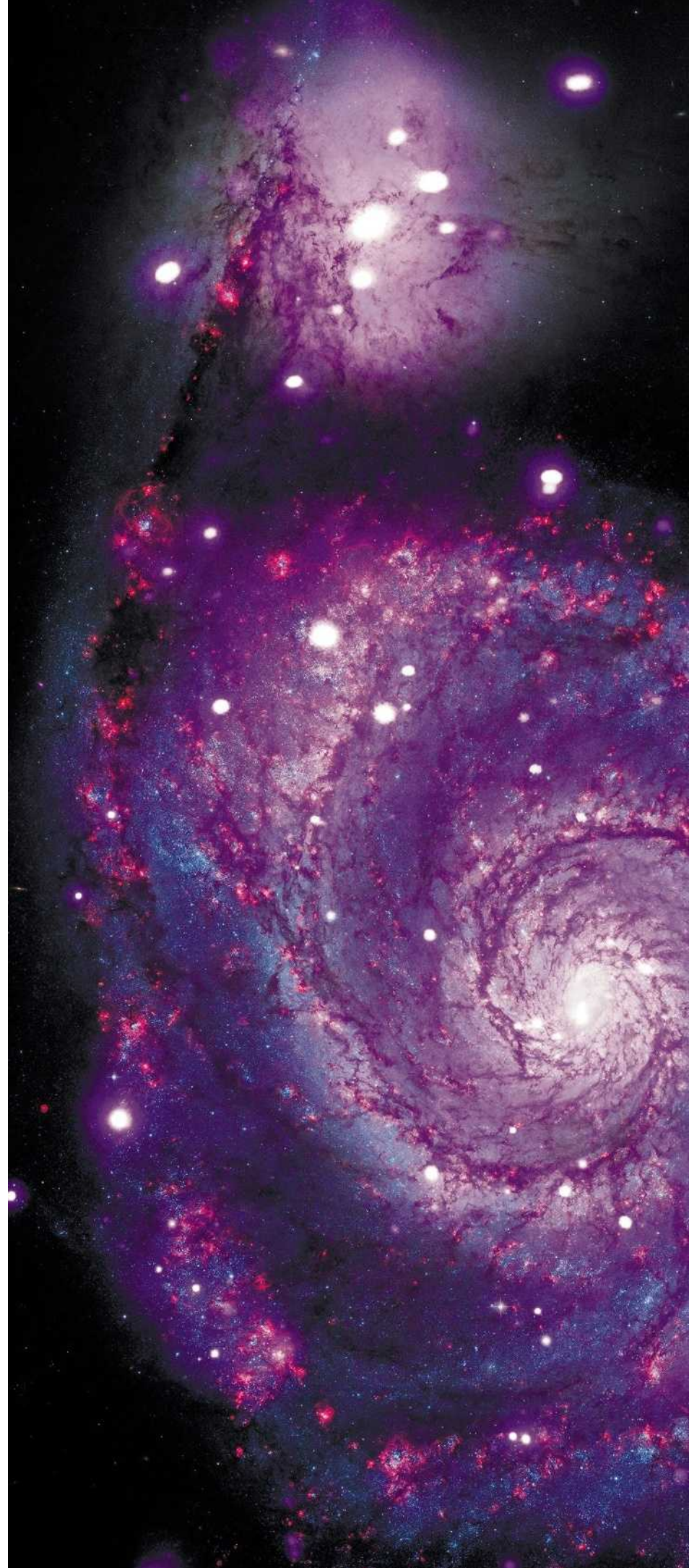
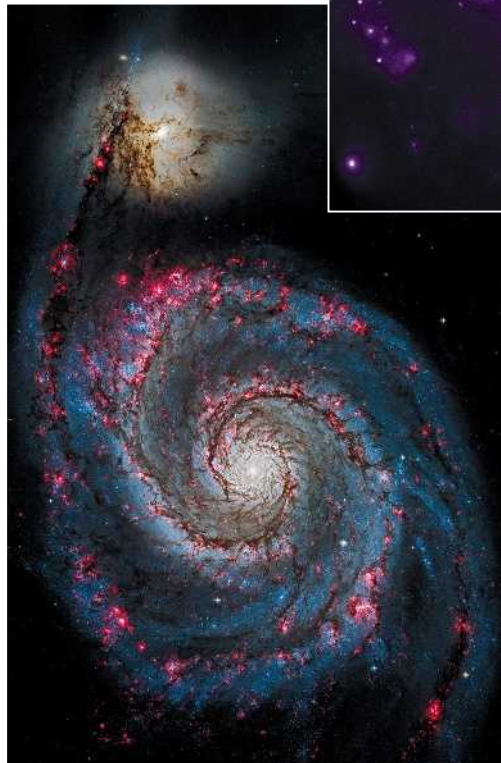
