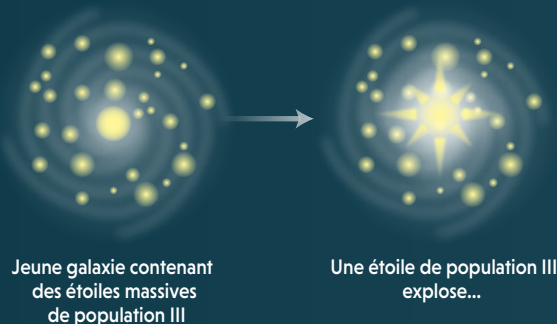


COMMENT SONT NÉS LES TROUS NOIRS SUPERMASSIFS

Dans le schéma classique, la formation des trous noirs supermassifs (*en haut*) commence avec la mort des premières étoiles. Mais ce scénario ne semble pas pouvoir expliquer l'énorme masse des trous noirs sis au cœur des quasars les plus anciens. Des astrophysiciens ont proposé une nouvelle idée : ces trous noirs naîtraient de l'effondrement direct de nuages de gaz (*en bas*).

SCÉNARIO CLASSIQUE

Lorsque les premières étoiles (population III) ont épuisé leur carburant nucléaire, elles ont explosé en supernova, laissant derrière elles des trous noirs. En absorbant rapidement le gaz et les étoiles environnantes, ces trous noirs sont devenus beaucoup plus massifs.



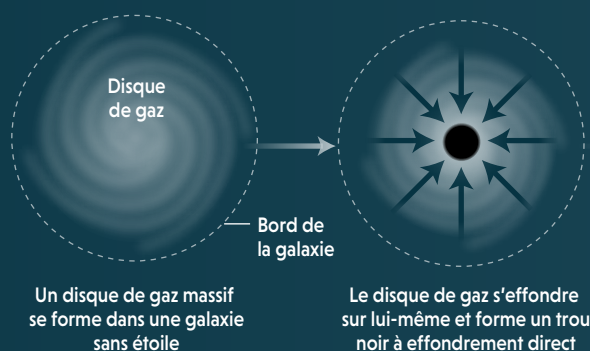
Big Bang

~ 180 millions d'années

~ 270 millions d'années

SCÉNARIO À EFFONDREMENT DIRECT

Si, dans une protogalaxie, la formation des étoiles est bloquée, tout le gaz pourrait s'effondrer vers le centre du disque et produire un trou noir. En entrant ensuite en collision avec une galaxie voisine, le trou noir grossirait très vite par absorption du gaz et des étoiles de cette galaxie. On obtiendrait une « galaxie à trou noir obèse », qui serait détectable par les télescopes.



➤ trous noirs à effondrement direct se sont formés dans des galaxies satellites de galaxies plus grandes. Une fusion galactique fournirait au trou noir graine une nouvelle source de gaz à engloutir, entretenant sa croissance. Il devrait alors se transformer rapidement en un quasar qui brille plus que toutes les étoiles de sa galaxie.

Ces trous noirs ne seraient pas seulement plus brillants que l'ensemble des étoiles environnantes, ils seraient aussi plus lourds – ce qui n'est en général pas le cas. Le plus souvent, les étoiles d'une galaxie pèsent au total plus que le trou noir central, d'un facteur 1000 environ. Mais lors de la fusion avec la galaxie parent, la masse du trou noir en pleine croissance dépasse rapidement celle des étoiles. La galaxie est alors qualifiée de galaxie à trou noir obèse. Et une telle structure devrait présenter un spectre électromagnétique particulier, notamment dans l'infrarouge, entre 1 et 30 micromètres de longueur d'onde. Or les instruments MIRI (*Mid-Infrared Instrument*) et NIRCам (*Near-Infrared Camera*) du télescope spatial *James-Webb* sont très sensibles à ces longueurs d'onde.

