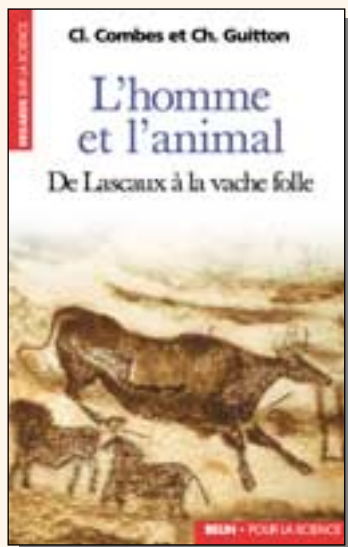




L'homme et l'animal

**Claude Combes,
Christophe Guittion**

«160 pages brillantes
d'érudition, de profondeur
et d'ouverture d'esprit.»

*Philippe Dorchies,
professeur de parasitologie,
La Dépêche vétérinaire*

...

«Une promenade plaisante,
claire et documentée, guidée
conjointement par un biologiste
et un vétérinaire.»

Eurêka

...

«Un livre riche et divertissant
alliant philosophie et sciences
grand public publié par deux
scientifiques de l'université
de Perpignan.»

Midi Libre

**Code P012 • 95 F
160 pages**

**Voir bon de commande
page 98**

BELIN • POUR LA SCIENCE

Or, c'était exactement la situation peu après le Big Bang, lorsque l'Univers était si récent que la lumière n'avait pas eu le temps de parcourir un trajet suffisant : la théorie de la relativité montre alors que ce trajet reste plusieurs ordres de grandeur inférieur au rayon. Ainsi tous les univers semblent plats lorsqu'ils naissent ; ils continuent de le paraître tant qu'ils n'ont pas atteint leur âge «adulte», c'est-à-dire tant que la portion d'espace explorée n'est pas suffisante pour que l'on détecte une courbure.

Quant aux univers «exactement» plats, ce sont des univers mathématiques dont la courbure, si elle était indécélable à très grande distance, le serait encore à distance supérieure. Si nous vivions dans un tel univers, nous ne pourrions jamais le savoir, car la preuve de platitude imposerait l'exploration de portions d'espace toujours plus grandes, à la recherche d'une courbure qui infirmerait l'hypothèse de départ. La contradiction logique soulevée montre que le concept mathématique d'univers plat est à éliminer du débat cosmologique.

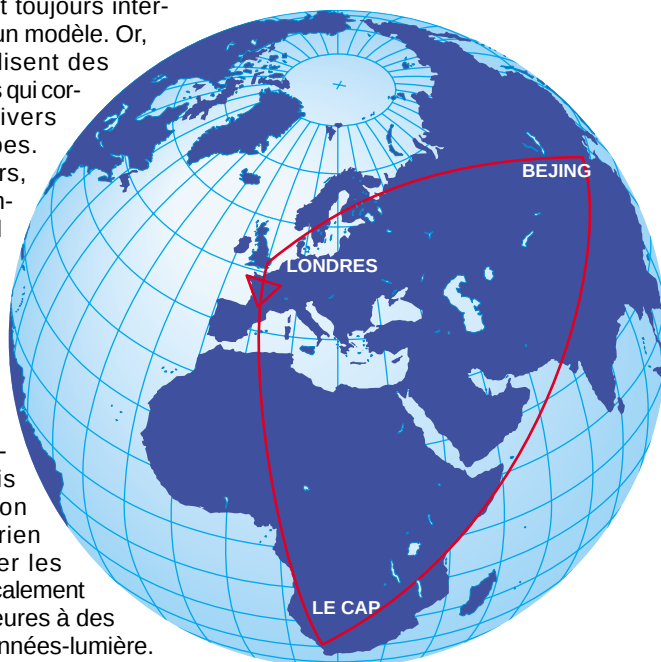
Au final, si les mesures montrent que notre Univers est plat, c'est que sa courbure est difficilement détectable, soit parce que la qualité des mesures est insuffisante, soit parce que le rayon de courbure est trop grand par rapport à la profondeur de l'espace que nous pouvons sonder. À moins que la théorie elle-même ne soit en cause...

