

La mort d'une étoile

Une supernova de type Ia est l'explosion d'une étoile, c'est-à-dire une bombe thermonucléaire naturelle. L'étoile qui explose commence son existence sous la forme d'une sphère d'hydrogène, en équilibre. L'effondrement gravitationnel initial chauffe et comprime le gaz, ce qui déclenche des réactions nucléaires qui transforment l'hydrogène en hélium, en carbone, en oxygène, en néon, et en d'autres éléments. L'énergie dégagée provoque l'agitation des atomes, ce qui équilibre la gravitation. Toutefois, lorsque le combustible nucléaire s'épuise, la pression devient insuffisante pour maintenir l'équilibre, et l'étoile s'effondre sur elle-même jusqu'à ce que son volume soit seulement de la taille de la Terre et sa densité un million de fois celle de la matière ordinaire. L'étoile est devenue une naine blanche.

La plupart de ces naines blanches se refroidissent et s'éteignent ainsi sans

briller. Toutefois, celles qui sont dans un système binaire (deux étoiles liées par la gravitation) peuvent aspirer la matière de leur compagne et devenir si denses qu'elles s'effondrent brusquement. La chaleur qui en résulte déclenche une explosion thermonucléaire qui détruit complètement la naine blanche, éjectant sa matière à des vitesses qui atteignent 10 000 kilomètres par seconde. La lueur de cette boule de feu en expansion met environ trois semaines pour atteindre son éclat maximum, puis décline plusieurs mois durant.

Les supernovae ont des luminosités variées, mais les explosions plus brillantes durent généralement plus longtemps que les plus faibles. Ainsi, en surveillant leur durée, les astronomes corrigent les différences et déterminent leur luminosité intrinsèque à 12 pour cent près. Au cours des dix dernières années, grâce aux études des supernovae de type Ia proches à l'aide de détecteurs modernes, ces éclairs sont

devenus les «chandelles de référence» les mieux étalonnées du ciel.

Ces explosions stellaires sont des événements rares dans les galaxies : il s'en produit un tous les 300 ans environ. Toutefois, l'Univers contient tant de galaxies que des supernovae suffisamment brillantes pour faire l'objet d'une étude explosent toutes les quelques secondes, quelque part dans le ciel. Il suffit donc aux astronomes de les trouver et de les étudier soigneusement. Depuis quelques années, deux groupes rivalisent d'effort : d'une part, notre groupe, surnommé le Groupe à grand z (z caractérise le décalage vers le rouge), a été créé en 1995 par Brian Schmidt, des observatoires australiens du mont Stromlo et de Siding Springs ; l'autre groupe, nommé Projet cosmologie et supernovae, lancé en 1988, est dirigé par Saul Perlmutter, du Laboratoire Lawrence Berkeley (voir l'encadré ci-contre).

Bien que les deux équipes soient indépendantes, elles profitent des mêmes progrès fondamentaux, essentiellement le déploiement de grands détecteurs de lumière sur des télescopes géants. Grâce à ces progrès, les astronomes produisent des images numériques d'objets faibles sur une grande partie du ciel, ce qui facilite l'analyse ultérieure. Ainsi, une caméra construite par l'Université du Michigan et par la Société *Lucent* a été placée au foyer du télescope de quatre mètres de diamètre de l'Observatoire de Cerro Tololo, au Chili ; une seule exposition de dix minutes produit une image qui couvre une surface égale à celle de la Lune et qui contient 5 000 galaxies.

Pour repérer les supernovae lointaines, il suffit donc de prendre des images de la même zone du ciel à quelques semaines d'intervalle et de rechercher, dans les galaxies lointaines, des différences de luminosité. Comme les détecteurs de lumière enregistrent avec précision le nombre de photons ayant atteint chaque élément d'image, une simple soustraction des deux images indique les différences. Quand tout se passe bien, la soustraction conduit à une image noire (au bruit près), où les seuls signaux intenses correspondent à des objets nouveaux ou variables, telles les étoiles variables, les quasars, les astéroïdes et, dans certains cas, des supernovae.