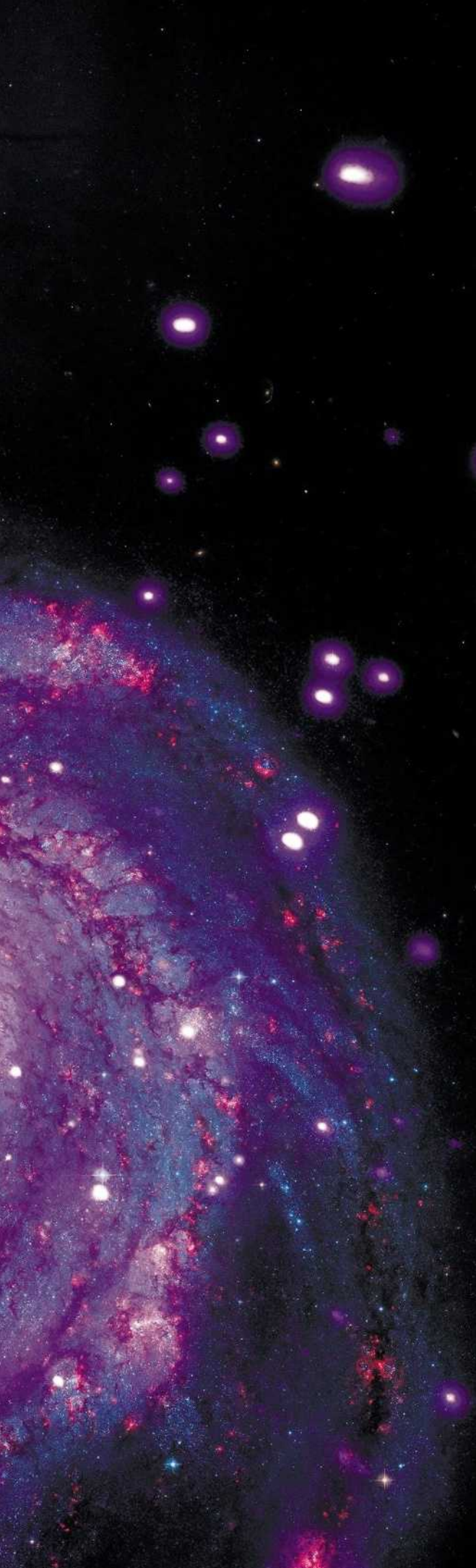


