

barré l'accès à la Terre : les civilisations s'autodétruisent-elles trop rapidement pour coloniser l'espace ? Ne sont-elles pas intéressées par la colonisation ? Ont-elles décidé de ne pas perturber le développement des autres formes de vie ?

Parmi les chercheurs qui participent au projet SETI, beaucoup sont convaincus que les civilisations extraterrestres sont très répandues, mais évacuent le paradoxe de Fermi en avançant sans examen ces considérations sociologiques.

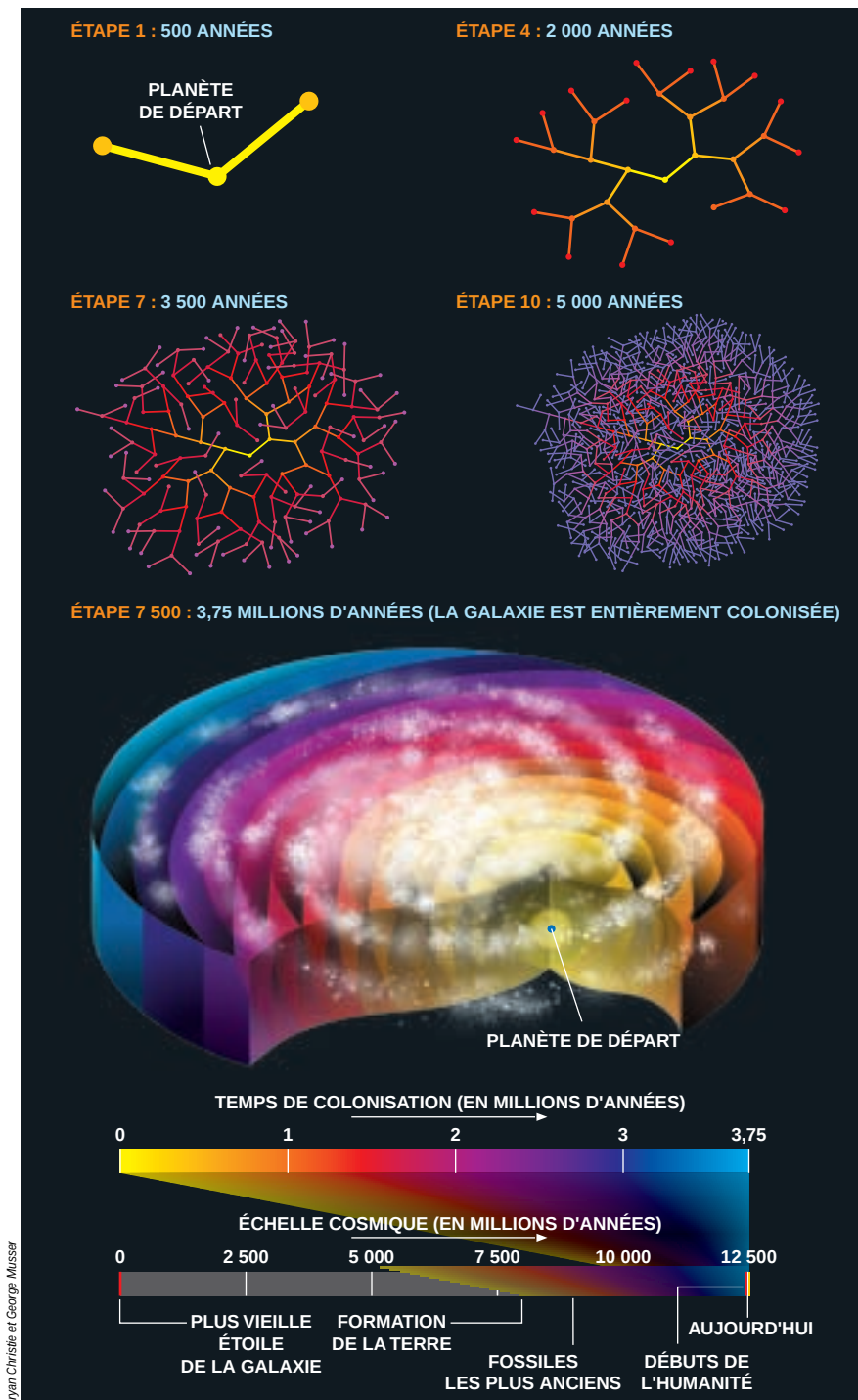
Toutefois, ces tentatives d'explication ne résistent pas lorsque le nombre de civilisations extraterrestres est élevé. Si la Galaxie a abrité des millions ou des milliards de civilisations techniques, il est très peu probable que toutes, sans exception, se soient autodétruites, que toutes se soient contentées d'une existence sédentaire, ou que toutes aient eu le même respect des formes de vie moins développées. Une seule civilisation avancée qui en aurait eu la volonté ou le besoin aurait colonisé la Galaxie. De surcroît, la seule civilisation technique que nous connaissions, la nôtre, ne s'est pas encore autodétruite ; ses tendances expansionnistes sont fortes, et elle ne cherche pas à éviter les contacts avec d'autres créatures vivantes.