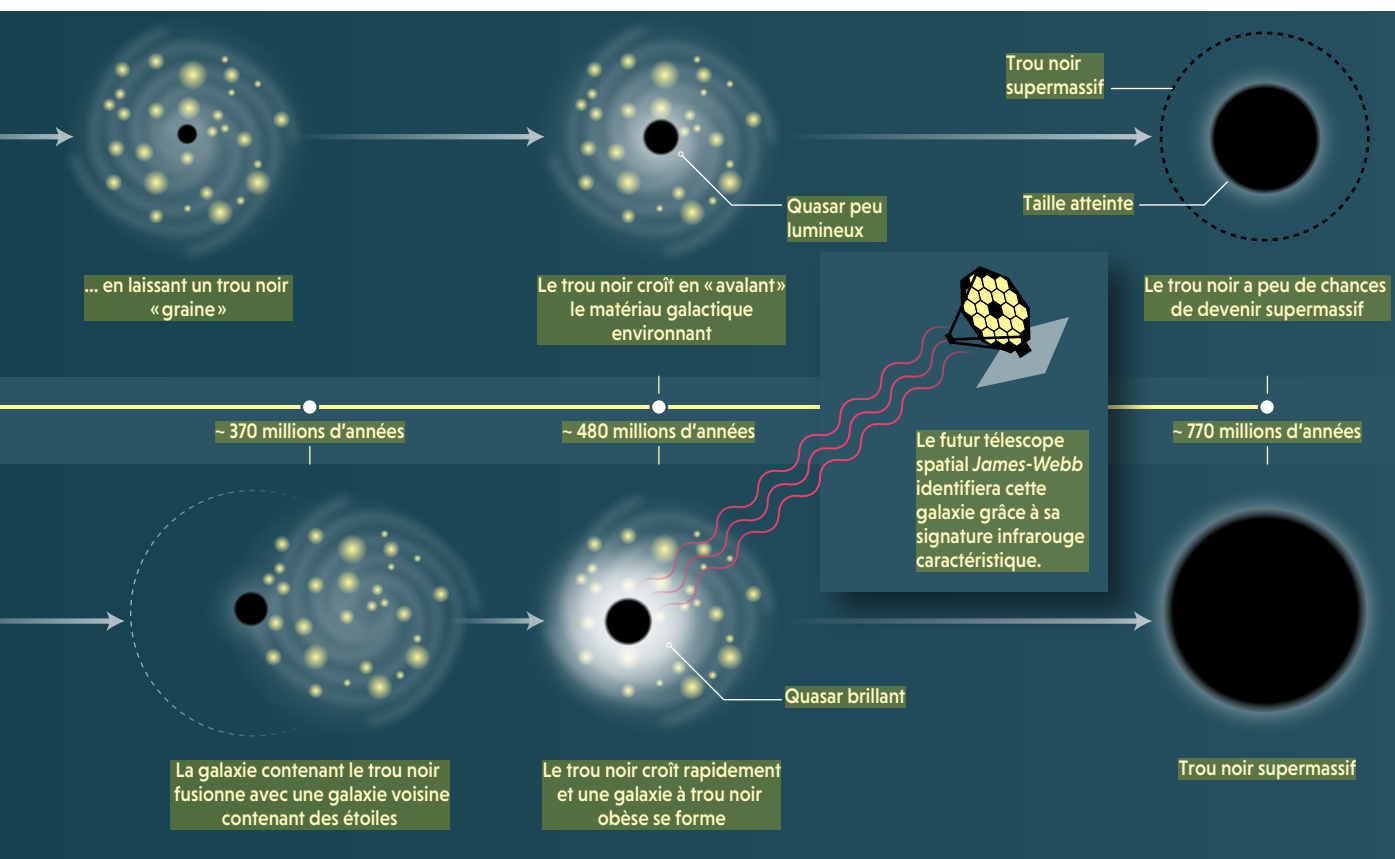
Ce télescope sera l'instrument le plus puissant que les astronomes aient jamais eu pour plonger leur regard dans la jeunesse de l'Univers. Si le télescope détecte des galaxies à trou noir obèse, ce serait un indice fort en faveur de

la théorie des trous noirs à effondrement direct. À l'inverse, les trous noirs graines, nés de la mort d'étoiles, seront bien trop pâles pour être visibles par le télescope *James-Webb*, ou n'importe quel autre.

D'autres types d'observations pourraient aussi fournir des indices en faveur de notre théorie. Dans les rares cas où la galaxie parent hébergerait un trou noir central, les deux trous noirs entreraient en collision en libérant d'importantes ondes gravitationnelles. Le futur interféromètre spatial *Lisa*, des agences spatiales européenne (l'ESA) et américaine (la Nasa), prévu pour les années 2030, devrait être en mesure de détecter un tel événement.

