



Où sont-ils ?

Alfred Vidal Madjar, I.A.P.

Sommes-nous seuls ? Où sont-ils ? Quand les verrons-nous ?

L'auteur aborde le passionnant problème de la recherche de la vie extraterrestre d'un point de vue historique et montre comment l'évolution des connaissances en astronomie permet de préciser ce questionnement récurrent de l'humanité.

Pour écrire ce texte, déjà publié dans la revue de l'AFAS¹ A. Vidal Madjar s'est inspiré de son livre "Il pleut des planètes" dont le thème est la recherche des planètes extrasolaires.

L'idée de la pluralité des mondes a été depuis fort longtemps débattue par les astronomes, théologiens, philosophes, écrivains et autres penseurs des nombreuses sociétés humaines. En particulier, on reste rêveur devant les intuitions géniales des philosophes grecs lorsqu'on sait quel était l'état de leurs connaissances réelles en astronomie. Par exemple, Thalès pensait déjà que les étoiles étaient faites d'une matière semblable à celle qui se trouve sur Terre. Ensuite, pendant plus d'un millénaire, la religion chrétienne à la suite de Ptolémée placera la Terre au centre de l'Univers interrompant ainsi toute discussion. C'est avec Copernic que renaîtront ces recherches, la Terre n'étant plus à nouveau qu'une "terre" parmi tant d'autres. Cet argument fut considérablement renforcé par l'observation directe qui devint possible grâce à l'invention de la lunette astronomique par Galilée.

Une ère nouvelle s'ouvrait à l'astronomie. Le débat s'est alors intensifié pour prendre des tournures parfois irrationnelles essentiellement par manque d'observation. Ainsi certains ne remettent plus vraiment en doute la présence d'habitants sur d'autres mondes allant jusqu'à argumenter sur la taille de leur population ou sur le degré de culture et de moralité de leurs peuples (voir le texte en annexe, extrait de l'Astro-

nomie populaire de Camille Flammarion).

Inversement, certaines observations difficiles déclenchèrent parfois de grands rémous tels que, par exemple la découverte de canaux sur Mars à la fin du siècle dernier par Schiaparelli. Ainsi, la progression dans ce domaine fut extrêmement lente à cause du foisonnement de théories rarement confrontées à l'observation directe. Cette comparaison est la condition indispensable à tout progrès scientifique véritable.

Un exemple récent de cette progression difficile et parsemée d'embûches est celui des satellites de Mars, Phobos et Deimos, que l'astrophysicien Schklovsky avait imaginé creux et donc artificiels, à partir de données d'observations très incertaines et de fait erronées.

Avec l'avènement de l'ère spatiale et la visite directe des planètes du Système solaire, beaucoup de données très précises ont été collectées permettant des progrès remarquables dans la compréhension des mécanismes d'apparition de la vie dans l'Univers. Toutefois, l'étude d'éventuelles civilisations extra-terrestres restait, elle, totalement spéculative jusqu'à la publication d'un article véritablement révolutionnaire, en septembre 1959 par Giuseppe Cocconi et Philip Morrison.

Ils ont fait basculer le débat sur la plu-

ralité des mondes du domaine de la discussion purement académique à celui de la confrontation scientifique. Leurs idées pouvaient en effet être directement mises à l'épreuve de l'observation. Ils prédisaient que, compte tenu de nos connaissances en astrophysique, il était raisonnable de penser que des formes de vies semblables à la nôtre devaient être apparues ailleurs. Cependant que grâce aux progrès technologiques notre civilisation était capable d'émettre et de recevoir des signaux à grande distance, une autre civilisation qui aurait suivi le même chemin devait pouvoir communiquer avec nous. La question était alors d'évaluer ses chances d'exister et, en conséquence, si cette probabilité était élevée, de définir le moyen logique le plus adéquat pour entrer en contact. Ils proposent d'utiliser le rayonnement radio à une longueur d'onde qui doit être inévitablement connue de tout habitant de l'Univers et qui se trouve dans une région du spectre où le bruit de fond Galactique parasite est particulièrement bas : la raie à 21 cm de l'hydrogène, élément le plus simple et le plus abondant de l'Univers.

Cet article a déclenché toute une série de discussions et l'émergence du projet "Ozma" lancé par Frank Drake, grâce auquel il espérait détecter un signal "intelligent" en provenance d'étoiles proches, à cette longueur d'onde de 21 cm. Après un premier résultat négatif, il organisa la célèbre réunion de Green Bank en 1961 au cours de laquelle les arguments originaux étaient reconsidérés. En particulier un point important était débattu : pouvait-on évaluer plus précisément la probabilité d'existence d'une telle civilisation ? En effet, si cette probabilité était trop faible, cette recherche devenait évidemment vaine.

