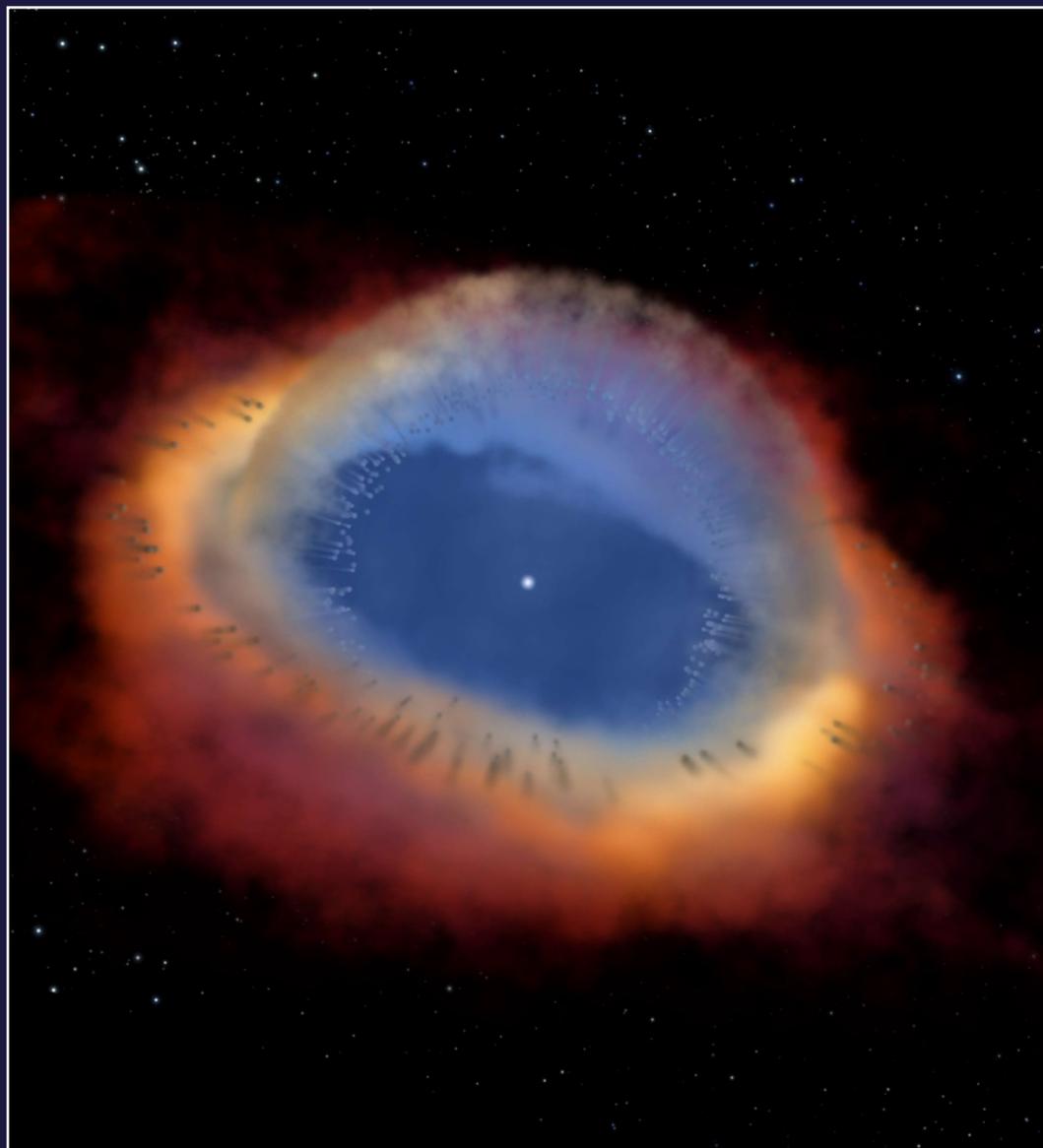
[1] S. Jordan *et al.*, *A&A*, 432, 273, 2005.

