

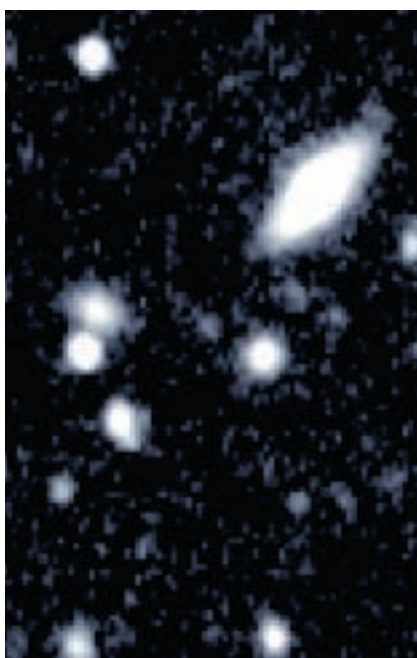
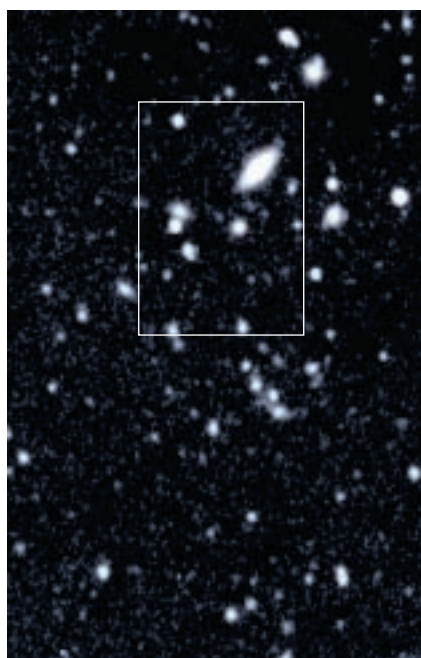
sont réellement des supernovae, mais les tests automatisés demeurent imparfaits, et nous devons scruter les images à l'œil nu pour décider quelles supernovae putatives sont réelles. Pour suivre l'évolution de la courbe de lumière de la supernova avant qu'elle ne devienne trop faible, l'analyse doit être effectuée rapidement. Pendant ces périodes harassantes, l'observatoire est un baignoire 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

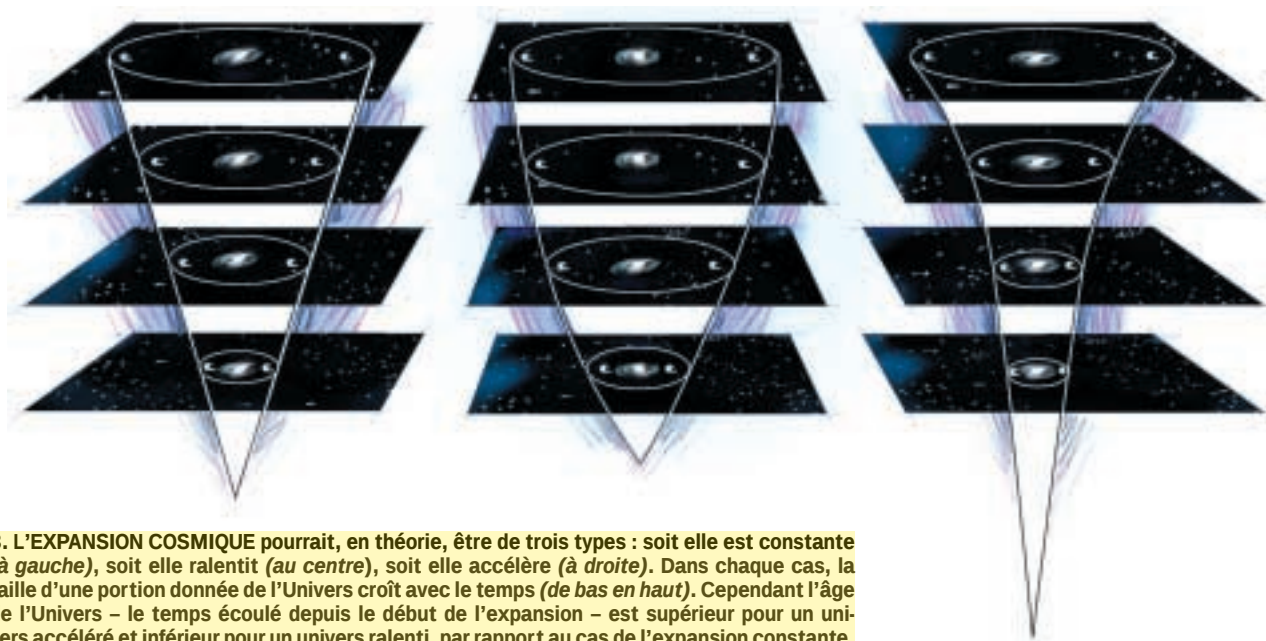
D'autres membres de notre groupe, travaillant avec des télescopes en Australie, au Chili et aux États-Unis, ont

