

traduit par un sentiment particulier, le sentiment de l'interaction d'un organisme et d'un objet.

Et demain ?

Je ne suis pas assez insensé pour faire des prévisions sur ce qui pourra ou ne pourra pas être découvert, sur le moment de ces découvertes, ou encore sur le chemin qui y mènera. Toutefois, on peut raisonnablement affirmer que, d'ici 2050, notre connaissance des phénomènes biologiques aura suffisamment progressé pour que nous soyons débarrassés des séparations traditionnelles entre le corps et le cerveau, le corps et l'esprit, ou encore le cerveau et l'esprit.

Certains craignent que l'esprit humain, précieux et respectable ne soit rabaissé par l'élucidation de sa structure physique. Je n'ai pas cette crainte, car je suis convaincu que l'admiration que nous éprouvons à son égard sera simplement transférée aux microstructures fascinantes de l'organisme et aux fonctions si élaborées qui leur permettent d'engendrer l'esprit. En découvrant les secrets de l'esprit, nous le percevrons comme l'ensemble de phénomènes biologiques le plus élaboré de la nature, et non plus comme un mystère insondable. L'esprit survivra à l'explication de sa nature, tout comme le parfum de la rose continue d'embaumer, même si l'on en connaît la structure moléculaire.

Antonio DAMASIO dirige le Département de neurologie de la Faculté de médecine de l'Université d'Iowa. Il est également professeur à l'Institut Salk d'études biologiques, à San Diego.

John R. SEARLE, *The Rediscovery of the Mind*, MIT Press, 1992.

Gerald M. EDELMAN, *Bright Air, Brilliant Fire : On the Matter of the Mind*, Basic Books, 1993.

David H. HUBEL, *L'œil, le cerveau et la vision*, L'Univers des Sciences, Éditions Pour la Science, 1994.

Antonio R. Damasio, *L'erreur de Descartes*, Éditions Odile Jacob, Sciences, 1995.

Antonio R. DAMASIO, *Le sentiment même de soi : corps, émotion, conscience*, Éditions Odile Jacob, Sciences, 1999.

Paul M. CHURCHLAND, *Matière et conscience*, Éditions Champ Vallon, 1999.

PIERRE THUILLIER
**La revanche
des sorcières**
L'irrationnel et la pensée scientifique

BELIN

La science, nous dit-on, est «objective» et «neutre». Un fossé pratiquement infranchissable séparerait la rationalité scientifique du domaine maudit de «l'irrationnel».

Le puritanisme rationaliste, pourtant, risque fort de dissimuler la profondeur et la multiplicité des relations qui unissent le monde de la science à celui de la religion, pis encore à celui de la magie. Maints exemples, dont le plus fameux est sans doute fourni par Newton, sont là pour le confirmer : la science expérimentale a une dette envers les sciences dites «occultes».

Pierre Thuillier est philosophe et historien des sciences. Il enseigne à l'université Paris VII.

code 2110 – 160 pages

Prix : 132 F

Voir bon de commande p. 98



BELIN

Une vie extraterrestre?

