

# L'astronomie dans le monde

## Planètes Kepler

Les observations du télescope spatial Kepler ont permis à ce jour de déceler plus de 4 000 candidates au titre d'exo-planète, un cap qui a été franchi lors de la publication d'une nouvelle liste de 554 suspects. Six de celles-ci sont de taille comparable à la Terre et circulent dans la zone habitable d'étoiles semblables au Soleil – et pourraient donc avoir de l'eau liquide à leur surface.

Plus de mille de ces candidates ont maintenant été certifiées grâce à des observations menées avec divers télescopes. Parmi les dernières planètes validées, trois sont en zone habitable et deux de celles-ci sont probablement rocheuses. Pour savoir si une planète est faite de roche, d'eau ou de gaz, il faut en connaître la densité et donc la masse et le rayon, mais parfois il faut se contenter du rayon. Ces données devraient conduire à connaître la proportion de planètes rocheuses existant dans

la zone habitable d'étoiles analogues au Soleil, un résultat essentiel pour évaluer notre place dans l'Univers.

Deux des nouvelles exo-certifiées, Kepler-438b et Kepler-442b ont un diamètre inférieur à 1,5 fois celui de la Terre. Kepler-438b est située à 475 années-lumière et a une période orbitale de 35 jours. Kepler-442b est à 1 100 années-lumière et son année est de 112 jours.

Les étoiles Kepler-438 et 442 sont plus petites et plus froides que le Soleil, de sorte que leur zone habitable est plus petite que celle du Système solaire.

Kepler a récolté des données pendant quatre ans, un temps suffisant pour espérer déceler d'éventuelles jumelles de la Terre ayant des périodes de l'ordre de l'année autour de jumeaux du Soleil. S'il en existe cachées dans la masse des observations de Kepler, elles ne devraient pas tarder à être débusquées.

*Parmi le millier de planètes Kepler certifiées, il y en a huit plus petites que deux fois la Terre et qui se trouvent dans la zone habitable de leur étoile. Ces huit étoiles sont plus froides et plus petites que le Soleil. (NASA Ames/W Stenzel)*





## ***In extremis, le pulsar J1906...***

*Basé sur un communiqué de l'Observatoire de Paris*

Dans le cadre d'une campagne d'observations menée sur cinq ans, avec les cinq plus grands radiotélescopes de la planète, des astronomes sont parvenus à mesurer les deux masses d'un système binaire de pulsars relativistes... juste avant leur disparition.

Le système binaire en question (PSR J1906+0746, ou J1906 en abrégé), contient au moins un pulsar, c'est-à-dire une étoile à neutrons dotée d'un fort champ magnétique, et tournant sur elle-même à la manière d'un phare marin. Les impulsions radio de ce pulsar sont réceptionnées sur Terre à raison d'une toutes les 144 millisecondes.

L'autre astre est peut-être lui aussi une étoile à neutrons ; mais il pourrait être une grosse naine blanche. Les deux étoiles tournent l'une autour de l'autre en un tout petit peu moins de quatre heures.

Découvert en 2004 à l'observatoire d'Arecibo, avec le plus grand radiotélescope du monde, J1906 fait l'objet d'une surveillance quasi journalière et d'une étude rappro-

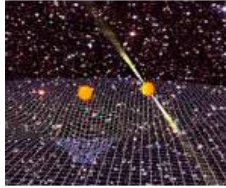
## ***Panoramique du grand radiotélescope de Nançay.***

*(© Ismaël Cognard)*

chée à l'aide des plus grands radiotélescopes au monde : ceux d'Arecibo (USA), Green Bank (USA), Nançay (France), Lovell (UK) et le Westerbork Synthesis Radio Telescope (Pays-Bas).

