

## Un astronome amateur contribue à décrypter les secrets d'un pulsar binaire

Le satellite Fermi qui observe dans les rayons gamma a révélé l'existence de nombreux « pulsars millisecondes »<sup>1</sup> [1] possédant un compagnon « normal ». On reconnaît ces couples à un ensemble de propriétés, comme des éclipses dans le domaine radio, une émission de rayons gammas et de rayons X, une modulation de la période, une forte variabilité optique. Toutes ces caractéristiques suggèrent que le compagnon perd de la masse et subit en même temps un chauffage intense provenant du pulsar.

Le pulsar milliseconde PSR J1723-2837 a une période de 1,86 milliseconde et est situé à une distance de 2500 années-lumière dans la direction de la constellation du Sagittaire. Il a un compagnon distant de deux millions de kilomètres - environ un centième de la distance entre la Terre et le Soleil. L'ensemble orbite en 14,8 heures. Le pulsar a une masse égale à 1,3 fois celle du Soleil, tandis que le compagnon, ayant déjà été vidé d'une partie de sa matière, ne pèse plus que 0,4 masse solaire. L'objet présente les caractéristiques habituelles de ces systèmes, dont une contrepartie optique brillante d'une magnitude d'environ 15,5 modulée : c'est un cas idéal pour l'étude de l'évolution de l'activité du compagnon au cours de sa rotation autour du pulsar.

PSR J1723-2837 a donc été observé entre le 3 août 2014 et le 27 octobre 2015 par un astronome amateur passionné de pulsars, André van Staden, depuis son observatoire à Overberg, en Afrique du Sud. Les observations ont été effectuées avec un télescope Cassegrain de 30 cm et une caméra CCD commerciale de 512 par 512 pixels. Grâce à la qualité du site, l'objet pouvait être suivi jusqu'à 9 heures par nuit. 1844 images ont ainsi été collectées pendant 67 nuits, avec des temps d'exposition allant de 300 à 600 secondes, sans filtre photométrique.

André van Staden (en premier auteur) et John Antoniadis, un astronome canadien de l'Institut Dunlap de Toronto, ont publié un article détaillant les résultats de cette campagne d'observation (arXiv:1609.08024v2, *Astrophysical Journal*, décembre 2016). L'analyse révèle une augmentation et une diminution de la brillance de l'objet. Elle est prévue par la théorie. En effet, lors de sa rotation, le compagnon est étiré par la gravité du pulsar et prend la forme d'une goutte dirigée vers lui (voir la figure 1). Il apparaît donc plus brillant aux deux moments de son orbite où on le voit étiré, et il est moins brillant lorsqu'il est vu de face.

Mais dans le cas de PSR J1723-2837, cette variation de brillance n'est pas synchrone avec la période orbitale de 15 heures. Au lieu de cela, le pic de brillance se produit de plus en plus tard par rapport à la position orbitale. Par ailleurs, PSR J1723-2837 présente une émission en rayons gammas et en rayons X modulée suivant la période orbitale, qui traduit la présence d'ondes de chocs contribuant à chauffer le compagnon.

---

<sup>1</sup> [1] Les pulsars sont des étoiles massives qui, après avoir explosé en supernova, ont été transformées en étoiles à neutrons tournant très rapidement sur elles-mêmes. Leur période typique est de l'ordre de la seconde, mais pour certains, elle peut descendre à la milliseconde. Les pulsars émettent un faisceau de rayonnement radio (parfois aussi optique, X ou même gamma) dans la direction de leur axe magnétique. Comme celui-ci n'est pas aligné avec l'axe de rotation, le faisceau balaie au cours du temps un cône qui, s'il traverse la ligne de vue d'un observateur distant, apparaît sous la forme d'un signal périodique, la période étant celle de la rotation de l'astre

De plus, il semble que la période de rotation du compagnon sur lui-même soit légèrement plus courte que sa période orbitale, prouvant qu'il n'est pas « verrouillé par les marées » (« tidally locked ») comme l'est la Lune qui présente toujours la même face à la Terre. La différence est faible (le rapport des deux périodes étant de 0,9974), mais néanmoins significative. En effet, la rotation du compagnon devrait au contraire ralentir, et son accélération prouve qu'il a subi une contraction récente, probablement due à un réarrangement de son champ magnétique. Les auteurs pensent en effet que le compagnon pourrait posséder un champ magnétique particulièrement intense dont les cycles, gouvernés par la rotation de l'étoile, pourraient conduire à des pertes de masses variables expliquant les caractéristiques de l'objet.

