

MICHEL CASSÉ



astrophysicien,
explique
les dernières
découvertes
en cosmologie.

L'Univers serait dominé par une énergie «sombre», la «dark energy» des anglophones, et son expansion accélérerait au lieu de ralentir. Du coup, le destin du cosmos serait d'un noir absolu, et toute la matière ordinaire un épiphénomène dans un Univers constitué pour l'essentiel d'une énergie totalement inconnue. Voilà, résumée de façon lapidaire, la rumeur qui enflé dans les laboratoires où l'on s'interroge sur la forme, l'origine et le destin de l'Univers. Sur quels phénomènes étranges les astrophysiciens ont-ils mis le télescope, au point de réécrire ainsi l'histoire et le futur de l'Univers? L'étrange ne réside pas dans les objets observés: c'est leur position dans l'espace et le temps qui ébranle notre vision du monde. Deux équipes américaines (1) ont, ces dernières années, réussi à mettre en évidence des explosions d'étoiles d'une extraordinaire brillance, très loin de nous, à des milliards d'années-lumière. Elles proviennent de petites étoiles, des naines blanches, chacune accouplée à une étoile plus massive et étendue. Vorace, la naine blanche arrache de la matière à sa compagne. Et cette avidité se voit sanctionnée par une explosion qui se manifeste par l'émission provisoire d'une lumière fort intense. Une seule de ces *supernovae*, dite de type Ia dans notre jargon, brille durant quelques jours comme un milliard de Soleils. L'intérêt cosmologique de ces *supernovae* réside dans les caractéristiques spécifiques de leurs émissions lumineuses. Leurs «courbes de lumière» se ressemblent étroitement, avec un pic très fort et bref, de quelques semaines, suivi d'un affaiblissement plus lent. Cette ressemblance s'explique, elles proviennent des mêmes objets et leur mécanisme d'explosion est identique. Du coup, ces *supernovae* servent d'étalons lumineux pour arpenter l'Univers à grande échelle. La seule différence entre deux courbes de lumière tient à leur distance:

«L'expansion de l'Univers serait, depuis quelques milliards d'années, en phase d'accélération.»

plus elles sont loin de nous, plus la lumière reçue par nos instruments est faible. Une cinquantaine d'entre elles ont été étudiées jusqu'à six à sept milliards d'années-lumière, soit environ la moitié du rayon de l'Univers observable, par divers instruments, dont le télescope spatial Hubble. Or, surprise: elles sont plus éloignées que

prévu. Plus précisément, leur position laisse supposer que l'expansion de l'Univers serait, depuis quelques milliards d'années, en phase d'accélération. L'Univers était doté d'un frein, la gravitation attractive de la matière et de l'énergie lumineuse. On découvre qu'il dispose également d'un accélérateur, l'antigravitation. Restée inactive au début de l'expansion de l'Univers, elle serait en train de prendre la direction des affaires.

Si cette expansion accélérée est le destin de l'Univers, à quoi va-t-il ressembler dans un futur lointain?

Son destin, c'est la «diaspora», la séparation irréversible des galaxies, si bien qu'on est tenté de proclamer la fin de l'éternel retour cosmologique. Dans quelques dizaines de milliards d'années, rien n'aura changé dans notre environnement immédiat; le système solaire (hormis le Soleil devenu naine blanche), la Voie lactée et les galaxies les plus proches resteront liées par la gravitation. En revanche, toutes les autres galaxies s'éloigneront si vite – l'espace s'étendra si rapidement entre elles et nous – qu'elles disparaîtront du ciel. En supposant que l'accélérateur lui-même ne connaisse pas d'avaries...

Si l'on prend ces observations au sérieux, il faut trouver la source de cette accélération de l'Univers. Albert Einstein n'avait-il pas, il y a un siècle, fait l'hypothèse d'une «constante cosmologique» qui pourrait en tenir lieu?