En effet, une mesure ne signifie rien en elle-même : elle est toujours interprétée dans le cadre d'un modèle. Or, les cosmologistes utilisent des modèles mathématiques qui correspondent à des univers homogènes et isotropes. Ces univers particuliers, choisis par souci de simplicité, décrivent mal l'Univers où nous vivons : notre Univers n'est pas un gaz homogène de particules (des structures comme les galaxies ou les amas de galaxies ne sont pas en expansion) ; les astronomes n'ont jamais prouvé que l'expansion était isotrope ; enfin, rien n'autorise à extrapoler les paramètres observés localement à des distances supérieures à des dizaines de milliards d'années-lumière.

La contribution de la théorie des univers homogènes et isotropes est certes importante : c'est elle qui a inventé le Big Bang. Toutefois, en se fondant uniquement sur ces modèles, les cosmologistes ne peuvent prétendre rendre compte de manière satisfaisante de la réalité. De surcroît, notre physique reste incapable de traiter le Big Bang lui-même.

Une des graves contradictions qui entachent les modèles d'univers homogène est le problème de l'horizon. À l'origine, au Big Bang, la proportion d'Univers visible (pour chaque observateur potentiel) était infiniment faible. Autrement dit, dans ce type d'univers homogènes construits selon la théorie d'Einstein, les différents points sont «causalement» déconnectés à l'origine. Comment des points qui ne peuvent s'influencer forment-ils un univers homogène, ce qui nécessite que ces points aient uniformisé leurs propriétés physiques ? C'est un problème incompréhensible dans le cadre de la physique actuelle : la cause de l'homogénéité serait antérieure à l'instant où notre physique peut décrire l'Univers, et les débats relatifs au choix des paramètres initiaux ou à l'idée de l'inflation (une phase d'expansion très rapide qui aurait permis l'homogénéité) ne l'évitent pas. Qu'avons-nous découvert depuis la théorie de la relativité générale et le Big Bang ? Rien, hors la confirmation de la justesse globale de la théorie.

Christian MAGNAN, GRAAL, Montpellier



À l'échelle de la France, la Terre semble plate, tandis qu'à plus grande échelle, sa courbure se fait sentir. La distance entre Strasbourg et Montpellier n'est inférieure que de 0,2 pour cent à la distance euclidienne, calculée à partir des distances entre Brest et Strasbourg, Brest et Montpellier, et l'angle Strasbourg-Brest-Montpellier. Pour Londres, Pékin et Le Cap, la distance entre Pékin et Le Cap est inférieure de 18 pour cent à la distance euclidienne.

Biologie ultrarapide

Une réaction enzymatique a été «photographiée» grâce à des impulsions laser ultrabrèves.

Durant la lecture de cet article, de la perception des mots à la compréhension du sens, votre organisme est le siège de millions de réactions enzymatiques : des molécules seront transformées, liées ou dissociées par des protéines. Ces dernières, de la classe des enzymes, accélèrent des réactions chimiques qui seraient normalement très lentes. L'équipe INSERM de Jean-Louis Martin, à l'École polytechnique, a utilisé des «lasers femtosecondes», c'est-à-dire dont les impulsions se mesurent en milliardièmes de milliardièmes de seconde), pour étudier les mécanismes de l'une d'entre elles.

Lors d'une réaction enzymatique, une molécule, nommée substrat, se lie au site actif d'une enzyme. Pendant un bref instant, l'enzyme et le substrat se modifient et adoptent une nouvelle conformation. Puis, le substrat transformé chimiquement par cette interaction est libéré ; l'enzyme retrouve son état initial, la réaction est terminée. Lors de la courte étape intermédiaire, le complexe enzyme-substrat est dans un état dit de transition pendant quelques centaines de femtosecondes (milliardièmes de milliardièmes de seconde) ; le complexe évolue alors selon les vibrations des atomes et la probabilité de réarrangement des électrons. Pour comprendre le fonctionnement d'une enzyme, on doit analyser cet état de transition fugace et déterminer les événements moléculaires de la réaction enzymatique.

