

> un certain instant, mais autour de laquelle l'espace a continué de gonfler de façon démesurée et à engendrer d'autres bulles. Dès lors, la théorie de l'inflation implique l'existence d'un nombre infini d'«univers-bulles».

Ces univers-bulles ne sont pas causalement reliés entre eux, de sorte qu'aucune information ne parviendra jamais à notre Univers en provenance d'un autre. Et c'est là que commence la controverse. Il est impossible d'observer ces autres univers ou de réaliser des expériences démontrant leur existence. Ils pourraient tout aussi bien ne pas exister du tout. Certains, tel Paul Steinhardt, de l'université de Princeton, pensent que l'idée de multivers ne relève plus de la méthode scientifique, mais à la rigueur de la philosophie. Pour autant, certaines considérations statistiques ou probabilistes fondées sur des observations de notre Univers pourraient mettre en lumière des indices de l'existence du multivers.

Mon collègue Fergus Simpson, de l'Institut des sciences du cosmos de l'université de Barcelone, l'explique par l'exemple suivant. Imaginez une table à l'extrême bord de laquelle repose un grain de café. Quelle est l'explication la plus probable de sa présence à cet endroit ? Que quelqu'un en ait décidé ainsi et l'y ait placé avec beaucoup de soin ? Il semble plus économe et naturel d'imaginer qu'une grande quantité de grains ont été renversés et que les autres se trouvent par terre.

Ce type d'argument statistique s'appelle l'inférence bayésienne. Elle s'oppose à la démarche fondée sur l'étude des fréquences d'occurrence, qui consiste à définir les probabilités à partir du nombre de fois où une caractéristique donnée est observée dans un échantillon très grand. Avec l'inférence bayésienne, les chercheurs sont en mesure de tirer des conclusions à partir d'un nombre restreint de données, voire d'une seule. Dans la suite, nous verrons que par certains côtés, l'Univers observable se trouve dans une situation très similaire à notre grain de café.

COMBIEN DE TANKS ?

Un exemple historique illustre de façon fascinante les avantages de cette méthode de raisonnement. C'est le célèbre problème des tanks allemands. Vers la fin de la Seconde Guerre mondiale, les Alliés avaient besoin de savoir à quel rythme les nazis étaient en mesure de produire leurs tanks Panzer. D'après les services de renseignement, le chiffre devait tourner autour de 1 400 par mois : une quantité très élevée qui avait des implications inquiétantes pour les Alliés. Les mathématiciens décidèrent quant à eux d'estimer la production à partir des numéros de série des tanks détruits ou capturés. Ces numéros étaient tous peu élevés et leur distribution conduisit les mathématiciens à conclure que les

L'ORIGINE DES SURSAUTS GAMMA

Ces signaux correspondent à des bouffées de photons gamma relativement brefs, ayant une durée maximale de quelques minutes. Leur détection isotrope sur la voûte céleste suggère une origine extragalactique.



Les astrophysiciens distinguent deux types de sursauts gamma en fonction de la durée du signal. Les événements de moins de 2 secondes sont nommés sursauts courts. Ils sont produits lors de la fusion de deux étoiles à neutrons ou de la coalescence d'une étoile à neutrons avec un trou noir. Les sursauts gamma longs, de plus de 2 secondes, représentent environ 70 % des sursauts gamma. Ils seraient le résultat de l'explosion d'étoiles supermassives telles que les étoiles de Wolf-Rayet (ci-contre WR124 cachée au cœur d'une nébuleuse de gaz) en supernovæ très puissantes nommées hypernovæ ou collapsars, où le cœur de l'étoile s'effondre d'abord sur lui-même en un trou noir sans expulser les couches externes de l'étoile. Une partie de la matière restante de l'étoile forme alors deux jets relativistes partant depuis les pôles du trou noir. En percutant les couches externes de l'étoile, les jets créent une onde de choc qui se propage vers la surface de l'étoile à une vitesse proche de celle de la lumière. L'onde émerge sous la forme d'un intense rayonnement, le sursaut gamma.

Allemands produisaient plus probablement dans les 200 tanks par mois. La guerre terminée, les archives révélèrent qu'en effet, la production avoisinait les 270 tanks mensuels.

Dans le même ordre d'idées, vous pouvez vous-même jouer aux inférences bayésiennes en prenant l'autobus. Imaginez que vous soyez dans une ville inconnue et que le bus dans lequel vous montez porte le numéro de ligne 27. Combien y a-t-il de lignes dans cette ville ? Il paraît peu probable qu'il y en ait des milliers : un bus pris au hasard aurait alors plus de chances d'avoir un numéro à trois ou quatre chiffres. Si votre autobus appartient à la ligne 27, il paraît raisonnable d'en déduire l'existence d'une centaine de lignes, peut-être 200, mais pas beaucoup plus.