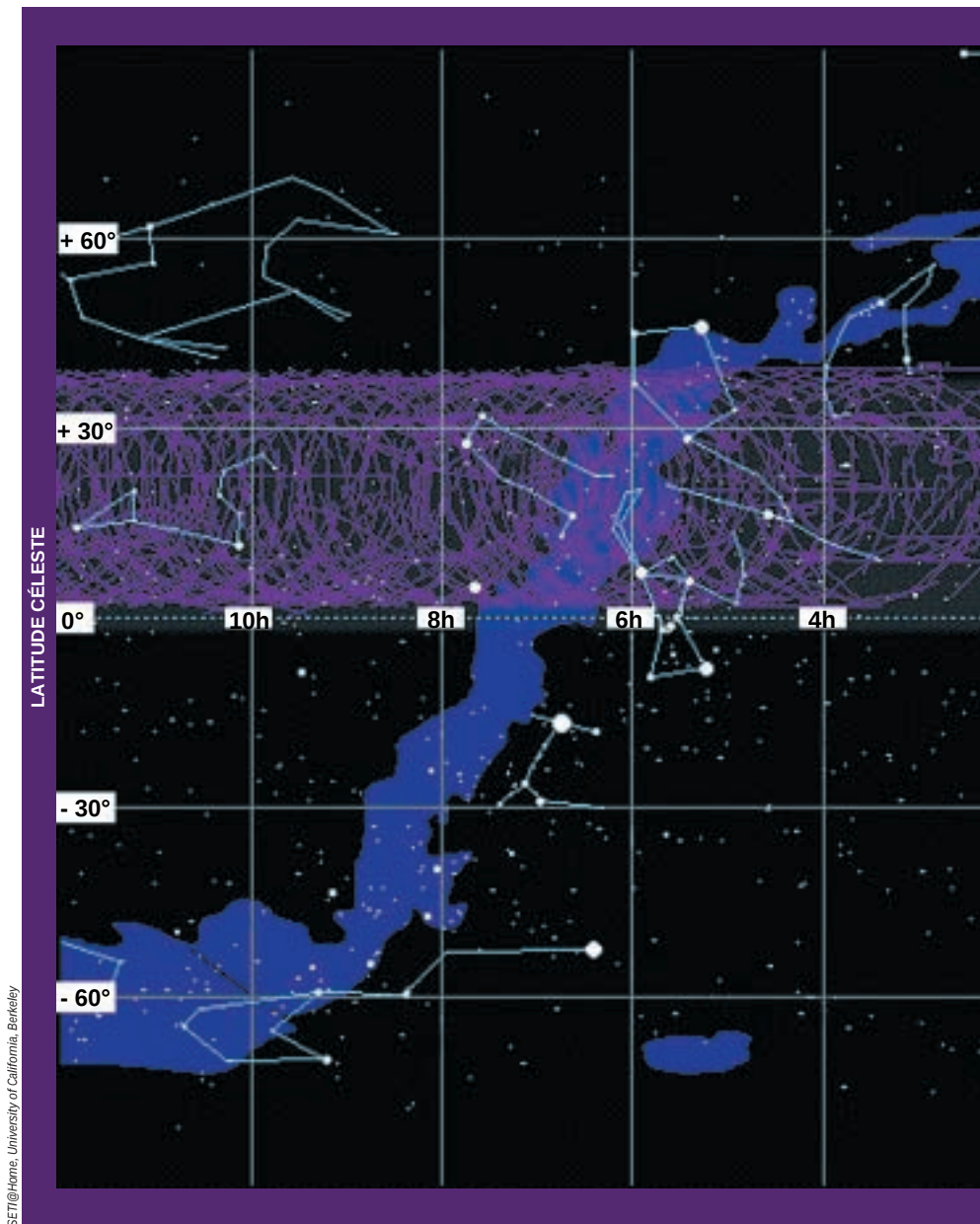
JILL TARTER • CHRISTOPHER CHYBA

La recherche de vie extraterrestre commence seulement : on découvre des planètes autour d'autres étoiles que le Soleil, des sondes explorent le Système solaire et les radioastronomes scrutent les cieux...

Depuis 40 ans, des astronomes cherchent des signaux radio qui seraient émis par des extraterrestres, on envoie des sondes spatiales vers la plupart des planètes du Système solaire et les planétologues étudient les conditions nécessaires au maintien de la vie. Le public pense que la science a déjà beaucoup cherché – sans succès – des indications d'une vie extraterrestre, mais cette recherche commence à peine.

Si le programme d'exploration spatiale se poursuit au rythme actuel, nous saurons peut-être, d'ici 2050, s'il existe ou si, un jour il y a eu de la vie ailleurs dans le Système solaire. Au minimum, nous aurons exploré systématiquement les possibilités : nous saurons si la vie existe sur Europe, un satellite de Jupiter, ou sur Mars. Nous aurons également entrepris l'exploration de systèmes planétaires autour d'autres étoiles, à la recherche de traces de vie dans les spectres des atmosphères planétaires. Ces études seront complétées par des recherches poussées de signaux intelligents.

1. UNE BANDE DU CIEL est sondée par le télescope d'Arecibo, au Porto Rico. Comme il ne peut pas s'incliner, il observe uniquement la portion du ciel qui s'étend de l'équateur céleste jusqu'à une déclinaison (latitude céleste) de 35 degrés. Afin d'observer tout au long de l'année et d'éviter les interférences avec d'autres observations astronomiques, le programme de recherche écoute simplement les signaux en provenance des régions du ciel où sont pointés les autres instruments du télescope. Au fil du temps, l'intégralité de la bande sera couverte. Les données sont analysées par le logiciel **SETI@Home**, téléchargeable sur le réseau Internet.



