

LES TROUS NOIRS

Trou noir. La simple évocation du phénomène provoque la perplexité.

Les trous noirs sont sans nul doute les objets les plus mystérieux de l'Univers. Leur seule existence pose une énigme durable à l'appareil théorique de la cosmologie contemporaine.

Ils seraient issus des premiers instants tumultueux de l'Univers et, surtout, de la mort cataclysmique des étoiles massives. Techniquement, les trous noirs seraient donc des cadavres stellaires.

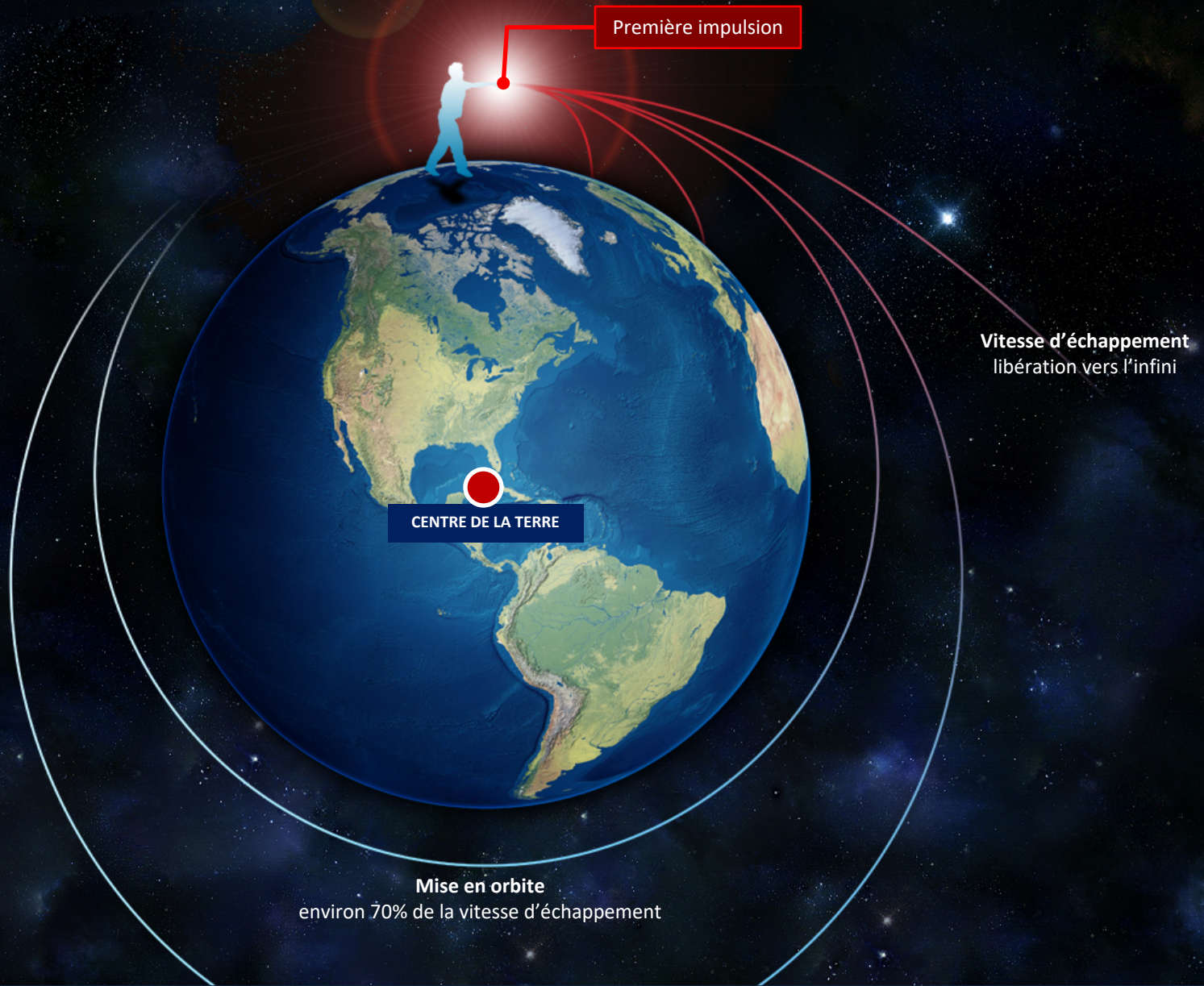
Mais voilà, le nom de « trou noir » montre plus qu'il n'y paraît.

Premièrement, ces objets ne laissant pas s'échapper la lumière qui, dans notre monde, véhicule l'information, il est fort difficile de les connaître.

Deuxièmement, ils sont de véritables *trous* dans le tissu du cosmos, le fameux continuum espace-temps.

Or, la physique actuelle est incapable de rendre compte du comportement de la matière en de telles conditions où la gravitation triomphe de toutes les autres forces.

Les voies qui mènent à l'explication de ces phénomènes extrêmes et à la compréhension de l'origine du monde sont les mêmes.