UN PORTRAIT PLUS PRÉCIS

Il est tout à fait possible que les scénarios des trous noirs à effondrement direct et les graines nourries à un rythme super-Eddington aient tous les deux coexisté dans l'Univers primordial. La question serait alors : lequel des deux a produit la majorité des quasars les plus anciens observés par les astronomes ? Résoudre cette énigme fera plus que préciser la chronologie de l'Univers jeune. Les astronomes auront aussi une meilleure compréhension de l'évolution des galaxies, car les trous noirs supermassifs y jouent un rôle important.



Les données suggèrent par exemple que le trou noir central influencerait sur la production d'étoiles de la galaxie où il se trouve. D'une part, la matière tombant dans le trou noir libère de l'énergie qui chauffe le gaz proche du centre galactique. Elle l'empêche ainsi de se refroidir et de former des étoiles. Cette influence serait aussi sensible à grande portée, bien au-delà du centre de la galaxie, sous la forme de jets de rayonnement de haute énergie. Ces jets, que les astronomes observent dans le domaine radio, chaufferaient le gaz des régions externes de la galaxie et y bloqueraient la formation stellaire. Ces effets sont complexes à modéliser, mais les astronomes espèrent mieux les comprendre : trouver les premières graines préciserait comment les relations entre ces trous noirs et leurs galaxies hôtes ont évolué au cours du temps.

Les perspectives de recherche présentées ici s'inscrivent dans une évolution importante de nos capacités à étudier et comprendre les trous noirs de toutes les tailles. Quand, par exemple, l'interféromètre *Ligo* a réalisé la première détection d'ondes gravitationnelles en 2015, les scientifiques ont pu déterminer que les deux trous noirs qui avaient fusionné pesaient respectivement 36 et 29 masses solaires, des cousins poids plumes des trous

noirs supermassifs au cœur des quasars. La poursuite des projets pour détecter d'autres ondes gravitationnelles permettra d'obtenir de nouveaux et fascinants détails sur ce qui se passe quand des trous noirs fusionnent et font vibrer l'espace-temps autour d'eux.

Par ailleurs, le télescope *Event Horizon* compte utiliser les observatoires radio disséminés partout à la surface de la Terre pour acquérir une image du trou noir au centre de la Voie lactée. Les chercheurs espèrent observer une « ombre » en forme d'anneau autour des bords du trou noir, un phénomène prédit par la relativité générale. Tout écart entre les mesures du télescope *Event Horizon* et les prévisions de la relativité générale serait un défi à notre compréhension des trous noirs. Enfin, des astrophysiciens veulent utiliser un réseau de pulsars, des étoiles émettant du rayonnement de façon régulière, pour détecter le bruit de fond cosmique des ondes gravitationnelles dû à l'accumulation de signaux émis par la coalescence de trous noirs dans l'Univers. Mais à plus court terme, c'est le télescope *James-Webb* qui ouvrira une nouvelle fenêtre sur la recherche des trous noirs dans l'Univers jeune.

De nombreuses découvertes sont à prévoir dans un futur proche. Et notre compréhension des trous noirs pourrait en être transformée. ■

BIBLIOGRAPHIE

P. Natarajan et al., **Unveiling the first black holes with JWST : Multi-wavelength spectral predictions**, *Astrophysical Journal*, vol. 838(2), article 117, 2017.

D. Psaltis et S. S. Doeleman, **Tester la relativité avec les trous noirs**, *Pour la Science*, n° 457, novembre 2015.

P. Natarajan, **Seeds to monsters : Tracing the growth of black holes in the Universe**, *General Relativity and Gravitation*, vol. 46(5), article 1702, 2014.

E. Treister et al., **New observational constraints on the growth of the first supermassive black holes**, *Astrophysical Journal*, vol. 778(2), article 130, 2013.

LES AUTEURS



JONAS BERKING
géographe à
l'université libre
de Berlin,
en Allemagne



BRIGITTA SCHÜTT
géographe à
l'université libre
de Berlin



WIEBKE BEBERMEIER
géographe à
l'université libre
de Berlin



STEPHAN SCHMID
archéologue à
l'université
Humboldt, à Berlin



Cette citerne, construite dans le désert du Néguev, à Bom Havarim, en Israël, illustre le savoir-faire hydraulique des Nabatéens, dont les cités ont prospéré malgré les conditions arides.