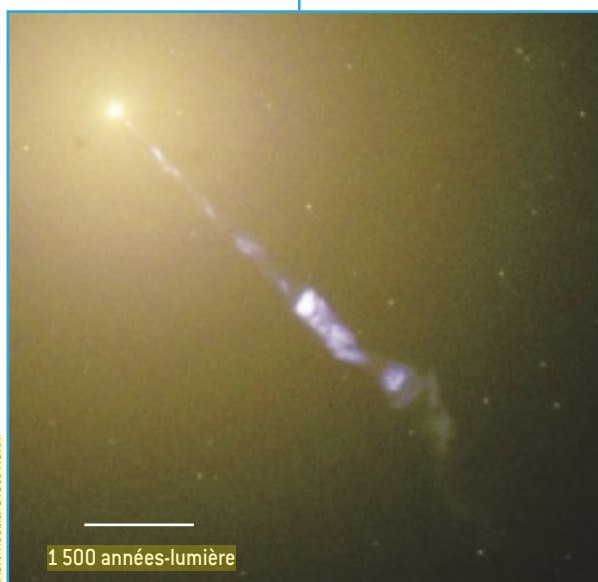


6 Des trous noirs supermassifs à foison



Depuis les années 1960, les astronomes pensent que les quasars et autres noyaux galactiques actifs (les noyaux brillants et violents des galaxies) sont alimentés par des trous noirs géants qui dévorent la matière. Les observations de *Hubble* ont renforcé ce scénario. Presque toutes les galaxies observées en détail présentent un trou noir en leur cœur. Deux découvertes ont été particulièrement révélatrices. Tout d'abord, les images à haute résolution des quasars montrent qu'ils résident dans des galaxies elliptiques brillantes ou dans des galaxies en interaction, ce qui suggère qu'un certain nombre d'événements doivent se succéder selon une séquence donnée pour que le trou noir central soit alimenté. En outre, la masse du trou noir géant est étroitement liée à celle du bulbe sphérique d'étoiles qui entoure le centre galactique. Cela suggère que la formation d'une galaxie et d'un trou noir, ainsi que leur évolution sont étroitement liées.

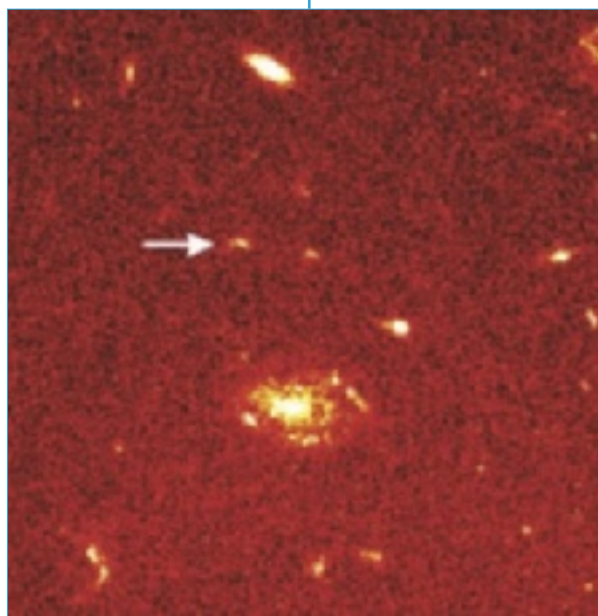
Ce jet de plasma, dont on pense qu'il serait produit par un trou noir de trois milliards de masses solaires, est émis par la galaxie M87.

7 Les plus grandes explosions

Les sursauts gamma sont de courtes flambées de rayonnement gamma qui durent de quelques millisecondes à quelques dizaines de minutes. Il y en a deux catégories, selon qu'ils durent plus ou moins de deux secondes ; les plus longs produisent des photons de plus basse énergie. D'après les données de l'Observatoire Compton de rayons gamma, du satellite à rayons X *BeppoSAX* et des observatoires au sol, les astrophysiciens ont attribué les sursauts de longue durée à l'effondrement du cœur d'étoiles massives à courte durée de vie, en un mot à un type de supernova. Mais on s'interroge : pourquoi seule une petite fraction des supernovae produit-elle des sursauts gamma ?

Hubble a montré que, tandis qu'on trouve des supernovae dans toutes les régions de formation stellaire, les sursauts gamma de longue durée sont concentrés dans les régions les plus brillantes où se trouvent les étoiles les plus massives. De plus, comparés aux galaxies hôtes des supernovae, les hôtes des sursauts gamma sont beaucoup plus faibles, plus irréguliers et moins riches en éléments lourds. Cela est important, car les étoiles massives pauvres en éléments lourds engendrent des vents stellaires plus faibles que ceux créés par leurs contreparties riches en éléments lourds. Durant leur vie, ces étoiles conservent l'essentiel de leur masse et quand elles disparaissent, elles sont plus lourdes. L'effondrement de leur cœur produit non pas une étoile à neutrons, mais plutôt un trou noir. En fait, les astronomes attribuent les sursauts gamma longs à des jets collimatés engendrés par des trous noirs en rotation rapide. Le facteur qui semble indiquer si l'effondrement d'un cœur donnera naissance ou non à un sursaut gamma serait la masse du progéniteur et sa vitesse de rotation au moment de la mort de l'étoile.