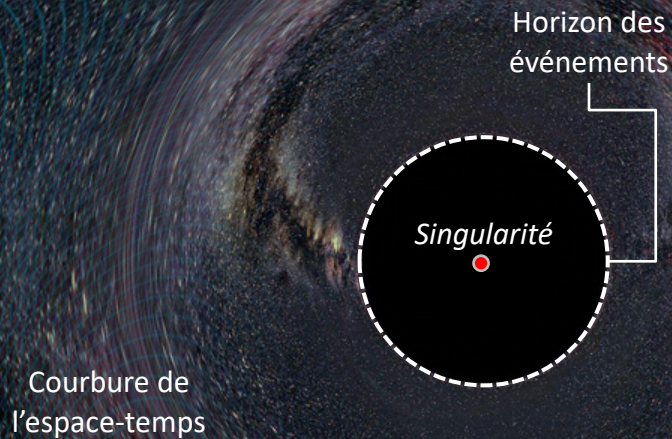


La raison pour laquelle la lumière des trous noirs ne réussit pas à échapper à leur emprise est simple : elle ne va pas assez vite. Pour le comprendre, il faut introduire la notion de *vitesse d'échappement*. Celle-ci correspond à la vitesse nécessaire pour qu'un corps échappe à l'influence gravitationnelle du corps plus massif auquel il est assujéti. Par exemple, la vitesse d'échappement d'un caillou sur Terre est de 11,2 km/s. Le Soleil étant beaucoup plus massif, il faut aller beaucoup plus vite pour se libérer de son attraction, soit 617,5 km/s. Or, il existe une vitesse indépassable qu'aucun objet, quelle que soit la puissance de son moteur, ne peut dépasser : la vitesse de la lumière.

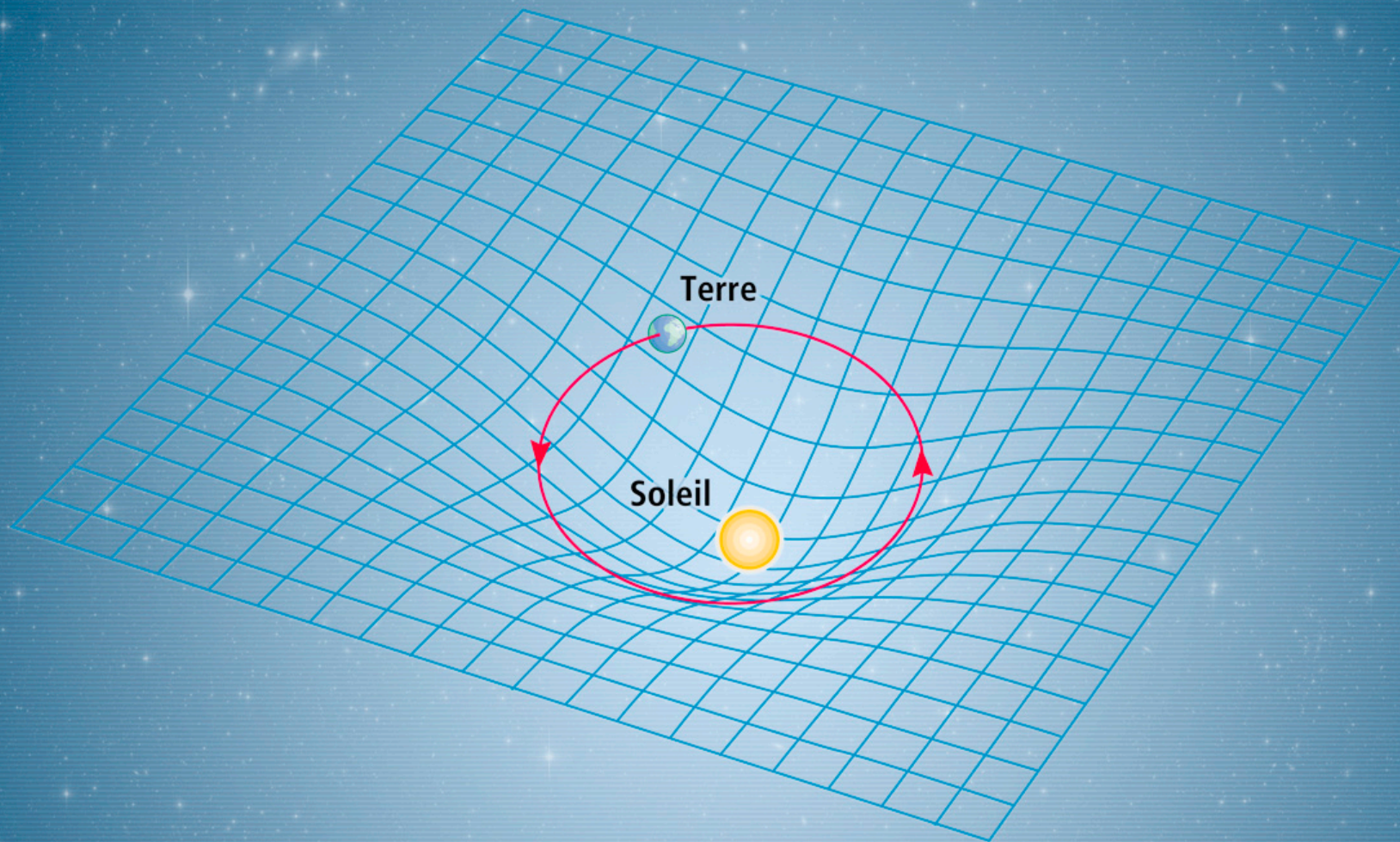
Vitesse de la lumière = 299 792 kilomètres par seconde

