

La place de l'homme dans l'univers

par Trinh Xuan Thuan*

Je voudrais présenter ce sujet en deux volets : le premier s'intitulerait « le fantôme de Copernic », montrant comment l'homme a rapetissé de plus en plus à la fois dans l'espace et dans le temps depuis Copernic ; comment nous avons assisté à un désenchantement du monde, qui fait écho au fameux cri d'angoisse de Blaise Pascal : « Le silence des espaces infinis m'effraie ». Puis, dans une deuxième partie, je développerai le thème que nous avons peut-être, même si nous sommes très petits dans le temps et dans l'espace, notre rôle à jouer. L'observateur de l'univers va s'émerveiller devant l'harmonie, la beauté de cet univers qui, peut-être, possède un sens. C'est le réenchantement du monde.

La cosmologie moderne a radicalement changé la vision de notre place dans l'univers. Le premier choc est arrivé en 1543, quand Copernic a délogé la terre de sa place centrale et mis le soleil au centre de l'univers -le système solaire était l'univers à ce moment-là. Notre terre s'est retrouvée reléguée au rang d'une simple planète tournant autour du soleil. Déjà, pour aller à la limite du système solaire, il faut à la lumière cinq heures (nous parlerons en heures-lumière et en années-lumière, ce sont les distances parcourues par la lumière en une heure ou en une année. C'est une façon commode de noter des distances dans l'univers).

Au XIX^e siècle, on a découvert que le soleil lui-même n'était pas au centre de notre voie lactée : il s'est perdu à son tour parmi les cinq milliards d'étoiles qui constituent la voie lactée. Devenu une simple étoile de banlieue située à 30 000 années-lumière du centre galactique, il fait le tour de la voie lactée tous les 250 millions d'années, nous entraînant avec lui dans l'espace à 250 Kms/seconde.

L'univers se réduisait-il à la voie lactée ? C'était la grande question au début du XX^e siècle. Y avait-il d'autres mondes, d'autres univers-îles, comme Kant les appelait, qui étaient au-dehors de notre voie lactée ? Hubble apporta la réponse en mesurant la distance de la galaxie la plus proche de nous et semblable à la voie lactée : Andromède. Il démontra que celle-ci est située à deux millions d'années-lumière ; c'est-à-dire que la lumière qui parvient maintenant à nos télescopes est partie de là-bas avant que le premier homme apparaisse sur terre. Cette distance est à comparer avec le diamètre de notre voie lactée : seulement 90 000 années-lumière. Les portes de l'univers extragalactique se sont ouvertes toutes grandes et maintenant, nous savons que notre voie lactée n'est qu'une galaxie parmi environ cent milliards d'autres galaxies qui peuplent l'univers observable.

En regardant de plus en plus loin dans l'espace, avec des télescopes de plus en plus puissants, on découvre qu'il y a une organisation des galaxies en

* Astrophysics Laboratory, Department of astronomy. 122 Oak Forrest Circle. Charlottesville. Virginia 22901. USA

structures. Je vais prendre une image : si les galaxies sont les « maisons » de l'univers, une galaxie comme la nôtre se groupe en « groupe local » avec la galaxie d'Andromède et une vingtaine de galaxies naines. Le groupe-local équivaut à un petit village de l'univers. Les galaxies peuvent s'assembler en plus grand nombre dans des amas, des ensembles de milliers de galaxies qui sont comme des villes de province de l'univers ; et puis ces amas peuvent même s'assembler en super-amas comme des grandes métropoles de l'univers. Les galaxies ne sont pas uniformément distribuées dans l'espace : il y a de grands vides en forme de bulle de savon, avec des diamètres de cent millions d'années-lumière, et de grands murs de galaxies qui s'étendent aussi sur des centaines de millions d'années-lumière. Comprendre comment l'univers est passé de son état homogène et uniforme du début à cette magnifique tapisserie cosmique tissée par les galaxies est l'un des grands problèmes de l'astrophysique contemporaine.

