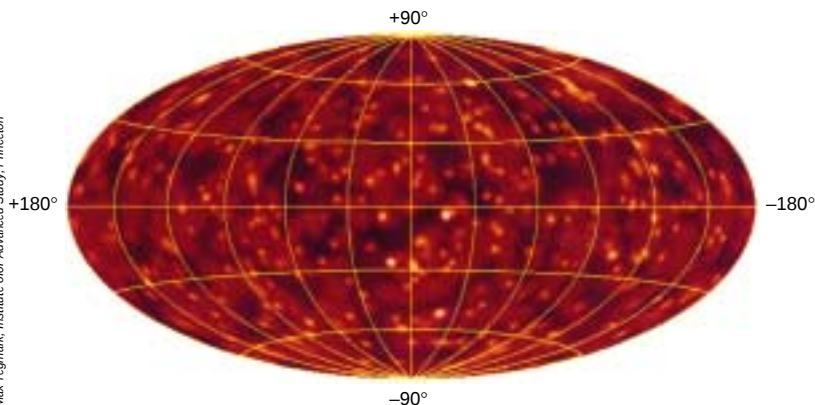




6. LA RÉPARTITION DES SURSAUTS dans le ciel, mesurée par le détecteur de sursauts et de sources transitoires BATSE, n'indique pas de concentration le long de la Voie lactée (ligne horizontale sur la carte), mais une répartition uniforme. BATSE se trouve à bord de l'Observatoire Compton, que l'on voit ici en cours de déploiement.

le rayonnement d'une étoile située derrière la lentille est dévié, on observe plusieurs images de l'étoile originelle, disposées en arcs autour de la lentille. Pour l'instant cependant, la médiocre résolution spatiale des détecteurs de rayonnements gamma n'autorise pas de telles détections.

En outre, contrairement aux étoiles, les sursauts ne sont pas des sources persistantes. Un sursaut gamma démultiplié par une lentille gravitationnelle apparaîtrait comme deux sursauts provenant plus ou moins de la

même direction, possédant un spectre et une évolution semblables, mais dont les intensités et les temps d'arrivée différeraient (la différence de temps résulte de la différence de longueur des chemins empruntés par le rayonnement autour de l'objet faisant office de lentille).

Pour mieux cerner l'origine de l'explosion sous-jacente, une étude multifréquence est nécessaire. On pourrait alors découvrir la «contrepartie» du sursaut à d'autres longueurs d'onde et identifier la source, condition nécessaire à la compréhension du phénomène (*voir l'encadré ci-contre*). Jusqu'à GRB 970228, on n'avait jamais observé de contrepartie dans le visible, mais, désormais, on espère en trouver en localisant très précisément les sursauts.

Des télescopes en veille

Depuis le début des années 1970, Kevin Hurley, de l'Université de Berkeley, et Thomas Cline, du Centre Goddard de la NASA, prônent la mise en place de réseaux internationaux pour la détection des sursauts. Ils tentent de placer un détecteur de rayonnements gamma à bord de chaque sonde spatiale ou de lancer des dispositifs spécialisés. En comparant les temps de réception d'un sursaut par deux satellites éloignés, ils espèrent le localiser à mieux que quelques minutes d'angle.

L'efficacité du réseau varie beaucoup selon le nombre d'instruments qui y prennent part et leur distance dans l'espace. Aujourd'hui, cinq composantes du réseau sont actives : BATSE, Beppo-SAX et le satellite militaire DMSP, tous trois proches de la Terre ; la sonde Ulysse, très loin au-dessus du plan du Système solaire ; et la sonde Wind, en orbite autour du Soleil. Les don-



7. DES TÉLESCOPES ROBOTISÉS sur une colline près du Laboratoire Lawrence Livermore recherchent l'émission rémanente d'un sursaut quelques secondes après avoir reçu sa localisation de BATSE.



8. PLUSIEURS INSTRUMENTS contribuent à l'étude des sursauts gamma. Le satellite *Beppo-SAX* (à gauche), que l'on voit en cours d'assemblage, possède des détecteurs de rayons gamma et X qui se sont révélés cruciaux dans la localisation de sursauts récents. Le télescope

William Herschel (au centre), dans les îles Canaries, a photographié l'émission rémanente dans le visible de GRB 970228. En mai, l'interféromètre radio VLA à Socorro, Nouveau-Mexique, a observé pour la première fois des ondes radio provenant d'un sursaut.

nées de *Beppo-SAX*, d'*Ulysse* et de *Wind* furent utilisées pour déterminer par triangulation la position de GRB 970228 (BATSE était alors dans l'ombre de la Terre).