La lumière est un élément fondamental de l'Univers et elle en est le principal véhicule de l'information. Dans le vide, elle se déplace à une vitesse constante et absolue : 299 792 458 mètres par seconde, soit un peu plus d'un milliard de kilomètres à l'heure ! De sorte que la lumière prend environ 1,3 seconde à parcourir la distance qui sépare la Lune de la Terre : elles sont distantes de 1,3 seconde-lumière. En vertu de la célèbre équation d'Albert Einstein, $E=MC^2$, nul objet de matière ne peut se déplacer à la vitesse de la lumière. En effet, parvenu à un certain degré élevé de vitesse, les *effets relativistes* – c'est-à-dire décrits par la théorie de la Relativité générale – se font sentir : l'énergie se transforme en masse. Ultimement, une poussière allant à la vitesse de la lumière serait infiniment lourde, plus que l'Univers lui-même !

Anatomie d'un trou noir



Même si la vitesse de la lumière est une constante universelle, elle subit néanmoins une contrainte majeure : la structure variable de l'espace-temps. L'espace-temps est en effet un matériau malléable qui se tord et se courbe sous le poids de la matière et de l'énergie. La lumière, quant à elle, glisse sur ce relief changeant gravé par la présence d'objets massifs, telles les étoiles et les galaxies, causant parfois des mirages. Un trou noir est un corps si dense qu'il en vient à « perforer » le tissu de l'espace-temps en lui induisant une courbure à proprement parler *infinie*. Or, la vitesse d'échappement nécessaire pour gravir une telle pente spatio-temporelle est supérieure à la vitesse de la lumière. Puisque la vitesse de la lumière est indépassable, rien ne peut échapper à ce seuil total, nommé *horizon des événements*. Par-delà cet horizon règne un silence glacial énigmatique. L'objet causant cette courbure est infiniment dense et infiniment petit, un état incompréhensible dans l'état actuel des connaissances. On nomme « singularité » ce point, le cœur même du trou noir...

