

UN ÉVÉNEMENT ASTROPHYSIQUE VIOLENT

La solution au paradoxe de Fermi vient peut-être d'un type d'explosions stellaires : les sursauts gamma. Plusieurs travaux récents suggèrent que, à cause de leurs effets dévastateurs, la vie complexe est peut-être beaucoup moins fréquente dans l'Univers qu'on ne le pensait. Le danger que les sursauts gamma représentent dépend également de la position de la planète abritant la vie au sein de la galaxie.



Sursaut gamma

DES EXPLOSIONS MORTELLES

Les sursauts gamma comptent parmi les phénomènes les plus violents de l'Univers : en quelques secondes, ils peuvent libérer autant d'énergie que le Soleil durant toute son existence. Ils se produisent essentiellement lors de l'explosion en supernova d'étoiles très massives. Leurs effets sont destructeurs sur des distances de plusieurs milliers d'années-lumière.

MENACE SUR LA VIE COMPLEXE

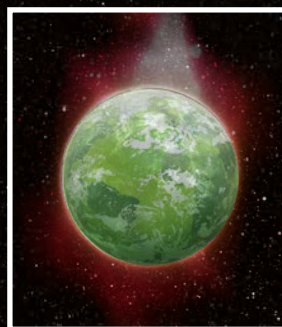
Si le rayonnement d'un sursaut gamma proche atteignait une planète comparable à la Terre, la couche d'ozone serait détruite en quelques jours. Les organismes seraient alors soumis au rayonnement ultraviolet de leur étoile, ce qui affecterait les formes de vie dépendant de la photosynthèse.

Sans sursaut gamma



Couche d'ozone

Avec sursaut gamma



Galaxie géante

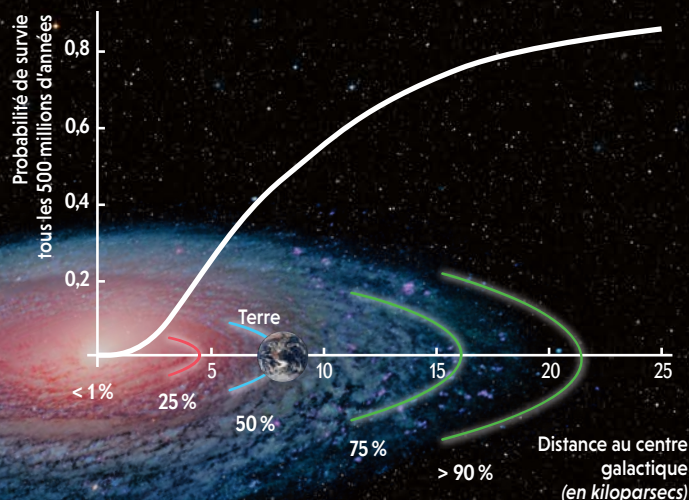
Galaxie naine

LA RÉPARTITION DES SURSAUTS GAMMA

Les sursauts gamma se produisent plus fréquemment dans les galaxies de petite taille (les galaxies naines, *ci-contre*) où la production d'éléments lourds est faible. Dans les grandes galaxies comme la Voie lactée, on les trouve surtout vers le centre (*en rouge, à gauche*). Les régions plus périphériques (*en bleu*) sont relativement à l'abri, mais on y trouve également moins de planètes.

PROBABILITÉ DE SURVIE

Au sein d'une galaxie comparable à la Voie lactée, la probabilité de survie de la vie complexe sur une planète dépend de sa distance au centre galactique. Pour un monde comme la Terre situé à bonne distance, la probabilité qu'un sursaut gamma détruise la couche d'ozone est d'environ 50 % tous les 500 millions d'années. La survenue d'un sursaut gamma est l'une des explications possibles de l'extinction massive de l'Ordovicien, qui s'est produite il y a 450 millions d'années.

