

> d'une erreur de «raisonnement monoculturel». En d'autres termes, il est impossible de spéculer avec la moindre certitude sur le comportement d'une espèce entière comme si tous ses représentants avaient une unique façon de penser. Nous autres humains en sommes loin ! Et même si la grande majorité des civilisations spatiales putatives de la Voie lactée ne se lancent pas dans une diaspora galactique, il suffirait d'une seule culture plus aventureuse que les autres pour semer des signes de vie et de technologie à travers des centaines de milliards de systèmes stellaires.

DES EXPLICATIONS EN GÉNÉRAL TRÈS DIFFICILES À TESTER

En fait, l'histoire du paradoxe de Fermi est jalonnée de débats divers et variés sur ces hypothèses fondamentales, ainsi que d'une grande variété de «solutions» proposées. En général, ces explications sont très difficiles à tester. Bien que certaines fassent intervenir des idées assez simples, d'autres sont de la pure science-fiction.

Par exemple, il se pourrait que le coût en ressources pour être capable de traverser rapidement l'espace interstellaire soit trop élevé, même pour une espèce technologiquement très avancée. Cela limiterait drastiquement le nombre d'explorateurs et expliquerait la constatation A de Hart. Ou peut-être l'accroissement de la population n'est pas, comme l'ont supposé de nombreux chercheurs, une motivation forte pour voyager vers d'autres étoiles, en particulier pour une espèce qui développerait un mode de vie vraiment durable dans son système d'origine. Une révolution verte ultime éliminerait-elle toute tentation d'aller voyager ailleurs si ce n'est pour l'exploration scientifique ?

Certaines conceptions jouent sur une note plus sombre, comme la notion de «grand filtre», c'est-à-dire l'idée qu'il y a toujours quelque chose qui limite une espèce : une évolution qui conduit invariablement toute vie technologique à sa propre extinction (guerre, pollution, épuisement des ressources, etc.). Peut-être que des cataclysmes naturels, depuis les explosions de supernovæ jusqu'à des soubresauts énergétiques du trou noir central de la Voie lactée, éliminent régulièrement la vie dans la Galaxie et l'empêchent ainsi de se diffuser.

Il existe des propositions encore plus extrêmes, comme l'hypothèse du zoo. D'après ce scénario, nous sommes maintenus délibérément isolés par des puissances extraterrestres. Il y a également ce que j'aime appeler le scénario de la paranoïa : d'autres civilisations existent, mais elles se cachent et refusent de communiquer par peur de dévoiler leur position à une autre espèce potentiellement belliqueuse.

Mais peut-être existe-t-il des explications plus simples à notre ignorance actuelle

concernant les extraterrestres. Ces réponses pourraient partager des caractéristiques avec l'exemple que nous avons juste sous le nez : l'occupation humaine des îles du sud du Pacifique, variable dans le temps et dans l'espace. Tant dans le cas terrestre que dans le cas extraterrestre, des facteurs essentiels et universels sont en jeu, comme la rareté des endroits propices ou le temps dont a besoin une population pour se préparer à pousser un peu plus loin l'exploration de l'immensité.

En 2015, Adam Frank, de l'université de Rochester, et moi déjeunions près du campus de l'université Columbia, à New York. Comme lors du repas de Fermi soixante-cinq ans plus tôt, la conversation tournait autour de la nature des espèces qui explorent l'espace. Et, sans doute inspirés par le calcul mental de Fermi, nous avons essayé de concevoir une stratégie d'investigation qui ferait le moins possible d'hypothèses non corroborées et que l'on pourrait tester ou contraindre à l'aide de données réelles. Au cœur de cet exercice, il y avait l'idée simple que, comme avec l'occupation transitoire de l'île de Pitcairn, l'exploration ou la colonisation de la Galaxie se ferait par vagues, avec des flux et des reflux. Et que l'humanité

