

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.

Les communications galactiques

GEORGE SWENSON

Pour communiquer à travers la Galaxie, des correspondants extraterrestres devraient utiliser des méthodes originales.

Avec ses centaines de milliards d'étoiles, la Voie lactée pourrait abriter des milliers de civilisations développées. Naguère douteuse, cette idée a été renforcée par la découverte de nombreux systèmes planétaires dans la Voie lactée.

Aussi les astronomes s'intéressent-ils aujourd'hui beaucoup aux résultats d'études commencées il y a quatre décennies : quelques équipes scrutent le ciel, espérant détecter des signaux radio qu'une civilisation évoluée aurait envoyés dans l'immensité de la Galaxie. Cette recherche d'intelligence extraterrestre, le programme SETI (en anglais, *Search for ExtraTerrestrial Intelligence*), est une recherche passive des signaux, fondée sur l'utilisation d'antennes paraboliques et de récep-

teurs radio sensibles. S'ils existent, toutefois, ces signaux sont sans doute très affaiblis quand ils nous arrivent.

Dans les études mises en œuvre jusqu'ici, on se contente de chercher des signaux qui auraient été transmis il y a des dizaines d'années ou, plus probablement, des centaines, voire des milliers d'années. Paradoxalement, on s'est peu demandé comment on construirait un dispositif de transmission radio dont les émissions pourraient être détectées à des dizaines ou à des centaines d'années-lumière. Or, l'étude de cette question aiderait la recherche de signaux extraterrestres.

La question n'est pas un exercice futile : pour savoir quels signaux chercher, on doit avoir une idée des installations et des stratégies de transmission qui seraient utilisées par nos correspondants. Les difficultés de transmission de signaux sur des distances aussi grandes sont considérables : avec les limitations stipulées par la physique actuelle, une civilisation ferait très dif-

ficilement connaître sa présence à une autre civilisation dont elle ignorerait la position dans la Galaxie.

Cette analyse expliquerait l'un des paradoxes des programmes de recherche d'intelligence extraterrestre : même si la Galaxie abrite des milliers de civilisations évoluées, nous aurions de grandes difficultés à les entendre.

Comment passer au-dessus du bruit ?

Avant de concevoir un émetteur qui enverra des signaux dans la Galaxie, on doit choisir la gamme des ondes électromagnétiques qui transporteront les signaux. Nous n'examinerons ici que le cas des ondes radio : elles traversent bien mieux l'espace interstellaire que d'autres rayonnements électromagnétiques, telle la lumière visible, qui est diffusée et absorbée par les poussières interstellaires.

La gamme des ondes radio est large, mais les astronomes pensent

1. UN OPÉRATEUR RADIO EXTRATERRESTRE (page de droite) ne pourrait nous envoyer un message perceptible que s'il commandait un réseau d'antennes paraboliques de très grande surface efficace.



La propagation des ondes radio dans l'espace correspond à des variations périodiques du champ électrique et magnétique. Ces variations se propagent ensemble à la vitesse de la lumière, soit 300 000 kilomètres par seconde. La distance maximale à laquelle une onde radio est détectée dépend de cinq facteurs principaux : l'environnement électromagnétique du récepteur, la sensibilité du récepteur, la puissance du signal émis, et la taille des antennes d'émission et de réception. Examinons successivement ces facteurs.

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu émet des rayonnements (du bruit) à toutes les fréquences. La fréquence pour laquelle l'intensité de ce rayonnement est maximale dépend de sa température absolue. Par commodité, les physiciens caractérisent parfois le bruit par la température d'un «corps noir» fictif qui serait la source de bruit, par exemple dans un système de communication.

Dans l'amplificateur d'un récepteur radio, le bruit provient de deux sources : une composante externe est due à l'antenne et à l'environnement, et une composante interne est engendrée par les circuits électroniques d'amplification. Aujourd'hui, on sait fabriquer des récepteurs dont le bruit interne est de l'ordre de quelques kelvins seulement. En revanche, on ne maîtrise généralement pas le bruit qui provient de l'environnement externe. C'est donc lui qui limite les performances d'un système de réception de haute qualité, tels ceux que l'on utilise en astronomie.