Bref, on est encore loin de comprendre ces systèmes doubles terriblement complexes, mais des observations telles que celles-ci vont permettre d'avancer dans la solution du problème.

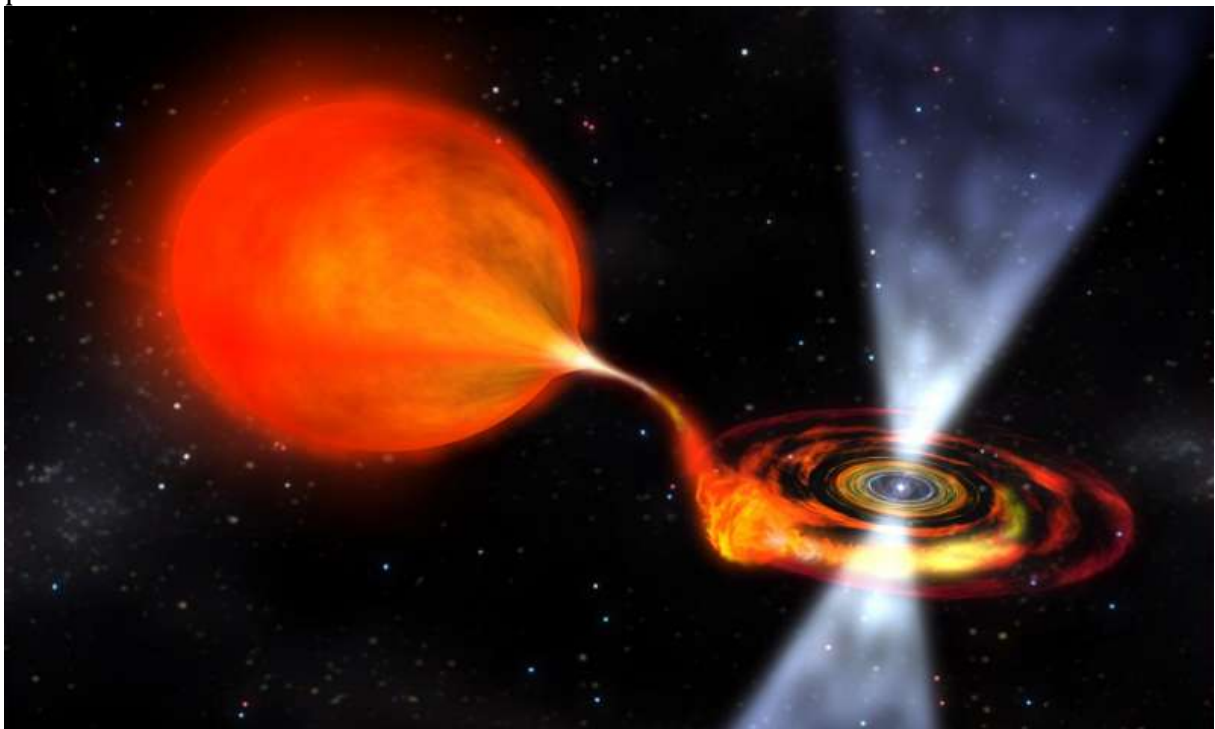
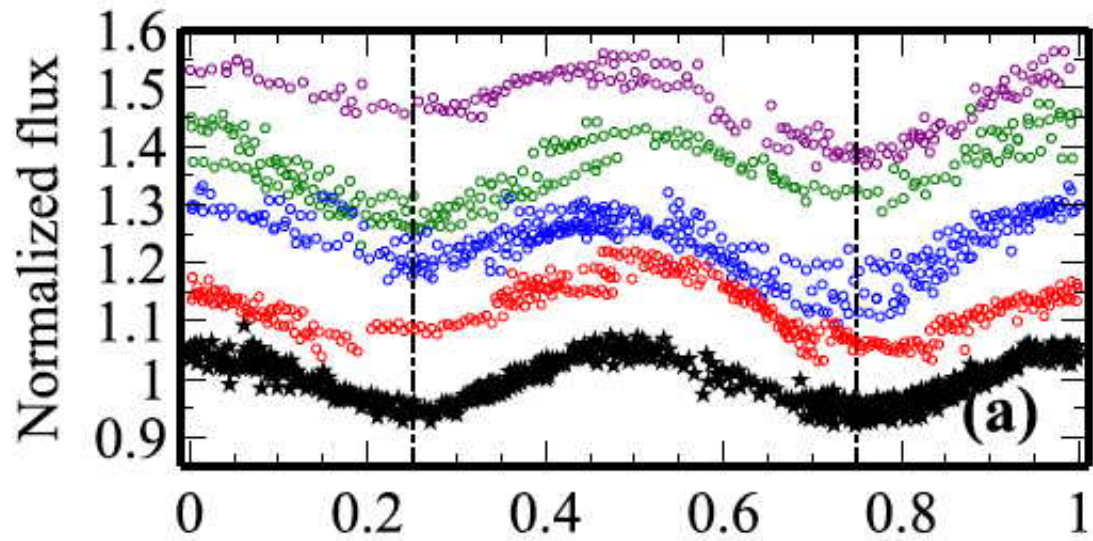