Pour plusieurs raisons, je pense qu'un programme de colonisation interstellaire est assez probable. D'abord, une aptitude à la colonisation chez une espèce lui conférerait un avantage évolutif transmissible aux cultures de l'ère spatiale. De surcroît, les motivations de colonisation spatiale sont nombreuses : elles sont d'ordre politique, religieux ou scientifique. L'intérêt scientifique est puissant, car la première civilisation évoluée serait, par définition, seule dans la Galaxie. Toutes ses recherches d'intelligences extraterrestres étant infructueuses, elle serait tentée de lancer un programme d'exploration interstellaire pour en comprendre la raison.

La solution du paradoxe ?

Même si la plupart des civilisations extraterrestres étaient paisibles, sédentaires et peu curieuses, elles finiraient toutes par avoir une raison capitale d'explorer l'espace : leur survie finirait par être menacée par l'étoile de leur système planétaire. En effet, aucune étoile n'est éternelle. Dans l'histoire de la Galaxie, des centaines de millions d'étoiles de type solaire ont épuisé leur combustible, l'hydrogène, et achevé leur existence sous forme de géantes rouges ou de naines blanches. Si les civilisations étaient nombreuses autour de telles étoiles, où sont-elles parties ? Se sont-elles tout simplement laissées mourir ?

La rareté apparente des civilisations techniques appelle une explication, que l'enrichissement chimique de la Galaxie pourrait fournir. Toutes



2. LA COLONISATION DE LA GALAXIE est une entreprise colossale, mais rapide, à l'échelle de l'Univers. L'humanité pourrait d'abord envoyer des colons vers deux étoiles proches ; le voyage durerait une centaine d'années avec les techniques envisageables aujourd'hui. Après 400 ans d'installation, chaque colonie enverrait deux nouvelles missions de colonisation, et ainsi de suite. En 10 000 ans, nos descendants auraient investi tous les systèmes stellaires dans un rayon de 200 années-lumière autour de la Terre. La colonisation de l'ensemble de la Galaxie ne prendrait que 3,75 millions d'années, une fraction de seconde en termes cosmiques. Si une civilisation extraterrestre avait déjà entrepris un tel programme de colonisation, on devrait trouver ses colonies autour de nous.

les formes de vie terrestre et toute vie extraterrestre imaginable sont composées d'éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium : carbone, azote, oxygène... Ces éléments sont créés par des réactions nucléaires au sein des étoiles, et ils s'accumulent progressivement dans le milieu interstellaire ; ensuite, ils s'intègrent aux nouvelles étoiles et aux planètes. Au début de l'histoire de la Galaxie, ces éléments étaient moins abondants qu'aujourd'hui, et leur rareté a peut-être prévenu l'apparition de la vie. Par rapport aux autres étoiles de notre région de la Galaxie, le Soleil contient beaucoup de ces éléments pour son âge. Est-ce par hasard que le Système solaire a une longueur d'avance du point de vue biologique ?

En outre, l'argument précédent n'est pas parfaitement convaincant. Les exobiologistes ne connaissent pas les quantités minimales d'éléments lourds à partir desquelles la vie peut se développer. Si des concentrations à peine supérieures au dixième des valeurs solaires suffisent, ce qui est plausible, alors la vie aurait pu apparaître autour d'étoiles beaucoup plus vieilles que le Soleil. En outre, bien que le Soleil contienne beaucoup d'éléments lourds, il est loin d'être exceptionnel. Ainsi l'étoile 47 de la constellation de la Grande Ourse a autant d'éléments lourds que le Soleil. Assez proche du Système solaire, cette étoile est accompagnée d'une planète d'une masse analogue à celle de Jupiter, et son âge semble d'environ sept milliards d'années. La vie aurait pu apparaître dans son système planétaire deux milliards et demi d'années avant la vie terrestre. Des millions d'étoiles chimiquement riches et d'âge comparable peuplent la Galaxie, en particulier vers son centre. L'évolution chimique de la Galaxie ne résout pas le paradoxe de Fermi.