Il est important de souligner que ces raisonnements ne nous contraignent pas à échantillonner toute la population de tanks ou de bus. En fait, il suffit d'une seule information pour estimer certaines propriétés de la population entière. Nous procédons de la même façon pour déterminer certaines propriétés du multivers. Il est exact que, par définition, nous n'avons pas accès aux autres univers et que nous ne

pouvons pas y faire d'expériences. Mais, fort heureusement, nous disposons du nôtre, dont nous pouvons mesurer les propriétés (son «numéro de série» en quelque sorte). L'une de ces propriétés est intimement liée aux sursauts gamma et à leurs effets dévastateurs sur la vie.

Par une froide journée de février 2014, à Berne, mon collègue Tsvi Piran, de l'université hébraïque de Jérusalem, et moi prenions un verre au café *Einstein*. Nous nous sommes demandé si les sursauts gamma étaient assez fréquents pour porter atteinte à la vie sur Terre. Peu de temps auparavant, nous avions achevé un travail démontrant que ces catastrophes cosmiques se produisent de préférence au sein de galaxies beaucoup plus petites que la Voie lactée et dont la métallicité est beaucoup plus basse (pour les astrophysiciens, les «métaux» sont tous les éléments du tableau périodique plus lourds que l'hydrogène et l'hélium). Dès lors, le fait de vivre dans une galaxie géante contenant beaucoup d'éléments «lourds» nous avait-il mis à l'abri des radiations fatales émises par les sursauts gamma?

MORTELLES EXPLOSIONS

Mais de quoi s'agit-il exactement? Les sursauts gamma ont été découverts à l'époque de la Guerre froide. Dans les années 1960, pour espionner les essais nucléaires soviétiques, les États-Unis lancèrent un satellite capable de déceler les rayons gamma que de telles pratiques ne manqueraient pas d'engendrer. Rapidement, les scientifiques notèrent un grand nombre de flashes gamma provenant de différentes parties du ciel, et non du sol. Ils conclurent rapidement que ces explosions n'étaient pas d'origine soviétique, mais astronomique. Quant à ce qui les produisait, le mystère est resté entier pendant des décennies. On sait aujourd'hui que les sursauts gamma sont d'origine extragalactique. On pense qu'ils résultent de l'explosion en supernova de certaines étoiles très massives (d'au moins 20 à 30 masses solaires) ou de collisions entre étoiles à neutrons (voir l'encadré page ci-contre). Ce qui est indiscutable, c'est qu'ils comptent parmi les phénomènes les plus violents de l'Univers: en quelques secondes, un seul sursaut gamma libère autant d'énergie que le Soleil durant toute sa vie.

Ces sursauts prennent la forme de jets directionnels (voir la figure page 40) et le danger viendrait lorsqu'une planète se trouve dans l'axe de ces jets. Si la Terre était frappée par un tel jet émis lors d'une explosion, à quelques milliers d'années-lumière au sein de la Voie lactée, la première conséquence en serait la destruction de la couche d'ozone (O_3). En effet, les rayons gamma ioniseraient les molécules de diazote (N_2), lesquelles se combineraient aux atomes d'oxygène de l'ozone pour donner des oxydes nitriques et nitreux. Le phénomène ne prendrait que quelques jours. Sans

la protection de la couche d'ozone, la surface de la Terre serait exposée au rayonnement ultraviolet du Soleil, si nocif pour les protéines en général et pour l'ADN en particulier. Toute forme de vie reposant sur la photosynthèse se verrait atteinte, du plancton aux plantes terrestres, ce qui ferait s'effondrer la chaîne alimentaire à l'échelle mondiale et provoquerait une extinction massive des espèces vivantes.

Reste à déterminer la probabilité qu'une telle catastrophe se produise. Tsvi Piran, David Wanderman, de l'université hébraïque de Jérusalem, et moi avons calculé la fréquence des sursauts gamma dans l'Univers. Nous avons alors estimé la probabilité que l'un d'eux se produise près de la Terre. Ce calcul exige de recourir aux inférences bayésiennes, puisque nous ne pouvons pas répéter l'expérience: nous ne faisons qu'observer le cosmos.

À notre grande surprise, le résultat suggérerait que sur 500 millions d'années, la probabilité qu'un sursaut gamma détruise entièrement la couche d'ozone de la Terre est d'environ 50%. Cet ordre de grandeur est très intéressant, car il signifie que les sursauts gamma pourraient expliquer certaines extinctions massives passées. Notez qu'à partir d'ici, nous considérerons en priorité les organismes pluricellulaires complexes. Bien que la vie microbienne existe sur Terre depuis environ 4 milliards d'années, la vie complexe, elle, n'est présente que depuis environ 1 milliard d'années. Selon notre calcul, au

En quelques secondes,
un sursaut gamma libère
autant d'énergie que le
Soleil durant toute sa vie

cours de cette période, il est très probable qu'un sursaut gamma se soit produit assez près de la planète pour affecter sa biosphère, mais guère plus d'un. D'ailleurs, certains chercheurs ont suggéré que l'extinction de l'Ordovicien, la première des cinq grandes extinctions de l'histoire de la Terre, soit due à un sursaut gamma survenu il y a 450 millions d'années. Si ce scénario est assez exotique et si d'autres explications sont possibles, nos résultats ne le contredisent pas.

Un autre détail est ici important. La Terre se trouve dans une région particulière, pour ➤