

tournant majeur dans l'exploration de ces phénomènes. Avec ses données, les chercheurs ont réalisé la première carte du ciel dans l'infrarouge lointain, révélant ainsi tout un pan jusque-là caché de l'Univers. Ils ont notamment observé le rayonnement thermique des poussières qui, dans les galaxies, signalent presque toujours des pouponnières d'étoiles. Habituellement, les étoiles naissent dans des nuages de gaz composés principalement d'hydrogène moléculaire, ainsi que de poussières issues des débris d'anciennes générations d'étoiles. En effet, lorsque les étoiles évoluent et meurent, elles se débarrassent d'éléments lourds produits par la fusion nucléaire stellaire, tels que le carbone et l'oxygène, et enrichissent les nuages environnants.

Ce processus d'apparition d'étoiles est démultiplié dans les galaxies qui entrent en collision, car la fusion de galaxies concentre le gaz et la poussière dans des régions denses, déclenchant des sursauts de formation d'étoiles, qui fabriquent à leur tour des éléments lourds et de la poussière. Cependant, bien que les étoiles jeunes et massives libèrent la majeure partie de leur énergie dans les longueurs d'onde ultraviolettes, seule une très faible part des émissions ultraviolettes des étoiles jeunes parvient jusqu'à la Terre, car les grains de poussière environnants absorbent cette lumière et la réémettent dans l'infrarouge. D'où l'intérêt de télescopes équipés de détecteurs infrarouges très sensibles comme *Iras*, qui, en captant cette lumière, nous permettent de regarder à travers les voiles de poussière et d'étudier les premiers stades de la

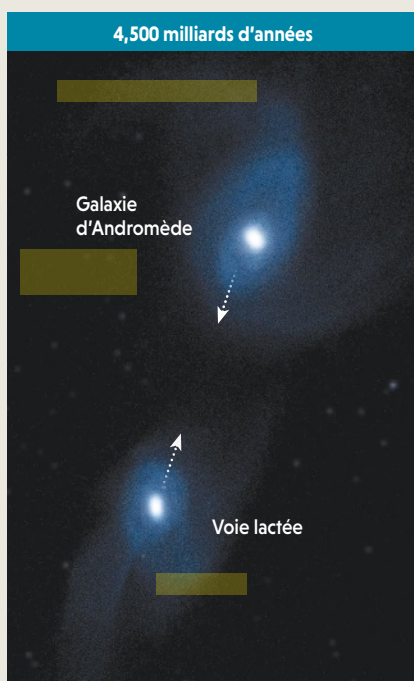


Les galaxies infrarouges ultralumineuses sont des objets rares et spectaculaires avec une luminosité dans l'infrarouge lointain de plus de mille milliards de fois celle du Soleil



naissance des étoiles et la croissance des trous noirs supermassifs.

Grâce à *Iras*, les astrophysiciens ont détecté de nombreuses pouponnières stellaires dans la Voie lactée et dans des milliers d'autres galaxies. De plus, ils ont réalisé le premier recensement des galaxies en collision, uniquement sur la base de leur émission infrarouge. Certaines de ces collisions sont si éloignées de la Terre que la lumière que nous détectons



aujourd'hui a été émise lorsque l'Univers avait moins de 2 milliards d'années.

Les mesures précises de l'énergie produite au sein de galaxies en fusion ont confirmé que ces dernières sont parmi les objets les plus intrinsèquement lumineux de l'Univers. Dans certaines galaxies en fusion, plus de 90% de la puissance totale émise se situe dans des longueurs d'onde de l'infrarouge lointain: leur véritable nature est donc complètement cachée aux télescopes optiques.

DES OBJETS ULTRALUMINEUX

Lors de ce recensement avec *Iras*, les chercheurs ont découvert en particulier une classe de galaxies nommées «galaxies infrarouges lumineuses», ou LIRG en abrégé. Avec une luminosité dans l'infrarouge lointain au moins 100 milliards de fois celle du Soleil, soit environ trois fois plus que la production énergétique totale de toutes les étoiles de la Voie lactée, ces objets sont souvent des galaxies en cours de fusion. Les «galaxies infrarouges ultralumineuses», ou ULIRG, sont encore plus rares et plus spectaculaires avec une luminosité dans l'infrarouge lointain de plus de mille milliards de fois celle du Soleil.

En 1988, David Sanders, alors à Caltech, et ses collègues ont suggéré que ces galaxies infrarouges ultralumineuses seraient le résultat de fusions particulièrement violentes de galaxies et qu'elles constitueraient la première étape de la vie de quasars. Ces derniers sont les objets les plus énergétiques de l'Univers. Leur énergie provient du trou noir supermassif au centre de ces quasars qui devient actif, alimenté par de

grandes quantités de matière. Ce scénario reliant ULIRG et quasars s'appuyait sur de nombreuses observations montrant que les galaxies abritant des trous noirs centraux actifs ont souvent un aspect déformé, indiquant qu'il s'agit très probablement du résultat d'une fusion de galaxies.