L'homme s'est donc rapetissé de plus en plus dans l'espace. Je rappelle qu'une minute-lumière équivaut à 18 millions de Km ; une heure-lumière à un milliard de Km ; une année-lumière à 10 mille milliards de Km. La distance soleil-terre, c'est 8 mns-lumière ; le système solaire jusqu'à Pluton, c'est 5,2 heures de lumière ; la distance du soleil au centre galactique est de 30 000 années-lumière ; la voie lactée est un disque de 90 000 années-lumière ; la distance de la voie lactée à Andromède est de 2 millions d'années-lumière. Puis nous arrivons à de plus grandes dimensions ; des groupes de galaxies avec des diamètres de 6 millions d'années-lumière ; des amas de galaxies de diamètre de 30 millions d'années-lumière ; avec les télescopes les plus puissants de la terre, on peut regarder très loin dans l'espace, jusqu'à une distance de 12 milliards d'années-lumière. Et l'univers observable, c'est-à-dire la partie de l'univers dont la lumière a eu le temps de nous parvenir, a un rayon de 15 milliards d'années-lumière.

Puisque l'espace et le temps sont connectés, car, en ce qui concerne l'univers observable, la distance est un temps multiplié par la vitesse de la lumière, l'homme en se rapetissant dans l'espace, s'est aussi rapetissé dans le temps. Pour illustrer cela plus clairement, je vais comprimer toute l'histoire des 15 milliards d'années de l'évolution cosmique en une année et je vais vous présenter un calendrier cosmique. Le Big-Bang a lieu le 1^{er} janvier, la formation de la voie lactée quelques mois plus tard, le 1^{er} avril ; et puis la formation du système solaire encore plus tard, le 9 septembre seulement. Et puis survient la longue évolution de la vie sur terre ; la première cellule vivante apparaît le 25 septembre ; les plus vieux fossiles — les bactéries et les algues bleues — le 9 octobre ; puis l'invention du sexe par les micro-organismes, le 1^{er} novembre. Le 19 décembre apparaissent les premiers poissons. Les premiers insectes font leur apparition le 21 décembre ; les premiers arbres arrivent seulement le 23 décembre ; les premiers oiseaux, le 27 décembre ; puis les dinosaures sortent de scène le 28 décembre, après quatre jours d'existence.

Toute l'évolution de l'homme se passe le 31 décembre. Les premiers hommes rentrent en scène à 22h30, et l'homme civilisé ne survient qu'à la dernière minute de l'année ! Les peintures de Lascaux sont faites à 23h 59

minutes ; la civilisation égyptienne, le développement de l'astronomie se produisent pendant les 10 dernières secondes de l'année : 23h59 minutes 59 s ; Bouddha et le Christ n'arrivent que dans les 5 dernières secondes de l'année ; la Renaissance et la naissance de la science occidentale, la conquête de l'espace, la recherche d'une existence extra-terrestre et le péril écologique ne surviennent qu'à la dernière seconde de l'année. L'homme civilisé occupe vraiment un temps infime dans l'évolution cosmique.

La cosmologie moderne a rapetissé l'homme à la fois dans le temps et dans l'espace. Quelle attitude adopter alors ? Faut-il désespérer ? Faut-il s'angoisser devant ces espaces infinis comme Blaise Pascal, ou se dire que « l'homme a émergé par hasard dans un univers qui lui est complètement indifférent », comme Jacques Monod ? Ou avons-nous tout de même un rôle à jouer -même si, depuis Copernic, nous n'occupons plus le centre du monde ? Pour tenter d'apporter un élément de réponse à cette question, je vais maintenant aborder le principe anthropique, du grec *anthropos*, qui veut dire homme. Ce principe dit que l'univers semble avoir été réglé de façon extrêmement précise pour que la vie et l'intelligence, telles que nous les connaissons, apparaissent. En fin de compte, l'existence de ce réglage redonne du sens à notre propre existence.