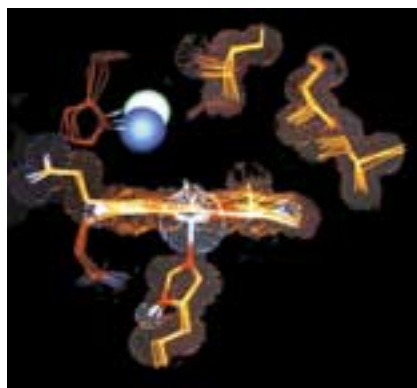
J.-L. Martin et ses collègues ont analysé les états de transition au sein de la

cytochrome oxydase, une enzyme qui, pour évacuer les électrons produits pendant la synthèse cellulaire d'énergie, réduit une molécule d'oxygène en molécule d'eau.

Pour cette étude, les biophysiciens éclairent la molécule d'enzyme par une impulsion d'un laser ultrarapide ; puis ils utilisent les impulsions suivantes du même laser pour effectuer une «spectroscopie» de la molécule. L'analyse spectroscopique détermine la position des différents atomes en examinant les rayons lumineux partiellement absorbés et déviés lorsqu'ils traversent l'enzyme et les molécules liées à celle-ci.

Les molécules diatomiques, tels l'oxygène (O_2), mais aussi le monoxyde de carbone (CO) ou le monoxyde d'azote (NO), que produit l'organisme en petite quantité, se fixent sur le site actif de l'enzyme, soit sur un atome de fer, soit sur un atome de cuivre.

Ainsi l'oxygène moléculaire se fixe à l'atome de cuivre, puis à l'atome de fer avant d'être transformé en eau qui se détache de l'enzyme. Toutefois, les trois réactions sont spontanées : à un instant donné, les enzymes observées dans un milieu réactionnel sont dans des états différents, ce qui rend l'étude spectroscopique impossible.

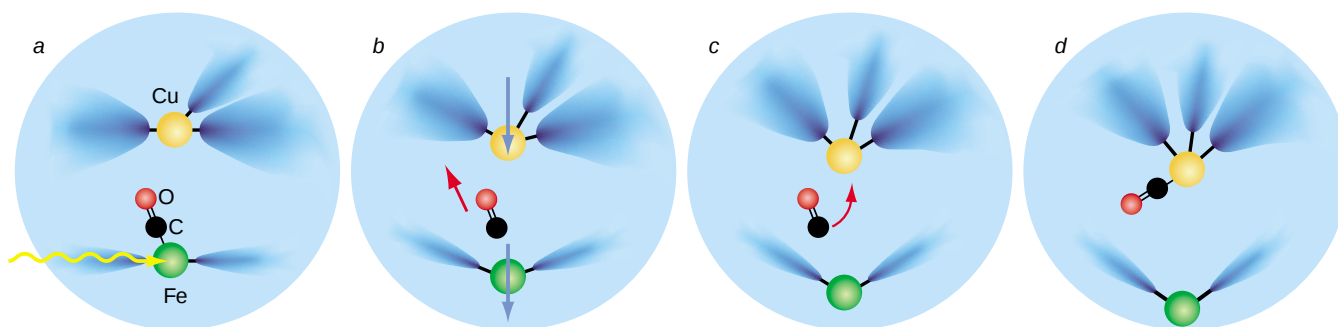


Aussi, les biophysiciens ont utilisé le monoxyde de carbone : celui-ci se fixe à l'atome de fer, mais, à l'inverse de l'oxygène, il ne se détache et ne rejoint l'atome de cuivre que s'il reçoit de l'énergie. Cette énergie est apportée par une impulsion laser qui déclenche la réaction.