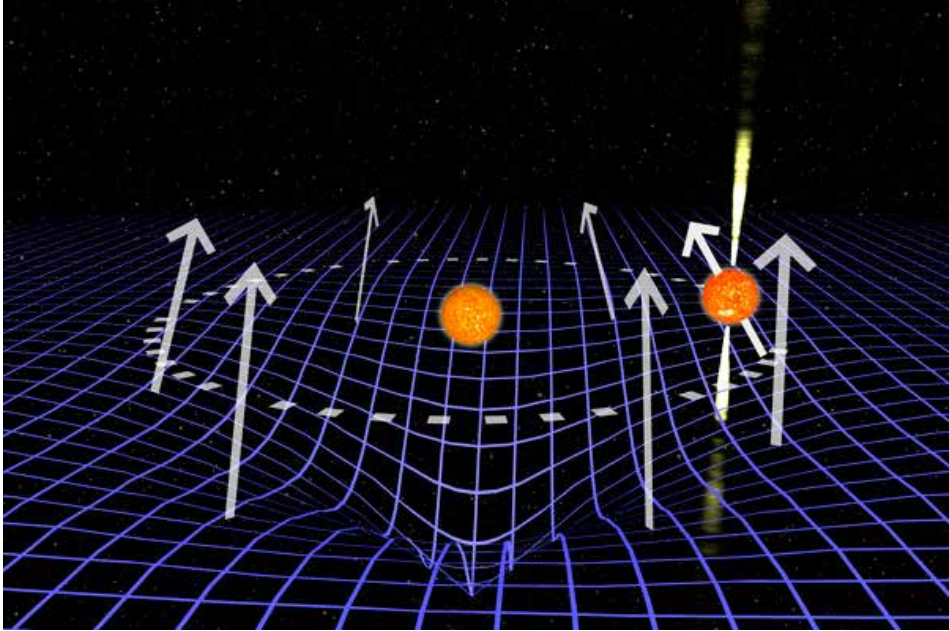
En 5 ans, cette campagne a réussi à maintenir un décompte exact des rotations du pulsar... plus d'un milliard au total, ce qui a permis de déterminer la masse de l'étoile à neutrons et de mesurer les déformations de l'espace-temps dans le champ de gravité de l'étoile binaire. Les mesures de masses d'étoiles à neutrons sont très rares, et J1906 est de loin le plus jeune de ces astres.

Les étoiles de J1906 sont toutes deux plus massives que le Soleil et pourtant 100 fois plus proches l'une de l'autre que la Terre ne l'est du Soleil. Il en résulte



## ***Le radiotélescope d'Arecibo. (Wikipedia/ Evilkalla)***





une gravité extrême produisant des effets incroyables. L'un d'eux est la précession géodétique.

D'après la théorie de la relativité générale, les étoiles à neutrons voient leur axe de rotation osciller lorsqu'elles se déplacent dans le champ de gravité d'une compagne proche et massive, un peu à la manière d'une toupie lancée sur un coin de table. Orbite après orbite, le pulsar traverse un espace-temps déformé, ce qui laisse une empreinte sur l'axe de rotation.

L'équipe a mesuré la précession géodétique pour J1906. Du fait de l'espace-temps déformé, environ un millionième de l'orbite du pulsar « manque » par comparaison avec ce qu'il aurait été dans un espace-temps plat. En une année d'observation aux radiotélescopes, cela correspond à un changement de 2,2 degrés dans l'orientation de l'axe de rotation du pulsar.

Par les effets de cette énorme attraction gravitationnelle, l'axe de rotation du pulsar a tellement oscillé que ses étroits faisceaux radio

*Illustration d'une orbite du pulsar J1906 (à droite avec les faisceaux radio) autour de son compagnon (au centre). Dans l'espace-temps courbé par le compagnon (en bleu), l'axe de rotation du pulsar s'incline le long de l'orbite. Pour l'illustration, l'effet a été exagéré un million de fois. (Joeri van Leeuwen/ASTRON)*

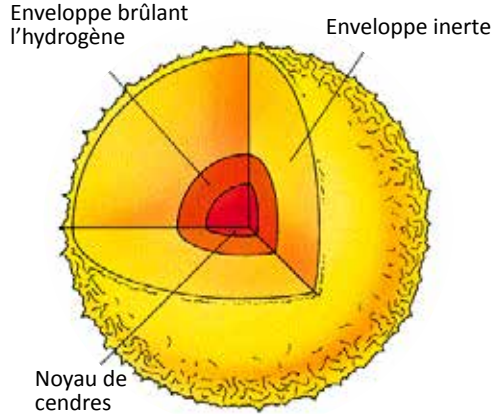
n'éclairent plus la Terre à chaque rotation. Le pulsar est maintenant complètement invisible même pour les plus grands radiotélescopes.