Lorsque Albert Einstein émet cette idée, l'expansion de l'Univers n'est pas encore découverte. Or, pour que le cosmos soit stable, il faudrait absolument compenser la force de gravitation, la matière attirant la matière. Sinon, il s'écroulerait inéluctablement sur lui-même. Einstein introduit donc dans ses équations un terme, la constante cosmologique, censé figurer une force répulsive, contrebalançant exactement la gravitation à l'échelle de l'Univers. Une force étrange puisqu'elle n'est pas perceptible à petite échelle – celle de notre environnement quotidien et même d'une galaxie – mais voit son intensité augmenter avec la distance. Après la découverte par Edwin Hubble de la fuite des galaxies, la constante cosmologique semble inutile. Ce concept renaît aujourd'hui. Pas seulement parce qu'il est remis à flot par les *supernovae* lointaines, mais aussi parce qu'il rejoint une autre observation récemment confirmée par le télescope européen Archeops et renversante: l'Univers est plat.

Nous ne connaissons rien des deux tiers de notre Univers

Et qu'est-ce que cette platitude?

Quelque quatre cent mille années après le big bang, que l'on situe à environ 15 milliards d'années du temps présent, ici sur Terre, le gaz très chaud que constituait le cosmos s'est suffisamment refroidi pour qu'il cesse d'être opaque, pour que la lumière se sépare de la matière. Cet épisode marquant a laissé subsister dans tout l'Univers un rayonnement fossile, dont la température décline continuellement sous l'effet de l'expansion de l'espace. Il est aujourd'hui très froid et grelotte à l'oreille de nos radiotélescopes. Nous l'étudions également au moyen de satellites et de ballons portant des télescopes hauts dans la stratosphère (2). Ce rayonnement forme une sorte de toile de fond, sur laquelle sont délicatement imprimés des motifs dont la taille réelle peut se calculer. Elle est d'environ 400 000 années-lumière. Connaissant cette taille physique réelle, la seule mesure de l'angle sous lequel on voit ces taches permet de qualifier véritablement la géométrie, la courbure de l'espace universel. Pour une géométrie euclidienne, celle que chacun a apprise au collège, l'angle prévu est d'un degré, ce qui est précisément la valeur mesurée par les télescopes. On en déduit que la courbure de l'Univers est nulle. Cela suppose, en bonne cosmologie, que son contenu en matière-énergie atteigne une valeur dite critique, ni trop ni trop peu. Or toute la matière ordinaire, les atomes, la matière brillante des étoiles, ne constitue qu'environ 5 % de cette valeur critique. Même si nous y ajoutons la matière invisible, noire, indispensable pour expliquer le mouvement des étoiles dans les galaxies et de celui de ces dernières dans les amas qu'elles forment, dont nous soupçonnons l'existence depuis longtemps, nous parvenons à peine au tiers de cette valeur. Perplexes, les cosmologistes se

tourment alors vers les physiciens et passent commande. Nous voulons, disent-ils, une matière, ou une énergie, qui soit invisible, se joue de tous les instruments de physique connus, puisse constituer les

Un spécialiste des supernovae

deux tiers de l'Univers et y exercer une force répulsive. Une sorte de fluide invisible, que, faute de mots, nous appellerons la quintessence.

Vous avez ça en magasin?

D'un point de vue qualitatif, oui. C'est, semble-t-il, l'énergie du vide des théoriciens de la physique quantique. Le vide des physiciens n'est pas le néant. Il regorge d'énergie, en vertu du principe d'incertitude d'Heisenberg (3) entre l'énergie et le temps. Pour être certain que l'énergie du vide est réellement nulle, il faudrait l'observer pendant un temps infini... ce qui ne peut être l'affaire des hommes. Aux courtes échelles de temps, des particules virtuelles jaillissent du vide et y retournent. Ces particules éphémères mettent en relation les particules réelles – la chair du monde –, les quarks et les électrons qui forment les atomes. Et ce substrat, ce vide bouillonnant, produit une force répulsive. C'est lui qui serait à l'origine de la phase d'expansion exponentielle à l'orée du big bang, baptisée *inflation* par les cosmologistes. De surcroît, l'existence du vide quantique est légitimée par le fameux «effet Casimir», étudié au laboratoire Kastler de l'Ecole normale supérieure, qui fait se rejoindre deux plaques parallèles placées dans le vide. A ce détail près qu'on ne mesure que la différence d'énergie du vide entre et en dehors des plaques. Et non sa valeur absolue.

Tout va bien alors?

Au contraire, c'est la catastrophe du siècle! Lorsque nous essayons de calculer la valeur absolue de l'énergie du vide par centimètre cube, le nombre trouvé est au moins 10^{50} fois trop fort. De quoi faire voler en