Comment montrer ce réglage si précis ? Bien sûr, l'astrophysicien ne peut pas recréer le Big-Bang en laboratoire, la température à l'origine étant de l'ordre de 10^{32} degrés. Il faudrait des accélérateurs de particules qui s'étendraient jusqu'à la prochaine étoile pour reproduire une aussi haute température. Mais, heureusement, l'astrophysique dispose de puissants ordinateurs avec lesquels il peut créer des univers-jouets. Quels ingrédients faut-il mettre dans l'ordinateur pour concocter un univers-jouet ? Il faut d'abord y introduire les quatre forces physiques qui contrôlent tous les phénomènes de l'univers. D'abord la force gravitationnelle qui est la colle de l'univers : c'est elle qui tient ensemble les planètes, les étoiles, les galaxies, qui fait que nous ne flottons pas dans l'air. Vient ensuite la force électromagnétique qui est la colle des atomes et qui donne leur forme aux choses. Et puis viennent les deux forces nucléaires : la force forte qui tient ensemble les protons et les neutrons pour former les noyaux d'atomes et la force faible responsable de la radioactivité. En plus des quatre forces, il faut introduire dans l'ordinateur une quinzaine de nombres qu'on appelle les constantes physiques. Par exemple, il y a la vitesse de la lumière (300 000 Km/seconde) ; la masse du proton ou la masse de l'électron. Nous mesurons ces nombres avec une grande précision dans nos laboratoires, mais nous n'avons aucune théorie pour expliquer pourquoi ils ont telle valeur et non pas telle autre. En plus des constantes physiques, il faut préciser les conditions initiales de l'univers : sa densité d'énergie initiale, son taux d'expansion initial, etc. On fait ensuite évoluer l'univers-jouet grâce à l'ordinateur. Après une évolution de 15 milliards d'années, on lui pose la question à 1 000 francs : est-ce qu'il y a de la vie et de la conscience dans cet univers-jouet ? Et la réponse est vraiment très étonnante : si on varie un tant soit peu les constantes physiques et conditions initiales, on aboutit à un univers complètement infertile et dénué de conscience, et donc d'observateur pour apprécier sa beauté et son harmonie.

Pour comprendre cela, il faut savoir que la vie telle que nous la connaissons est à base de carbone. Or, ce carbone n'a pas été produit lors du Big Bang. Le Big Bang n'avait réussi à fabriquer que de l'hydrogène et de l'hélium. Le carbone tout comme les autres éléments lourds a été formé plus tard dans les étoiles. Nous sommes tous des « poussières d'étoiles », et l'existence de notre vie dépend du fait que les étoiles existent et peuvent faire leur alchimie nucléaire, puis éjectent les produits de cette alchimie nucléaire dans l'espace interstellaire pour former, éventuellement, des planètes sur lesquelles la vie pourrait émerger. Tout cela demande du temps, et c'est pourquoi l'univers doit être aussi âgé. Il faut quelques milliards d'années pour que toute cette évolution cosmique s'accomplisse.

Dans environ plus de cinq milliards d'années, le soleil s'effondrera en ce qu'on appelle une naine blanche (un cadavre stellaire compact de la taille de la terre) en éjectant son enveloppe qui aura été enrichie par son alchimie créatrice en éléments lourds : carbone, azote, oxygène et autres éléments nécessaires à la vie et à l'émergence de la conscience. C'est une mort très douce et ce n'est pas une façon très efficace pour ensemercer l'espace interstellaire d'éléments lourds. La façon la plus efficace est de faire éclater l'étoile en une supernova. L'explosion dégage autant d'énergie pendant cette phase que l'énergie de 100 millions de soleils.