La reconstitution d'Hélix

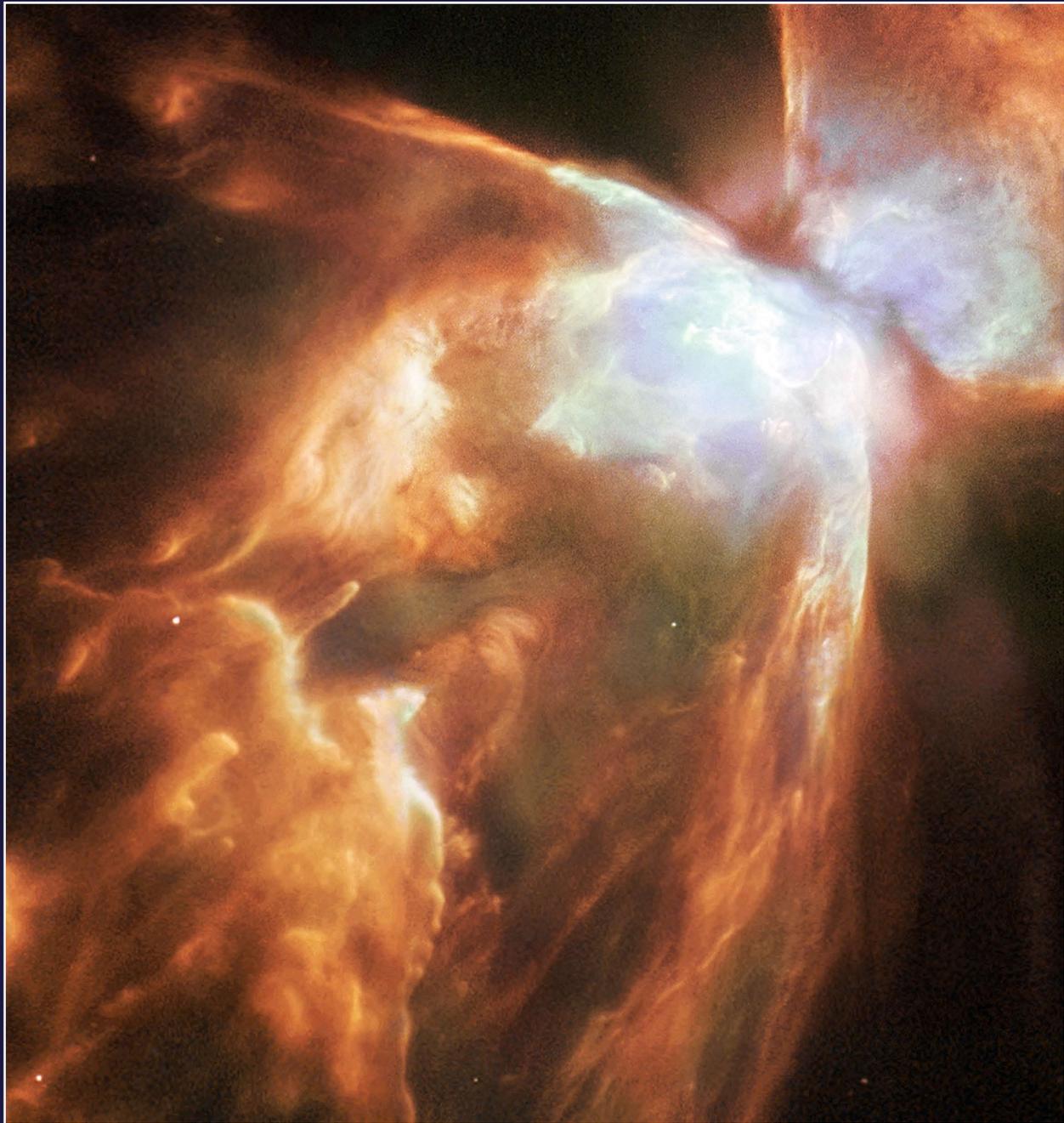


C. Robert O'Dell,
Vanderbilt University,
Nashville, Tennessee,
États-Unis.

« **P**as facile de se rendre compte de la forme réelle d'une nébuleuse planétaire simplement en regardant une image. Un seul angle de visée est possible puisque nous sommes encore condamnés à regarder le ciel depuis la Terre ou l'orbite terrestre. Et ce, même en ce qui concerne la nébuleuse planétaire Hélix, la plus proche que l'on connaisse, à seulement 690 années-lumière de la Terre. Une solution est l'analyse conjointe des nombreuses observations qui ont été réalisées dans différentes longueurs d'onde ou à l'aide de spectroscopes. C'est ce que nous avons fait avec les images de Hubble, de l'observatoire de Cerro Tololo au Chili ou d'observatoires radio. Nous avons ainsi reconstitué cette image d'Hélix comme si on la voyait de profil. Et surprise, la nébuleuse n'apparaît plus comme une bouée, comme on le pensait auparavant, mais comme un disque entourant une bulle. En fait, même deux disques, obligeant le matériau à s'en éjecter perpendiculairement. Personne n'y avait pensé. Quant à savoir comment ces structures se sont formées, mystère. Il peut s'agir de l'influence d'une étoile compagne, car les observations de la lumière X qui est émise indiquent son existence. L'un des disques serait dans le plan équatorial de l'étoile agonisante, tandis que l'autre coïnciderait avec le plan orbital des deux étoiles. »



