

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 131 (2005)
Heft: 21: Trous noirs

Artikel: Une nouvelle stratégie pour observer des trous noirs
Autor: Courbin, Frédéric / Jablonka, Pascale / Meylan, Georges
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99426>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.06.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Une nouvelle stratégie pour observer des **trous noirs**

ASTRONOMIE

Au cours de l'étude d'un échantillon de galaxies et de leurs trous noirs, un groupe international d'astronomes, dont les soussignés, a récemment découvert l'existence d'un trou noir isolé, sans galaxie hôte apparente. Il s'agit du quasar HE0450-2958, un phénomène lumineux extrêmement puissant, situé à une distance de cinq milliards d'années-lumière¹ de notre Voie lactée. Une nouvelle stratégie, basée sur l'observation simultanée d'un quasar et d'une étoile ainsi que sur une modélisation mathématique dite de « déconvolution », a permis aux chercheurs de mettre en évidence l'absence de galaxie. Ils ont ainsi déjoué le problème posé par le rayonnement aveuglant de tout quasar, rayonnement qui masque celui de la galaxie supposée l'entourer et empêche donc les chercheurs de juger de la présence ou de l'absence de cette dernière.

Les trous noirs - objets les plus denses que l'on observe dans l'univers - sont tellement massifs et compacts que rien n'échappe à leur champ de gravité : ils gobent tout ce qui passe à leur portée, même la lumière. De fait, on ne les observe que de manière indirecte : la matière qui passe à leur proximité trahit leur présence. L'attraction gravitationnelle extrême du trou noir, dont la masse égale parfois jusqu'à plusieurs milliards de fois celle du soleil², pulvérise toute matière dans son environnement proche, qu'il s'agisse de gaz atomique ou moléculaire. Les étoiles s'approchant de trop près sont disloquées. Mais avant de s'engouffrer dans le trou, la matière tourne autour de lui à des vitesses vertigineuses, atteignant plusieurs milliers, voire dizaines de milliers de kilomètres par seconde : elle est alors

¹ L'année-lumière (notée « al ») est la distance parcourue par la lumière en une année, à la vitesse de 300 000 kilomètres par seconde, soit $9,5 \times 10^{12}$ km, ou 9 500 milliards de kilomètres.

² La masse du soleil est de 2×10^{30} kg.

Fig. 1 : Image (obtenue avec le HST) du quasar HE1239-2426, situé à quelques cinq milliards d'al² de notre galaxie. Le quasar est la tache brillante au centre de l'image. Il constitue le noyau d'une galaxie spirale, semblable à notre Voie lactée. Deux bras spiraux sont ici bien visibles, ils sont constitués d'étoiles et de gaz et sont connectés au noyau de la galaxie. Ces bras et le noyau sont bien plus grands que le disque d'accrétion du quasar décrit dans le texte et ne doivent pas être confondus avec ce dernier. Pour comparaison, la galaxie montrée ici mesure environ 100 000 al de diamètre, alors que le disque d'accrétion du quasar ne mesure que quelques al. Il est ici complètement invisible. (Image programme ASA/ESA # 10238, investigateur principal : F. Courbin, EPFL)



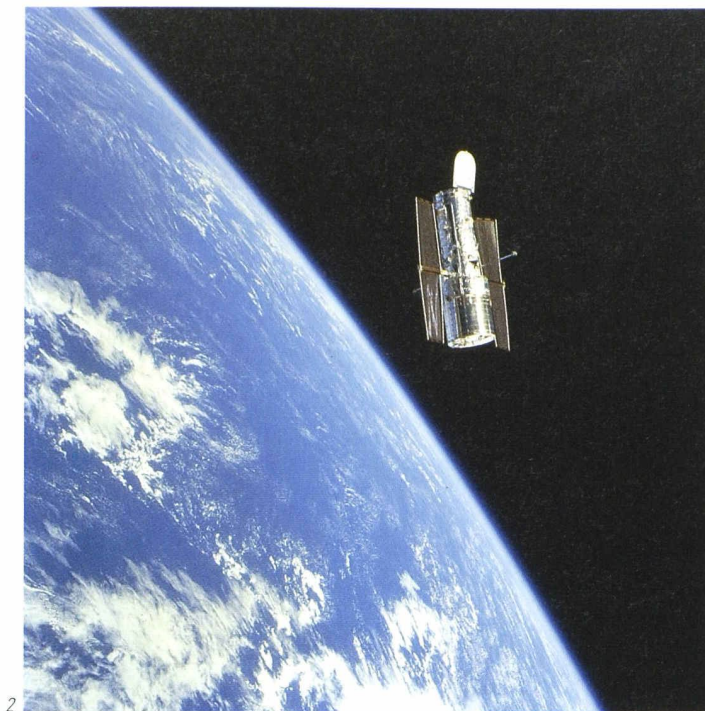


Fig. 2 : Le Télescope Spatial Hubble (HST), vu depuis la navette spatiale. Le télescope est en orbite dite « basse », à quelque 500 km de nos têtes, au-dessus desquelles il passe environ toutes les 90 minutes. (Image NASA/ESA)