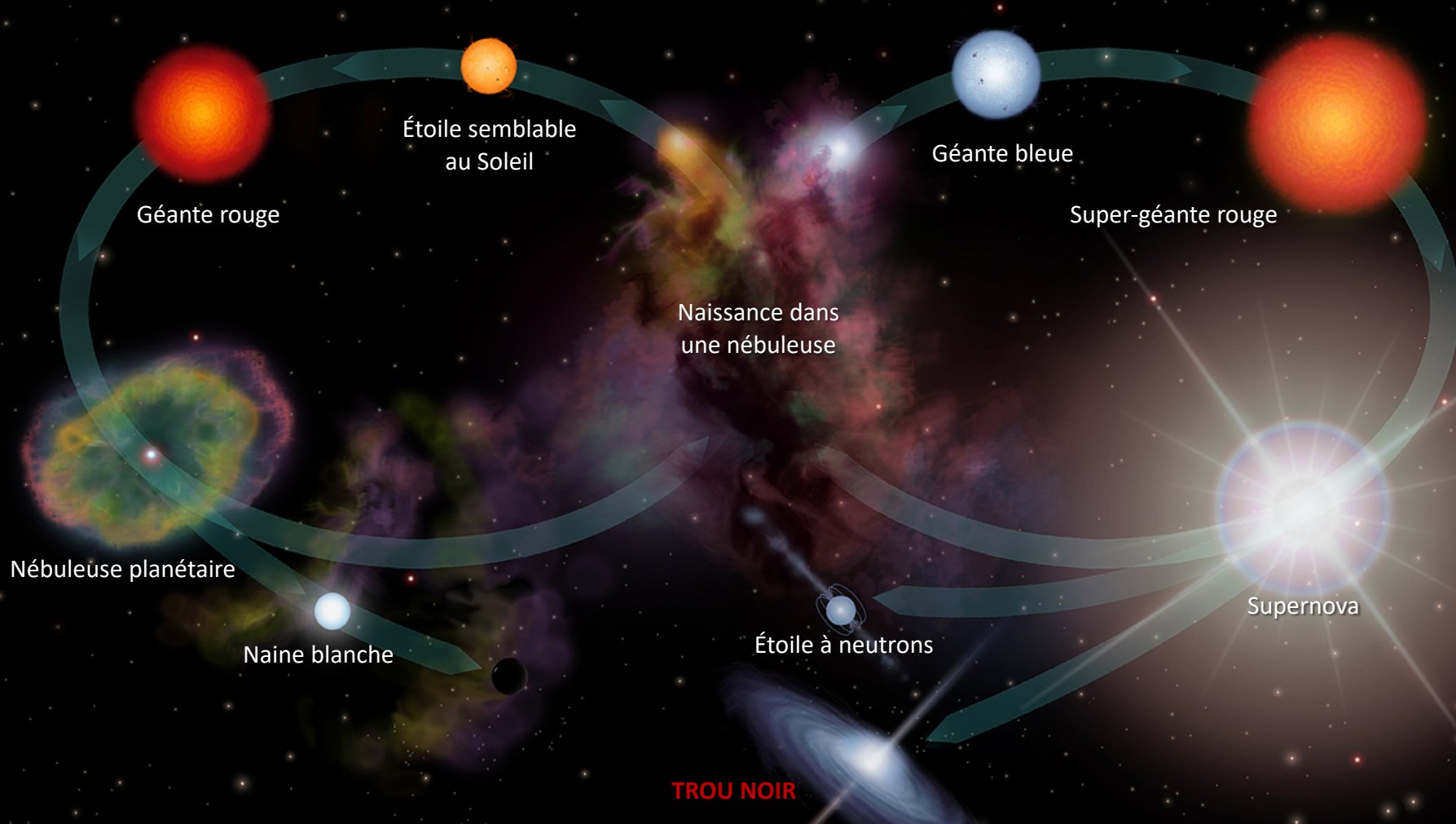


Une manière de concevoir la courbure de l'espace-temps consiste à imaginer une surface élastique qui ploie sous le poids d'un objet lourd. La courbure induite à cette surface affecte les objets qui y glissent en changeant leur trajectoire, laquelle serait autrement droite. Selon cette expérience de pensée, la révolution annuelle qu'exécute la Terre autour du Soleil n'est qu'une trajectoire courbe adhérant au relief de l'espace marqué par la présence centrale du Soleil, à la manière d'une balle tourbillonnant autour d'un trou avant d'y sombrer. Si, dans cet exemple, la balle tombe, c'est parce qu'il y a de la friction, une condition qui est absente dans le vide de l'espace. L'image de la courbure est en deux dimensions spatiales. La courbure spatio-temporelle est, elle, en quatre dimensions et affecte aussi l'écoulement du temps.

Vie et mort des étoiles

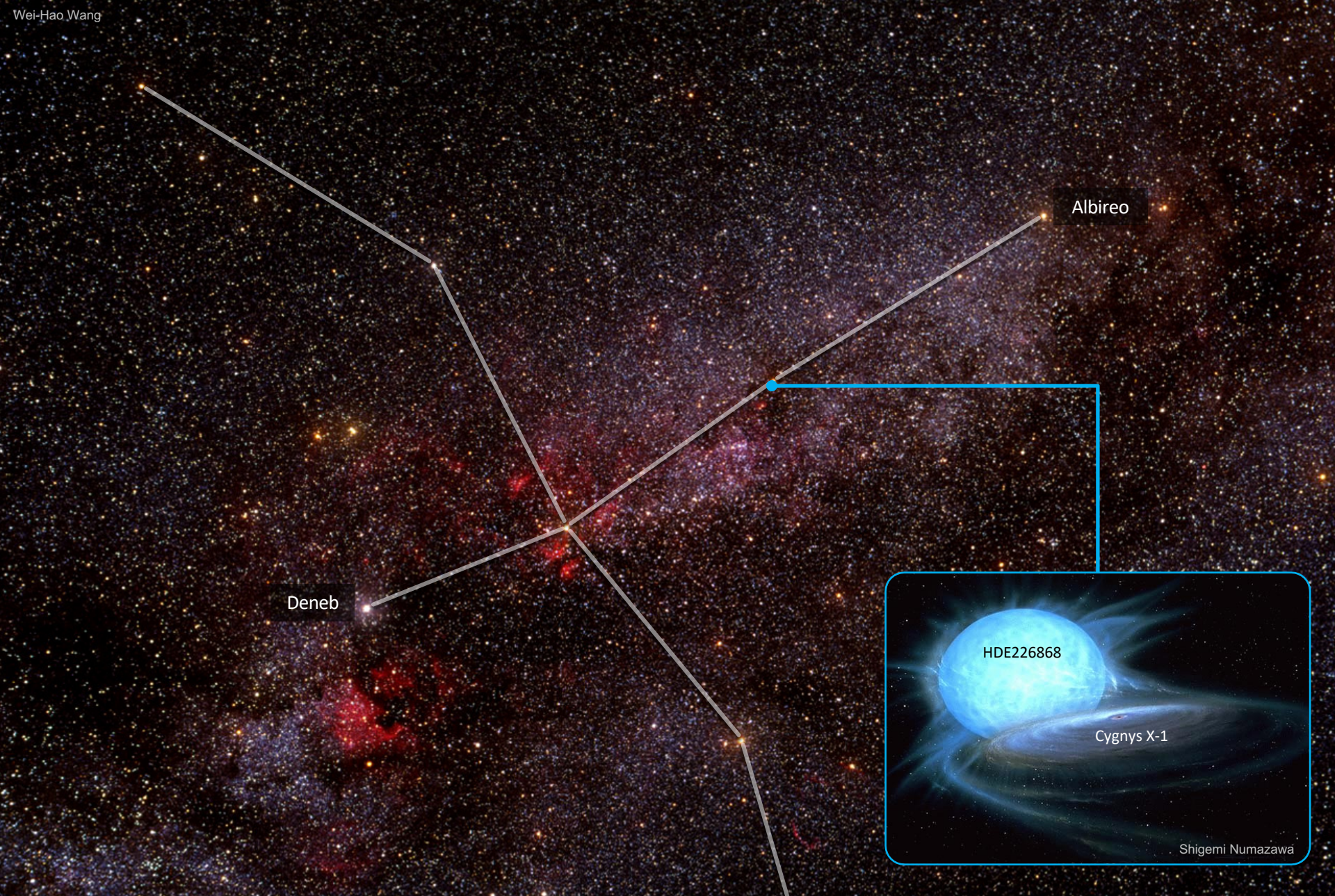
ÉTOILES PEU MASSIVES

ÉTOILES MASSIVES



TROU NOIR

Les trous noirs se forment lorsque les étoiles très massives, à la fin de leur vie, s'effondrent sous leur propre poids. Ce phénomène spectaculaire s'appelle une supernova. Deux objets résiduels sont issus des supernovæ : les étoiles à neutrons et les trous noirs. Ces derniers sont le fruit d'une ultime victoire, celle de la gravitation sur toutes les autres forces à l'œuvre dans l'Univers. Si la gravitation peut ainsi triompher, c'est parce qu'elle est cumulative : plus grande est la masse, plus grande est la gravitation.