© NASA / NOAO / ESA / HUBBLE HELIX NEBULA TEAM / MEIXNER (NRAO)



© NASA / ESA / ZIJLSTRA (UMIST)

Les ravages de l'Insecte



Albert Zijlstra,
professeur
d'astrophysique,
université
de Manchester,
Royaume-Uni.

« Dans la constellation du Scorpion, à environ 4 000 années-lumière de nous, NGC 6302, ou nébuleuse de l'Insecte, est la trace d'une bataille dans l'espace. L'étoile centrale, mourante, a rejeté lentement environ la moitié de sa masse. Aujourd'hui, elle expulse un vent très rapide de particules qui vient heurter les anciens éjecta selon deux lobes (en haut à droite). Les parties brillantes blanches et bleutées sont les lieux où les deux vents se rencontrent. Entre les deux lobes, une petite trace sombre est celle d'un disque de poussières entourant l'étoile agonisante et nous cachant la lumière qu'elle émet [1]. Cette étoile invisible est l'une des plus chaudes connues à ce jour : 250 000 kelvins ! Malgré cette chaleur intense, les poussières du disque sont recouvertes de glaces car celles qui sont près de l'étoile forment une sorte de bouclier thermique. À sa périphérie, le disque semble se courber. Or, les simulations de Vincent Icke, de l'université de Leyde, aux Pays-Bas, montrent que des disques ainsi déformés peuvent expliquer les éjecta multipolaires de certaines nébuleuses planétaires [2]. Cette image prise par le télescope spatial Hubble apporte la première indication directe de l'existence d'une telle courbure. »

[1] M. Matsuura *et al.*, *MNRAS*, 359, 383, 2005. [2] V. Icke, *A&A*, 405, L11, 2003.



© NASA / FRUCHTER / ERO TEAM / HOOK / LEVAY

Le cas de l'Eskimo



Guillermo Garcia-Segura, université autonome du Mexique, Ensenada, Mexique.

« La plupart des nébuleuses gazeuses en forme d'anneaux sont formées par l'interaction d'un vent rapide de particules stellaires qui balaie, accumule et repousse le milieu interstellaire qui entoure l'étoile. Le cas de la nébuleuse NGC 2392, dite de l'Eskimo car elle ressemble à l'image d'un homme recouvert d'une capuche de fourrure, est un peu plus compliqué. Nous observons actuellement deux bulles concentriques, marques de l'histoire de l'étoile centrale sur le milieu interstellaire. Celle-ci a évolué d'une géante rouge en une naine blanche, en passant par un stade intermédiaire appelé post-AGB (*Asymptotic Giant Branch Star*). C'est dans cette phase que le vent stellaire (de 10 à 100 kilomètres par seconde) balaie les particules plus lentes (1 à 10 kilomètres par seconde), qui ont été éjectées de l'étoile

lors de la phase AGB qui la précède. Cette rencontre a formé la bulle la plus externe. Après quelques centaines d'années, l'étoile s'est échauffée. Sa température a permis de former un front ionisé, qui a voyagé et photo-ionisé l'environnement. Ce front a traversé la bulle externe et l'a fragmentée. Nous en voyons les conséquences sous la forme de centaines de structures qui ressemblent à des comètes. Pendant ce temps, l'étoile s'est encore échauffée, a éjecté un vent encore plus rapide (1 000 kilomètres par seconde), formant une nouvelle bulle près de l'étoile. Cette nouvelle bulle, hydrodynamiquement instable, est composée de nombreux filaments visibles sur cette image du télescope spatial Hubble. La physique de cette phase post-AGB n'est pas encore entièrement élucidée et pourrait faire intervenir le champ magnétique de l'étoile centrale. »

Le Rectangle Rouge en forme de X



Hans Van Winckel, Institut d'astronomie, université catholique de Louvain, Belgique.

