



Roger Ressmeyer/Corbis



WFI/European Southern Observatory

2. LA VOIE LACTÉE apparaît comme une simple traînée laiteuse à l'œil nu, mais se décompose en 100 milliards d'étoiles lorsqu'on l'observe à l'aide d'un télescope (dans le cartouche, la constellation de l'Autel). Il en va de même du fond diffus, cette faible lueur qui emplit le ciel entre les étoiles et qui est produite par l'ensemble des objets lointains de l'Univers que l'on peut, aujourd'hui, recenser.

cette méthode se révèle difficile, car la soustraction est une opération qui amplifie les erreurs. Par chance, dans certains domaines du spectre, le fond diffus constitue le signal le plus brillant. En revanche, dans d'autres domaines, notre travail revient à extraire un simple murmure d'une cacophonie cosmique. En général, nos conclusions sont limitées par la précision avec laquelle nous connaissons l'émission d'avant-plan. En dépit de ces obstacles, nous sommes parvenus à caractériser le spectre du fond diffus avec une assez grande précision et sur un domaine spectral assez large (voir la figure 4).

Le grand recensement

La composante du fond diffus dans le domaine des rayons X fut découverte en 1962. Son spectre présente un maximum autour de 30 kiloélectronvolts et s'étend de façon continue vers les énergies plus élevées. En deçà de un kiloélectronvolt, on trouve un grand nombre de raies d'émission provenant de noyaux atomiques, superposées à ce spectre continu, et qui semblent être l'empreinte d'un gaz chauffé à plusieurs millions de kelvins à l'intérieur ou autour de notre galaxie. Dans les années 1970, les premiers satellites sensibles aux rayons X, tels *Uhuru*, *Ariel V* et *HEAO 1*, ont montré que l'émission X de plus forte énergie était répartie de façon uniforme sur

l'ensemble de la voûte céleste. On en déduisit que son origine est extragalactique. En effet, si la matière responsable de ce rayonnement était répartie comme celle de notre galaxie, l'éclat du fond diffus serait plus important dans le plan de la Voie lactée (ou dans le plan de l'écliptique si le rayonnement était émis par le Système solaire). Les satellites sensibles aux rayons gamma, tels *SAS-3*, *COS-B* et *Compton-GRO*, ont confirmé que les rayonnements plus énergétiques encore suivent également cette répartition uniforme.

Le fond cosmologique micro-onde et le fond diffus de rayons X dominent l'éclat du ciel dans leur domaine respectif du spectre électromagnétique. Ce n'est pas le cas pour le reste du fond diffus. Ainsi, sa composante infrarouge n'a été identifiée qu'en 1996 par Jean-Loup Puget et ses collègues de l'Institut d'astrophysique spatiale, à Orsay, et n'a été mesurée de façon précise qu'il y a deux ans. En lumière visible et dans le domaine ultraviolet, les premières mesures du fond cosmique ont été réalisées par Rebecca Bernstein et ses collègues de l'Institut de technologie de Californie. Avant ces mesures directes, les astronomes se contentaient d'évaluer le fond optique en extrapolant la distribution des galaxies les moins brillantes décelables sur certaines images prises par le télescope spatial *Hubble*. Quant à la composante du fond diffus

dans l'ultraviolet lointain, elle est absorbée par l'hydrogène... qui constitue l'essentiel du milieu interstellaire. En conséquence, dans ce domaine, les astronomes ne disposent que d'estimations fondées sur l'extrapolation des mesures obtenues dans les domaines adjacents du spectre, les ultraviolets moyens et les rayons X de basse énergie.