Deneb

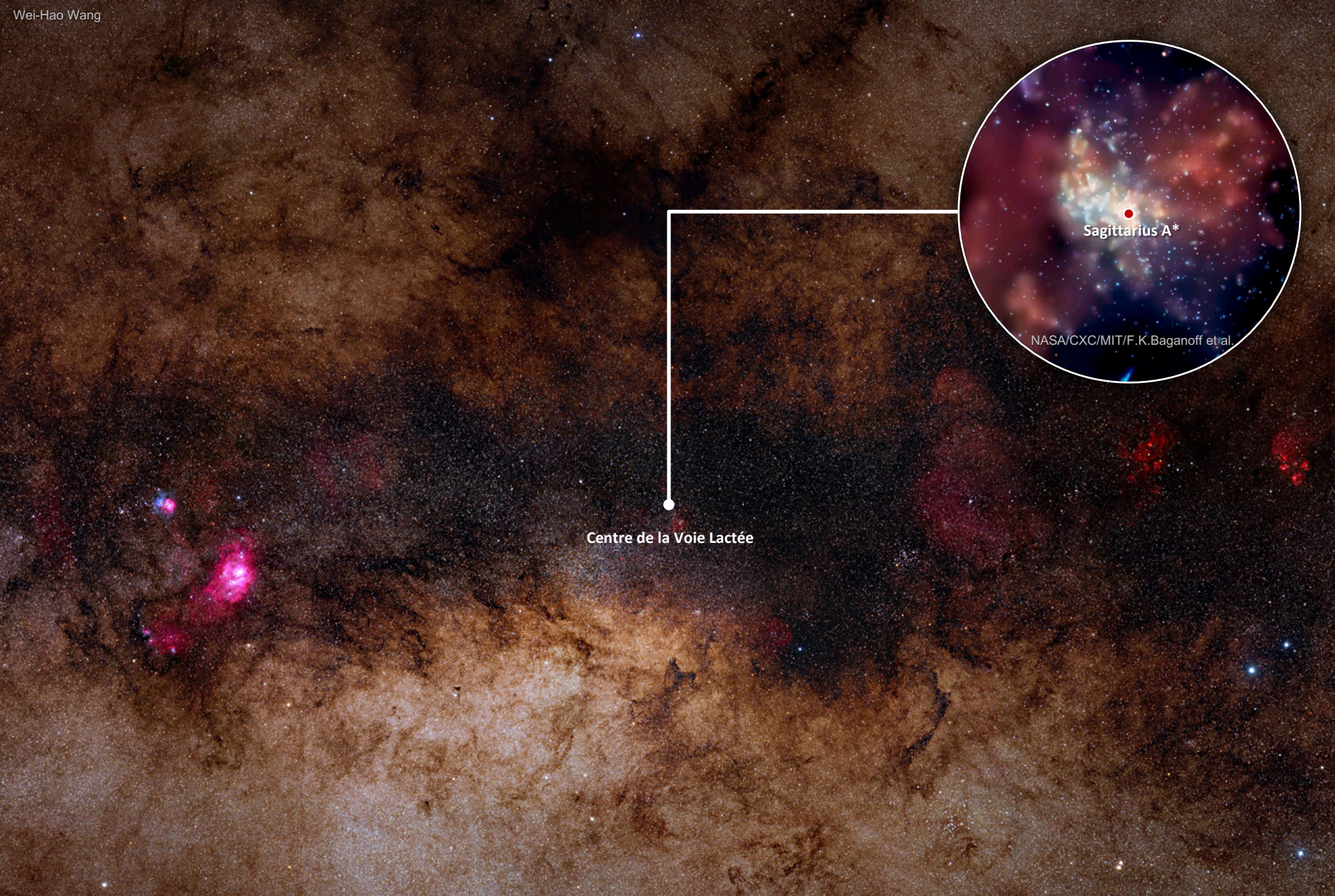
Albireo

HDE226868

Cygnus X-1

Shigemi Numazawa

Le premier candidat trou noir a été découvert en 1964, dans la constellation du Cygne, clairement visible par un soir d'été. Identifiée par le satellite *Uhuru*, une minuscule mais puissante source de rayonnement X apparaissait attirer une étoile massive située à proximité. Cette étoile, HDE226868, gravite en moins d'une semaine autour de ce partenaire invisible et hautement énergétique. Dénommée Cygnus X-1, cette source a tous les attributs d'un trou noir et elle est aujourd'hui l'un des objets les plus étudiés du ciel.