SETI@Home, University of California, Berkeley

Trouverons-nous alors que la vie est commune, mais que la technique est rare, ou que les deux sont communes, ou rares? Nous n'en savons encore rien. La Voie lactée est vaste, et nous la connaissons bien mal. Nous avons si peu exploré notre seul Système solaire que nous ne pouvons pas même écarter l'hypothèse d'une éventuelle présence extraterrestre sur l'un des corps de ce système. Un petit robot attend-il quelque part, sur une planète voisine de la Terre, que notre espèce manifeste ses capacités techniques? Au cours des 50 prochaines années, la recherche d'une intelligence extraterrestre continuera : «Les chances de succès sont difficiles à estimer, mais si nous ne cherchons jamais, la probabilité de réussir sera nulle», disaient déjà, en 1959,

les astrophysiciens Guiseppe Coccon et Philip Morrison.

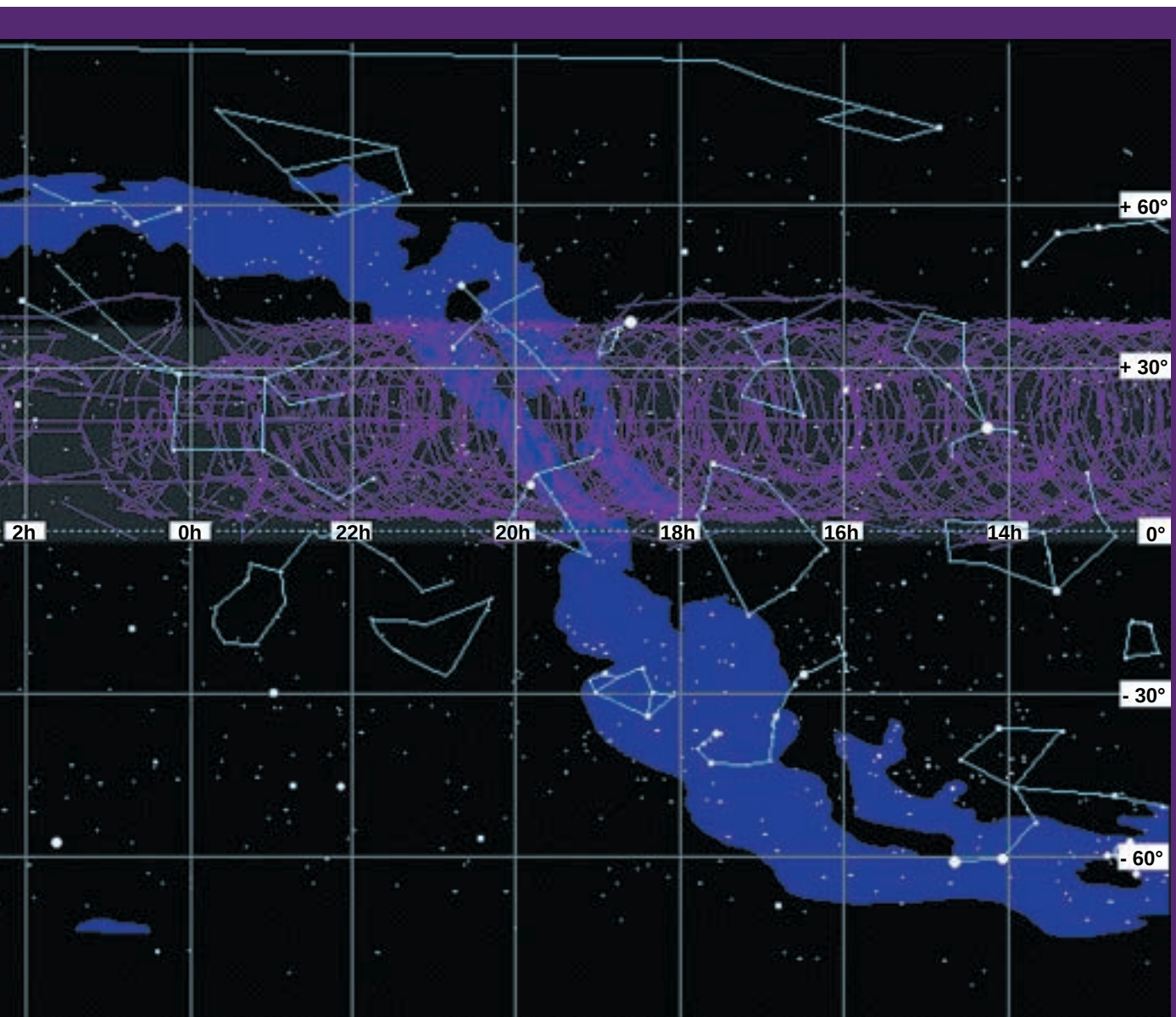
La recherche de vie dans l'Univers doit être guidée par une définition pratique du vivant. De nombreux biochimistes qui étudient les origines de la vie ont adopté la définition darwinienne, selon laquelle la vie est un système chimique auto-entretenu capable d'évoluer par sélection naturelle. En se fondant sur cette définition, nous aurons sans doute créé des systèmes moléculaires vivants bien avant 2050. Ces systèmes ne nous renseigneront peut-être pas sur l'apparition de la vie sur la Terre, mais ils révéleront la diversité des types biologiques.