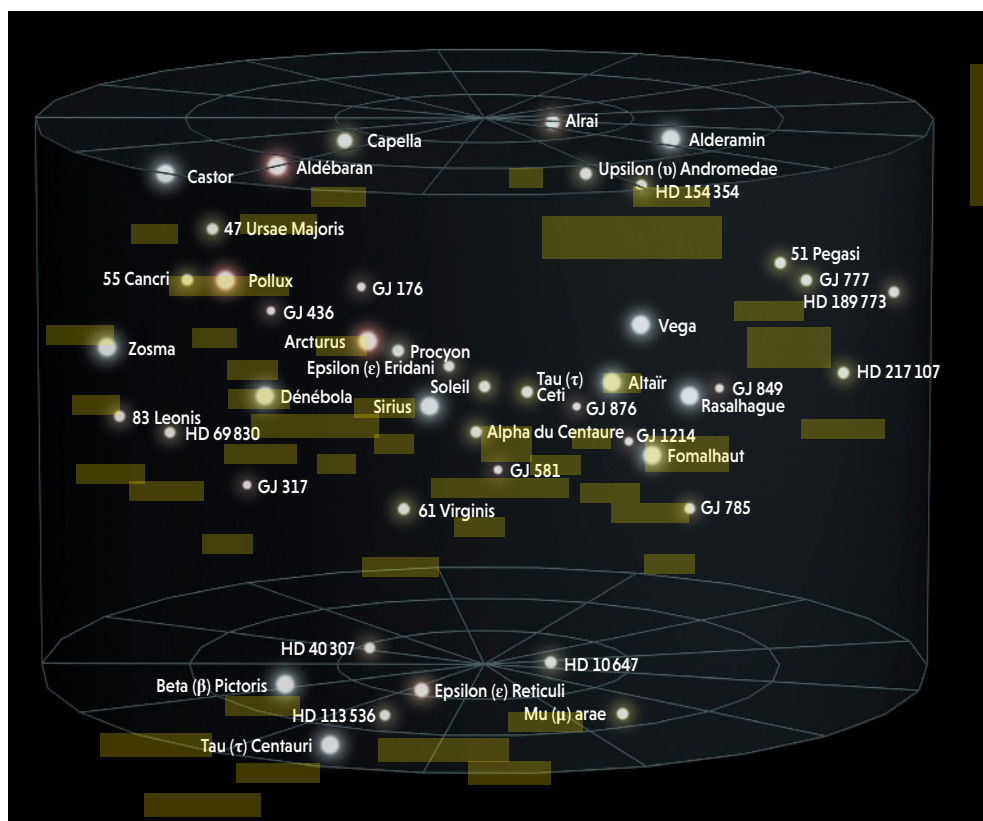


Beaucoup de solutions au paradoxe de Fermi ont été proposées



aurait émergé lors d'une période où notre région de la Voie lactée subissait un reflux.

Cette idée est en accord avec la constatation A de Michael Hart : il n'y a pas de preuve aujourd'hui sur Terre de la présence d'explorateurs extraterrestres. Mais elle offre la possibilité d'aller plus loin et d'estimer la durée pendant laquelle la Terre n'aurait pas connu de visites. Peut-être des extraterrestres sont-ils passés ici il y a très longtemps. Un certain nombre de scientifiques ont discuté, au fil des ans, la possibilité de chercher des artefacts dans le Système solaire que ces visiteurs auraient laissés derrière eux. Il est un peu difficile de prédire l'envergure que devrait avoir une recherche complète, mais une recherche sur Terre est davantage à notre portée. En 2018, Gavin Schmidt, de l'institut Goddard de science spatiale de la Nasa, et Adam Frank ont évalué nos capacités à déterminer si la Terre a



Carte tridimensionnelle du Soleil (au centre) et des étoiles les plus proches. Comme les astres se déplacent les uns par rapport aux autres, les distances varient au cours du temps.

connu une civilisation industrielle venue d'ailleurs.

Gavin Schmidt et Adam Frank ont d'abord constaté (comme la plupart des planétologues) que le simple passage du temps efface très facilement presque toute trace de vie technologique sur la Terre. Les seules preuves qui resteraient après un million d'années ou plus se réduiraient à des anomalies stratigraphiques isotopiques ou chimiques: présence de molécules de synthèse, de plastiques ou de déchets radioactifs à longue durée de vie. Les restes fossiles et autres marqueurs paléontologiques sont tellement rares et dépendent de conditions de formation si particulières qu'ils seraient inexploitablement.

PAS D'INDICES ARCHÉOLOGIQUES

Par ailleurs, les sites humains modernes ne couvrent qu'environ 1% de la surface de la planète. S'il en était de même pour les civilisations passées, les chances de découverte pour les paléontologues seraient limitées. Et personne n'est en mesure de réaliser des fouilles exhaustives sur Terre pour trouver des signatures non naturelles. Concrètement, cela signifie que si une civilisation industrielle à l'échelle de la nôtre a existé il y a quelques millions d'années, nous pourrions très bien ne pas le savoir. Cela ne veut absolument pas dire qu'il en a existé une; cela indique simplement qu'en toute rigueur, on ne peut pas exclure cette possibilité.

Ces dernières années, avec Jonathan Carroll-Nellenback, de l'université de Rochester, et Jason Wright, de l'université d'État de Pennsylvanie, nous nous sommes intéressés aux implications de ces idées (un peuplement par vagues, des traces du passé qui s'effacent), à l'échelle de la Galaxie. Pour ce faire, nous avons développé des simulations à base d'agents (où l'on étudie un comportement global à partir d'entités individuelles qui suivent des règles simples et évoluent de façon indépendante), complétée par les bonnes vieilles mathématiques à base de papier et crayon. Nous avons alors brossé un tableau plus réaliste de la façon dont des espèces se déplaceraient au sein d'une galaxie elle-même mouvante.

Si vous regardez les étoiles situées dans un rayon de quelques centaines d'années-lumière du Soleil, vous vous apercevrez qu'elles se déplacent comme les particules d'un gaz. Par rapport à n'importe quel point fixe de cette portion d'espace, une étoile peut se déplacer vite ou lentement, et ce dans une direction en pratique aléatoire. Si vous considérez des régions de quelques milliers d'années-lumière de diamètre, vous commencerez à observer un mouvement d'ensemble de rotation autour du centre de la Galaxie (qui amène, par exemple, le Soleil à faire le tour de la Voie lactée avec une période de 230 millions d'années environ). Les étoiles plus proches du centre galactique effectuent une révolution plus rapidement, et >