L'histoire de la vie sur Terre indique une autre explication, qui semble plus plausible. La vie a très vite été présente sur la Terre, mais la vie animale, multicellulaire, n'est apparue qu'il y a 700 millions d'années seulement : pendant plus de trois milliards d'années, les seuls habitants de la Terre étaient des micro-organismes unicellulaires. Ainsi l'évolution d'organismes plus complexes que les unicellulaires est peu probable, et la transition de la vie unicellulaire aux êtres multicellulaires ne s'opère-t-elle peut-être que sur



NASA et Space Telescope Science Institute

3. LES CADAVRES D'ÉTOILES, telle la nébuleuse du Papillon, jonchent la Galaxie. Si des êtres intelligents ont autrefois habité autour de ces étoiles, où sont-ils aujourd'hui ?

une faible proportion des millions de planètes occupées par des organismes unicellulaires.

On peut rétorquer que la longue solitude des bactéries est simplement un passage obligé de l'apparition de la vie animale sur la Terre. Peut-être a-t-il fallu si longtemps (et cela s'applique aux autres planètes habitées), parce que cet intervalle correspond au temps nécessaire pour que la photosynthèse bactérienne produise les quantités d'oxygène atmosphérique indispensables à la complexification de la vie. Même dans le cas où des formes de vie multicellulaire finissent par apparaître sur toutes les planètes porteuses de vie, une évolution vers des créatures intelligentes n'est pas inéluctable, et elle l'est encore moins vers une civilisation technique. Selon le biologiste Stephen Jay Gould, l'évolution de la vie intelligente dépend d'une multitude d'influences environnementales qui sont principalement le fruit du hasard.

L'évolution des dinosaures illustre cette contingence : ces animaux ont dominé la planète pendant 140 millions d'années sans devenir capables de coloniser l'espace. Sans leur extinction, à la suite d'un événement fortuit, l'évolution de la vie sur la Terre aurait été très différente. Le développement de la vie intelligente sur

Terre résulte de nombreux événements aléatoires, dont certains étaient très improbables.

En 1983, à l'Observatoire de Meudon, le physicien Brandon Carter concluait que les civilisations comparables à la nôtre sont vraisemblablement très rares, même si des planètes aussi hospitalières que la Terre sont monnaie courante dans la Galaxie.

Concluons en signalant que tous ces arguments, qui paraissent aujourd'hui très solides, seront peut-être contredits par de nouvelles découvertes. En 1853, le minéralogiste britannique William Whewell observait : «Les discussions qui nous occupent relèvent des frontières de la science, de la limite entre la fin de la connaissance et le début de l'ignorance.» Malgré les progrès réalisés depuis cette époque, nous sommes encore à la limite de l'ignorance, et le seul moyen de résoudre le paradoxe de Fermi est d'explorer notre environnement cosmique avec le plus d'attention possible.

Les programmes d'écoute de signaux extraterrestres doivent se poursuivre jusqu'à ce que nous détections des signaux, ou (c'est l'hypothèse la plus vraisemblable selon moi) jusqu'à ce que nous puissions considérer que le nombre de civilisations capables d'émettre en radio et qui auraient échappé à notre vigilance est inférieur à une limite très restrictive. Nous devons poursuivre l'exploration de Mars, afin de déterminer si la vie est jamais apparue sur cette planète ; si la réponse est négative, nous devons expliquer pourquoi. Nous devons construire des instruments spatiaux capables de détecter des planètes de la taille de la Terre autour d'étoiles proches, et rechercher des signes de vie dans les spectres de leur atmosphère.

Enfin, nous devons construire des sondes capables d'aller étudier les planètes en orbite autour d'étoiles proches.

Il faudra ce lourd programme d'exploration pour que nous parvenions à mieux comprendre notre place dans l'Univers. Si nous ne trouvons aucune trace d'autres civilisations techniques, c'est peut-être l'humanité qui devra se lancer dans l'exploration et la colonisation de la Galaxie.

Ian CRAWFORD est astronome au département de physique et d'astronomie de l'University College à Londres.