Les programmes informatiques enregistrent la position des nouveaux objets et tentent d'identifier ceux qui

Des supernovae pour la cosmologie

Entré dans la course aux grands décalages vers le rouge dès la fin des années 1980, le Projet cosmologie et supernovae a découvert, à ce jour, près d'une centaine de supernovae lointaines. Exploit remarquable si l'on rappelle qu'avant 1992 seulement une supernova lointaine avait été découverte. La découverte la plus spectaculaire eut lieu en octobre 1998 avec le télescope Keck de huit mètres de diamètre, situé à Hawaii. Pour la première fois, une supernova ayant un décalage vers le rouge supérieur à un était détectée. Autrement dit, cette supernova a explosé il y a dix milliards d'années, bien longtemps avant que notre Soleil ne se mette à briller !

Le Projet supernovae et cosmologie est une collaboration internationale d'une trentaine de physiciens et d'astronomes, qui mettent en communs leurs efforts et leurs moyens d'observation les plus performants pour détecter ces supernovae et en déduire la valeur des paramètres cosmologiques. En France, une douzaine de physiciens et d'astronomes du Laboratoire de physique nucléaire et des hautes énergies (LPNHE) à Paris, de l'Ob-

servatoire de Meudon et d'autres institutions y participent.

De même que le Groupe à grand z , dont les résultats sont relatés dans l'article, le Groupe supernovae pour la cosmologie a annoncé durant l'été 1998 l'analyse de 42 supernovae à grand décalage vers le rouge. Si le nombre de supernovae diffère, les conclusions sont très semblables. D'abord, l'expansion de l'Univers serait infinie : l'Univers ne se reconstruira jamais. Ensuite, et ceci est assurément spectaculaire, cette expansion serait, dans la période actuelle, en phase d'accélération et ce depuis environ quatre milliards d'années !

Ces résultats devront être confirmés et la recherche systématique de supernovae à grand décalage vers le rouge se poursuit activement. Pour ce faire, l'équipe française propose de combiner l'utilisation du télescope Canada-France-Hawaii pour la détection des supernovae et un suivi sur le télescope Keck et sur le Très grand télescope européen (VLT), récemment mis en service au Chili. Le mystère des paramètres cosmologiques sera-t-il bientôt résolu ?

Reynald PAIN, LPNHE, Paris

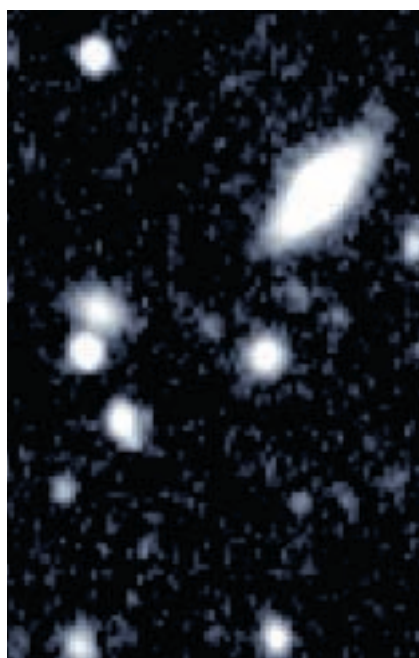
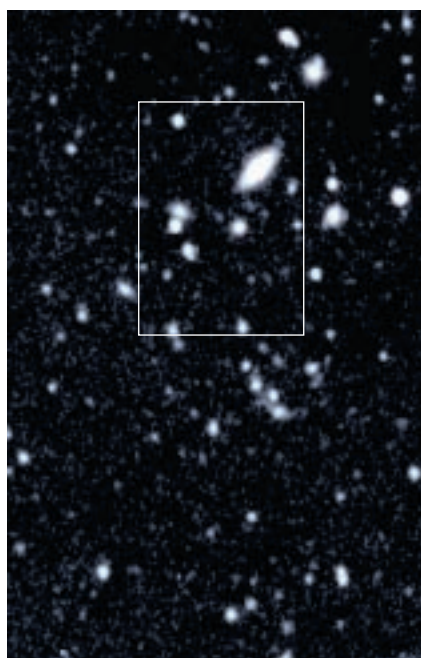
sont réellement des supernovae, mais les tests automatisés demeurent imparfaits, et nous devons scruter les images à l'œil nu pour décider quelles supernovae putatives sont réelles. Pour suivre l'évolution de la courbe de lumière de la supernova avant qu'elle ne devienne trop faible, l'analyse doit être effectuée rapidement. Pendant ces périodes harassantes, l'observatoire est un bain où astronomes et étudiants travaillent 24 heures sur 24 pendant plusieurs jours consécutifs, soutenus par l'enthousiasme et les pizzas chiliennes.