Dans l'obscurité, les molécules de monoxyde de carbone sont liées à l'atome de fer. Puis, la première impulsion laser provoque la rupture de cette liaison en moins de 50 femtosecondes. Le monoxyde de carbone est alors éjecté, tandis que la partie du site actif à laquelle il était fixé se déforme. Simultanément, la partie du site actif qui porte l'atome de cuivre rapproche celui-ci du monoxyde de carbone qui subit une translation, suivie d'une rotation, lesquelles le placent dans une position propice à l'établissement d'une liaison avec l'atome de cuivre (voir la figure).

J.-L. Martin et ses collègues ont mesuré que le transfert du monoxyde de carbone s'effectue en 350 femtosecondes avec une probabilité de 85 pour cent à la première tentative : une telle réussite montre que la dissociation créée, au sein de l'enzyme, des mouvements cohérents qui optimisent le déplacement du monoxyde de carbone de l'atome de fer à l'atome de cuivre. En l'absence de ces mouvements internes, le substrat ne se déplacerait que par diffusion dans la cavité du site actif. La vitesse du transfert mesurée dans la cytochrome oxydase est bien supérieure à celle d'une diffusion.

Naguère la théorie était le seul moyen, peu efficace, d'étudier ces états de transition. Grâce aux lasers femtosecondes, les biochimistes photographient les états de transition des réactions enzymatiques qu'ils étudient depuis des années. Ainsi, on conçoit de façon rationnelle des inhibiteurs ou des activateurs spécifiques fondés sur la dynamique de l'enzyme et non plus seulement sur sa structure.



Dans l'enzyme cytochrome oxydase, le site actif (zones foncées du disque clair, lequel représente une partie de l'enzyme) a un atome de cuivre (en orange) et un atome de fer (en vert) capables de fixer un substrat, tel le monoxyde de carbone (en rouge et noir). Lorsque ce dernier est lié à l'atome de fer (a), l'impulsion lumineuse d'un laser femtoseconde libère le monoxyde de carbone. Le changement de conformation de l'enzyme (flèches bleues) rapproche l'atome de

du monoxyde de carbone qui, après une translation (b) et une rotation (c), s'y lie (d). Le monoxyde de carbone sera ensuite libéré. La modélisation (en haut) est formée de la superposition de conformations, espacées dans le temps de 50 femtosecondes, de l'hémoglobine, une protéine dont le site de fixation est semblable à celui de la cytochrome oxydase, après la dissociation du monoxyde de carbone (en sphères pleines).

Où sont-ils?

IAN CRAWFORD

Malgré des années de recherche, aucune intelligence extraterrestre n'a été trouvée. Serions-nous seuls dans la Galaxie ?