L'identification des sursauts gamma courts a été plus difficile. C'est seulement en 2005 qu'ils ont livré leurs secrets



La galaxie hôte du sursaut gamma 971214 ressemble à une petite tache (à la pointe de la flèche).

grâce aux satellites *HETE 2* et *Swift*. *Hubble* et l'Observatoire X *Chandra* ont montré que ces sursauts libèrent globalement moins d'énergie que les sursauts plus longs, et qu'ils se produisent dans des galaxies hôtes de types variés, y compris dans des galaxies elliptiques où il n'y a plus de formation d'étoiles. Apparemment, les sursauts courts ne sont pas associés à des étoiles massives de courte durée de vie, mais plutôt à leurs vestiges stellaires. Selon l'hypothèse la plus vraisemblable, ces sursauts courts se produisent durant la coalescence de deux étoiles à neutrons.

8 Le bord de l'espace

Une des principales préoccupations des astronomes est de remonter le plus loin possible dans le temps, jusqu'au Big Bang, pour comprendre comment notre galaxie et ses précurseurs se sont formés. Pour imaginer ce à quoi a ressemblé la Voie lactée depuis sa formation, les astronomes ont pris des clichés de galaxies à tous les stades de leur vie, de la petite enfance au grand âge. À cette fin, *Hubble* a, avec d'autres observatoires, cherché à repérer les galaxies les plus lointaines et donc les plus vieilles, en réalisant des expositions longues de petites portions du ciel : ce sont les programmes de recherche Champ profond de *Hubble*, Champ ultraprofond de *Hubble*, et GOODS (*Great Observatories Origins Deep Survey*).

Ces images extrêmement sensibles ont dévoilé des galaxies qui existaient quand l'Univers n'avait que quelques millions d'années, soit environ cinq pour cent de son âge actuel. Ces galaxies étaient plus petites et de forme plus irrégulière que les galaxies modernes, comme on s'y attendrait si les galaxies d'aujourd'hui se formaient par agglomération de galaxies plus petites (par opposition au morcellement de galaxies plus grosses). Pour remonter encore plus loin dans le temps, un successeur de *Hubble* est actuellement en construction : le télescope spatial *James Webb*.

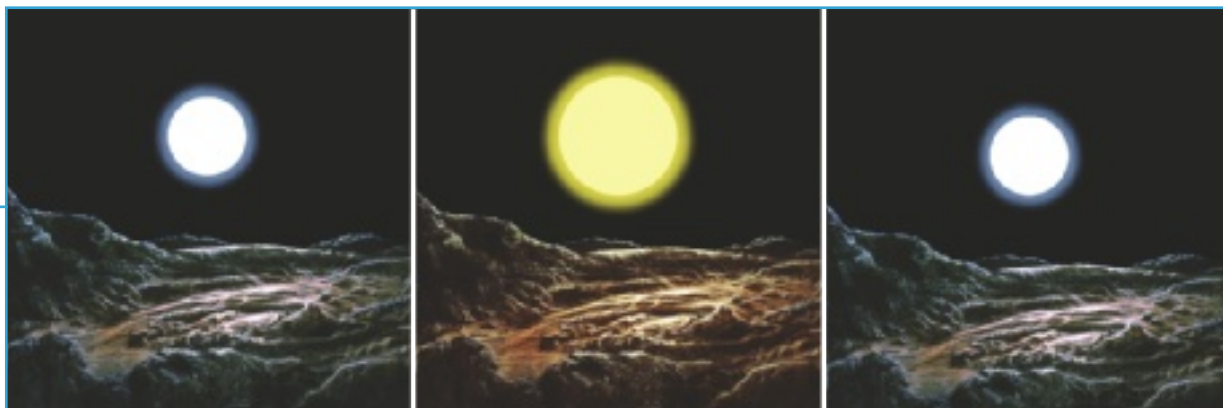
Les observations du champ profond ont également suivi les augmentations et les diminutions du taux de formation des étoiles dans l'Univers à l'échelle du temps cosmique. Ce



NASA, ESA, S. Beckwith (STScI)

Des milliards de fois moins intenses que ce que l'œil peut détecter, des galaxies distantes sont disséminées dans tout le champ profond de *Hubble*.

taux semble avoir atteint son maximum il y a environ sept milliards d'années, et avoir été divisé par dix depuis. Lorsque l'Univers n'avait qu'un milliard d'années, le taux de formation des étoiles était apparemment déjà élevé : environ un tiers de sa valeur maximale.



Don Dixon

9 L'âge de l'Univers

Les observations réalisées par Edwin Hubble et d'autres dans les années 1920 ont montré que nous vivons dans un Univers en expansion. Les galaxies s'éloignent les unes des autres, ce qui implique que la trame de l'Univers s'étire. La constante de Hubble (H_0) mesure le taux d'expansion actuel : c'est le paramètre clef pour déterminer l'âge de l'Univers. Le raisonnement est simple : H_0 est la vitesse à laquelle les galaxies s'éloignent ; ainsi, en négligeant toute

accélération ou décélération, l'inverse de H_0 donne le moment où toutes les galaxies devaient être réunies. La valeur de H_0 joue également un rôle dans la croissance des galaxies, la production des éléments légers et la durée des différentes phases de l'évolution cosmique. Il n'est donc pas étonnant que la mesure précise de la constante de Hubble ait été l'un des principaux objectifs du télescope du même nom.

En pratique, trouver cette valeur impliquait d'établir la distance des galaxies les plus proches, une tâche difficile qui a produit son lot de contro-

Des étoiles variables céphéides, telle celle de cette vue d'artiste, sont très utiles pour déterminer les distances intergalactiques.

verses durant le XX^e siècle. Le télescope a étudié les étoiles variables céphéides (des étoiles dont les pulsations caractéristiques révèlent la brillance intrinsèque et donc la distance) dans 31 galaxies. La valeur de H_0 qui résulte de cette étude est précise à environ dix pour cent près. Avec les mesures du fond diffus cosmologique, la valeur de la constante de Hubble indique que l'Univers est vieux de 13,7 milliards d'années.