Image d'artiste montrant un système binaire composé d'un pulsar milliseconde et d'une étoile compagne. Celle-ci est déformée par l'attraction gravitationnelle du pulsar et présente à l'observateur une surface visible plus ou moins grande suivant sa position par rapport au pulsar. Crédit: NASA.



Courbe de lumière reconstituée pour la période calme en noir, en rouge entre les jours 56901 et 56950, en bleu entre les jours 57154 et 57197, en vert entre les jours 57215 et 57241, en pourpre entre les jours 57267 et 57288. Chacune de ces périodes correspond à une activité différente du compagnon. Crédit André van Staden et John Antoniadis, arXiv:1609.08024v2,

## **Un flash superlumineux : une étoile brisée en pénétrant dans un trou noir supermassif en rotation ?**

L'objet ASASSN-15lh a été découvert le 14 juin 2015 dans un relevé automatisé de supernovae, appelé ASASSN pour « All-Sky Automated Survey for SuperNovae ». Son redshift est égal à 0,2326, impliquant une distance d'environ 1,2 milliards d'années-lumière. Sa magnitude visible a atteint la valeur 17, correspondant à une magnitude absolue de -23,5, deux fois plus grande que celle de toutes les supernovae connues jusqu'à maintenant. Il a été étudié en détail par une grande équipe internationale menée par un astronome israélien (G. Leloudas et al. arXiv:1609.02927v2).

A début, le spectre paraissait semblable à celui des supernovae superlumineuses, les SLSNe, qui présentent des bandes larges en absorption. Mais il s'en est bientôt différencié. Les larges bandes ont disparu pour faire place à deux émissions fortes, peut-être identifiables aux raies de l'hélium ionisé à 20,2 et 68,6 nanomètres<sup>2</sup> [1], décalées vers le bleu de 15000 km/s (voir la figure 1). Or ces émissions ne sont pas observées dans les SLSNe mais le sont dans les étoiles brisées par effet de marée, les TDEs (pour « tidally disrupted event »).

Qu'est qu'un TDE ? Lorsqu'une étoile passe suffisamment près d'un trou noir très massif (celui qui se trouve au centre des galaxies), elle peut être déchirée par le champ de gravité gigantesque du trou noir, car la face qu'elle lui présente est attirée plus fortement que la face arrière. Il en résulte une intense émission de rayonnement visible et de rayons X. Un tel phénomène a été observé à de nombreuses reprises, et il a même permis de détecter la présence trous noirs supermassifs invisibles au centre de certaines galaxies.

Revenons à notre supposée supernova, qui n'en est pas une. Les raies de l'hélium dont nous parlons proviennent du gaz surchauffé après l'éclatement de l'étoile. Ces émissions larges ont disparu après le soixante quinzième jour, et les spectres ultérieurs ne présentaient pratiquement plus de bosses. Par ailleurs le spectre est resté beaucoup plus bleu que celui d'une supernova pendant plusieurs mois après le pic de luminosité. De plus, des raies en absorption d'azote, d'oxygène et de carbone très fortement ionisés (c'est-à-dire des atomes dont nombreux électrons ont été arrachés) ont été observées vers la fin dans un spectre ultraviolet obtenu avec le télescope spatial Hubble. Elles sont tout à fait semblables à celles qui ont été observées dans un autre TDE bien identifié en tant que tel, ASASN-14lh.

Donc bien que les faits soient compliqués à interpréter (voir la figure 2), ils suggèrent fortement l'existence d'une étoile déchirée par effet de marée, un TDE. En effet, les SLSNe sont trouvées dans des galaxies naines bleues, pauvres en métaux, traversant une période intense de formation stellaire. Au contraire, ASASSN-15lh se trouve dans une galaxie massive et rouge, possédant au moins cent milliards d'étoiles.