C'est la première fois qu'un pulsar jeune disparaît par précession. Heureusement, la toupie cosmique continue à osciller et devrait faire revenir les faisceaux radio sur Terre... mais cela devrait prendre quelque 160 ans !

## L'âge des étoiles

Les observations réalisées au moyen du télescope spatial Hubble suggèrent que les étoiles d'un même amas ont toutes le même âge. En tout cas, cela a été prouvé pour NGC 1651, un gros amas d'âge moyen du Grand Nuage de Magellan. On sait bien sûr que les étoiles d'amas ont leur origine dans un même nuage et qu'elles n'ont pu se former que durant la vie relativement brève de celui-ci. L'exemple de la nébuleuse de l'Aigle (cf page 64) montre comment la destruction du nuage accompagne la formation des étoiles. On pense que le gaz permettant de créer de nouvelles étoiles est épuisé après une dizaine de millions d'années dans les amas jeunes. Et pourtant, jusqu'à présent, on estimait que les étoiles pouvaient naître tout au long d'un intervalle de temps de quelque 300 millions d'années.

Les étoiles commencent par brûler leur carburant, l'hydrogène, dans leur cœur. Ce processus qui transforme l'hydrogène en hélium dure des milliards d'années pour la plupart des étoiles. Une fois que tout l'hydrogène du cœur est consommé, l'étoile s'attaque à la périphérie du cœur et l'hydrogène est brûlé dans une enveloppe. En même temps, la température change et ce sont ces changements



*Schéma de la structure d'une étoile ayant épuisé l'hydrogène de son noyau.*

*NGC 1651, dans le Grand Nuage de Magellan, est un gros amas ouvert d'âge moyen.  
(NASA/ESA Hubble Space Telescope/Fabian)*



que les astronomes ont voulu déterminer en observant l'amas NGC 1651. L'éparpillement des valeurs lorsque les étoiles finissent de brûler leur cœur correspond à ce que l'on attendait mais, ensuite, lorsque l'enveloppe commence à se consommer, toutes les étoiles rentrent dans le rang, sur une même courbe. Les astronomes en concluent que les étoiles doivent avoir approximativement le même âge, dans une fourchette de moins de 80 millions d'années, ce qui est très peu pour un amas aussi vieux (2 milliards d'années).

Cette caractéristique a maintenant été retrouvée pour d'autres amas.

Il restait à comprendre l'origine de la dispersion des données avant l'arrêt de la combustion centrale.

*Diagramme donnant la couleur (en abscisse) et la magnitude (en ordonnée) des étoiles de l'amas NGC1651.*