L'estimation du nombre N de civilisations capables de communiquer dans la Galaxie a été quantifiée grâce à la formule de Drake qui a la forme suivante :

$$N = E f_p n_t f_v f_i f_c T$$

Dans cette formule, E est le nombre d'étoiles qui naissent chaque année dans notre Galaxie, f_p est la fraction

d'étoiles qui seront entourées d'un cortège planétaire, n_t représente parmi ces planètes le nombre de celles qui se trouveront dans des conditions semblables à celle où se trouve la Terre, f_v est parmi celles-ci la fraction d'entre elles où la vie apparaîtra, f_i la fraction de celles pour laquelle la vie évoluera vers l'intelligence, f_c parmi ces sociétés intelligentes celles qui communiqueront et enfin T le temps pendant lequel cet effort de communication sera maintenu.

Avant de discuter chaque élément de cette formule, qui ne servira que de guide dans notre propos, il est amusant de tester son efficacité sur un problème différent mais dont nous connaissons la réponse a priori : combien y-a-t-il d'excellents restaurants N_R dans un pays comme la France ? Avec la même approche (suivant une idée de Donald Goldsmith et Tobias Owen) nous dirions que ce nombre peut s'évaluer à l'aide de la formule suivante :

$$N_R = V f_R n_R f_{loc} f_d f_s f_q f_p f_h D$$

où V serait le nombre de villes apparues en moyenne par an, parmi ces villes f_R la fraction ayant des restaurants, n_R le nombre moyen de restaurants par ville, f_{loc} la fraction des restaurants bien localisés, f_d la fraction bien décorée, f_s la fraction au personnel stylé, f_q ceux qui ont une nourriture de qualité, f_p ceux qui pratiquent des prix corrects, f_h la fraction ayant des heures d'ouverture commodes, et enfin D la durée de vie moyenne d'un tel restaurant.

Là, chacun peut mettre ses estimations personnelles mais le résultat final sera toujours de l'ordre de la dizaine, évaluation tout à fait en accord avec nos meilleurs guides gastronomiques (voir Gault et Millau 1998).

A titre d'exemple, on peut évaluer à 30 le nombre de villes nouvelles par an (environ 30000 villes créées en 1000 ans), f_R à 0,99 (il est rare de trouver une ville sans restaurant !) n_R est en moyenne de l'ordre de 100 par ville, $f_{loc} = 0,2$ (20% sont bien localisés) $f_d = 0,1$ (10% sont bien décorés), $f_s = 0,05$ (5% ont un personnel stylé), $f_q = 0,1$ (10 % ont une nourriture de qualité), $f_p = 0,3$ (30% pratiquent des prix corrects), $f_h = 0,9$ (90 % sont ouverts à

des heures commodes et $D = 100$ (ces restaurants de qualité ont en général une durée de vie assez longue, liée à un attachement à des traditions ancestrales).

Le résultat serait donc $N_R = 8$, évaluation tout à fait plausible.

Le problème avec cette approche est que le nombre de facteurs à ajouter dans la formule n'est pas limité ce qui pourrait conduire à des résultats complètement différents. Cette méthode est, disons le, ce qu'il est possible de faire quand on ne sait rien. Elle a le mérite au moins de souligner les facteurs qui pourraient être importants.

Revenons à nos civilisations extraterrestres. Nous pouvons estimer de la même façon que :

1°/ E est de l'ordre de 10 étoiles nouvelles par an (un ordre de grandeur très simple est donné par l'estimation du nombre d'étoiles de la Galaxie, 150 milliards, divisé par l'âge de notre galaxie qui est d'environ 15 milliards d'années).

2°/ f_p : les théories de formation d'étoiles semblent montrer que la nébuleuse primitive en se condensant doit former un disque au sein duquel les planètes naîtront, donc f_p doit être important puisque c'est le même processus qui fait naître l'étoile et son cortège de planètes au sein de la nébuleuse primitive en forme de disque. Une valeur raisonnable doit être 0,2 car dans les systèmes d'étoiles multiples (les plus importants puisque 70% des étoiles en font partie) il semble difficile d'y voir survivre un disque.

3°/ n_t : il semble raisonnable de penser que parmi le cortège de planètes il y en aura toujours une à peu près à la bonne distance de l'étoile et de type terrestre (dans le cas du Système solaire on a failli avoir Vénus et Mars en plus de la Terre !) ; n_t peut être probablement de l'ordre de 1.

4°/ f_v : la fraction de planètes bien placées où la vie apparaîtra pourrait bien être aussi 1, car rien d'exceptionnel ne semble s'être produit sur la Terre depuis sa formation.