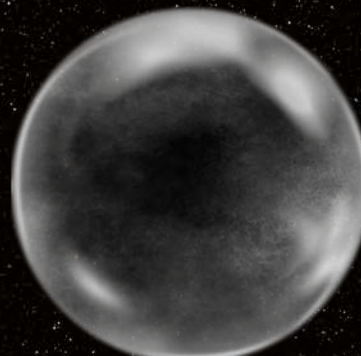


UN UNIVERS TRÈS IMPROBABLE

Les simulations numériques montrent que la formation de grandes galaxies disposant de zones habitables à l'abri des sursauts gamma dépend fortement d'un paramètre fondamental : la constante cosmologique, souvent notée Λ . Depuis 1998, on sait que ce paramètre est très petit, mais non nul, et que son effet équivaut à une sorte de « gravité répulsive » qui tend à contrer l'agrégation de la matière en galaxies. La constante cosmologique n'admet ainsi qu'une petite fenêtre de valeurs compatibles avec l'existence de la vie complexe.

CONSTANTE COSMOLOGIQUE TROP ÉLEVÉE

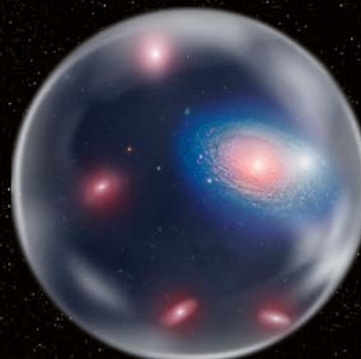
Dans les années 1980, Steven Weinberg, de l'université du Texas à Austin, a remarqué que si la constante cosmologique était trop élevée, ses effets répulsifs sur la matière auraient empêché la formation des galaxies. Un tel univers serait dépourvu de planètes et par conséquent de vie.



Univers sans galaxies

CONSTANTE COSMOLOGIQUE COMPATIBLE AVEC LA VIE

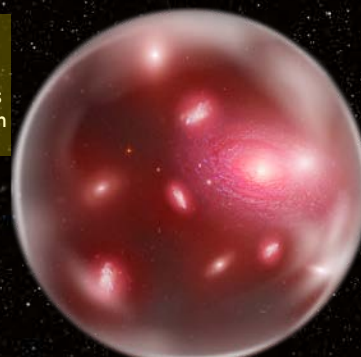
La valeur observée de la constante cosmologique autorise la formation de galaxies comparables à la Voie lactée : de grandes structures entourées d'un faible nombre de galaxies naines satellites et comportant des régions sûres où les sursauts gamma sont rares.



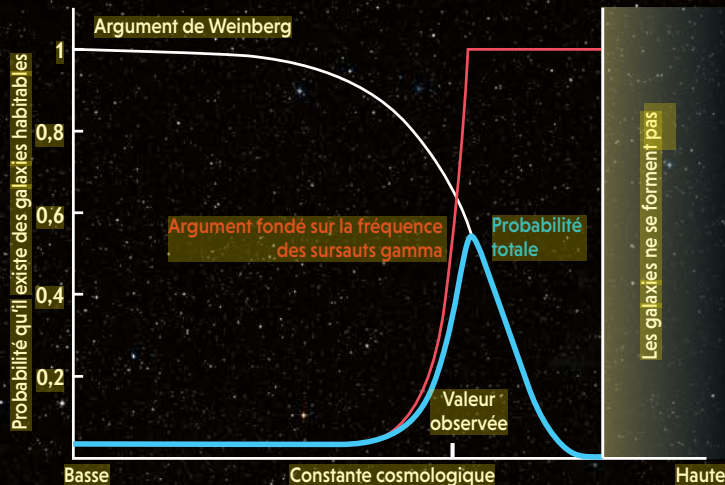
Univers dont les galaxies sont isolées

CONSTANTE COSMOLOGIQUE TRÈS FAIBLE

Dans un univers où la constante cosmologique serait encore plus faible, les galaxies et les planètes seraient encore plus nombreuses. Toutefois, les grandes galaxies comme la Voie lactée seraient entourées d'un essaim de galaxies naines. Les sursauts gamma, fréquents dans ces dernières, stériliseraient les régions périphériques de la grande galaxie, ne laissant aucune région propice au développement de la vie complexe.



Univers contenant trop de galaxies



UN PETIT NOMBRE D'UNIVERS HABITABLES

Les arguments précédents permettent de calculer la probabilité (en bleu) qu'un univers abrite une vie intelligente en fonction de la valeur de la constante cosmologique. Seules des valeurs comprises dans un étroit intervalle semblent compatibles avec l'existence d'une vie complexe.

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