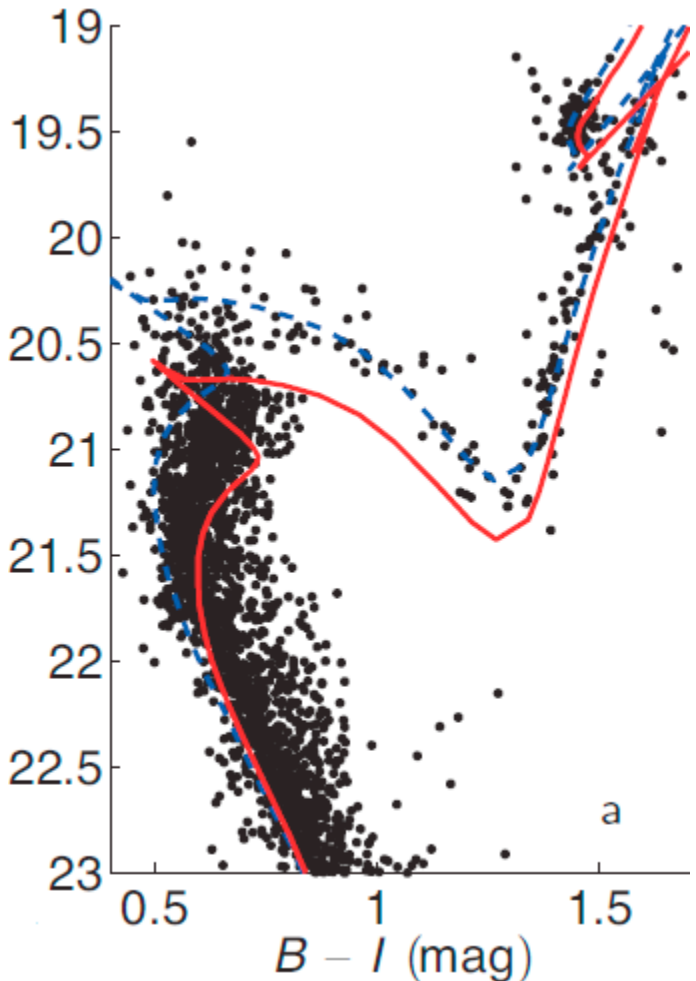
*Les observations (points noirs) révèlent que des modèles caractérisés par un étalement des âges de 450 millions d'années décrivent bien les étoiles de NGC 1651 tant qu'elles sont dans la phase de combustion de l'hydrogène central.*

*Les modèles jeunes sont en bleu, les vieux en rouge.*

*Par contre, lorsque l'hydrogène est épuisé au centre et que les étoiles le brûlent dans une enveloppe entourant le noyau, ces modèles ne sont plus adéquats.*

*(Chengyuan Li, Richard de Grijs, KIAA)*

Une explication est toute prête, la rotation des étoiles. Il se fait que des étoiles de même âge mais tournant à des vitesses différentes présentent des spectres différents indiquant des températures différentes.



## **Gioiello**

L'observatoire spatial X Chandra a « pesé » l'amas de galaxies le plus massif de l'Univers lointain, 400 mille milliards de fois le Soleil.

XDCP J0044.0-2033 (« Gioiello », le « Joyau ») est distant de 9,6 milliards d'années-lumière et est âgé de seulement 800 millions d'années (il se serait formé 3,3 milliards d'années après le Big Bang).

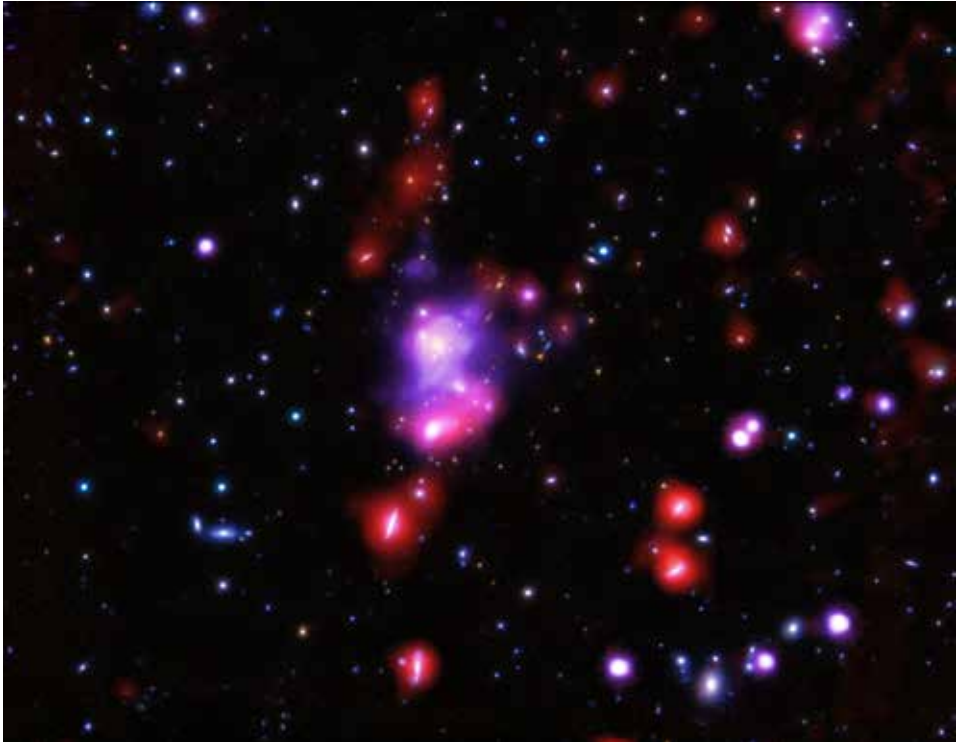
Le nom de Gioiello a été choisi non seulement pour la beauté des images montrant les nuages de gaz chaud et les galaxies formant des étoiles, mais aussi, tout simplement, parce que l'équipe a discuté des données Chandra dans la Villa Gioiello, une demeure du <sup>xv</sup><sup>e</sup> siècle qui fut la dernière résidence de Galilée.