Dans le domaine de l'exploration spatiale, la définition darwinienne de la vie est de peu d'utilité : l'évolution

est un mécanisme trop long pour qu'on l'observe aisément. Une définition plus pratique s'impose. Dans le cas des expériences biologiques embarquées par les sondes spatiales *Viking*, en mars 1976, les biologistes espéraient détecter de la vie martienne par son métabolisme.

Les leçons de Viking

Une expérience de dégazage de molécules marquées (pour vérifier si un échantillon de sol enrichi en nutriments dégageait du carbone gazeux) indiqua la présence d'organismes. Si d'autres expériences ne l'avaient pas contredite, cette découverte aurait certainement été interprétée comme la présomption d'une présence biologique.



LONGITUDE CÉLESTE

SETI en France

En France, la recherche de la vie extraterrestre a une longue tradition. Dès sa fondation en 1667, l'Observatoire de Paris a attiré dans ses murs d'illustres étrangers, dont Christian Huygens, auteur du premier livre scientifique sur le sujet : *Essai sur la pluralité des mondes*. Diffusant ces idées, les *Entretiens* du philosophe Fontenelle avec sa marquise est resté un best-seller un siècle durant. À la fin du XIX^e siècle, le directeur de l'Observatoire, Jules Janssen, un pionnier de la toute jeune spectroscopie, a créé la section de Meudon, située alors en dehors de la pollution parisienne. Il voulait y poursuivre ses recherches délicates sur la vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars et, déclarait-il devant les cinq Académies, «faire un nouveau pas décisif dans la grande question de l'habitabilité des mondes et de la vie extraterrestre».

Plus près de nous, en 1965, le président Charles de Gaulle inaugurait le plus grand radiotélescope du monde, à Nançay, et demandait à son créateur : «Dites-moi, Denisse, avec votre grand machin, pouvez-vous me dire s'il est vrai que les Russes ont découvert des signaux radio extraterrestres?». Il s'agissait en fait du premier quasar, CTA 102, que les Russes avaient pris pour des signaux extraterrestres.

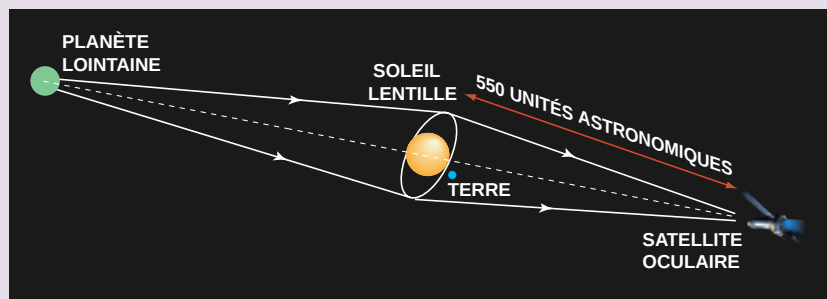
Paris, Meudon, Nançay... Depuis, seuls deux radioastronomes, François Biraud, puis moi, avons utilisé très sporadiquement le radiotélescope de Nançay à la recherche de signaux extraterrestres, en collaboration avec la pionnière américaine Jill Tarter. Nous voulions amener derrière cette grande antenne un récepteur mis au point par la NASA qui comprend des dizaines de millions

de canaux, mais nous n'avons jamais reçu le soutien officiel français, de sorte que cette collaboration a été abandonnée.

En me tournant vers le milieu international, j'ai alors lancé deux initiatives. D'abord, avec le soutien de l'Académie internationale d'astronautique et du Comité international de recherche spatiale (COSPAR), je mène une étude pour l'établissement d'un observatoire radio sur la face cachée de la Lune. En préservant un site privilégié, le cratère Saha, mon but est d'assurer à l'humanité une fenêtre radio libre de toute pollution, à la fois pour SETI, mais aussi pour la radioastronomie des décennies à venir. La situation progresse.