Cette méthode de triangulation spatiale est, pour l'instant, lente à fournir la direction du sursaut (huit heures au mieux), car il faut collecter les données provenant de satellites distants. Or, le temps est crucial pour détecter un sursaut. Aussi, Scott Barthelmy, du Centre *Goddard*, a-t-il mis au point un système nommé BACODINE (réseau BATSE de distribution de coordonnées) pour diffuser en quelques secondes la position des sursauts mesurés par BATSE à des télescopes au sol.

BATSE se compose de huit détecteurs de rayonnement gamma répartis en différents points du satellite. La comparaison de l'intensité d'un sursaut mesurée par ces détecteurs fournit en quelques secondes la position à quelques degrés près. Alors même que le sursaut a lieu, le système BACODINE le localise et transmet sa position, via le réseau *Internet*, à plusieurs dizaines de sites dans le monde. Cinq secondes plus tard, des télescopes robotisés pivotent pour observer le sursaut. Malheureusement, ces télescopes robotisés sont généralement petits, de sorte qu'ils ne peuvent détecter l'émission rémanente des sursauts. Par exemple, les petits télescopes de diamètre inférieur au mètre au Laboratoire Lawrence Livermore, n'auraient pu observer l'émission rémanente de GRB 970228 (sauf si l'émission dans le visible qui suivit le sursaut avait été plusieurs fois plus intense, comme le pensent certains théoriciens). Ainsi, des télescopes 100 fois plus sensibles sont nécessaires.

Ces télescopes de taille moyenne seront pilotés par des robots, de manière à pivoter très vite, et ils exploieront de vastes étendues du ciel. S'ils découvrent une émission rémanente, ils détermineront sa position avec une relativement bonne précision, ce qui permettra aux télescopes plus puissants, comme le *Télescope spatial*, de rechercher une émission rémanente.

La faible émission qui a persisté après GRB 970228 montre que cette stratégie peut être payante. La mission *HETE*, dirigée par George Ricker, de l'Institut de technologie du Massachusetts, doit être reconstruite et lancée dans deux ans environ. Elle observera la totalité du ciel à l'aide de détecteurs de rayons X qui localisent des sursauts gamma à quelques minutes d'angle près. Un réseau de télescopes terrestres recevra ces positions presque immédiatement et recherchera des émissions rémanentes dans le domaine visible.

Détections multifréquences

Quelle proportion de sursauts gamma possède une émission rémanente détectable? Nous l'ignorons. Le sursaut GRB 970228 pourrait être un cas isolé. De plus, même une région du ciel de quelques minutes d'angle de diamètre contient beaucoup trop d'objets faibles pour qu'il soit facile de rechercher des contreparties. L'idéal serait de déterminer des positions précises en quelques fractions de seconde après le sursaut gamma lui-même. À cette fin, les astronomes conçoivent des télescopes d'un nouveau genre qui détermineront presque instantanément la position d'un sursaut, à quelques secondes d'angle près.

Pour affiner les modèles, nous étudierons le rayonnement à des fréquences supérieures et inférieures à celles qui sont observées aujourd'hui. Le scope de rayonnement gamma de haute énergie EGRET, également à bord de l'Observatoire *Compton*, a détecté, pour quelques sursauts, des émissions dont l'énergie atteint 10 milliards d'électronvolts, subsistant parfois pendant plusieurs heures. Dans ce domaine des hautes énergies, on attend beaucoup du télescope gamma spatial *GLAST*, en cours de mise au point par une équipe internationale. Des photons d'énergie encore supérieure – jusqu'à 10^{12} électronvolts – pourraient être détectés par de nouveaux télescopes gamma terrestres. À l'autre extrémité du spectre, les rayons X mous, qui possèdent des énergies jusqu'à un kiloélectronvolt environ, sont utiles pour tester les modèles de sursauts, ainsi que pour mieux fixer leur position. Entre 0,1 et 10 kiloélectronvolts, il est fort possible que l'on découvre des raies d'absorption et d'émission qui nous informeraient sur la boule de feu sous-jacente ainsi que sur le champ magnétique. De telles raies pourraient aussi donner une mesure directe du décalage spectral de cette boule et, par conséquent, de sa distance. Trois équipes construisent aujourd'hui des instruments sensibles pour la détection des rayons X mous : le télescope européen *XMM* devrait être lancé en 1999 tandis que le télescope américain *AXAF* et le russe *Spectrum-X-gamma* (SXG) devraient être lancés d'ici quelques années.

Les progrès sont toutefois rapides : alors que nous finissons cet article, nous avons appris une nouvelle détection. Dans la nuit du 8 mai, les opérateurs de *Beppo-SAX* ont localisé un sursaut