5°/ f_i : une fois la vie apparue, les mécanismes de sélection semblent inévitables pour faire émerger l'intelligence : $f_i = 1$.

6°/ f_c : la fraction de civilisations

intelligentes capables de communiquer semble être liée au progrès technologique. lui aussi assez probable : mettons f_c de l'ordre de 0,2

$7^\circ / T$ représente le durée de vie d'une telle civilisation et en particulier la durée de son effort de communication : toute estimation est évidemment hasardeuse, les plus pessimistes annonçant une centaine d'années pour le temps séparant les progrès techniques scientifiques de la fin systématique de telles civilisations par autodestruction "technologique", les plus optimistes répondant que ces progrès donnent eu contraire à ces civilisations une chance de survie telle qu'elles peuvent durer "indéfiniment" ; une valeur limite "raisonnable" serait d'un milliard d'années, ordre de grandeur de la durée de vie d'une étoile.

On réalise immédiatement que le paramètre important et même crucial dans cette évaluation est évidemment le paramètre le plus mal connu T . Ainsi les optimiste évalueraient N à plusieurs centaines de millions de civilisations capables de communiquer en ce moment dans la Galaxie, alors que les plus pessimistes estimerait ce nombre à une centaine et même éventuellement quelques unité, s'ils considèrent que d'autres paramètres doivent être aussi réduits.

Ceci semble montrer finalement qu'il est tout à fait plausible que d'autres civilisations existent et que leur recherche pourrait être couronnée de succès mais qu'il est possible que nous soyons très peu nombreux dans la Galaxie. Finalement nous savons bien peu de choses.

Cette recherche s'est malgré cela considérablement intensifiée de par le monde avec des moyens de plus en plus efficaces, le nombre d'étoiles "écoutées" a cru considérablement, le nombre de longueurs d'onde sondées aussi, toutes ces recherches coordonnées dans le cadre de collaborations internationales sous le nom du programme Seti auquel a participé la France à l'aide de son radiotélescope de Nançay, sous l'impulsion de François Biraud et de Jean Heidmann³.

Les résultats restant toutefois strictement négatifs, à part quelques grandes excitations éphémères liées à des découvertes d'objets astronomiques nouveaux tels que les pulsars (le signal qu'ils émettent est si particulier qu'il a paru dans un premier temps artificiel et donc attribué aux "petits hommes verts", sic). l'analyse des différents paramètres entrant dans la formule de Drake a été reconsidérée. Nous allons donner ici l'évolution des idées à ce sujet, évolution qui révèle les progrès remarquables effectués ces cinq dernières années grâce à l'observation, maintenant directe de la formation des étoiles et aux récentes découvertes des planètes extrasolaires.

Le taux de formation stellaire est plus faible qu'initialement évalué et doit se trouver plutôt autour d'une étoile nouvelle par an dans la Galaxie ($E = 1$), la fraction d'étoiles f_p , capables d'avoir des planètes, a plutôt augmenté et est probablement de l'ordre de 1/2, car après la découverte de nombreux disques protoplanétaires et postplanétaires, 17 nouvelles planètes ont déjà été recensées autour d'autres étoiles. La première d'entre elles a été trouvée en orbite autour de 51 Pégase, en 1995, par Michel Mayor et Didier Queloz.

Ces planètes nous réservaient plusieurs surprises d'importance :

1 - elles sont une fois sur deux autour d'étoiles doubles ou multiples ;

2 - certaines sont beaucoup plus proches de leur étoile que Mercure du Soleil ;

3 - une bonne partie de ces planètes sont sur des orbites fortement elliptiques ;

4 - une d'entre elles gravite autour d'une étoile de petite masse (0,3 masse solaire).

L'ensemble de ces nouvelles observations nous révèle certains de nos préjugés quant à la formation de systèmes planétaires, et nous apprend que la diversité est la règle. Ainsi il est directement observé qu'une étoile sur deux naît avec un disque protoplanétaire autour d'elle, que ce disque survit parfaitement dans les systèmes multiples et qu'il disparaît au bout d'environ dix millions d'années. Cette disparition

semble être liée à l'apparition de planètes géantes qui ont non seulement besoin d'une telle durée pour se former mais encore ont dû y contribuer puisqu'elles se sont nécessairement formées à partir de la matière même du disque. Enfin une étoile sur deux parmi celles qui ont une masse inférieure à celle du Soleil semble avoir un cortège de planètes, et comme elles représentent 80% de ces étoiles, il y a probablement plusieurs centaines de milliards de planètes dans notre Galaxie.