> L'observatoire *Chandra* a été d'abord conçu pour résoudre une question de l'astronomie des rayons X: quelle est l'origine du fond diffus X, ce rayonnement X qui est identique dans toutes les directions du cosmos? *Chandra* a aussi été conçu pour être un «observatoire généraliste», dont une grande partie de son temps d'observation est répartie entre des chercheurs du monde entier pour étudier des sujets très différents et sélectionnés à la suite d'un appel à projets annuel. Après vingt ans de mission, *Chandra* continue de recevoir entre 500 et 650 requêtes de temps d'observation chaque année, ce qui, au total, correspond à environ 5,5 fois le temps pouvant être attribué. Le processus de sélection est donc très sévère.

Sur le plan scientifique, *Chandra* a été très productif. L'observatoire a atteint son objectif initial en révélant que presque tout le fond diffus X provient des milliers de trous noirs supermassifs situés au centre de galaxies peuplant l'Univers. Il a aussi observé de nombreuses choses étonnantes associées à divers objets célestes: une forte émission X par des jets de matière naissant aux pôles de trous noirs supermassifs pendant que ceux-ci engloutissent du gaz et de la poussière de leur voisinage; des aurores magnifiques dans l'atmosphère de Jupiter; la lumière émise par la coalescence de deux étoiles à neutrons, un événement également observé par les détecteurs d'ondes gravitationnelles *Ligo* et *Virgo*; et des trous noirs stellaires particulièrement brillants, nommés à juste titre sources X ultralumineuses. Près de 8000 articles scientifiques s'appuient sur les observations de *Chandra* et pas moins de 4000 chercheurs à travers le monde ont utilisé ses données.

L'an dernier, l'observatoire *Chandra* a fêté son vingtième anniversaire dans l'espace, et il est toujours aussi actif. Et avec l'arrivée de nouveaux télescopes, comme le télescope *Event Horizon* ou le télescope spatial *James-Webb*, de nouvelles collaborations se profilent. Les astrophysiciens pourront combiner les données d'observatoires toujours plus performants pour défricher de nouveaux territoires et accroître notre connaissance des régions les plus chaudes et les plus extrêmes de l'Univers. ■



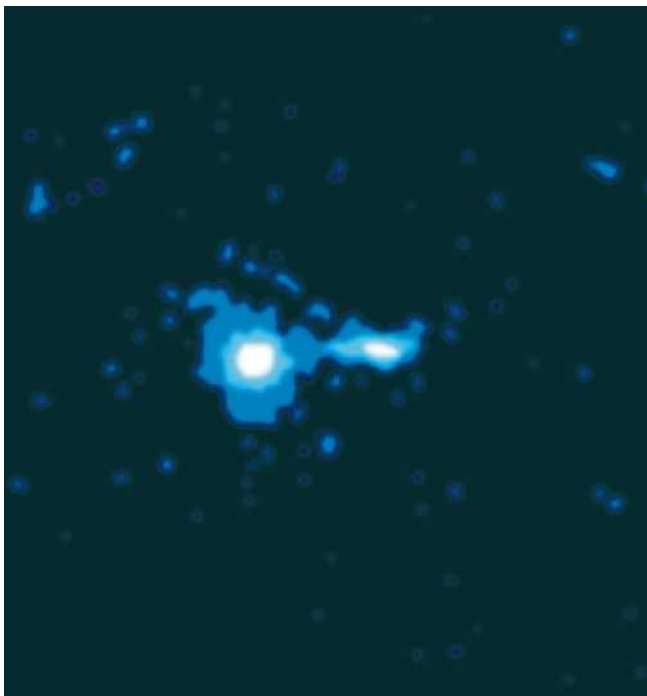


◀ ▲ UNE SPIRALE GALACTIQUE

La collision de deux galaxies, collectivement nommées M51 et surnommées la galaxie du Tourbillon, présente de magnifiques bras caractéristiques d'une galaxie spirale. Près de 400 sources de rayons X, principalement des étoiles binaires, sont visibles sur cette image. Elles sont situées à proximité des régions de formation d'étoiles. Les chercheurs pensent que les interactions des deux galaxies ont déclenché une vague de formation d'étoiles, ce qui expliquerait le nombre élevé de binaires X dans ce système. Les pulsations d'un système X impliquent que l'un des compagnons est une étoile à neutrons absorbant de grandes quantités de matière de son partenaire. Ce phénomène expliquerait la luminosité élevée de ces systèmes binaires.

L'image principale (*ci-contre*) est composée des données en rayons X de *Chandra* (*en haut*) et de la lumière visible collectée par le télescope spatial *Hubble* (*ci-dessus*). En combinant les informations de plusieurs télescopes, à diverses longueurs d'onde du spectre électromagnétique, les chercheurs ont une vision plus complète des différents phénomènes observés.