Ensuite, avec un groupe d'ingénieurs et de scientifiques turinois, j'ai présenté à l'Agence spatiale européenne un projet de mission spatiale hors du Système solaire pour utiliser l'effet de lentille gravitationnelle du Soleil déduit de la relativité générale. Le projet consiste à placer un «oculaire» au foyer de cette lentille, créant ainsi un télescope gigantesque muni d'un objectif d'un million et demi de kilomètres de diamètre! La difficulté est que ces foyers sont situés 20 fois plus loin de nous que ne le sont Neptune ou Pluton (550 unités astronomiques). Cela pose des problèmes très difficiles, mais solubles. Avec un tel instrument, on pourrait voir, sur des planètes de type terrestre situées à 100 années-lumière, des continents, des mers, et même, plus important, des ouvrages «astro-technologiques» d'éventuelles civilisations très avancées.

Jean HEIDMANN,
Observatoire de Paris



Des appareils de chromatographie en phase gazeuse et des spectromètres de masse emportés par les sondes *Viking* cherchaient en effet la présence de molécules organiques. Aucune molécule organique n'ayant été trouvée, les scientifiques expliquèrent le résultat de l'expérience de dégazage par des réactions chimiques imprévues plutôt que par des réactions biologiques (voir *La vie sur Mars*, par Norman Horowitz, *Pour la Science*, janvier 1978). Ils avaient adopté une définition biochimique de la vie : la vie martienne, comme la vie terrestre, serait fondée sur la chimie du carbone.

Quelles leçons tirer de ces expériences? Tout d'abord, on doit chercher la vie avec de multiples définitions, mais la définition biochimique prévaut pour les détectations à distance : si l'on ne trouve pas de molécules organiques, les indices de présence biologique doivent être considérés avec circonspection. Ensuite, afin d'interpréter les résultats, les exobiologistes doivent les restituer dans le contexte chimique et géologique de leur découverte. Enfin, les expériences de détection de la vie devraient être conçues de manière à fournir des informations scientifiques intéressantes, même lorsqu'elles ne trouvent pas de vie. Ces idées ont guidé l'élaboration des missions futures, telles celles qui exploreront Europe.

On prévoit également d'ajouter un microscope aux instruments de détection biochimique : le microscope ne se fonde sur aucune hypothèse *a priori*. Toutefois, cet instrument n'est pas une solution absolue : en 1998, une équipe de la NASA a prétendu avoir trouvé des microfossiles sur la météorite martienne Allan Hills 84001. La controverse qui a suivi a bien montré qu'on ne peut se fonder seulement sur la forme des structures microscopiques pour identifier la vie ; bien des phénomènes non biologiques produisent des structures analogues.

Le satellite Europe intéresse beaucoup les exobiologistes, car, sous une couche de glace, il semble posséder un océan vieux de quatre milliards d'années. En 2003, une mission d'exploration d'Europe ira chercher cet océan. Si on le trouve, un programme d'exploration détaillé, avec des capsules d'atterrissage et, peut-être, des sous-marins pénétrant sous la glace, vérifiera si cet océan héberge des formes de vie. Ces études révéleront l'adaptabilité de la vie et les conditions où

elle peut apparaître. Sur la Terre, partout où il y a de l'eau, il y a de la vie, même dans des endroits inattendus, telles les grandes profondeurs, sous la croûte terrestre.

Un océan semble également présent sur un autre satellite jovien : Callisto. Plus généralement, tous les grands satellites glacés des planètes gazeuses ont peut-être des océans subcrustaux. Titan, satellite de Saturne, est recouvert d'une brume qui masque sa surface. En 2004, la sonde *Huygens* descendra dans son atmosphère et renverra des images de la surface, peut-être recouverte de mers d'hydrocarbures liquides. Si ces matières organiques se mélangeaient à l'eau située sous la surface, la vie serait-elle possible ?

Une civilisation interplanétaire

D'ici à 2050, nous aurons parcouru la surface et sondé une partie du sous-sol de Mars. Les responsables de la NASA ont déjà prévu de lancer deux vaisseaux spatiaux vers Mars, à chaque alignement favorable de Mars et de la Terre, c'est-à-dire tous les 26 mois. De surcroît, les chercheurs préparent une série de micromissions vers Mars, qui seront lancées par la fusée européenne *Ariane 5*. Dans les années 2010, Mars sera dotée d'un système de positionnement global par satellite (GPS). Les utilisateurs d'ordinateurs, sur la Terre, recevront les images que nous enverront les robots qui exploreront le sol et l'atmosphère de Mars. Ainsi, des centaines de millions de personnes visiteront virtuellement la planète rouge. Le réseau Internet prenant une dimension interplanétaire, l'humanité se sentira davantage une civilisation du Système solaire.