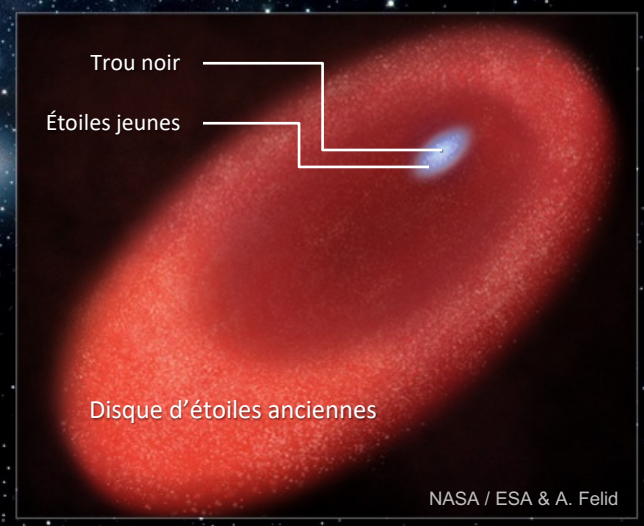
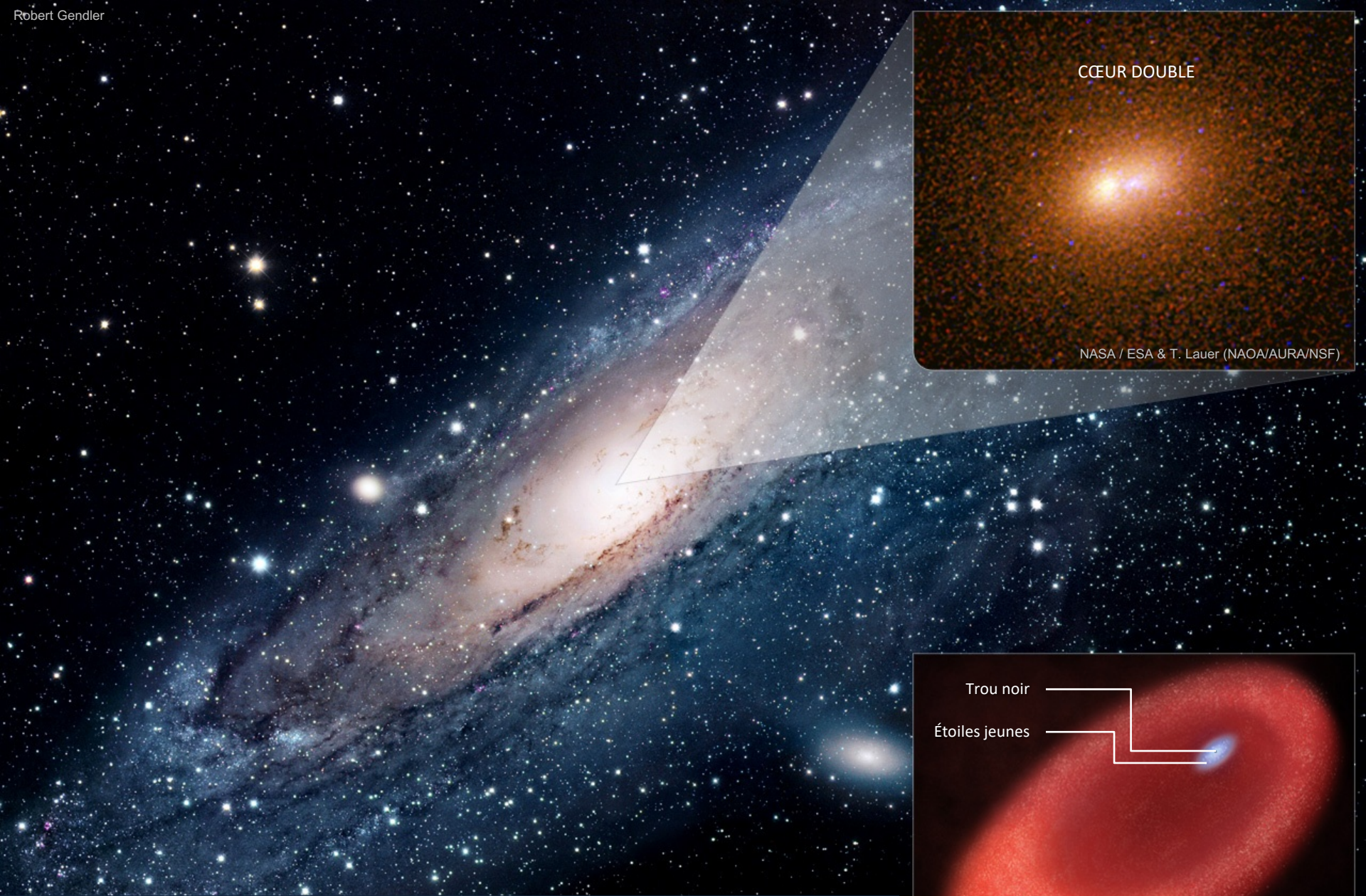


Centre de la Voie Lactée

Sagittarius A*

NASA/CXC/MIT/F.K.Baganoff et al.