Ensuite, nous visons les meilleures supernovae présumées avec de grands télescopes, dont les télescopes Keck de huit mètres de diamètres, à Hawaï. Ces observations cruciales confirment si les objets proposés sont des supernovae de type Ia. À l'aide de ces observations, on mesure également l'éclat intrinsèque et le décalage vers le rouge.

Du côté sombre

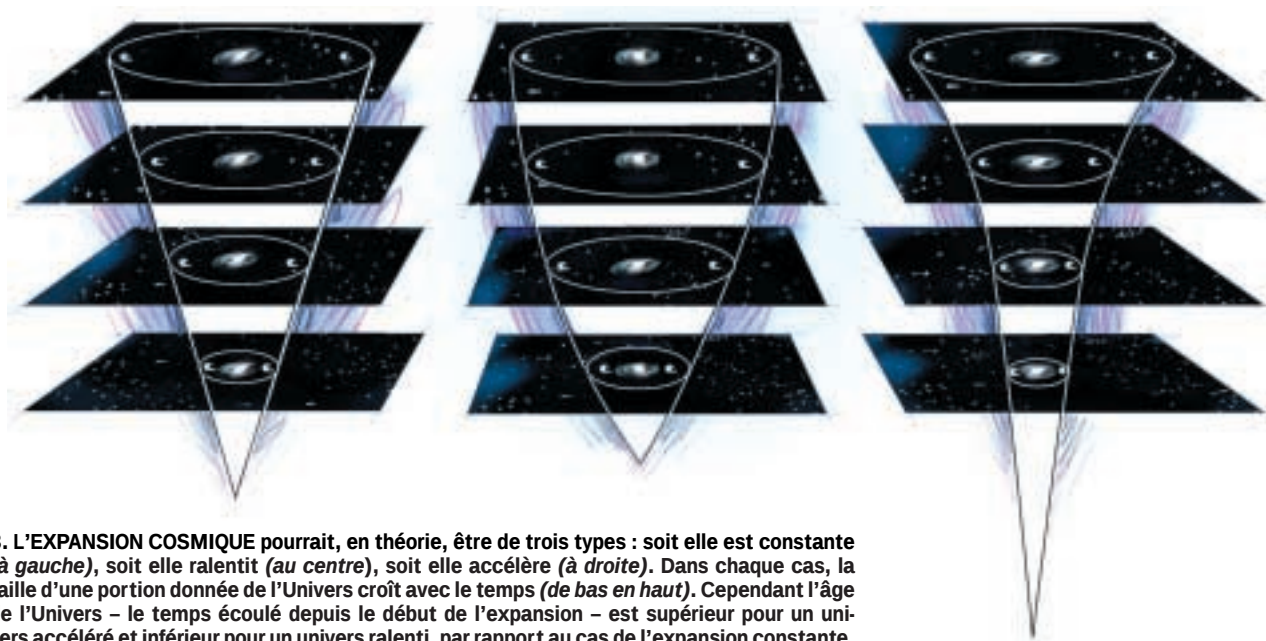
D'autres membres de notre groupe, travaillant avec des télescopes en Australie, au Chili et aux États-Unis, ont

également suivi ces supernovae pour déterminer comment leur luminosité passe par un maximum, puis décline. La campagne d'observation pour une seule supernova dure plusieurs mois, et l'analyse finale doit souvent attendre un an ou plus, quand la lumière de la supernova a presque disparu, pour obtenir une bonne image de la galaxie qui abritait la supernova. Nous utilisons ce cliché final pour soustraire l'éclat de la galaxie des images de la supernova. Nos meilleures mesures proviennent du télescope spatial Hubble, qui saisit des détails si fins que



Peter Challinor, Harvard Smithsonian Center for Astrophysics

2. UNE SUPERNOVA LOINTAINE est indiquée par la flèche. L'explosion de cette étoile modifie uniquement quelques pixels de l'image prise après l'événement.



3. L'EXPANSION COSMIQUE pourrait, en théorie, être de trois types : soit elle est constante (à gauche), soit elle ralentit (au centre), soit elle accélère (à droite). Dans chaque cas, la taille d'une portion donnée de l'Univers croît avec le temps (de bas en haut). Cependant l'âge de l'Univers – le temps écoulé depuis le début de l'expansion – est supérieur pour un univers accéléré et inférieur pour un univers ralenti, par rapport au cas de l'expansion constante.

Daniels & Daniels