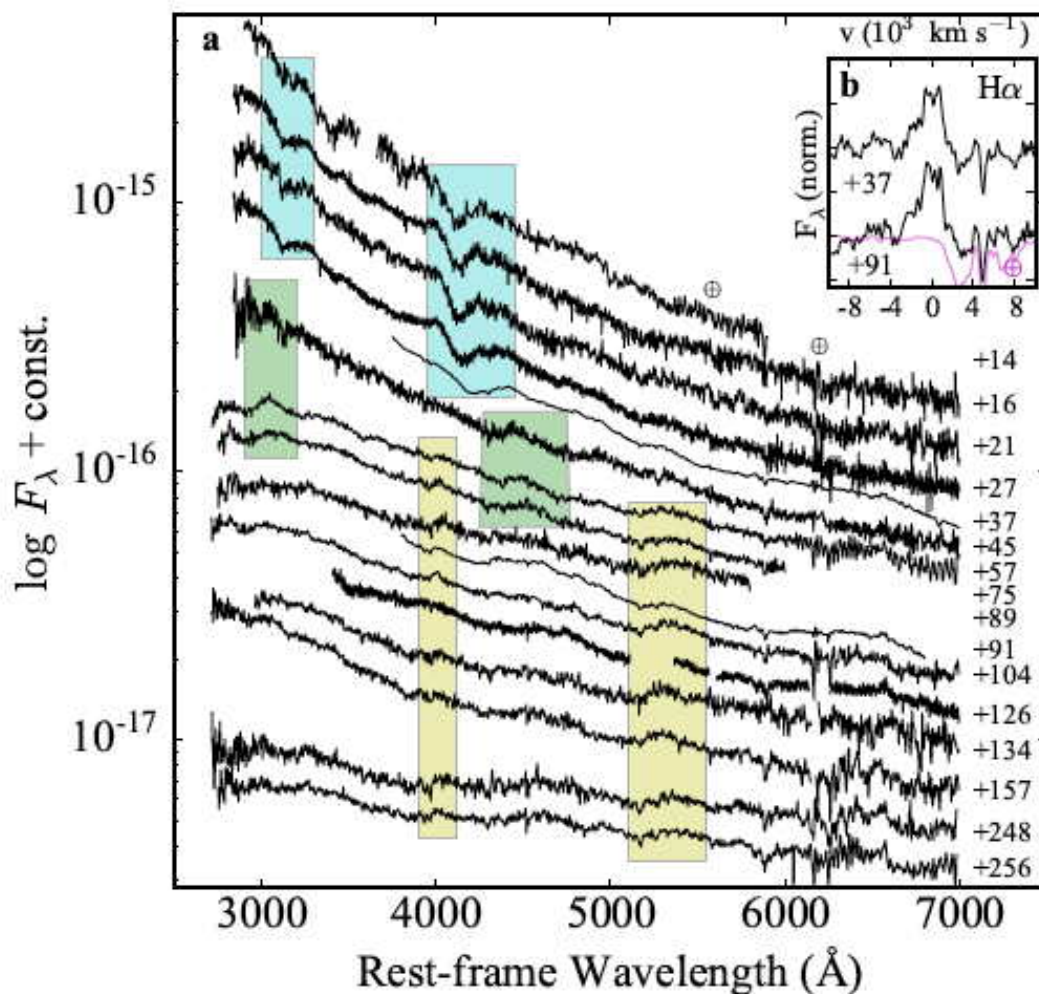
Il y a cependant un problème. C'est que justement la galaxie hôte de notre objet, étant rouge et très massive, doit en principe posséder un trou noir lui aussi très massif, de

---

<sup>2</sup> [1] Attention, dans le système au repos, c'est-à-dire corrigé du décalage spectral (redshift) de l'objet.

plus de cent millions de masses solaires. Or des trous noirs aussi massifs, s'ils ne sont pas en rotation, « avalent » les étoiles avant qu'elles aient été brisées par effet de marée. La seule possibilité est que le trou noir soit en rotation très rapide. Dans ce cas, le rayon de son « horizon » est plus petit, et l'étoile a le temps d'être brisée avant d'y pénétrer. C'est ce que concluent les auteurs de l'article.

Il n'est pas étrange de découvrir un trou noir en rotation, mais celui-là pourrait bien posséder la rotation maximum permise et être ce que l'on nomme un « trou noir de Kerr ». Pour le moment, les évidences de tels trous noirs sont très rares, pour ne pas dire nulles.