Ce lien entre des objets aussi différents que des galaxies infrarouges lumineuses et les quasars a permis de poser les bases d'un modèle retraçant l'évolution des galaxies. Il a aussi suscité un intérêt grandissant pour les galaxies en cours de fusion, une étape cruciale dans cette évolution, et pour l'astronomie infrarouge, la gamme de longueurs d'onde privilégiée pour étudier ces collisions.

DÉCORTIQUER LES COLLISIONS

En 2004, nous avons lancé un grand projet nommé *Goals* (pour *Great Observatories All-Sky LIRG Survey*), qui recueille les images et les spectres de galaxies en collision de trois des grands observatoires astronomiques: les télescopes spatiaux *Spitzer*, *Hubble* et le *Chandra X-ray Observatory*. Ces instruments fournissent des mesures dans différentes gammes de longueurs d'onde afin de documenter toutes les étapes de la fusion galactique. Le catalogue *Goals* est constitué de toutes les galaxies lumineuses infrarouges les plus brillantes de l'Univers local, soit environ 200 objets situés dans un rayon de 1,3 milliard d'années-lumière. Notre équipe utilise aussi des télescopes terrestres tels que le *Very Large Array (VLA)*, au Nouveau-Mexique, le télescope *Hale*, en Californie, les télescopes jumeaux *Keck*, à Hawaï, le radiotélescope *Alma*



(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), au Chili, ainsi que les télescopes spatiaux européen *Herschel* (infrarouge lointain) et américain *NuSTAR* (rayons X).

Le projet *Goals* a déjà porté ses fruits et considérablement amélioré nos connaissances sur les galaxies en collision. Une question de longue date, par exemple, est de savoir si la lumière des galaxies en fusion provient davantage des sursauts de formation d'étoiles ou des trous noirs actifs. Une façon de distinguer leurs contributions respectives à différents moments du cycle de vie de la fusion galactique est d'examiner les différents profils énergétiques des deux types d'objets, c'est-à-dire la quantité d'énergie libérée en fonction de la longueur d'onde.

D'OÙ VIENT LA LUMIÈRE DES GALAXIES EN FUSION ?

Les étoiles sont de simples sources thermiques de rayonnement : elles émettent la majeure partie de leur énergie à une longueur d'onde maximale qui dépend de leur température, et leur production d'énergie décline très rapidement à des longueurs d'onde plus courtes et plus longues. En revanche, le disque d'accrétion que forme la matière autour d'un trou noir est visqueux et chaud, et sa température augmente de l'extérieur vers l'intérieur. Un disque d'accrétion a donc un profil énergétique beaucoup plus large et produit une fraction beaucoup plus importante de rayonnement à haute énergie qu'une étoile, et il peut chauffer et ioniser un large éventail d'éléments dans le gaz environnant. La découverte d'une émission d'éléments hautement ionisés dans le spectre

d'une galaxie est un signe fort qu'un trou noir supermassif et actif se trouve en son centre.

Nos collègues ont constaté que dans l'ensemble de la population des LIRG, les sursauts de formation d'étoiles semblent être la source prédominante d'énergie, même dans les galaxies infrarouges lumineuses qui hébergent des trous noirs supermassifs actifs (environ un cinquième de la population de LIRG étudiée par *Goals*). Cependant, il est possible que ces données soient incomplètes : les trous noirs au cœur des galaxies pourraient être quasi complètement cachés par la poussière, même en observant dans l'infrarouge.

De plus, nous avons tendance à détecter des trous noirs actifs seulement au cours des derniers stades des fusions de galaxies. Cela suggère qu'une grande partie de la croissance des trous noirs supermassifs est peut-être retardée par rapport au sursaut de formation d'étoiles, ce qui donnerait aux jeunes étoiles plus de temps pour contribuer à l'énergie totale des LIRG. Cependant, grâce à certaines observations dans l'infrarouge à plus haute résolution, Anne Medling, de l'université de Toledo, aux États-Unis, a suggéré au contraire une croissance précoce de certains trous noirs.

De fait, la chronologie précise suivant laquelle les phénomènes de sursauts de formation d'étoiles et les trous noirs supermassifs centraux se développent à l'intérieur des galaxies fait encore l'objet de nombreuses recherches, qui permettront peut-être de comprendre l'un des plus grands mystères de ces deux dernières décennies en astrophysique : pourquoi la masse du trou noir central et des