La description de ces découvertes récentes qui précisent de façon spectaculaire notre compréhension de la formation des systèmes planétaires, est donnée dans le livre que je viens d'achever "il pleut des planètes" car un pas de géant vient d'être franchi dans notre quête de la vie extraterrestre. Le nombre de systèmes planétaires dans l'univers doit être astronomique. Dans ce livre, j'utilise une orange dans un pré, quelques vaches sphériques, des moustiques sur des marguerites temporelles, des martiens à la curiosité indécente, des cyclopes maladroits, un million de supporters français au Mondial de Football 1998 et bien d'autres pour donner, par le biais de l'intuition, une approche différente de ces extraordinaires découvertes. Ainsi, dans la première partie je donne quelques règles pour jouer à cache-cache avec la Nature et dans la seconde j'aborde les découvertes proprement dites par un crescendo allant des étoiles naissantes aux nouvelles étoiles planétaires.

Dans les domaines les plus difficiles de cette évaluation du nombre de civilisations dans notre Galaxie, ceux liés à la vie, des progrès bien sûr ont aussi été accomplis. En fait, depuis les premières tentatives de recherche de vie extraterrestre, une nouvelle science est née qui traite entièrement du problème de l'apparition de la vie : l'exobiologie. Les études dans ce domaine ont révélé qu'un nombre important de difficultés ont dû probablement surgir sur le chemin de la vie, en tout cas telle qu'elle est apparue sur Terre. Ces travaux montrent non seulement l'importance de l'eau mais aussi la nécessité d'un cycle alternativement hors et dans ce milieu liquide.

Ainsi, les deux paramètres suivants de la formule de Drake, n_t et f_v , doivent être évidemment revus. En particulier Michael Hart a fait une modélisation complète de l'évolution de l'atmosphère terrestre en tenant compte de la présence des océans, de la variation du flux solaire depuis sa formation, des changements de composition de l'atmosphère, de l'effet de serre, de la couverture nuageuse, des glaces, etc.

Il a ainsi pu démontrer pourquoi Vénus était si chaude quoique relativement proche de la Terre et pourquoi Mars, qui, elle, a connu l'eau liquide à sa surface pendant plusieurs milliards d'années, n'a pas pu retenir son atmosphère forçant ainsi l'eau qui restait à être sous forme de glace. Cette modélisation a surtout montré que des circonstances très favorables se sont produites sur Terre pour que la température y reste relativement constante alors que le Soleil augmentait de luminosité. En particulier l'atmosphère primitive de la Terre comme celle de Vénus et de Mars devait contenir énormément de gaz carbonique qui, produisant le fameux effet de serre, l'avait réchauffée. Mais l'eau liquide était présente, le gaz carbonique a pu s'y dissoudre et précipiter avec le calcium pour former des roches calcaires aujourd'hui présentes sur la Terre. Ainsi, lorsque le Soleil se réchauffait, l'effet de serre diminuait, maintenant la température "agréablement constante". Sur Vénus, il faisait trop chaud dès le départ et l'eau s'y trouvant sous forme de vapeur n'a pu dissoudre le gaz carbonique de l'atmosphère. l'effet de serre s'est maintenu et le Soleil aidant, la situation n'a fait que s'aggraver au cours du temps.

Michael Hart a ainsi pu montrer que la position de la Terre dans le système solaire était bien plus critique qu'on ne le pensait et en particulier qu'en la rapprochant de quelques pour cent de sa distance actuelle au Soleil, on déclenchait cet effet de serre divergent et jamais l'eau liquide n'aurait pu apparaître.

De la même façon il a montré qu'en l'éloignant d'à peine 1% du Soleil, les océans se seraient changés en glace et la lumière solaire, réfléchi plus efficacement (la glace est blanche), la Terre serait restée très froide sous un manteau

de glace qui n'aurait plus jamais fondu.

Ainsi nous nous trouvons (et ce n'est pas par hasard) dans la seule zone possible au voisinage du Soleil où l'eau peut rester liquide assez longtemps à la surface d'une planète, zone qui ne représente que quelques pour cent de la taille du Système solaire. De plus, heureusement que la Terre n'était pas plus petite car, incapable de retenir son atmosphère, elle aurait connu le sort de Mars.