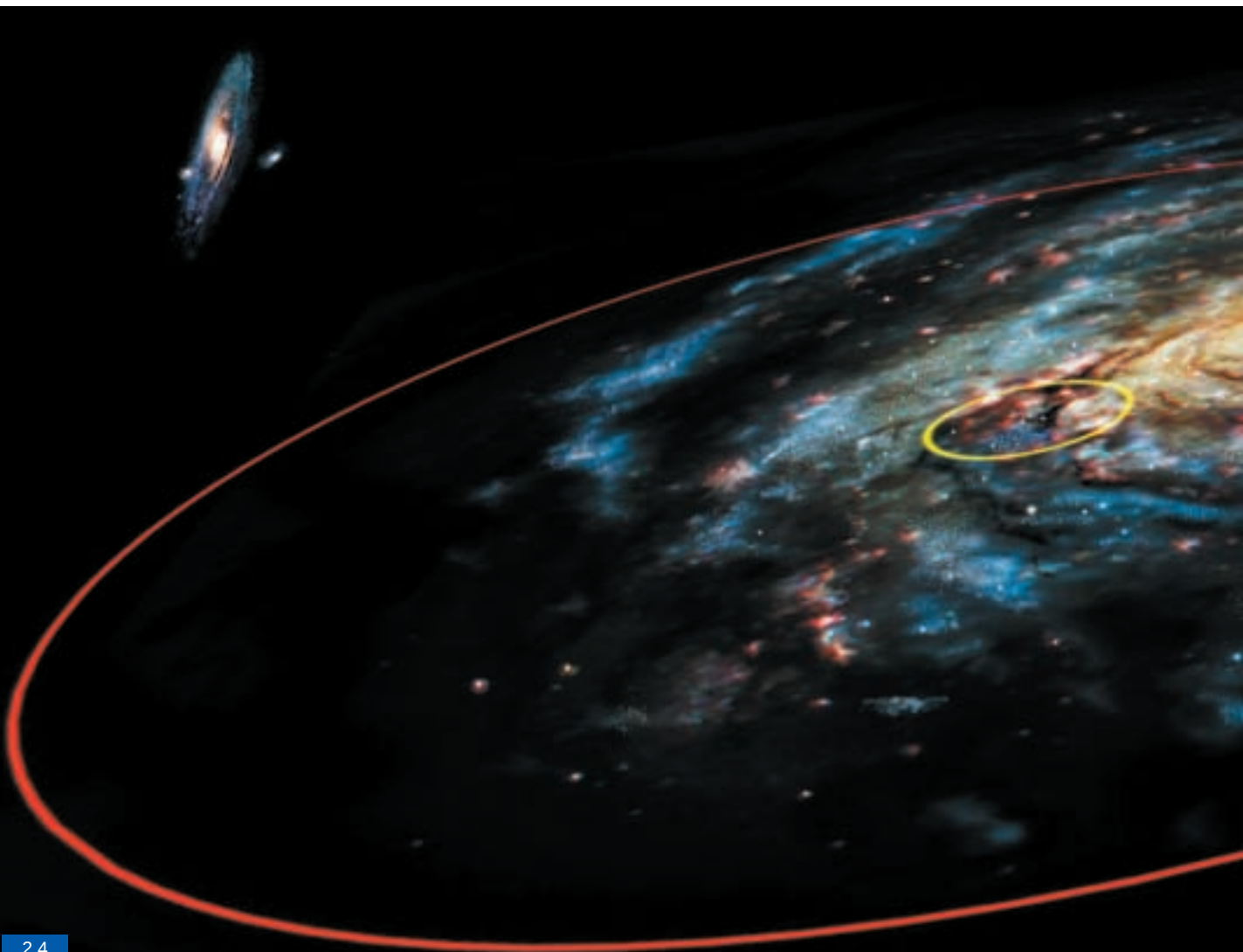
Combien d'autres civilisations l'Univers abrite-t-il? Plusieurs découvertes ont ravivé l'intérêt pour cette question fascinante. En premier lieu, l'existence de planètes hors de notre Système solaire est désormais avérée.

Ces cinq dernières années, les astronomes ont découvert des planètes d'une masse proche de celle de Jupiter autour d'une quarantaine d'étoiles analogues au Soleil. Ils n'ont pas trouvé de planètes de type terrestre – les instruments n'étant pas encore assez sen-

sibles –, mais ces dernières sont vraisemblablement aussi nombreuses que leurs grandes sœurs. Si l'on admet que les planètes sont nécessaires à la genèse et à l'évolution de la vie, ces découvertes confortent l'idée de l'omniprésence de la vie dans l'Univers.