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



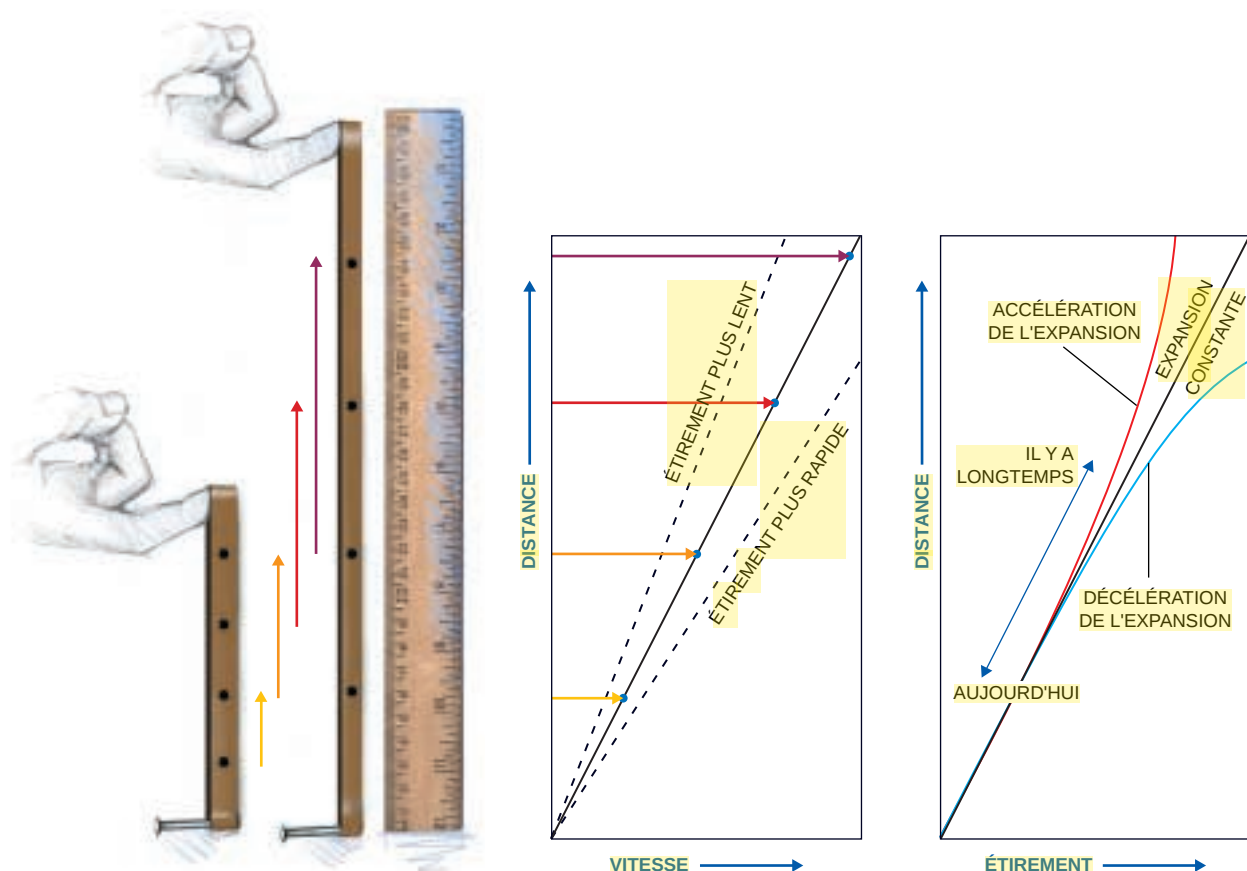
Peter Challinor, Harvard Smithsonian Center for Astrophysics