Le nombre de planètes n_t favorables à l'apparition de la vie doit être revu à la baisse et ne doit pas dépasser quelques pour cent, disons $n_t = 0,01$. Le paramètre lié à l'apparition de la vie, f_v , doit aussi être revu parce que maintenant cinq étapes différentes sont apparues comme nécessaires :

$$f_v = \phi_o \phi_p \phi_r \phi_c \phi_a$$

La première étape (ϕ_o) consiste à former des molécules organiques à partir des matériaux originels de la Terre. Dans ce domaine, les expériences d'Harold Urey et Stanley Miller avaient montré qu'on pouvait, en laboratoire, à partir de mélanges gazeux ressemblant aux atmosphères primitives, faire à peu près tous les acides aminés connus (les briques du vivant) à l'aide d'un apport d'énergie comme la lumière ultra violette ou les décharges électriques⁴. De telles molécules produites dans l'atmosphère à la cadence d'une tonne par seconde, se dissolvent dans les océans où elles peuvent survivre à l'abri des ultraviolets (qui sans cela les dissocieraient). Le cycle **hors de l'eau - dans l'eau** commence ; ces molécules se concentrent petit à petit et finissent par former une soupe organique dans laquelle va se dérouler l'étape suivante.

En fait trop d'acides aminés ont été produits car dans les êtres vivants terrestres, seuls vingt d'entre eux jouent un rôle. Le processus suivant va consister à créer de longues chaînes de tels acides (polymérisation) (ϕ_p) mais à partir de certains d'entre eux uniquement. La difficulté ici est que la polymérisation se fait très bien dans l'eau, mais comme l'eau dissocie aussi très bien les chaînes de molécules polymérisées, on se trouve dans la situation de Pénélope faisant et défaisant sans cesse son travail, il faut donc trouver un moyen

de protéger les polymères de l'eau et le cycle **hors de l'eau - dans l'eau** est à nouveau indispensable. Là, soit des lacs qui s'évaporent, soit des lieux propices aux effets de marée vont devenir nécessaires. la présence d'un gros satellite comme la Lune est sans doute une autre condition indispensable à l'apparition de la vie. Ensuite ces molécules compliquées doivent s'isoler du milieu extérieur (apparition de la membrane) et trouver un moyen de se reproduire (ϕ_r) C'est le passage de l'inerte au vivant, passage très mal connu et non encore résolu. Toutefois on sait déjà faire apparaître des membranes (les célèbres coacervats d'Oparin) et répliquer certains polymères. Pour cette étape, le retour partiel dans le milieu liquide est nécessaire. Encore le cycle **hors de l'eau - dans l'eau**.

Ensuite (ϕ_c) il faut former les premiers systèmes vivants unicellulaires, cellules qui existaient sur Terre il y a plus de 3,8 milliards puisqu'on en a retrouvé leurs traces fossiles.

Puis (ϕ_a) le mécanisme de sélection naturelle a fait évoluer ces systèmes vivants vers des êtres de plus en plus complexes.

Dans cette succession d'étapes, les choses vont au début très lentement puisqu'il faut au moins 200 millions d'années pour produire une soupe organique assez concentrée dans les océans. Ensuite, de plus en plus rapidement, les mécanismes doivent s'enchaîner pour mener à l'apparition des premiers êtres vivants. Cette succession d'événements a l'air inéluctable mais semble toutefois dépendre de ce cycle **hors de l'eau - dans l'eau**, qui pourrait ne pas toujours se produire. Comme il reste difficile d'évaluer chaque facteur, il semble plus raisonnable de dire aujourd'hui que globalement f_v est de l'ordre de 0,1 compte tenu de cette difficulté ; les différents facteurs ϕ_o , ϕ_p , ϕ_r , ϕ_c , ϕ_a , étant tous probablement proches de l'unité.

Viennent ensuite les estimations de plus en plus incertaines qui, de fait n'ont que peu progressé ces dernières années. On peut toutefois dire que pour l'émergence de l'intelligence (f_i), plusieurs sous-étapes aussi peuvent être identifiées telles que :

1 - le développement d'une atmosphère d'oxygène produite par les organismes vivants qui, quoique représentant la plus grande catastrophe écologique de tous les temps, c'est à dire après avoir provoqué la disparition de l'essentiel des espèces sur Terre, ce changement a permis le développement des cellules eucaryotes, capables d'employer les réactions chimiques faisant intervenir l'oxygène. Ces nouveaux mécanismes vont pouvoir faire fonctionner, beaucoup plus tard, un système tel que le cerveau, grand consommateur d'énergie :

2 - le passage du milieu aquatique à la terre ferme semble aussi nécessaire, une nouvelle forme du cycle **hors de l'eau - dans l'eau** ; il a été rendu possible par la formation de la couche d'ozone qui elle-même a été produite à partir de l'atmosphère d'oxygène ; elle protège des rayons ultraviolets du Soleil les êtres vivants qui avaient abandonné la protection aquatique : ce passage sur la terre ferme semble nécessaire au développement du cerveau puisque, même les cétacés aux capacités cérébrales évidentes, sont le fruit de l'évolution d'êtres qui ont fait un certain séjour hors des océans pour y retourner ensuite :

3 - la régulation thermique semble aussi une étape nécessaire, le cerveau fonctionnant évidemment mieux dans un environnement contrôlé :

4 - la spécialisation des mains et des yeux est probablement aussi indispensable au bon fonctionnement du cerveau : interaction formatrice de ces sens avec le cerveau :

5 - en rapport avec le point précédent émergence et développement des outils :

6 - le développement des structures sociales qui impose de nouvelles contraintes au développement du cerveau.