Dans dix ans, nous disposerons sur la Terre d'échantillons du sol martien. Toutefois, les meilleurs sites pour la recherche de traces de vie extraterrestre, comme les sources chaudes martiennes et les grottes profondes contenant de l'eau liquide, seront difficiles d'accès pour les robots explorateurs : l'envoi d'explorateurs humains deviendra alors une nécessité. Malgré les difficultés, les premiers avant-postes humains permanents pourront s'installer sur Mars, avec un remplacement régulier des équipages, vers 2050. Les hommes utiliseront les robots pour explorer en détail les sites qui semblent abriter la vie ou ses restes fossiles.

Si l'on trouve la vie sur Mars, les exobiologistes s'interrogeront : est-elle apparentée à la vie terrestre ? Depuis une dizaine d'années, on pense en effet que les planètes du Système solaire interne ne sont pas isolées biologiquement : par exemple, des roches martiennes projetées dans l'espace, lors d'impacts d'astéroïdes, auraient pu transporter des organismes vivants jusqu'à la Terre. Une planète où la vie serait apparue en premier aurait pu «ensemencer» les autres planètes. Si la vie existe sur Mars, nous pourrions avoir des ancêtres communs avec elle, et la comparaison des ADN martien et terrestre révélerait l'origine de la vie terrestre. Inversement, la vie martienne pourrait aussi être distincte de la vie terrestre, sans ADN par exemple. La découverte d'une seconde genèse, au sein du Système solaire, montrerait que la vie est probable ailleurs dans l'Univers (voir *À la recherche de la vie extraterrestre*, par Carl Sagan, *Pour la Science*, décembre 1994).

Simultanément, les exobiologistes exploreront d'autres systèmes planétaires. On connaît déjà plus de planètes en dehors du Système solaire qu'à l'intérieur de celui-ci. Avant 2050, les premières missions réellement interplanétaires auront quitté le Système solaire, munies de gigantesques voiles mues par le rayonnement solaire. Les

instruments embarqués sur ces engins analyseront les molécules organiques que les radiotélescopes ont déjà détectées dans le milieu interstellaire. Avec les techniques actuelles, les sondes n'atteindront pas les systèmes stellaires les plus proches d'ici 2050, car le voyage durerait des milliers d'années : ces systèmes planétaires seront étudiés à distance.

En 2050, nous aurons des catalogues des systèmes planétaires extrasolaires comparables aux catalogues actuels d'étoiles. Nous saurons si notre système planétaire est commun ou très particulier. Aujourd'hui, on ne sait observer que des planètes au moins aussi massives que Jupiter, mais des télescopes spatiaux détecteront régulièrement des planètes de la masse de la Terre autour d'autres étoiles – si elles existent – et analyseront leurs atmosphères à la recherche de traces de vie. De tels mondes feront alors l'objet d'observations poussées ; on y cherchera notamment des signes d'intelligence.

Une fenêtre sur d'autres mondes

Les exobiologistes cherchent moins des signaux intelligents que la preuve d'une technique extraterrestre. Jusqu'ici, ils ont concentré leurs efforts sur une technique très particulière : les



2. DES BATTERIES DE PETITES PARABOLES chercheront une intelligence extraterrestre, dans les prochaines décennies. Ces paraboles de télévision par satellite se compteront par centaines, voire par milliers ; la sensibilité des réseaux formés sera supérieure à celle des radiotélescopes actuels. Ces réseaux couvriront plus de fréquences et ils seront moins gênés par les interférences que les radiotélescopes actuels. Le premier instrument fondé sur cette idée, le télescope 1hT (qui couvrira une surface de un hectare), devrait coûter 150 millions de francs.

émissions radio à des longueurs d'onde dont les bruits de fond naturels sont faibles et l'absorption réduite.

Pour l'instant, aucun signal détecté ne provient de façon certaine d'une technique extraterrestre. Toutefois, l'échec résulte peut-être de l'insuffisance des méthodes de détection. En outre, l'étoile la plus éloignée sondée directement n'est encore distante que de un pour cent du diamètre de notre Galaxie.