surchauffée par friction et prend la forme d'un disque tournoyant autour de son centre, comme l'eau autour du trou de l'évier. Ce disque, dit « d'accrétion », émet alors un rayonnement balayant toutes les longueurs d'ondes du spectre électromagnétique, depuis les rayons gamma et X jusqu'aux longueurs d'ondes radio, en passant par la lumière perceptible par l'œil humain.

Bien que le trou noir à l'origine de l'effondrement de la matière reste invisible, le puissant rayonnement émis par la matière en fusion dans le disque d'accrétion est, lui, visible à des distances correspondant presque au rayon de l'univers observable. Ces phénomènes lumineux, parmi les plus brillants observés à ce jour, proviennent de régions très petites à l'échelle cosmique et apparaissent comme ponctuels même pour un puissant télescope moderne. Appelés « quasars », une contraction de « quasi-stellar » ou « quasi-stellaire » en français, ce mot désigne aussi bien le phénomène lumineux que l'objet astronomique qui l'engendre. Vu au télescope, un quasar ne se distingue pas immédiatement d'une étoile et seul un examen plus détaillé de la lumière émise permet de l'identifier clairement. La figure 1 montre un tel quasar, au centre d'une galaxie spirale. Il est à lui seul aussi lumineux que l'ensemble de la galaxie qui l'abrite, elle-même composée de milliards d'étoiles semblables à notre soleil.

De façon générale, la plupart des galaxies abritent un trou noir dont la masse vaut quelques millions, voire quelques milliards de fois celle du soleil. L'origine d'un tel trou noir et du phénomène de quasar qui peut lui être associé reste incertaine. Comment ces tourbillons cosmiques se forment-ils ? D'où tirent-ils la matière qu'ils brûlent ? Pourquoi voit-on un quasar dans certaines galaxies, et pas dans d'autres ? Les réponses à ces questions nécessitent une étude détaillée de deux échantillons de galaxies : celles qui

accueillent un quasar et celles dans lesquelles le trou noir semble inerte. Une telle étude est actuellement en cours au Laboratoire d'Astrophysique de l'EPFL.

Observer les quasars et leur galaxie hôte

L'observation des galaxies abritant un quasar constitue un véritable défi pour les astrophysiciens. Dans la figure 1, la galaxie observée est relativement proche de la nôtre et se distingue aisément du quasar central. Vue d'une distance plus grande, cette galaxie apparaîtrait plus petite et moins lumineuse : elle serait dominée par la lumière aveuglante du quasar. Il est donc important d'obtenir des images à très haute résolution spatiale afin de mettre en évidence le contraste lumineux entre le quasar et sa galaxie hôte : plus l'image est nette, plus la lumière du quasar apparaît concentrée et mieux on voit la galaxie hôte sous-jacente.

Les télescopes modernes, comme le Télescope Spatial Hubble (HST), fruit d'une collaboration entre la NASA et l'ESA (fig. 2), ou les grands télescopes au sol, comme le Very Large Telescope (VLT) de l'Observatoire Européen Austral (ESO) (fig. 3), sont tous dotés d'un miroir qui collecte les photons issus du ciel et les concentre sur un détecteur. Plus le diamètre du miroir est grand, plus on capte de photons et plus les images sont profondes. En revanche, la netteté des images ne dépend pas que de la taille du miroir. La qualité du site du télescope est alors d'une importance primordiale. Les couches de l'atmosphère terrestre, d'altitudes, de températures et de densités différentes, bougent sans cesse, créant des turbulences qui brouillent la transmission des images.

Si Hubble a permis de se placer au-dessus de l'atmosphère, les coûts engendrés par la satellisation demeurent élevés et la taille des miroirs reste limitée au diamètre des plus gros lanceurs. Ainsi, le HST n'affiche « que » 2,4 mètres de diamètre, conséquence directe des dimensions de la navette spa-

Fig. 3 : Le Very Large Telescope (VLT), construit par onze pays européens constituant l'organisation internationale Observatoire Européen Austral (European Southern Observatory ou ESO), implanté à 2600 mètres d'altitude dans les Andes chiliennes, se compose de quatre télescopes de 8,2 mètres de diamètre chacun, collectant le moindre photon des objets les plus faibles et les plus lointains. Chaque miroir, pesant 25 tonnes, est installé dans une monture sur bain d'huile sous pression, qui peut être manœuvré avec une précision de quelques microns. Certains de ces télescopes sont par ailleurs dotés d'instruments d'« optique adaptative », permettant de corriger en partie le brouillage des images par l'atmosphère terrestre. (Image ESO)



3

tiale, alors que les miroirs utilisés depuis le sol ont des diamètres de 8 à 10 mètres. On cherche alors à minimiser la turbulence atmosphérique en plaçant les grands télescopes en altitude, si possible sur de hauts plateaux ou sur des pics isolés tels que les volcans éteints de Hawaï. Le trajet des rayons lumineux à travers les couches denses de l'atmosphère est ainsi raccourci.