« Une des particularités de HD44179, appelée le Rectangle Rouge, est de ne pas être exactement une nébuleuse planétaire mais le stade qui la précède. L'étoile centrale, invisible ici, n'ionise pas encore la matière qui l'entoure. Cette nébuleuse, éjectée d'une étoile en fin de vie depuis 14 000 ans, brille par luminescence [1]. Elle émet une lueur très faible, à tel point que j'ai été très déçu des premières images envoyées par le télescope spatial Hubble. J'avais pourtant eu beaucoup de mal à les obtenir, tellement les demandes d'observations sont nombreuses sur ce télescope. Ce n'est qu'après avoir poussé le contraste que je me suis rendu compte que cette nébuleuse était exceptionnelle. Plutôt qu'un rectangle rouge, elle a une forme de X quand on la regarde en lumière visible. Mais si on met un filtre bleu qui atténue fortement la luminosité centrale, on ne voit plus que la lumière polarisée par les poussières qui se trouvent près de l'étoile. Et la nébuleuse apparaît alors comme un cercle. Les formes des nébuleuses dépendent donc de la façon dont on les regarde. »

[1] M. Cohen *et al.*, *AJ*, 127, 2362, 2004.



© HST / NASA / JPL

Abell 39, le modèle



Agnès Acker, observatoire et université Louis-Pasteur, Strasbourg, France.

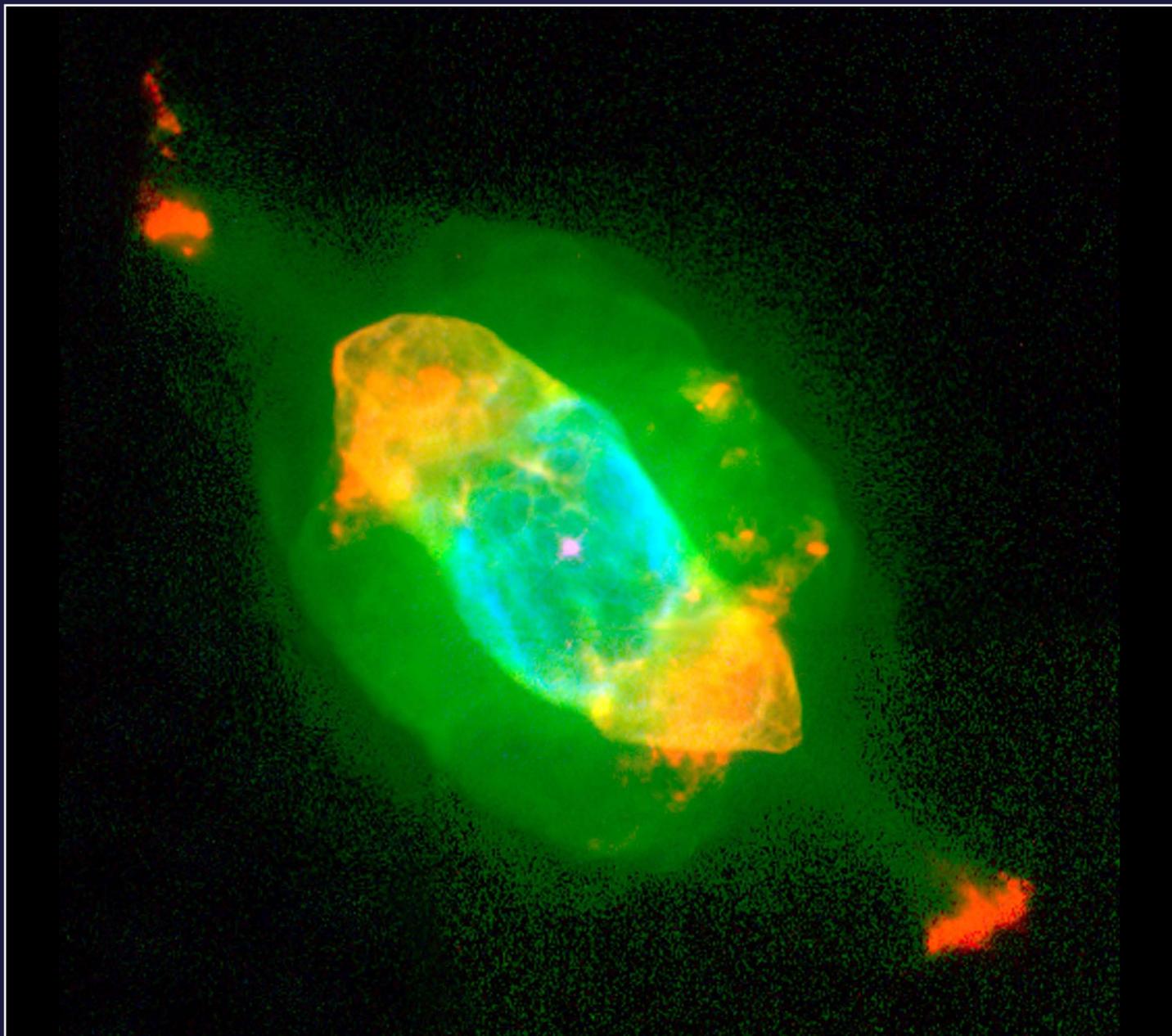
« Abell 39 (A39) est une nébuleuse planétaire modèle : une belle bulle homogène se dilate autour d'une étoile très chaude, qui ionise les gaz qu'elle a éjectés [1]. Les instruments au sol et dans l'espace révèlent la majestueuse sérénité de A39, dont la teinte verdâtre est due à l'émission lumineuse de l'oxygène fortement excité par l'étoile centrale, elle-même très bleue à cause de sa haute température (150 000 degrés).