© Rayons X : Nasa, CXC, université Wesleyenne et R. Kilgard et al. ; optique : Nasa et STScI



▲ UN JET PUISSANT

Vers le début de sa mission, *Chandra* a observé le quasar PKS 0637-752, un trou noir supermassif au cœur d'une galaxie éloignée, que j'avais étudié dix ans plus tôt en utilisant les données de l'observatoire *Einstein* de la Nasa. Le trou noir engloutit de gigantesques quantités de matière de sa galaxie hôte. Lors de sa chute, le gaz s'échauffe au point de briller plus intensément que les 100 milliards d'étoiles de la galaxie. L'excroissance lumineuse (à droite du centre) a été une surprise au point que l'équipe a soupçonné un problème dans le système optique du télescope. Mais *Chandra* avait en fait découvert les émissions X d'un jet de plasma propulsé en dehors de la matière en chute libre. Ce jet avait déjà été observé en radio, mais les astrophysiciens ne s'attendaient pas à une composante en rayons X. Grâce à cette observation, les chercheurs ont mieux compris ce qui se passe dans ces jets et en particulier comment ils prennent naissance au niveau des pôles du trou noir.

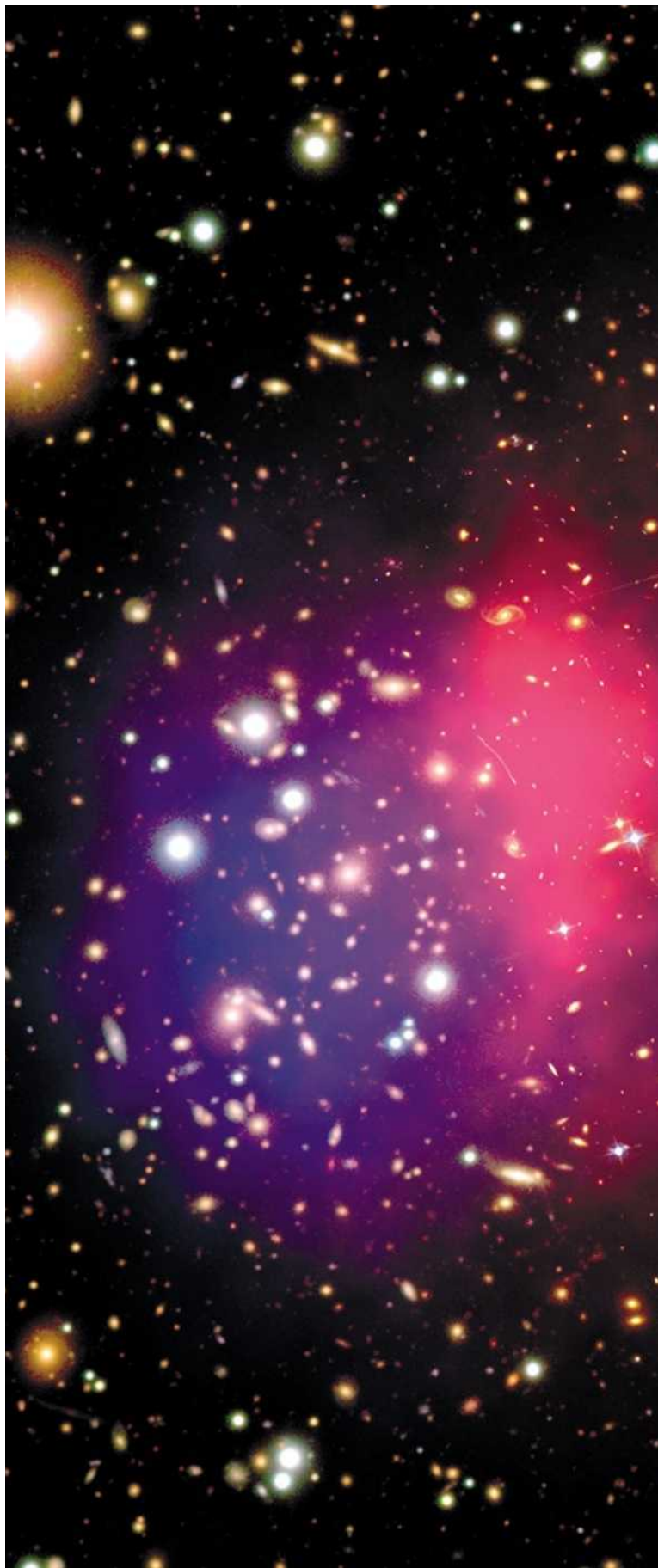
© Nasa, CXC et SAO

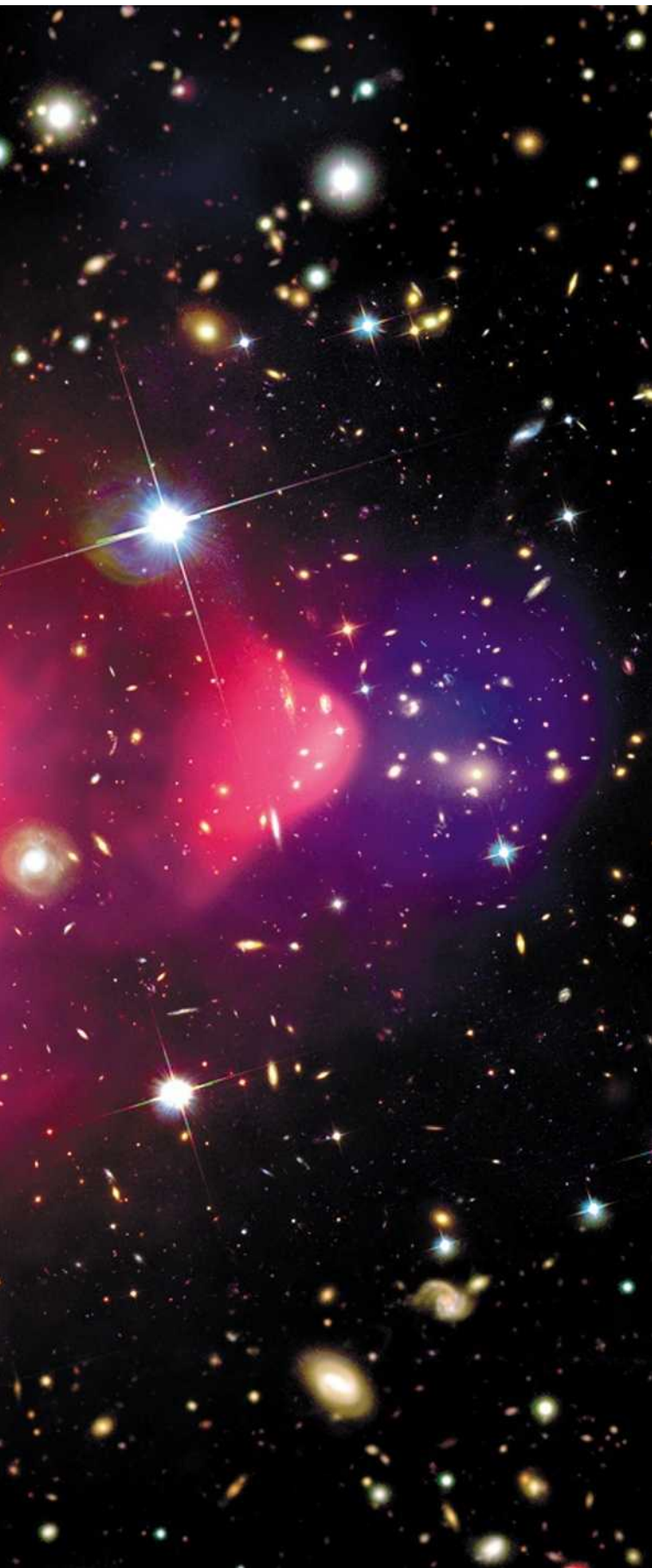
UNE PREUVE IRRÉFUTABLE ►

L'un des résultats les plus connus de *Chandra* est certainement l'image composite de l'amas de la Balle, le résultat de la collision de deux amas de galaxies. Cette image associe les données de *Chandra*, de *Magellan* et du télescope spatial *Hubble*. Le gaz contenu dans les amas s'est échauffé lors de la collision et émet des rayons X (en rose), il a aussi été ralenti et a pris une forme qui fait penser à un impact de balle. Les galaxies se sont croisées sans subir de collision et ont continué à la même vitesse; elles émettent en lumière visible (en blanc). Les astrophysiciens ont aussi étudié la distribution de masse du système. Ils ont utilisé le phénomène de lentille gravitationnelle, prédit par la relativité générale: en déformant l'espace-temps, la masse dévie la lumière émise par des objets en arrière-plan. En analysant les distorsions dans les images de galaxies, les chercheurs ont montré que la distribution de masse (en bleu) est incompatible avec celle du gaz. Cela s'expliquerait par la présence de matière noire. Cette dernière n'interagissant ni avec la matière ordinaire ni avec elle-même, elle a continué son mouvement sans ralentir durant la collision.