Le projet de recherche des signaux extraterrestres dans le domaine radio, nommé SETI (*Search for Extra-Terrestrial Intelligence*, soit «Recherche d'intelligence extraterrestre»), comme l'ensemble de la radioastronomie, est en crise : l'humanité utilise tant le spectre radio que les signaux provenant de l'espace sont progressivement brouillés. À

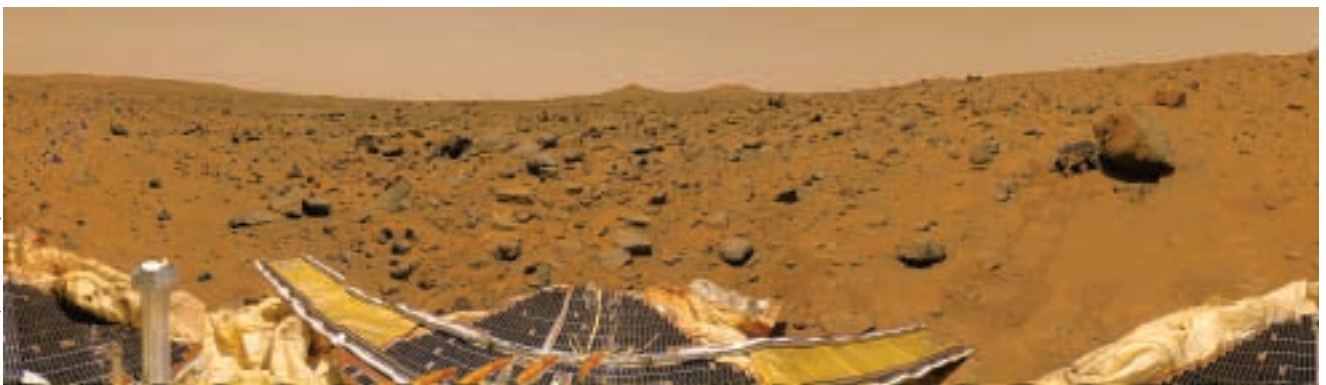
plus ou moins long terme, on devra établir des observatoires radioastronomiques sur la face cachée de la Lune, seul lieu du Système solaire où la Terre ne se lève jamais. Des accords internationaux ont déjà établi une «zone protégée» sur la Lune, et certains astronomes ont proposé de réserver le cratère Saha aux radiotélescopes. Si la voie de l'exploration humaine de Mars passe par la Lune, alors l'infrastructure nécessaire pourrait être en place d'ici à 2050.

Dans les programmes de recherche, on envisage également la construction de divers instruments sur Terre avec une sensibilité, une couverture de fréquences et une durée d'observation accrues. Aujourd'hui, tous ces projets ont des financements privés. Les recherches dans le domaine radio ont commencé sur le

télescope 1hT (*One Hectare Telescope* «Télescope de un hectare»), qui devrait être installé en Californie. À terme, ce radiotélescope permettra d'accéder simultanément à la totalité du spectre des micro-ondes. Grâce à son grand champ et à sa puissance informatique considérable, il observera simultanément des dizaines d'objets, des sources astronomiques classiques et des cibles SETI. Ainsi, plutôt que de se faire concurrence, comme c'est souvent encore le cas, la radioastronomie et SETI partageront les ressources instrumentales. Le télescope 1hT montrera également la faisabilité économique d'un télescope encore plus grand, dont la sensibilité serait 100 fois supérieure à celle des meilleurs radiotélescopes actuels. Pour SETI, ce facteur 100 accroîtra d'un



Ron Miller



NASA/Jet Propulsion Laboratory

3. DES ORGANISMES vivent peut-être dans les profondeurs de Mars (*en bas*) ou d'Europe (*en haut*). Les canyons creusés sur la surface martienne indiquent que, naguère, il y avait de l'eau. L'observation de la surface d'Europe, parsemée d'icebergs, indique la

présence d'un océan situé sous la surface. Or, la vie est présente même à de grandes profondeurs, sous la croûte terrestre et dans les océans. Pourquoi ne le serait-elle pas également sur ces mondes hostiles ?

facteur 10 les distances d'exploration et 1 000 le nombre d'étoiles sondées.

On construira de tels instruments en utilisant des matériels perfectionnés de série : ordinateurs, récepteurs radio, etc. En effet, selon la loi de Moore, vérifiée depuis 20 ans, la puissance des processeurs augmente de manière exponentielle en fonction du temps. Le programme SETI@home, que plus d'un million de personnes ont téléchargé, utilise les ordinateurs personnels pour analyser des blocs de données enregistrés au radiotélescope d'Arecibo. En 2050, si le nombre de grands radiotélescopes sur Terre réussit à réduire la quantité d'interférences en provenance des systèmes de télécommunication mobiles, ils seront certainement moins onéreux qu'un observatoire sur la face cachée de la Lune.