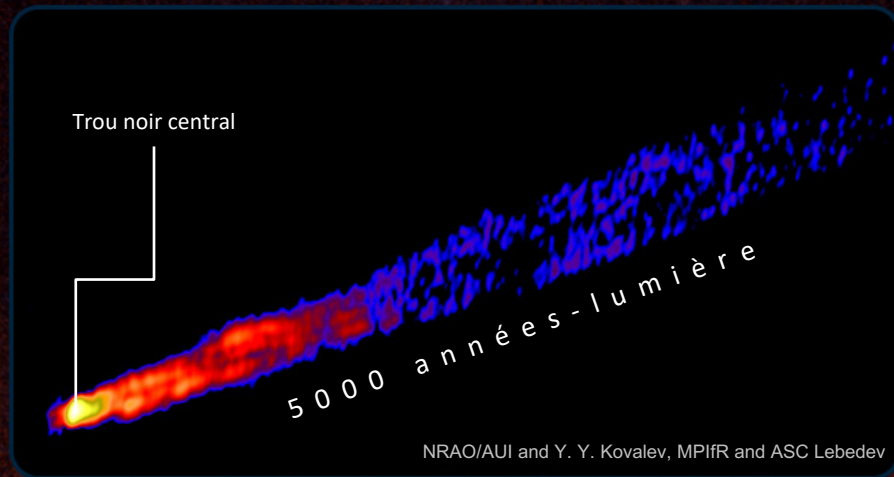
Il existe plusieurs millions de trous noirs d'ampleur stellaire dans notre galaxie, mais un seul appartiendrait à la catégorie des « trous noirs supermassifs ». Ces trous noirs géants ont généralement une masse de plusieurs millions de fois celle du Soleil, voire plusieurs milliards ! Celui qui réside au centre de la Voie Lactée, Sagittarius A*, possède une masse estimée à environ 3 700 000 masses solaires. Un autre trou noir de masse intermédiaire ($1300 M_{\text{sol}}$) graviterait à 3 années-lumière autour de lui. Sans doute finiront-ils par fusionner dans un avenir lointain.



La galaxie voisine de la nôtre est elle aussi hantée en son centre – comme toutes les galaxies pense-t-on – par un trou noir. Plus précisément, deux masses orbiteraient l'une autour de l'autre au cœur d'Andromède. Un trou noir de 140 millions de masses solaires constituerait la masse principale. De récentes observations révèlent l'existence d'un petit disque d'environ 400 étoiles jeunes et chaudes qui graviteraient à 1000 km/s autour du sombre géant...

M87

(VIRGO A)



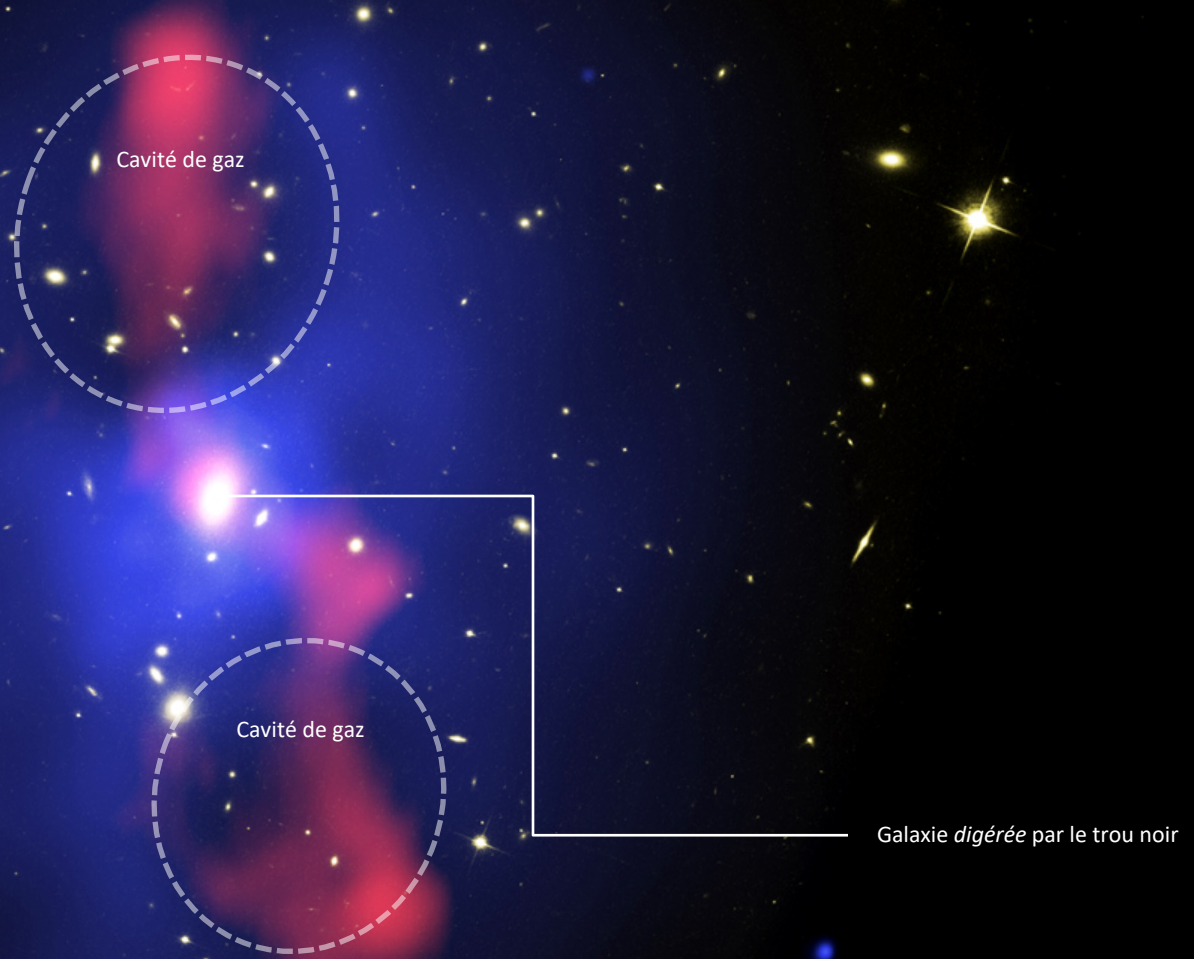
M87 en lumière X telle qu'observée par le télescope spatial *Chandra*.