© Rayons X: Nasa, CXC, CFA et M. Markevitch et al.;
Optique: Nasa, STScI, Magellan, Université de l'Arizona
et D. Clowe et al.; carte de lentilles gravitationnelles:

Nasa, STScI, ESO WFI, Magellan, université de l'Arizona et D. Clowe et al.





PLUS PRÈS DE CHEZ NOUS ▼

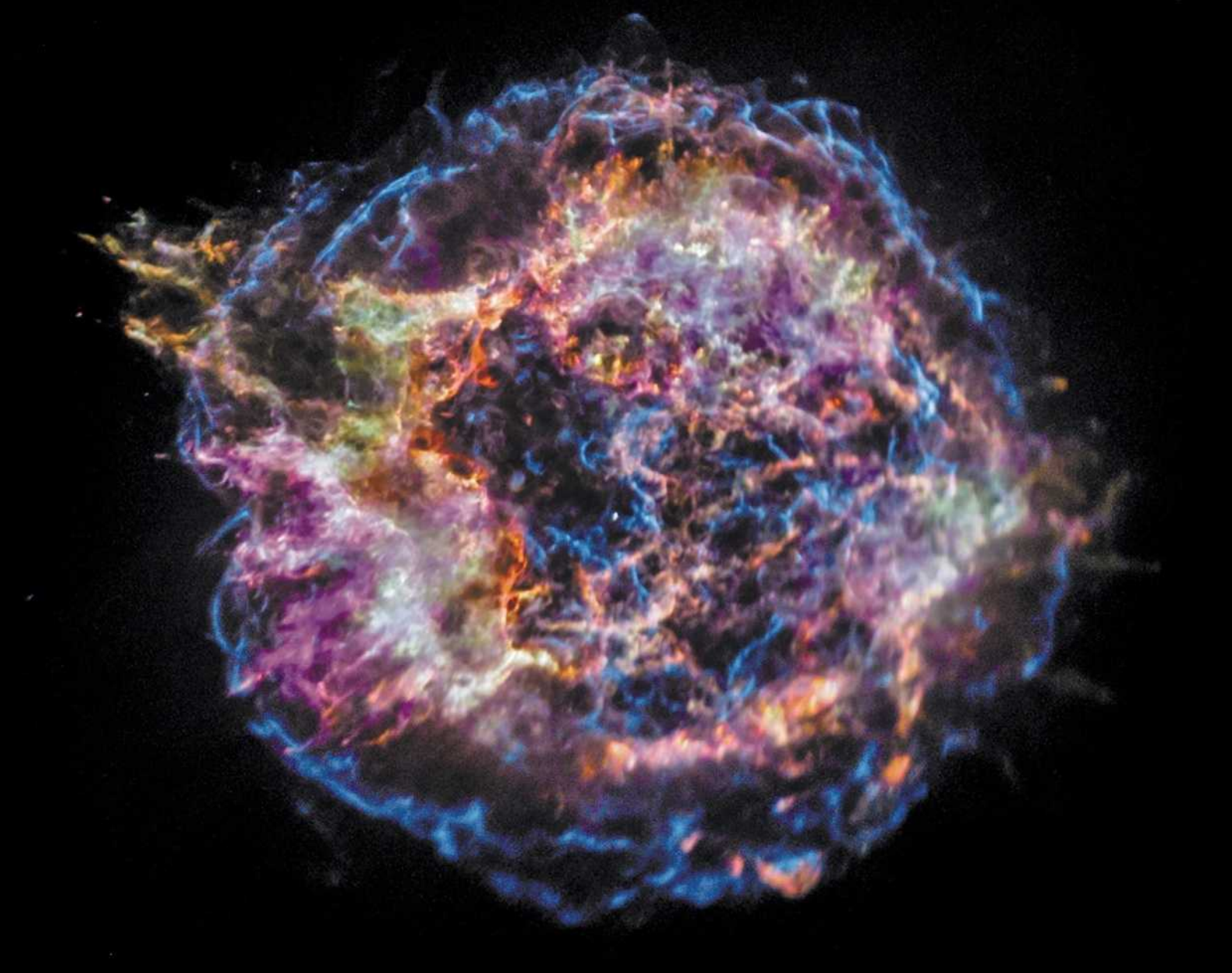
En plus de découvrir des trous noirs supermassifs et des amas de galaxies lointains, *Chandra* a fait des découvertes étonnantes dans le Système solaire.