L'évaluation du facteur f_1 reste toujours très vague mais probablement proche de l'unité, compte tenu des mécanismes très efficaces de sélection naturelle.

Sur le thème de la communication, peu de progrès ont été faits tant le problème est compliqué. Ce qui pourrait être ajouté toutefois est qu'il faudrait tenir compte de la capacité de communication f_c mais encore du désir de

communiquer f_d , paramètre nouveau encore plus obscur. En effet, il n'est pas facile de savoir si une civilisation a ou n'a pas le désir de communiquer. Cependant, comme toutes ne peuvent pas avoir la même attitude, pour masquer notre ignorance, il est "raisonnable" de dire que f_c est de l'ordre l'unité alors que f_d serait de l'ordre de 0,5.

Ces évaluations sont si difficiles qu'il ne nous reste probablement qu'à plaisanter sur le thème de la communication en imaginant une discussion entre deux dauphins, l'un disant à l'autre : "il est vrai que les humains font des gestes et émettent des sons mais il n'y a pas de preuve indiscutable qu'ils communiquent véritablement entre eux".

Le dernier paramètre D, définissant le temps pendant lequel une civilisation communiquera, est évidemment encore plus vague, mais là encore on pourrait préciser qu'il est difficile d'imaginer qu'une civilisation tente de communiquer sans résultat pendant plus d'un million d'années ; en effet on doit se lasser de tout !

Ainsi nos nouvelles estimations nous donnent : $N = 2,5 \cdot 10^{-4}$. D

L'estimation pessimiste serait donc de 0,01 civilisations dans notre Galaxie en train de communiquer alors que l'optimiste donnerait N plutôt de l'ordre de 100 civilisations. Ces nombres restant hautement incertains il serait finalement tout à fait possible que nous soyons seuls dans notre Galaxie.

Cette idée a encore été renforcée par un nouvel argument de Michael Hart fondé sur le fait que les voyages interstellaires ne semblent pas physiquement impossibles (des études techniques très précises ont montré qu'en extrapolant de façon plausible notre technologie actuelle, il serait possible d'envisager de se déplacer entre les étoiles à un dixième de la vitesse de la lumière). De tels voyages permettraient à une civilisation avancée de migrer "lentement" d'étoile en étoile. Le voyage jusqu'aux étoiles les plus proches pourrait se faire en quelques années "à peine". Cet argument ne semble mener nulle part et pourtant, si on admet qu'une telle civilisation émerge, ce qui pourrait être le cas de la nôtre dans, disons un millénaire (si elle existe toujours), elle se

répandrait dans la Galaxie en quelques cinquante millions d'années, ce qui est foudroyant ! Si une seule civilisation de ce type était apparue, elle serait presque "instantanément" présente partout dans la Galaxie et en particulier elle serait déjà là ! Or, comme nous ne la voyons pas, cela voudrait dire que nous sommes effectivement seuls sur notre île déserte galactique.

Pour mieux percevoir le côté foudroyant de cette expansion et donc pourquoi nous sommes probablement seuls, nous allons transposer les échelles de temps car la raison est en effet essentiellement temporelle. Nous allons ainsi fabriquer un calendrier dans lequel une année représente la durée de l'Univers tout entier depuis sa naissance jusqu'à aujourd'hui. Dans une telle transposition les dates importantes sont celles indiquées dans le tableau de la page suivante.

Ainsi ce dernier argument de Michael Hart renforce amplement le paradoxe déjà soulevé Enrico Fermi quand il disait : "mais où sont-ils ?"

Pour contourner ce paradoxe, il semble difficile aujourd'hui de trouver des arguments tels que :

1 - les voyages interstellaires sont impossibles : difficiles certainement mais pas impossibles ;

2 - "Ils" ne sont pas encore là ; si tel était le cas, depuis que notre Galaxie existe notre civilisation serait la première à avoir émergé ! Concernant l'émergence de la vie, il ne se serait donc rien passé ou presque, de mai à septembre, au cours de l'Année Cosmique ; cela paraît bien improbable ;

3 - "Ils" ne viennent pas pour des raisons sociologiques telles que manque d'intérêt, autodestruction, par souci d'économie ou parce que nous serions à l'intérieur d'un "zoo" protégé ; tous ces arguments sont difficiles à tenir car ils imposeraient qu'aucune civilisation jamais n'aurait franchi tous ces obstacles ; cela serait une éventualité bien trop systématique comptetenu de la diversité des civilisations qu'il est raisonnable d'imaginer.