Quelles sont les sources des différentes composantes du fond diffus? En fait, chaque composante est constituée d'émissions venues de différentes classes d'objets astronomiques. La lumière des étoiles, dont l'énergie est issue de la fusion thermonucléaire, ne contribue qu'aux domaines infrarouge proche, optique et ultraviolet. Cependant, les quasars et autres noyaux actifs de galaxies alimentent tout le spectre électromagnétique, des ondes radios aux rayons gamma. Quant aux nuages de poussière interstellaire, ils absorbent la lumière visible, et les rayonnements ultraviolets et X, mais restituent cette énergie sous forme de rayonnement infrarouge. Pour compliquer encore un peu notre problème, le fond diffus, en chaque point du ciel, est la somme des émissions issues d'objets qui sont situés tout au long de la ligne de visée, c'est-à-dire à des époques différentes de l'histoire de l'Univers. Ainsi nombre de ces objets ont disparu de l'Univers contemporain, tandis que les astres que l'on observe aujourd'hui n'existaient

pas lorsqu'une grande partie du fond a été émise. Pour répondre à notre question, on attaque le problème de deux façons différentes. La première consiste à réaliser des observations avec la résolution spatiale et la sensibilité la plus élevée possible, afin de distinguer le maximum de sources dans le fond diffus. Ensuite, nous utilisons une seconde technique, nommée synthèse de population : nous calculons l'émission attendue pour différentes combinaisons possibles d'objets, et nous comparons ces prédictions aux mesures du fond, en faisant varier les combinaisons jusqu'à obtenir le meilleur ajustement.