La vitesse incroyable à laquelle la vie s'est établie sur notre planète corrobore également cette idée. En 1993, William Schopf, de l'Université de Los Angeles, a trouvé des bactéries fossilisées dans des roches d'Australie vieilles de 3,5 milliards d'années. Ces

organismes relativement complexes étaient le fruit d'une longue évolution. Ainsi, si la vie est née sur Terre, elle a dû y apparaître il y a environ quatre milliards d'années. Or, la Terre elle-même s'est formée il y a 4,6 milliards d'années : l'apparition rapide de la vie (à l'échelle des temps géologiques) indique que cette première étape est relativement facile à franchir. Selon le biochimiste belge Christian de Duve (prix Nobel de chimie en 1974), l'apparition de la vie est quasi inéluctable partout où les conditions physiques



sont semblables à celles qui prévalaient sur notre planète il y a quatre milliards d'années. Tout porte à croire que notre Galaxie fourmille de créatures vivantes.

Peut-on en déduire un foisonnement de civilisations techniques ? Nombre de biologistes ont ainsi estimé que, dès l'apparition d'une forme de vie primitive, la sélection naturelle conduirait inéluctablement à l'intelligence et à la technique. Inéluctablement ? En 1950, le physicien Enrico Fermi a contesté cette thèse : si les extraterrestres sont si nombreux, où sont-ils donc ? Ne manifesteraient-ils pas leur présence ? Ce «paradoxe de Fermi» est largement débattu depuis un demi-siècle.

Les débats se sont fondés sur deux types d'études. D'une part, on a cherché des intelligences extraterrestres dans le domaine radio : ces programmes SETI (*Search for ExtraTerrestrial Intelligence*, soit «recherche d'intelligence extraterrestre») n'ont jamais détecté d'émissions pouvant provenir d'une autre civilisation.

D'autre part, on a cherché – en vain – des traces de la visite d'extraterrestres sur la Terre.

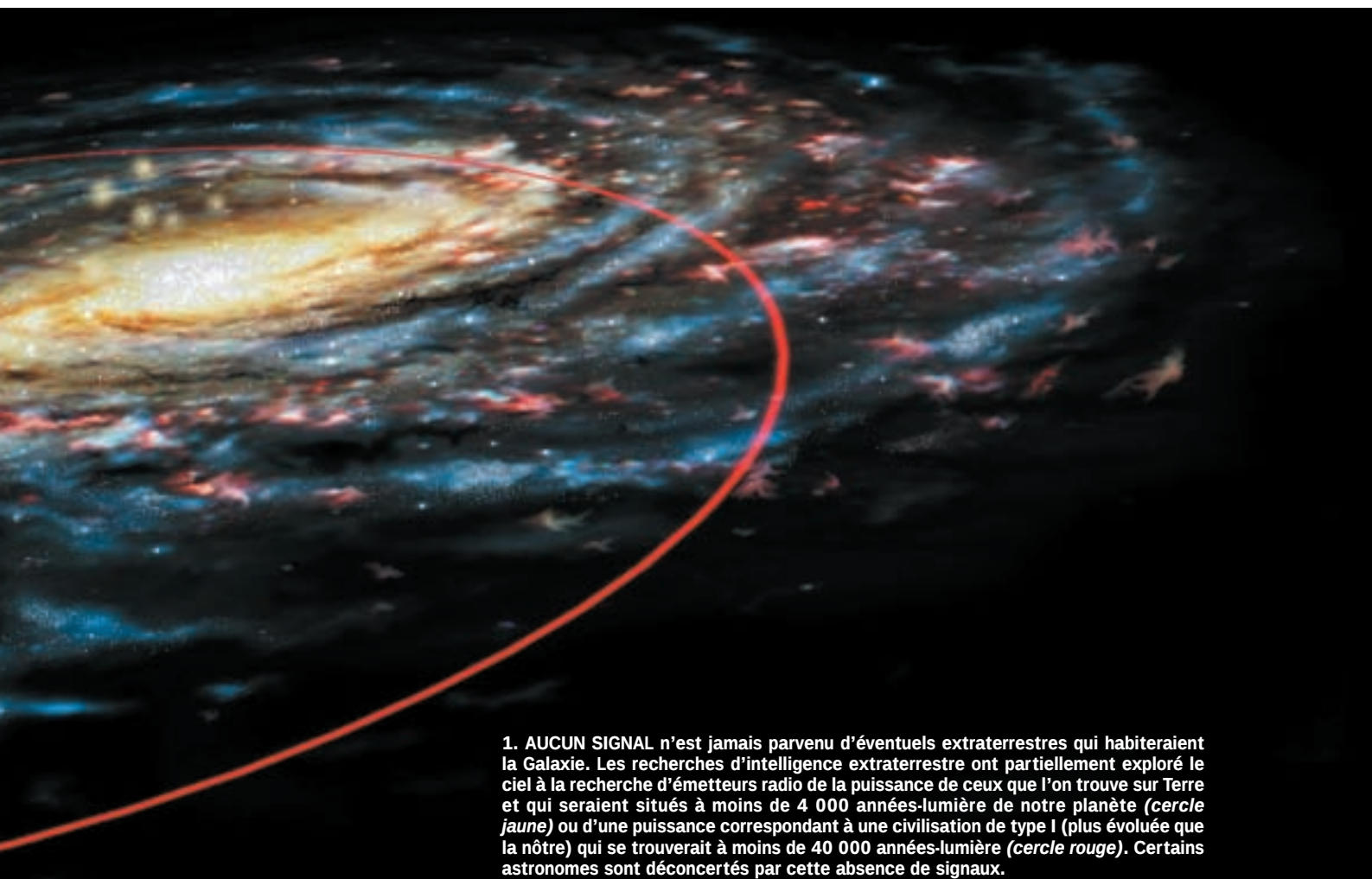
La recherche d'extraterrestres par radioastronomie a été envisagée sérieusement pour la première fois par les physiciens Giuseppe Cocconi et Philip Morrison, dans un article publié en 1959 dans la revue scientifique *Nature*. Un an après, la recherche proposée commençait avec le projet *Ozma* : Frank Drake et ses collègues de l'Observatoire de radioastronomie de Green Bank, en Virginie de l'Ouest, ont écouté les signaux en provenance de deux étoiles proches. Depuis, de nombreuses études ont suivi, de l'écoute de l'ensemble de la voûte céleste à des recherches ciblées sur des centaines d'étoiles individuelles. Malgré les efforts, les astronomes n'ont pas détecté de signaux extraterrestres.