On se retrouverait donc seuls, à nouveau au centre de l'Univers ! Bien gênante situation après des siècles de lutte contre l'anthropocentrisme.

Année cosmique

Big Bang	1er janvier
Premières galaxies	2 janvier
Origine de la Voie lactée (le disque)	1er mai
Origine du Système solaire	13 septembre
Origine de la vie	20 septembre
Forme simple de vie	11 octobre
Premiers fossiles	15 octobre
Début de la photosynthèse	12 novembre
Floraison des cellules eucaryotes	20 novembre
Atmosphère d'oxygène et d'azote	3 décembre

Décembre

Atmosphère d'oxygène et d'azote	3
Volcanisme et fleuves martiens	7
Premiers vers	16
Trilobites, plancton	18
Premiers poissons, vertébrés	19
Premières plantes sur la terre	20
Premiers animaux quittent les océans	21
Premiers insectes volants	22
Premiers arbres, premiers reptiles	23
Premiers dinosaures	24
Règne des dinosaures	25
Premiers mammifères	26
Premiers oiseaux	27
premières fleurs ; les continents se séparent	28
Premiers cétacés ; premiers primates	29
Fin des dinosaures ; règne des mammifères	30
Premiers humains	31

31 décembre

Le premier singe descend des arbres	14h
En Europe les arbres se forment	15h
Premiers humains	21h30
Age de pierre	23h
Contrôle du feu	23h46
Emergence de l'art	23h50
Début de la première période glaciaire	23h56
Homme de Neandertal	23h57
Début de l'astronomie : pyramides d'Egypte	23h59min50s
Invention de l'alphabet	23h59min51s
Guerre de Troie	23h59min53s
Naissance du Christ	23h59min56s
Renaissance en Europe	23h59min59s

Minuit moins

Déclaration des droits de l'Homme	4/10 s
Début de la révolution industrielle	2/10 s
Première tentative de communication extraterrestre	6/100 s
Premier homme sur la Lune	4/100 s

Et si tout va bien nous pouvons prédire l'avenir de notre civilisation

Nouvelle Année

L'humanité occupe le système solaire	1er janvier 00h00min01s
L'humanité occupe toute la Galaxie	2 janvier
Fin du système solaire	1er avril

En conclusion, il se pourrait que nous soyons seuls, comme il se pourrait que plusieurs centaines de civilisations cohabitent en ce moment même dans la Galaxie. Quoiqu'il en soit, ce domaine fait maintenant véritablement partie de la recherche scientifique puisqu'il est expérimentalement vérifiable. Nous pouvons de plus constater la maturation de l'exobiologie au cours des dernières années qui étudie maintenant directement les origines de la vie, l'approfondissement en astrophysique de nos connaissances sur les systèmes planétaires grâce aux découvertes spectaculaires de planètes extrasolaires beaucoup plus nombreuses et diversifiées que prévues. Enfin la colonisation de l'espace va considérablement se développer au cours des prochaines années avec la mise en place de la station spatiale permanente. Quelques millions d'années encore et nous serons présents sur chaque planète de notre Galaxie !

Quels que soient les résultats des tentatives de communication avec d'éventuelles civilisations extraterrestres, nous sommes en train d'assister à la naissance du grand thème de recherche du prochain millénaire au cours duquel les réponses à toutes ces questions seront certainement trouvées.

Notes

1 - Revue de l'AFAS, 99-3, juillet 1999. Nous remercions la rédaction de la revue pour son autorisation à reproduire cet article dans nos Cahiers.

L'AFAS, association française pour l'avancement des sciences, a été créée en 1872, oeuvre commune de milieux industriels, bancaires, commerciaux et scientifiques où la science est pensée comme facteur de progrès industriel et social. Elle développe ses initiatives scientifiques sur un terrain non académique.

2 - Vidal Madjar A., Il pleut des planètes, 1999, Hachette littérature, Paris : critique dans les "lectures pour la Marquise" de ce numéro.

3 - Cf. l'article de Jean Heidmann dans le CC68 (hiver 1994-95): Seti et la bioastronomie.

4 - Voir l'article de Guy Moreels : les origines de la vie dans l'univers (CC86, été 1999).

