

supérieure. L'Observatoire spatial *Compton* a détecté un important rayonnement gamma en provenance de certains quasars, ce qui indiquerait que des trous noirs se terrent en leur centre (voir *L'Observatoire Compton*, par N. Gehrels, C. Fichtel, G. Fishman, J. Kurfess et V. Schönfelder, *Pour la Science*, février 1994).

Une dernière différence entre les deux mécanismes tient aux forces qui canalisent le gaz éjecté. Quand un trou noir est présent, les lignes de champ magnétique ancrées au disque d'accrétion canalisent la matière (un plasma ionisé) en un jet étroit, le long de l'axe de rotation du disque. En revanche, la matière en expansion d'une bulle créée par une flambée d'étoiles suit simplement le chemin de moindre résistance dans le milieu galactique. Une puissante flambée d'étoiles dans une galaxie spirale éjectera le gaz perpendiculairement au plan du disque galactique (où la densité de matière est moindre), et le flot se répartira dans une région en forme de sablier (voir la figure 1c). C'est pourquoi les jets radio étroits qui s'étendent sur des millions d'années-lumière, loin du noyau de certaines galaxies actives, indiquent la présence de trous noirs.

Les signatures spectrales

Toutes nos connaissances sur les galaxies, que celles-ci soient actives ou non, proviennent du rayonnement qu'elles émettent. À l'Observatoire d'Hawaii, nous nous sommes intéressés à la partie visible du spectre électromagnétique, qui permet de déterminer les températures, pressions et concentrations de divers atomes du gaz chauffé par les explosions galactiques. Nous comparons les raies d'émission d'atomes et de molécules excités, ou ionisés, aux raies créées dans des laboratoires terrestres ou déduites de calculs théoriques.

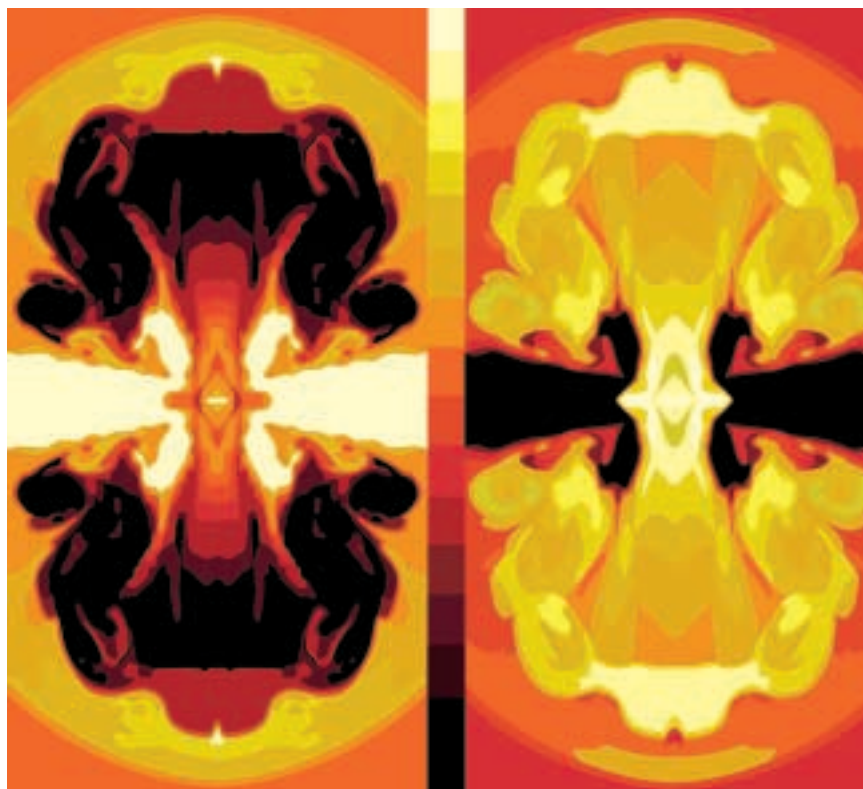
Grâce à l'effet Doppler, qui modifie la fréquence et la longueur d'onde de la lumière émise par des sources mobiles, nous déterminons aussi la vitesse du gaz : la lumière émise par le gaz qui s'approche de la Terre est décalée vers la partie bleue du spectre, tandis que celle émise par le gaz qui s'éloigne est décalée vers le rouge, tout comme la sirène d'une ambulance qui approche est plus aiguë que la sirène d'une ambulance qui s'éloigne.

Naguère les astrophysiciens étudiaient le gaz par deux méthodes complémentaires : l'imagerie des raies d'émission et la spectroscopie à longue fente. La première forme des images à partir de la lumière qui traverse un filtre qui sélectionne la lumière d'une longueur d'onde particulière émise par un élément comme l'hydrogène. Ces images révèlent souvent les spectaculaires structures filamenteuses des explosions, mais n'indiquent ni la vitesse ni la direction des mouvements de gaz, car le filtre ne révèle pas les décalages vers le rouge ou vers le bleu. Les spectromètres à longue fente, qui séparent la lumière en ses rayonnements constitutifs, fournissent des informations détaillées sur les mouvements gazeux, mais pour une région minuscule.

Depuis près d'une décennie, notre groupe utilise un instrument qui combine les avantages des deux méthodes. L'interféromètre à imagerie Fabry-Pérot d'Hawaii (HIFI) fournit des informations spectroscopiques détaillées sur un large champ spatial. Inventés par les Français Charles Fabry et Alfred Pérot au tournant du siècle, ces inter-

féromètres sont utilisés en astronomie. Au sein de l'appareil, on trouve deux lames de verre parallèles, séparées par moins d'un vingtième de millimètre. Les faces internes des lames sont réfléchissantes, de sorte que la lumière incidente est réfléchiée plusieurs fois entre les lames ; les interférences destructrices engendrées atténuent toute les longueurs d'onde de la lumière à l'exception de certaines, déterminées par la séparation entre les lames. En ajustant cette dernière, on obtient une série d'images qui représente une cartographie spectrale du champ observé : l'interféromètre fournit le spectre en chaque point.

Le spectrographe que nous utilisons est installé sur le télescope de 2,2 mètres de diamètre de l'Université d'Hawaii et sur le télescope Canada-France-Hawaii de 3,6 mètres, au sommet du Mauna Kea, à 4 200 mètres d'altitude. Des caméras à transfert de charges, stables et sensibles à la lumière ténue des galaxies, collectent les photons. En une nuit, cette instrumentation performante enregistre jusqu'à un million de spectres qui couvrent toute une galaxie.



3. UN ÉPANCHEMENT DE GAZ devient rapidement turbulent dans cette simulation numérique d'une galaxie active dont l'apport énergétique provient d'une flambée d'étoiles. Une carte des températures (à gauche) illustre comment le gaz chaud émanant du noyau déplace le gaz galactique plus froid qui l'entoure. Le choc qui en résulte apparaît sur une carte de la densité du gaz (à droite).