Un demi-siècle de recherche, c'est peu pour une question si grave, et l'absence de résultats positifs ne permet pas d'affirmer qu'il n'existe pas de civilisations extraterrestres. Seule une

petite partie des possibilités a été explorée, mais les résultats initiaux donnent des limites intéressantes sur le nombre de civilisations capables de transmettre des ondes radio dans la Galaxie (voir l'encadré des pages 26 et 27).

Le paradoxe de Fermi s'aggrave quand on examine les hypothèses sur lesquelles se fonde la recherche d'intelligence extraterrestre, notamment l'estimation du nombre total de civilisations galactiques, éteintes ou existantes. Paul Horowitz, de l'Université Harvard, estime qu'il devrait exister au moins une civilisation capable d'émettre des signaux radio à moins de 1 000 années-lumière du Soleil, c'est-à-dire dans un volume de l'espace contenant approximativement un million d'étoiles de type solaire. Dans cette hypothèse, l'ensemble de la Galaxie devrait abriter un millier de civilisations.

Ainsi, à moins que ces civilisations ne soient très durables, un nombre considérable de civilisations se sont développées et ont décliné au cours



1. AUCUN SIGNAL n'est jamais parvenu d'éventuels extraterrestres qui habiteraient la Galaxie. Les recherches d'intelligence extraterrestre ont partiellement exploré le ciel à la recherche d'émetteurs radio de la puissance de ceux que l'on trouve sur Terre et qui seraient situés à moins de 4 000 années-lumière de notre planète (cercle jaune) ou d'une puissance correspondant à une civilisation de type I (plus évoluée que la nôtre) qui se trouverait à moins de 40 000 années-lumière (cercle rouge). Certains astronomes sont déconcertés par cette absence de signaux.