Séquences spectrales successives de ASASSN-15lh, montrant trois phases distinctes visualisées par différentes couleurs : a, les spectres sont décalés verticalement, et le symbole de la Terre indique les raies telluriques. b, détection de la raie H $\alpha$ , avec une largeur totale à mi-hauteur de 2500  $\text{km/s}$ . La ligne magenta montre le spectre tellurique. Crédit G. Leloudas, arXiv:1609.02927v2.

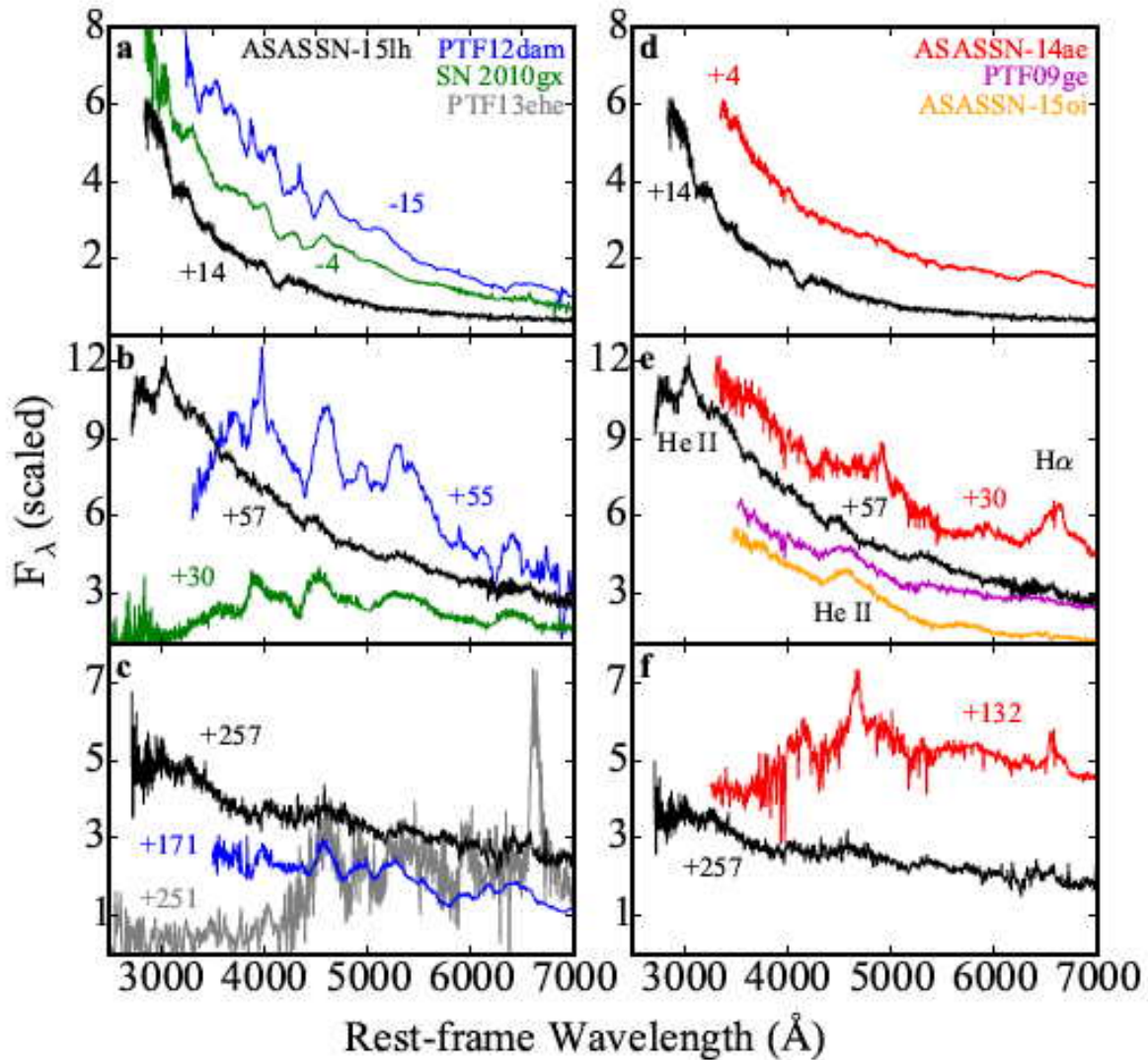


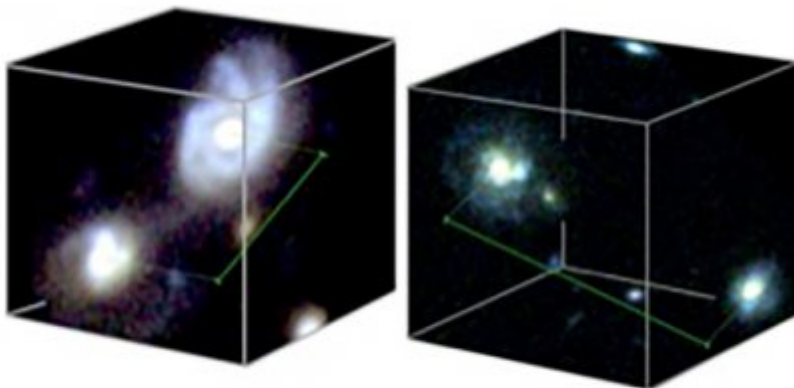
Figure 2, TDE2.jpg: Comparaison spectroscopique de ASASSN-15lh avec des SLSNe et des TDEs. Les figures de gauche comparent le spectre de ASASSN-15lh à différents moments avec ceux des supernovae (SLSNe17, 85, 28). Les figures de droite comparent les mêmes spectres avec des TDE (5, 6, 86). Au début, (a), ASASSN-15lh ressemblait à la supernova SLSNe7 à l'exception de la raie de OII. Les spectres suivants (b,c) sont très différents des spectres des supernovae. En dépit de différences avec les spectres des TDE (d,e,f), l'une des ressemblances entre ASASSN-15lh et les TDE est la raie de HeII fortement décalée vers le bleu. Crédit G. Leloudas, arXiv:1609.02927v2.

## **Une preuve supplémentaire apportée au modèle hiérarchique de formation des galaxies**

Il existe à l'heure actuelle deux scénarios pour la formation de galaxies spirales géantes comme la Voie lactée. L'un est le « modèle hiérarchique » qui propose que les disques se forment par fusion de galaxies plus petites et riches en gaz. L'autre est l'accrétion de flots de gaz froid provenant du milieu intergalactique. Les simulations numériques ont montré par le passé que ce dernier mécanisme était dominant pour les galaxies massives très lointaines. Mais des simulations plus récentes de « fusions majeures » (c'est-à-dire dans lesquelles les deux composantes sont des galaxies de masses semblables déjà importantes) montrent qu'elles peuvent conduire à des galaxies spirales possédant les mêmes propriétés que les galaxies proches (actuelles donc).