Ces images de Jupiter montrent des émissions en rayons X d'aurores aux pôles Nord (*en haut*) et Sud (*en bas*). Ces rayons X sont probablement produits par des particules chargées canalisées par le champ magnétique de la planète. Les observations conjointes en 2019 de *Chandra* et de la sonde *Juno* de la Nasa, actuellement en orbite autour de Jupiter, devraient fournir plus de détails sur ce phénomène.

© Rayons X: Nasa, CXC, UCL, W. Dunn et al.; optique: Nasa, JPL-Caltech, SwRI, MSSS, G. Eichstädt et S. Doran (pôle Sud), Nasa, JPL-Caltech, SwRI et MSSS (pôle Nord)







PREMIÈRE IMAGE ▲

La première image officielle de *Chandra* est celle du rémanent de la fameuse supernova Cassiopee A. Cette nébuleuse de gaz et de poussière est née de l'explosion d'une étoile massive en fin de vie il y a environ 340 ans.

Lors de la mort de l'étoile, son cœur s'est effondré sur lui-même en formant une étoile à neutrons, qui n'avait jusque-là jamais été détectée au sein du rémanent. La découverte de cette étoile à neutrons grâce à *Chandra* a démontré la puissance de cet observatoire capable de prendre des images à haute résolution. Cette image utilise des données que *Chandra* a enregistrées sur plusieurs années pour obtenir un grand nombre de détails de la structure du rémanent. Les chercheurs ont utilisé les mesures en énergie de l'observatoire pour identifier différents éléments chimiques formés dans l'étoile et expulsés lors de l'explosion : silicium (en rouge), soufre (en jaune), calcium (en vert) et fer (en violet). Les nuances de bleu sont associées à des émissions de particules de haute énergie accélérées par l'onde de choc de l'explosion – un autre phénomène découvert pour la première fois par *Chandra*.

© Nasa, CXC et SAO

◀ UNE POUPONNIÈRE D'ÉTOILES

Sur ce cliché, les plus de 1400 points de lumière bleus et orange sont des étoiles qui viennent de naître au sein d'une nébuleuse riche en gaz. Si ce nuage est visible à l'œil nu au niveau de l'épée de la constellation d'Orion, il n'en est pas de même de ces étoiles. Cachés à la vue des télescopes sensibles à la lumière visible, ces nouveaux astres ne se dévoilent que par les rayons X qu'ils émettent et qui sont capables de traverser le nuage dense de gaz et de poussière. Seul un instrument comme *Chandra* permet donc de contempler et d'étudier ces étoiles jeunes. Ces dernières sont très chaudes et font preuve d'une grande activité. Elles attirent à elles, par gravitation, de grandes quantités de matière, mais leur champ magnétique intense et les vents stellaires confèrent à cette matière une dynamique complexe.

© Rayons X: Nasa, CXC, université d'État de Pennsylvanie, E. Feigelson, K. Getman et al.; visible: Nasa, ESA, STScI, M. Robberto et al.

BIBLIOGRAPHIE

A. Domínguez et al.,
Détecter la lumière de toutes les étoiles disparues,
Pour la Science, n° 459,
pp. 42-49, janvier 2016.

Centre Chandra X-Ray,
**Exploring the extremes :
20 years of Chandra**
<https://chandra.si.edu/20th>