L'amas Gioiello avait été découvert par le télescope spatial XMM-Newton et ses caractéristiques ont poussé les astronomes à l'observer intensivement avec Chandra pen-

dant une durée totale équivalente à plus de quatre jours pleins. Cela a permis d'obtenir suffisamment de photons X pour déterminer la masse record de l'amas.

On ne connaît que quelques amas très massifs de ce genre et ils sont moins lointains. L'exemple probablement le plus connu, El Gordo, n'est qu'à 7 milliards d'années-lumière. Les théories actuelles ont du mal à expliquer la présence d'amas aussi massifs mais les nombres sont trop petits pour décider de la réalité du problème. Les astronomes tentent de détecter d'autres amas du même genre afin de mieux comprendre l'évolution des grandes structures de l'Univers.

*Vue composite, X (en mauve), visible (bleu et jaune), infrarouge (rouge) de l'amas Gioiello. (NASA/CXC/INAF/P. Tozzi, et al; NAOJ/Subaru, ESO/VLT; ESA/Herschel)*



## La galaxie KKs3

Une équipe d'astronomes a déniché une voisine jusqu'alors inconnue : KKs3. Il s'agit d'une galaxie naine sphéroïdale, la première trouvée en quinze ans.

La Voie lactée fait partie d'une famille d'une cinquantaine de galaxies (le Groupe Local) qui inclut notamment M31 d'Andromède, M33 du Triangle et les Nuages de Magellan.

Les naines sphéroïdales se distinguent par leur masse – KKs3 ne pèse qu'un dix-millième de la Voie lactée. Elles n'ont pas de structures définies comme des bras spiraux et elles ne contiennent pas de nuages de gaz et de poussière. Elles sont donc incapables de former de nouvelles étoiles et leur population est très vieille. Cette absence de nuages est mise sur le compte d'interactions gravifiques avec de grosses galaxies et, de fait, les sphéroïdales naines sont généralement situées à proximité de compagnes massives.

Celles qui sont isolées ont dû évoluer autrement, et il est probable qu'une flambée de formation stellaire a eu raison de tous le gaz qu'elles pouvaient contenir.

La faiblesse de ces galaxies et l'absence des émissions de l'hydrogène rend leur découverte très difficile, même dans le Groupe Local. Ainsi, une seule naine sphéroïdale avait été trouvée jusqu'à présent dans notre voisinage, KKs25, en 1999, et par la même équipe d'astronomes que KKs3.

L'avènement de télescopes géants et du télescope spatial James Webb devrait rendre ces découvertes plus faciles et peut-être révéler toute une population insoupçonnée de naines sphéroïdales.

*La galaxie KKs 3, photographiée avec la caméra ACS (Advanced Camera for Surveys) du télescope spatial Hubble.*

*Le noyau de la galaxie est l'objet de droite parmi les deux du haut. À sa gauche se trouve un amas globulaire beaucoup plus proche de nous que la galaxie. (D. Makarov)*



## ***NuSTAR et le Soleil***

Le télescope spatial NuSTAR (Nuclear Spectroscopic Telescope Array) a dérogé à sa mission habituelle en se tournant vers le Soleil. Il a obtenu la meilleure image de l'astre du jour dans les rayons X de haute énergie.