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



4. UN ÉLASTIQUE que l'on tend montre la relation linéaire entre la vitesse de récession des galaxies et leur distance. Étirons un élastique à une vitesse constante. La vitesse de différents points peints sur l'élastique est indiquée par la longueur des flèches colorées. Par exemple, le point le plus proche de l'origine se déplace le moins, et sa vitesse est la plus faible (flèche jaune). En revanche, le point le plus éloigné se déplace plus, et sa vitesse est supérieure (flèche violette). Lorsque l'on porte sur un diagramme la distance en fonction de la

vitesse, la pente de la droite donne la vitesse d'expansion de l'élastique (graphique de gauche). Si cette vitesse change au cours du temps, la pente change également (graphique de droite). Supposons que l'origine du graphique représente la Terre aujourd'hui ; les temps plus reculés se placent vers le coin supérieur droit, car ils correspondent aux grandes distances. Si la vitesse d'expansion était plus lente par le passé, la ligne se courberait vers le haut (ligne rouge). Si cette vitesse était supérieure, elle se courberait vers le bas (ligne bleue).

l'étoile qui explose émerge distinctement de sa galaxie hôte.

Après l'étude et l'analyse de dizaines de supernovae à grand décalage vers le rouge, une surprise nous attendait : les supernovae sont moins lumineuses que prévu. La différence est mince : les supernovae lointaines sont en moyenne 25 pour cent plus faibles que ce que prévoyait la théorie, mais ce résultat suffit à remettre en question les théories cosmologiques anciennes.

Avant de balayer les anciennes théories, les astronomes se sont demandé s'il existait une explication plus simple à la relative faiblesse de ces supernovae lointaines. Des poussières cosmiques situées dans le milieu intergalactique ou dans les galaxies où ont explosé les supernovae absorberaient-elles une partie de leur lumière ? Vraisemblablement pas, car les poussières atténuent plus la lumière bleue que la lumière rouge, de sorte que les supernovae seraient plus rouges qu'elles ne le sont en réalité (le phénomène est le même que celui qui fait rougir le soleil couchant). Or, nous n'observons pas une telle atténuation. De surcroît, la poussière cosmique ne

semble pas répartie uniformément dans l'espace, de sorte que la lumière de quelques supernovae seulement rencontrerait ces « nuages de poussières » et serait atténuée. Or, les supernovae ont presque toujours la même luminosité.

Une autre perturbation possible serait l'effet de lentille gravitationnelle, c'est-à-dire la courbure des rayons lumineux au voisinage des galaxies. Parfois, cet effet augmente la luminosité des sources, mais, le plus souvent, il la réduit ; des lentilles gravitationnelles pourraient donc atténuer l'éclat des supernovae lointaines. En fait, les calculs montrent que cet effet ne devient important que pour des sources plus éloignées que les supernovae que nous étudions, de sorte que nous pouvons écarter cette possibilité.

Enfin, nous craignons que les supernovae lointaines ne diffèrent des supernovae proches, émanant peut-être d'étoiles plus jeunes qui auraient contenu moins d'éléments lourds que les étoiles des galaxies plus mûres. Bien que nous ne puissions éliminer cette hypothèse, notre analyse tente déjà de prendre ces différences en compte. Ces

ajustements semblent fonctionner lorsque nous les appliquons aux galaxies proches, dont les supernovae présentent une grande dispersion d'âges, de compositions et de types.

Comme aucun de ces effets élémentaires ne s'accorde aux observations, nous pensons que la faiblesse inattendue des supernovae lointaines résulte de la structure du cosmos. Deux propriétés différentes de l'espace et du temps peuvent y contribuer.

D'abord, l'espace pourrait avoir une courbure négative. Une telle courbure se comprend mieux à l'aide d'une analogie bidimensionnelle. Les créatures vivant dans un monde bidimensionnel parfaitement plat (comme les personnages du roman *Flatland*, d'Edwin Abbott) trouveraient qu'un cercle de rayon r a une circonférence exactement égale à $2\pi r$. En revanche, si leur monde était en forme de selle, avec une courbure négative (voir *L'inflation de l'Univers*, par Martin Bucher et David Spergel, page 50), la circonférence d'un cercle de rayon r serait supérieure à $2\pi r$.

La plupart des cosmologistes supposent, pour diverses raisons théoriques,