Comme la plupart des presque 100 nébuleuses planétaires découvertes par l'Anglais George Abell vers 1960, A39 est très étendue, peu dense, très faiblement brillante en surface. La densité des gaz n'est que de quelques milliers de particules par centimètre cube, soit des milliards de milliards de fois moins que l'atmosphère terrestre. Cela explique la transparence de l'objet : des galaxies éloignées de millions d'années-lumière sont vues à travers la bulle gazeuse située à environ 6 000 années-lumière dans la constellation d'Hercule.

Ni tempêtes ni jets ne semblent troubler l'enveloppe immense, qui s'étend sur plus de 5 années-lumière à la vitesse de 35 kilomètres par seconde. A39 va atteindre la fin de sa vie de nébuleuse planétaire. Les turbulences des gaz éjectés il y a près de 15 000 ans se sont apaisées. La bulle va peu à peu se diluer dans le milieu interstellaire qui va ainsi s'enrichir de la matière produite par l'étoile. Elle-même s'achemine vers son destin final de naine blanche. Sa masse actuelle est évaluée à 0,6 fois celle du Soleil, ce qui permet de déduire celle qu'elle possédait il y a des milliards d'années, avant l'expulsion de son enveloppe : 2 masses solaires. »

[1] G. Jacoby *et al.*, *AJ*, 560, 272, 2001.

© WYN / NDAO / NSF / AURA



© BALIK / ALEXANDER / HAJIAN / TERZIAN / PERINITO / NASA

Saturna nebula



Christophe Morisset,
Institut
d'astronomie,
Mexico,
Mexique.

« Cette nébuleuse fut découverte dans la constellation du Verseau par William Herschel en 1782. Elle fut nommée "Nébuleuse de Saturne" presque soixante ans plus tard par Lord Rosse, en vertu de son apparence rappelant un disque vu par la tranche entourant un objet central brillant. Elle porte le numéro 7009 dans le catalogue *General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars* (NGC) de 1888.

Comme la plupart des autres images, celle-ci est une composition de trois observations du télescope spatial Hubble fin avril 1996. Chaque observation est obtenue à travers un filtre optique différent, ce qui isole un processus particulier d'émission lumineuse. Elle est ensuite associée à une couleur. Le rouge, visible dans les régions extérieures, représente l'émission de l'azote une fois ionisé, le vert des régions intermédiaires celle de l'oxygène deux fois ionisé, le bleu celle de l'hélium deux fois

ionisé. Ces derniers ions sont proches de l'étoile, l'hélium étant alors plus fortement soumis à un rayonnement stellaire très énergétique. Cas particulier que l'on retrouve dans environ 10% des nébuleuses planétaires, NGC 7009 présente, à ses extrémités, deux nuages rouges principalement composés de gaz peu ionisés, reliés à la forme ellipsoïdale par deux jets fins. Des observations [1] ont permis de déterminer que ces nuages sont de plus faible densité que la partie centrale de la nébuleuse, alors que, suivant les modèles théoriques d'éjection de matière par jets, on s'attendrait à une densité plus grande. La contribution du champ magnétique de l'étoile centrale ou de l'éventuelle action d'une étoile compagnon ne conduisant pas à une telle morphologie, le mystère de la formation de telles structures reste entier. »

[1] D. Gonçalves *et al.*, *ApJ*, 597, 975, 2003.