Il peut sembler de prime abord aberrant d'observer le Soleil, l'astre le plus brillant du ciel, avec un télescope extrêmement sensible, le plus sensible même jamais construit dans ce domaine, et dont le but est d'analyser les objets les plus lointains de l'Univers. Mais NuSTAR observe les rayons X de très haute énergie, à de plus courtes longueurs d'onde que les autres télescopes X, et dans un domaine où, précisément, le Soleil n'émet que très faiblement. Alors que des observatoires spatiaux comme Chandra ne pourraient se tourner vers le Soleil sans endommager leurs récepteurs, NuSTAR peut le faire en toute sécurité.

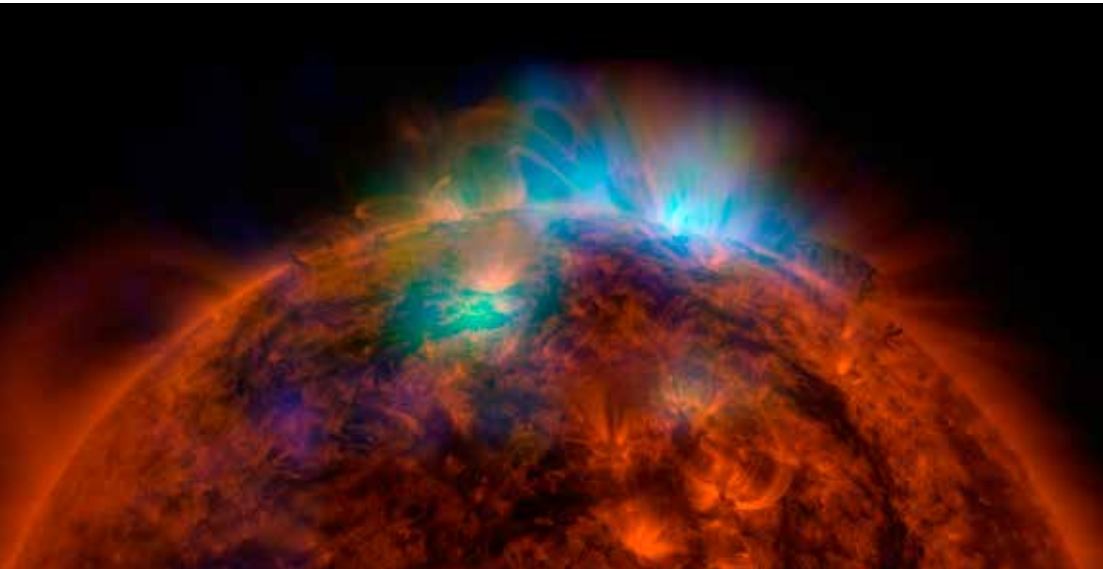
En fait, NuSTAR permet de voir l'atmosphère solaire depuis ses couches les plus profondes jusqu'aux plus élevées et cela avec une excellente sensibilité. Il pourrait capturer les hypothétiques nano-éruptions qui seraient, parmi d'autres processus, à l'origine des températures extrêmes de la couronne. Celle-ci

atteint le million de degrés alors que la photosphère n'est qu'à 6 000 degrés. C'est un peu comme si une flamme brûlait au-dessus d'un bloc de glace.

Un autre espoir qu'entretiennent les scientifiques est que NuSTAR puisse détecter des « axions », des particules dont l'existence reste à prouver, mais qui pourraient expliquer la matière noire. On pense que les axions pourraient se manifester dans les rayons X comme une tache brillante au centre du Soleil.

Cette nouvelle carrière de NuSTAR ne lui fera pas renoncer à sa tâche primaire qui se situe bien au-delà du Système solaire, dans les galaxies, les trous noirs, les supernovæ et autres objets extrêmes.