En pratique, télescopes spatiaux et terrestres sont utilisés de façon complémentaire. Le plus souvent, on profite de la netteté des images de Hubble pour discerner les détails des objets les plus lointains, alors que les télescopes au sol servent à déterminer le rayonnement de ces objets en fonction de la couleur ou longueur d'onde à laquelle on les regarde. On dit, dans ce dernier cas, que l'on étudie le spectre de tel objet astronomique. Les spectres permettent de déterminer, entre autres caractéristiques, la composition chimique, la température et la distance des objets étudiés.

La plupart des études théoriques prédisent, sans grande surprise, que les trous noirs et les quasars qui leur sont associés se forment dans les endroits les plus denses de l'univers. On s'attend donc à trouver les quasars les plus brillants dans les galaxies les plus massives. La théorie prédit également que les interactions gravitationnelles entre galaxies pourraient

La méthode de déconvolution

La convolution d'un signal par une Réponse Instrumentale (RI) se traduit de façon simple dans l'espace de Fourier où la multiplication de la transformée de Fourier (TF) du signal par celle de la RI donne la TF de la convolution des deux signaux. Autrement dit, la déconvolution par la RI pourrait, en première approximation, consister à prendre la TF de l'image observée, à la diviser par celle de la RI, puis à prendre la TF inverse du résultat. Cependant en pratique, les clichés sont constitués de pixels et sont donc représentés de façon discrète plutôt que continue. Les clichés sont dits « échantillonnés ». Ils sont également affectés par différentes sources de bruit liés à l'électronique des caméras digitales. L'échantillonnage et la présence de bruit constituent un brouillage supplémentaire à très haute fréquence. Or, c'est justement à ces hautes fréquences qu'intervient le signal de l'image déconvoluée, celui que l'on s'efforce de restituer. La déconvolution amplifie le bruit si elle n'est pas appliquée avec soin et l'on peut aboutir à une dégradation des images où bruit et signal se mélangent. Les algorithmes de déconvolution sont donc bien plus complexes qu'une simple division dans l'espace de Fourier, et sont souvent accompagnés de techniques visant à minimiser les effets néfastes du bruit et de l'échantillonnage. Ce n'est que lorsqu'ils sont bien utilisés que les algorithmes de déconvolution représentent une amélioration énorme.

VELUX®

REGISTER
BEFORE
10 FEB
2006
WWW.VELUX.COM/A

INTERNATIONAL
VELUX AWARD 2006
FOR STUDENTS OF ARCHITECTURE

WWW.VELUX.COM/A

 **uli**

LIGHT OF TOMORROW

Fig. 4 : A gauche, image du quasar brillant HE0450-2958, prise avec le HST. La netteté de cette image de 0,1 seconde d'arc permettrait de voir une pièce de 1 franc à une distance de 100 km. Le quasar est au centre de l'image. Le point en bas est une étoile de la Voie lactée, située au premier plan, infiniment plus proche de nous que du quasar. Juste au-dessus du quasar, à la même distance de nous que ce dernier (cinq milliards d'années), on voit une galaxie compagnon. A droite, la même image traitée par la méthode de déconvolution (voir encadré, p. 7). Sa netteté permet de mettre en évidence un nuage constitué exclusivement de gaz (« blob »), très près du quasar. En l'occurrence, aucune galaxie hôte n'est visible. HE0450-2948 est donc un cas très rare de quasar « nu ». (Image programme ESO/VLT # 66.B-0139(A), investigateur principal : F. Courbin, EPFL)