X-ray: NASA/CXC/CfA/W.Forman et al.; Optical: DSS

Télescope CFHT / J.-C. Cuillandre

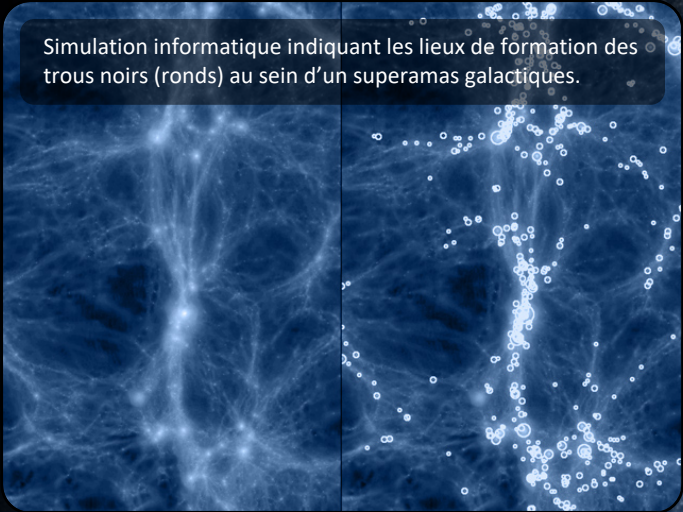
Située à 50 millions d'années-lumière de la Terre, M87 est une imposante galaxie elliptique habitant le cœur de l'amas de la Vierge. Un trou noir colossal et turbulent rugit au centre de cette galaxie. Sa masse est estimée à 3 milliards de fois celle du Soleil ! Cet ogre est si actif qu'un formidable jet de matière en est expulsé sur une distante ahurissante de 5000 années-lumière à des vitesses relativistes ! Les mécanismes en œuvre à l'origine de ces structures font toujours l'objet de débat. Il s'agirait d'une ultime « issue de secours » ménagée par la force électromagnétique qui permettrait à la matière d'être éjectée par l'intense champ magnétique du trou noir...

Amas galactique MS0735.6+7421



X-ray: NASA/CXC/Univ. Waterloo/B.McNamara; Optical: NASA/ESA/STScI/Univ. Waterloo/B.McNamara; Radio: NRAO/Ohio Univ./L.Birzan et al.

MS0735.6+7421 est un amas galactique situé à 2,6 milliards d'années-lumière de la Terre. Ce lieu du cosmos est le théâtre d'un événement prodigieux. Les images en rayons X réalisées par le télescope spatial *Chandra* révèlent deux gigantesques cavités de gaz, chacune faisant 600 000 al de diamètre. Ces vides auraient été créés par deux jets de matière expulsés par le super trou noir vociférant au centre de la galaxie principale de l'amas. Ce glouton aurait avalé, estime-t-on, une masse équivalente à 300 millions de soleils au cours des derniers 100 millions d'années ! L'énergie nécessaire pour projeter ces jets dans le cosmos correspond à celle de 10 000 000 000 000 de fois celle du Soleil durant 100 millions d'années.



Simulation informatique indiquant les lieux de formation des trous noirs (ronds) au sein d'un superamas galactiques.

Les trous noirs sont présents partout dans l'Univers.

Nés des étoiles, ils peuvent entrer en collision s'ils s'approchent trop les uns des autres. Le trou noir résultant sera alors plus massif que la somme des deux trous noirs d'origine...

Au fur et à mesure que les trous noirs absorbent la matière tourbillonnante issue de leurs parages, ils grossissent, gagnent en masse, leur horizon des événements s'élargissant.

On peut penser que l'Univers, dans un lointain futur, sera parsemé de ces cyclopes noirs et que, peut-être, les étoiles seront alors minoritaires.

Les recherches entreprises pour comprendre ces phénomènes plongent les chercheurs au cœur des grands problèmes de la physique contemporaine.

La physique en cause dans le creux d'un trou noir et aux premiers instants de l'Univers est semblable. Peut-être ces mystagogues possèdent-ils la clé d'une compréhension totale de la matière ?

POUR POURSUIVRE L'EXPLORATION

[Cliquez pour y aller](#)

« Trou noir » sur Wikipedia

Images de trous noirs réalisées par le télescope spatial *Hubble*

Images de trous noirs réalisées par le télescope spatial *Chandra*