Une équipe d'astronomes du Laboratoire d'astrophysique de Marseille, conduite par une jeune chercheuse de l'Observatoire de Paris (M. Rodriguès et al., MNRAS 465, 1157–1180, 2017) vient de publier un article apportant de nouveaux éléments sur la formation des disques galactiques. Leurs travaux sont basés sur l'observation d'une centaine de galaxies lointaines de redshift voisin de 1, donc ayant émis leur lumière il y a 8 milliards d'années. L'équipe a réalisé des observations à l'aide du spectrographe KMOS multi-intégral de champ, nouvellement installé au Very Large Telescope (VLT) de l'ESO. Elle a ainsi pu analyser leur mouvement interne et montré qu'un grand nombre de galaxies étaient animées d'un mouvement de rotation. Environ un quart de ces galaxies en rotation sont en paires. En combinant ces observations à un relevé spectrographique dans le proche infrarouge obtenu avec le télescope spatial Hubble, l'équipe a montré que de nombreuses galaxies en paires possèdent des queues de marée et des ponts de matière prouvant qu'elles sont en train de fusionner.

Ces résultats fournissent donc une preuve que les galaxies spirales actuelles sont capables de reformer un disque après une fusion, et elles confortent le scénario hiérarchique. Il est probable en fait que les deux scénarios fonctionnent, mais à différents moments dans la vie des galaxies.



Deux exemples parmi les nombreuses galaxies découvertes en paire grâce à la spectroscopie proche infrarouge de Hubble, qui a permis de mesurer la distance entre chacun des membres du couple. Les images obtenues par Hubble sont si profondes qu'elles révèlent des ponts de matière entre les galaxies ainsi que des queues de marée,

prouvant de façon irréfutable que ces galaxies sont en interaction gravitationnelle.  
Crédit : STSci / Rodrigues et al. 2016.