Annexe : Extrait de l'astronomie populaire de Camille Flammarion

Ainsi il est difficile de ne pas voir sur Mars des scènes analogues à celles qui constituent nos paysages terrestres ; ruisseaux courant dans leur lit de cailloux dorés par le soleil : rivières traversant les plaines ou tombant en cataractes au fond des vallées : fleuves descendant lentement à la mer à travers les vastes campagnes. Les rivages maritimes reçoivent là, comme ici, le tribut de canaux aquatiques, et la mer y est tantôt calme, comme un miroir, tantôt agitée par la tempête ; elle y est même bercée, comme ici, du mouvement synchronique des marées causées par deux lunes tournant rapidement dans le ciel.

Ainsi donc, voilà dans l'espace, à quelques millions de lieues d'ici, une terre presque semblable à la nôtre, où tous les éléments de la vie sont réunis aussi bien qu'autour de nous : eau, air, chaleur, lumière, vents, nuages, pluie, ruisseaux, fontaines, vallons, montagnes. Pour compléter la ressemblance, rappelons-nous que les saisons y ont à peu près la même intensité que sur la Terre, et que la durée du jour y est seulement un peu plus longue que la nôtre. C'est là certainement un séjour peu différent de celui que nous habitons.

L'analogie de Mars avec la Terre ne cesse pas lorsqu'on examine cette planète au point de vue des êtres animés qui doivent la peupler. Ses habitants peuvent être considérés comme étant ceux dont la conformation doit se rapprocher le plus de la nôtre. Le philosophe Kant supposait même déjà au siècle dernier qu'ils peuvent être rangés, pour le moral, dans la catégorie des hommes de la Terre : il pensait que les habitants des planètes inférieures, Mercure et Vénus, sont trop matériels pour être raisonnables, et n'ont probablement même pas la responsabilité de leurs actes, et il rangeait les humanités de la Terre et de Mars dans un juste milieu moral, ni absolument grossiers ni absolument spirituels. "Ces deux planètes, écrivait-il, sont placées au milieu de notre système planétaire de façon que l'on puisse supposer sans invraisemblance que leurs habitants possèdent une condition moyenne, dans leur physique comme dans leur moral, entre les deux points extrêmes". Pour peindre la perfection et la félicité dont jouissent les habitants des planètes supérieures, depuis Jupiter jusqu'aux confins du système, Kant cite deux vers de Haller dont voici la traduction : "les astres sont peut-être le séjour d'esprits glorifiés ; de même qu'ici règne le vice, là-haut la vertu est souveraine".

Mais ce sont là des arguments purement spéculatifs. Nous n'avons encore aucune base pour juger de l'état intellectuel des humanités planétaires. Tout ce que nous pouvons penser, c'est que le moral étant naturellement avec le physique, plus la planète est rude et moins la sensibilité doit être grande, de sorte que sans doute les habitants de Mercure et Vénus peuvent être moins "intellectuels" que nous. D'autre part, les humanités progressent avec le temps, et Mars s'étant formé avant la Terre et s'étant refroidi plus vite doit être plus avancé, à tous les points de vue. Il est sans doute arrivé à son apogée, tandis que nous ne sommes encore que des enfants qui jouent sérieusement au cerceau.

Bibliographie

1 - Audouze J. et Israël G., Le Grand Atlas de l'Astronomie Universalis, 1983, Encyclopedia Universalis, Paris.

2 - Cocconi G. et Morisson P., Searching for interstellar Communications, 1959, Nature, 184, 844.

3 - Crowe M.J., The extraterrestrial Life Debate, 1750-1900, 1986, Cambridge University Press.

4 - Flammarion C., l'Astronomie populaire, 1880, Eds C. Marpon et E. Flammarion.

5 - Gault H. et Millau C. 1998, Gault Millau, Paris.

6 - Goldsmith D. et Owen T., The

Search for life in the Universe, 1980, The Benjamin/Cummings Publishing-Company, Inc., New York.

7 - Hart M.H., The Evolution of the Atmosphere of the Earth, 1978, Icarus, 33, 23.

8 - Hart M.H., An explanation for the absence of Extraterrestrials on Earth, 1975, Q.J.R. Astron Soc., 16, 128.

9 - Major M. et Queloz D., A Jupiter-mass companion to a Solar-type Star, 1995, Nature, 378, 355.

10 - Rood R et Trefil J., L'Univers : Sommes-nous Seuls ?, 1985, Ed.P. Belfond.

11 - Sagan C., The dragons of Eden, 1977, Random House Inc.

12 - Sagan C., et Schklovsky, Intelligent Life in the Universe, 1968, Holden Day, San Francisco.

Erratum

Une erreur a échappé à nos relectures dans l'article de fond du n° 88 : la matière noire non baryonique.

P.3, à la fin de la troisième colonne il faut remplacer neutron par neutrino : lors des annihilations avec leurs antiparticules il y a émission de **neutrinos** énergétiques.