*La première image du Soleil en rayons X prise par NuSTAR (couleurs bleue et verte) montre les zones d'émission de haute énergie provenant de gaz chauffés à plusieurs millions de degrés. L'image est superposée à une autre prise par le SDO (Solar Dynamics Observatory). En rouge, on voit le Soleil en ultraviolet (à 171 angströms), une image qui correspond à des températures plus basses, de l'ordre du million de degrés. (NASA/JPL-Caltech/GSFC)*





## **Trou noir de J1329+3234**

Le télescope spatial XMM-Newton a permis de découvrir un trou noir supermassif dans J1329+3234, une galaxie naine irrégulière assez semblable au Petit Nuage de Magellan. Cela suggère que les trous noirs centraux des galaxies se forment très tôt et qu'ils sont fréquents dans les naines irrégulières.

Située à 200 millions d'années-lumière la petite galaxie contient quelques centaines de millions d'étoiles – par comparaison, la nôtre en contient des centaines de milliards.

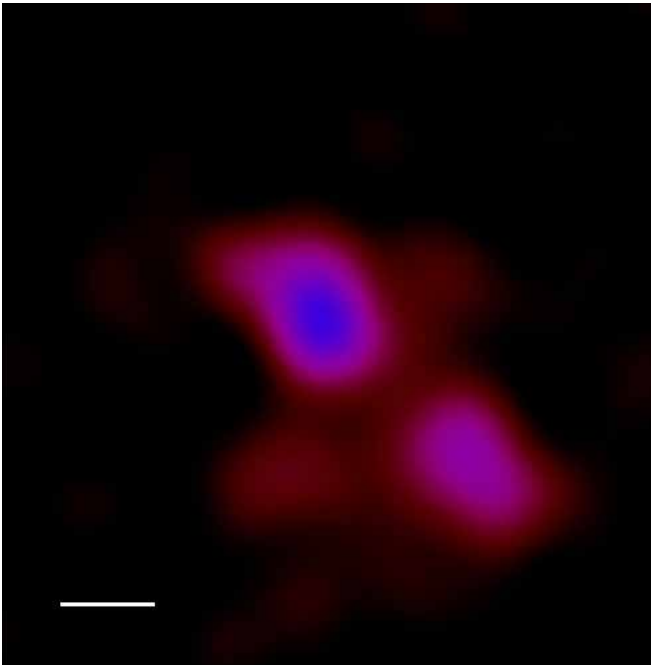
En 2013, les astronomes avaient décelé les signatures infrarouges d'un trou noir actif dans J1329+3234 grâce aux données du télescope spatial WISE (Wide-Field Infrared Survey Explorer). Intrigués, ils passèrent au domaine X en utilisant le satellite XMM-Newton et découvrirent une émission cent fois plus intense qu'escompté. Au lieu du trou noir stellaire attendu, ils obtinrent la preuve de la présence d'un trou noir supermassif de plus de 3 000 fois la masse solaire. Sa masse est pro-

bablement beaucoup plus élevée, les « petits » trous noirs supermassifs habituels faisant autour de 150 000 masses solaires.

On pense que les gros trous noirs se forment par fusions successives lors des collisions de galaxies, les trous noirs initiaux étant apparus à l'aube de l'Univers avec la première génération d'étoiles. Ces trous noirs se trouvaient dans de petites galaxies comme J1329+3234 – galaxies qui elles-mêmes ont fusionné pour former les grosses galaxies actuelles pourvue d'un fort renflement central (bulbe).

Les observations de WISE montrent des centaines d'autres petites galaxies sans bulbe avec des propriétés infrarouges singulières mais qui, comme J1329+3234, ne présentent aucun signe de trou noir dans le domaine visible, la faiblesse de l'émission se conjuguant à l'obscurcissement produit par des nuages de poussière.

La fréquence de trous noirs massifs dans d'aussi petites galaxies prouve qu'ils ont pu se former très tôt dans la vie des galaxies, lors de l'effondrement des nuages primordiaux.



*Image en rayons X  
de la galaxie naine  
J1329+3234.  
(ESA/XMM-Newton/  
N. Secrest, et al. 2015)*