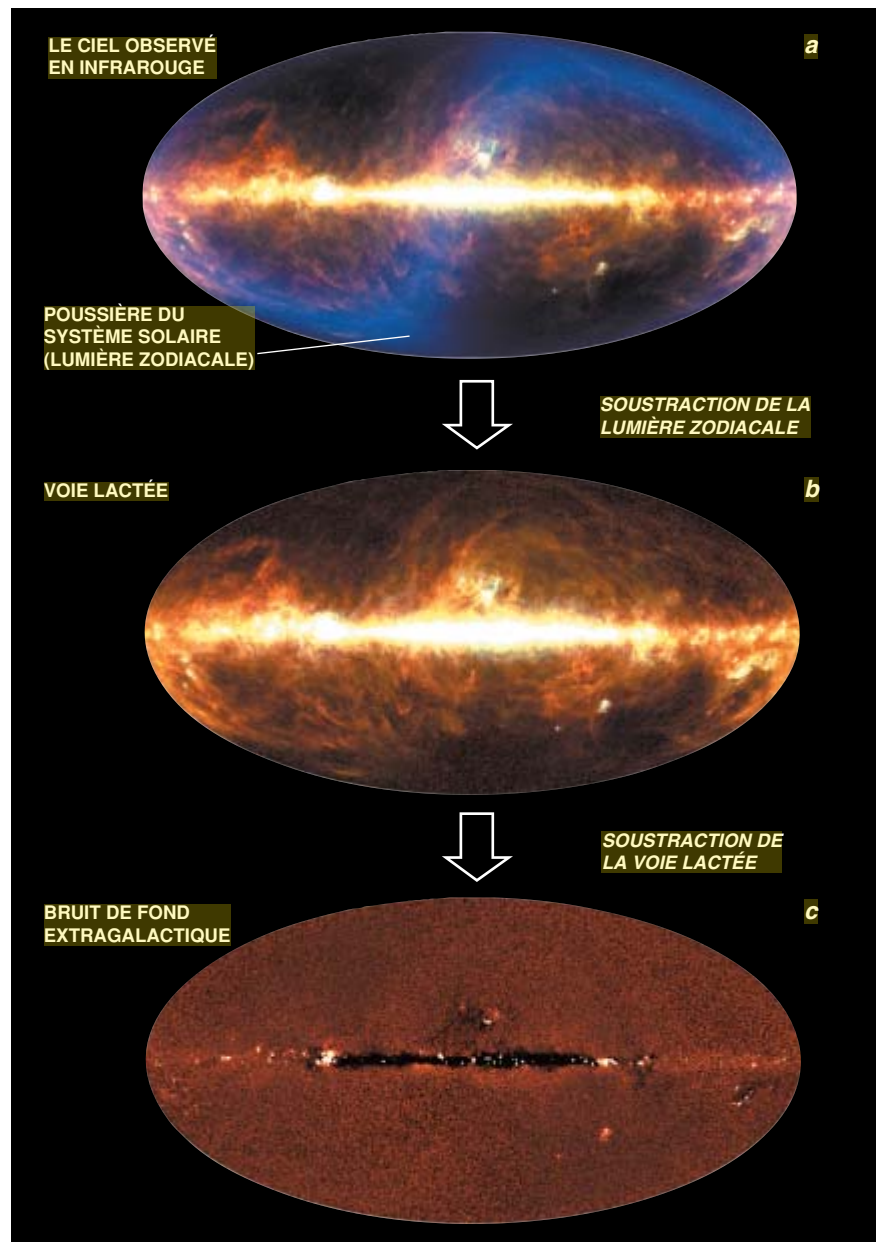
Trous noirs galactiques

La composante X du fond diffus, la première à avoir été identifiée, a fait l'objet de nombreuses études. Pendant 30 ans, on s'est demandé si elle était produite par un ensemble de sources ponctuelles que l'on ne parvenait pas à distinguer ou par une forme de gaz diffus et très chaud baignant l'environnement extragalactique. Dans les années 1990, on est arrivé à un consensus à l'aide d'un raisonnement indirect. Si le milieu intergalactique est rempli d'un gaz chaud assez dense pour rendre compte du fond diffus dans le domaine des rayons X, ce gaz doit se manifester dans d'autres domaines, notamment en masquant partiellement le fond cosmologique micro-onde. Ainsi, la lumière fossile de l'Univers primordial ne devrait pas nous apparaître sous la forme du spectre de corps noir parfait prévu par la théorie du Big Bang. Or, les observations du fond diffus, en particulier celles qui ont été obtenues par le satellite COBE, ont fait apparaître un spectre identique à celui du corps noir. On en déduit que seule une petite fraction du fond dans le domaine des rayons X provient d'un gaz intergalactique chaud : pour l'essentiel, cette composante du fond cosmique doit être constituée de sources discrètes non identifiées. Lesquelles ? Les premiers relevés systématiques ont été réalisés au début des années 1980 par Ricardo Giacconi et ses collègues de l'Université de Pennsylvanie, découvreurs du fond diffus dans ce domaine, à l'aide du satellite *Einstein*. À l'époque, ils sont parvenus à décomposer environ cinq pour cent du fond diffus en sources ponctuelles, parmi lesquelles on trouvait de nombreux quasars. Par la suite, les astronomes ont continué le travail à l'aide du satellite ROSAT. À partir de 1990,

et pendant dix ans, la mise en œuvre des relevés du fond diffus dans le domaine des rayons X a occupé des centaines d'astronomes à travers le monde.

Le satellite ROSAT a effectué des relevés très profonds d'une portion du ciel connue des astronomes sous le nom de «trou de Lockman». Proche de la constellation de la Grande Ourse, il s'agit d'une percée, entre les astres de la Voie lactée, qui nous permet d'observer l'Univers lointain. Les images du trou de Lockman, presque exemptes d'absorption de premier-plan, figurent parmi les observations en rayons X les

plus lointaines jamais réalisées. Elles ont permis de résoudre 80 pour cent du fond diffus à des énergies inférieures à deux kiloélectronvolts (un domaine que les astronomes qualifient de rayons X mous). Ensuite, pour identifier ces sources, il nous fallait comparer ces relevés avec des images prises en lumière visible dans la même région du ciel. La difficulté résidait dans le fait que les contreparties visibles des sources de rayons X sont souvent d'un éclat très faible : or, ces maigres flux lumineux doivent servir à réaliser des spectres optiques afin d'identifier les



3. LE FOND DIFFUS se révèle lorsque l'on soustrait à une image du ciel (a, l'ensemble du ciel observé dans l'infrarouge) la contribution des sources connues situées à l'avant-plan. Une fois ôté le rayonnement diffusé par les poussières du Système solaire autour de 60 micromètres de longueur d'onde, aussi nommé lumière zodiacale (en bleu), seule subsiste l'image des nuages moléculaires et de la poussière de la Voie lactée (b). Le fond diffus (c) apparaît lorsque l'on retire cette dernière contribution.