D'autres domaines de longueurs d'onde ont retenu l'attention. Des générations d'observateurs ont scruté le ciel à l'œil nu et à l'aide de télescopes, sans jamais voir un signe d'activité extraterrestre. Toutefois, si ces signaux ne sont que des éclairs d'un milliardième de seconde, ils ont échappé à l'observation. La recherche d'impulsions aux longueurs d'onde visibles vient de commencer. Au cours des prochaines décennies, des recherches de signaux dans le visible pourraient être entreprises à l'aide de grands télescopes. Si ces premières recherches d'autres civilisations n'aboutissent pas, au moins aurons-nous sondé le bruit de fond du ciel avec une grande résolution temporelle.

L'exploration du Système solaire sera l'occasion de nouvelles recherches de vie intelligente extraterrestre. Les sondes lancées examineront avec attention les recoins du Système solaire, à la recherche d'objets techniques non humains.

La diffusion des recherches

Que saurons-nous des autres habitants de l'Univers en 2050? Difficiles à dire. La seule chose sûre, c'est que tout le monde aura accès aux découvertes. Toute personne curieuse pourra constamment savoir quelles recherches auront été effectuées, quels groupes étudient quels sujets, à partir de quel endroit, etc. Les données engendrées par les recherches afflueront à une vitesse telle que nous ne pourrions les absorber, mais les signaux intéressants, sélectionnés par des ordinateurs, seront



4. UN SIGNAL D'ORIGINE EXTRATERRESTRE se présenterait sous la forme d'une traînée dans un diagramme où chaque point représente la détection d'un signal radio à une fréquence donnée (axe horizontal) et à un instant donné (axe vertical). Les points désordonnés représentent le bruit de fond, et les signaux apparaissent sous la forme de droites. Pour un signal extraterrestre, la ligne est penchée, parce que la rotation de la Terre décale les fréquences. Dans le cas illustré ici, le signal provient d'un vaisseau spatial, *Pioneer 10*, qui est maintenant hors du Système solaire.

à la disposition du plus grand nombre. De cette manière, nous espérons supplanter les pourvoyeurs de pseudoscience qui attirent les curieux en les invitant dans un royaume extravagant (mais fort lucratif) d'absurdités. Aujourd'hui, les données réelles sont trop souvent inaccessibles, alors que les données inventées sont largement diffusées. La réalité est plus intéressante et elle sera plus facilement accessible dans le futur.

Si, d'ici à 2050, nous n'avons trouvé aucune trace de technique extraterrestre, nous devrons en déduire soit que l'intelligence technique évolue peu,

soit que les civilisations techniques s'autodétruisent rapidement, soit encore que nous n'avons pas fait les recherches adéquates. Si l'humanité existe encore en 2050 et si elle est encore capable de rechercher des signaux extraterrestres, ce sera la preuve que notre technique n'aura pas encore engendré notre perte, un signe optimiste pour la pérennité de la vie en général. Nous pourrions alors envisager l'émission active d'un signal que d'autres pourront capter, mais, à ce stade, nous serons confrontés à de nouvelles questions : qui parlera au nom de la Terre et que faudra-t-il dire?

Jill TARTER est directeur scientifique de l'Institut SETI, à Mountain View (Californie). Christopher CHYBA, exobiologiste, est professeur à l'Institut SETI.

I.S. SHKLOVSKII et Carl SAGAN, *Intelligent Life in the Universe*, Holden-Day, 1966.
Extraterrestrials : Science and Alien Intelligence, sous la direction d'Edward Regis, Jr., Cambridge University Press, 1985.

Donald GOLDSMITH et Tobias OWEN, *The Search for Life in the Universe*, Addison-Wesley, 1992.

Frank DRAKE et Dava SOBEL, *Is Anyone Out There? The Scientific Search for Extraterrestrial Intelligence*, Delacorte Press, 1992.

Extraterrestrials – Where Are They? sous la direction de Ben Zuckerman et Michael H. Hart, Cambridge University Press, 1995.

Jean HEIDMANN, *Intelligences extraterrestres*, Odile Jacob, 1992.

Seth SHOSTAK, *Sharing the Universe : Perspectives on Extraterrestrial Life*, Berkeley Hills Books, 1998.