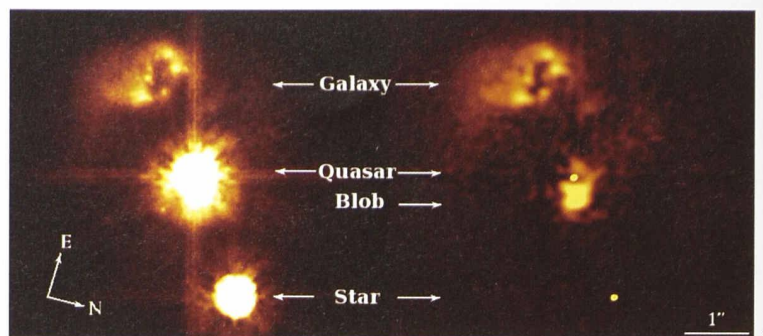
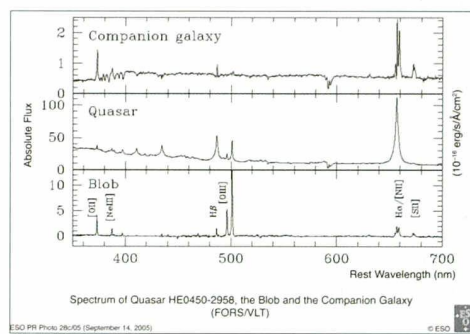


Fig. 5 : Les spectres des trois objets obtenus au VLT (Image ESO)



être à l'origine de l'allumage du phénomène de quasar, l'apport en matériaux de combustion par la collision et parfois la fusion de deux ou plusieurs galaxies étant alors très important et très rapide.

L'utilisation en parallèle du HST et du VLT a récemment permis d'observer à la fois les caractéristiques de la matière constituant vingt galaxies hôtes de quasars et celles du gaz que ces derniers brûlent³. La figure 1 est l'une des galaxies de cet échantillon. Toutes les images obtenues, sauf une - celle du quasar HE0450-2958 -, montrent une galaxie hôte bien visible. Par ailleurs, la moitié de ces galaxies présentent un surplus de gaz par rapport aux galaxies sans quasar. Ce résultat découle de l'analyse des spectres pris avec le VLT (fig. 5) qui permettent de voir que certains éléments chimiques sont très abondants dans dix des vingt galaxies observées. Comme on ne s'attend pas à trouver beaucoup de gaz dans les galaxies très massives, les chercheurs en déduisent qu'il y a apport de gaz lors des interactions et fusions avec d'autres galaxies contenant de la matière gazeuse. Vu le grand nombre de galaxies de l'échantillon qui montre beaucoup de gaz, on peut penser que le phénomène d'interaction entre galaxies a une importance prépondérante dans la formation des quasars.

Un quasar sans galaxie hôte

Un cas particulier figure dans notre échantillon : le quasar HE0450-2958 (fig. 4), qui ne possède pas de galaxie hôte visible. Ce quasar est si brillant que même la netteté exemplaire des images du HST ne suffit pas à étudier son environnement immédiat. Ces images doivent donc subir un traitement numérique dit de « déconvolution », qui améliore encore leur résolution. Pour l'appliquer, on utilise l'image

d'une étoile brillante prise au même moment que celle du quasar. Sachant que l'image de l'étoile serait un point infiniment étroit si elle était observée par un télescope parfait, on en déduit que la tache (de largeur finie) enregistrée par le détecteur correspond au brouillage instrumental (et atmosphérique, si le télescope est au sol). En mesurant les perturbations sur l'image ponctuelle d'une étoile, on peut corriger l'image du quasar et de la galaxie de l'effet de cette perturbation.

Le résultat de la déconvolution est illustré dans la partie droite de la figure 4. La lumière du quasar est concentrée en un point très fin, laissant entrevoir son environnement proche. Aucune trace de galaxie hôte n'est décelée autour du quasar, bien que les observations soient parfaitement adaptées à sa détection. A la place, on trouve une tache étendue (en haut de l'image) dont le spectre montre qu'elle est constituée d'étoiles très jeunes et chaudes. On observe en plus un immense nuage de gaz près du quasar (« blob », sur la figure 4). Les spectres obtenus avec le VLT indiquent qu'il ne s'agit que de gaz très chaud. Le gaz et les étoiles sont donc complètement dissociés et ne forment pas une galaxie bien définie. Il s'agit très probablement du résultat d'une collision géante entre deux galaxies, et nous n'observons que les vestiges du choc : des étoiles d'un côté et de l'autre, de grandes quantités de gaz résiduel alimentant le trou noir. Comme les collisions sont très brèves à l'échelle cosmique, elles sont rares et difficiles à observer. On peut donc dire que la découverte de ce cas exceptionnel de quasar « en formation », directement lié à une collision cosmique, constitue une véritable aubaine qui mérite un suivi particulier.

Frédéric Courbin (EPFL), Pascale Jablonka (UniGE)
et Georges Meylan (EPFL)
EPFL-SB-IPEP-LASTRO, Observatoire Sauverny
CH - 1290 Versoix

³ Voir COURBIN ET AL., *Astronomy and Astrophysics*, vol. 394/2003, p. 863 et MAGAIN ET AL., *Nature*, vol. 437/2005, p. 381