Les étoiles jouent donc un rôle essentiel pour l'émergence de la vie et de la conscience ; comment fabriquent-elles le carbone à partir de l'hélium ? Un noyau de carbone résulte de la combinaison de trois noyaux d'hélium. Une rencontre simultanée de trois noyaux d'hélium est très difficile à arranger, il est beaucoup plus facile de faire se rencontrer deux noyaux d'hélium pour former un noyau intermédiaire, un noyau de beryllium, et ensuite de faire se rencontrer ce noyau de beryllium avec un troisième noyau d'hélium pour former un noyau de carbone. Mais il y a un hic : le beryllium a un temps de vie très court. Dès qu'il se forme, il se désintègre tout de suite : en fait le temps de vie de ce noyau de beryllium, est de l'ordre de 10^{-15} secondes (le chiffre 1 arrive après 15 zéros). Donc, *a priori*, il ne dure pas assez longtemps pour se combiner avec un noyau d'hélium et fabriquer un noyau de carbone. À moins qu'il existe ce qu'on appelle une résonance d'énergie, c'est-à-dire que la somme des énergies des noyaux de beryllium et d'hélium soit très proche d'un niveau d'énergie du carbone. Or on ne connaissait, à cette époque, aucun niveau d'énergie du carbone ayant cette valeur. L'astrophysicien britannique Fred Hoyle a alors tenu un raisonnement de caractère anthropique : « Nous existons et nous savons que nous sommes faits de carbone. Donc, il faut que le carbone existe et il faut nécessairement que ce niveau d'énergie existe ». Il a demandé à ses collègues de mesurer ce niveau d'énergie et ils l'ont trouvé exactement où il a été prévu. La somme de l'énergie de l'hélium et du beryllium est de l'ordre de 7,370 millions d'électronvolts (le Mev est une unité d'énergie) et l'énergie du carbone est légèrement supérieure : 7,656 Mev et c'est ce qui permet à cette réaction résonante de se produire bien que le beryllium disparaisse très vite. La valeur des niveaux d'énergie d'un atome dépend de nombreuses constantes physiques, telles la masse du proton, la masse

de l'électron, l'intensité de la force électromagnétique, etc. Or ces constantes ont eu justement les valeurs nécessaires pour que le carbone, et donc la vie telle que nous la connaissons, apparaisse. Première coïncidence.

Mais il y a une deuxième coïncidence, tout aussi extraordinaire. Elle concerne la fabrication de l'oxygène qui résulte de la combinaison d'un noyau de carbone avec un noyau d'hélium. En fabriquant l'oxygène, il faut faire attention de ne pas détruire complètement le carbone car il faut le conserver pour engendrer la vie plus tard. Ici intervient la seconde coïncidence : le niveau d'énergie de l'oxygène est légèrement inférieur à la somme de l'énergie du carbone et de l'hélium. Et cela empêche justement la transformation de tout le carbone en oxygène. Ainsi la nature a donc réglé de façon extrêmement précise les constantes physiques, de manière à produire en abondance du carbone et de l'oxygène qui sont tous deux nécessaires à la vie.

Il y a d'autres coïncidences tout aussi extraordinaires. Je vais vous décrire celle qui existe entre la charge électrique du proton et celle de l'électron. L'électron a une charge négative, le proton a une charge positive. On a mesuré avec une grande précision ces charges. Bien que le proton soit près de 2 000 fois plus massif que l'électron, leurs charges sont égales, et on ne sait pas pourquoi. Si la charge électrique du proton et celle de l'électron différaient seulement d'un cent millième de milliardième, les pierres, les tables, les personnes exploseraient à cause du déséquilibre électrique qui existerait entre les charges. À l'échelle des galaxies ou des étoiles, cette contrainte d'égalité des charges devient encore plus importante, car il y a beaucoup plus d'atomes. Si la charge du proton et la charge de l'électron différaient seulement d'un milliardième de milliardième, tout exploserait : la terre, le soleil, les étoiles. De nouveau, le réglage doit être extrêmement précis.

Une autre coïncidence : celle qui concerne les masses du neutron et du proton. Il se trouve que le neutron a un millième de plus de masse que le proton. Et cette différence est très importante pour la vie telle que nous la connaissons. Le temps de vie du neutron est très petit : de l'ordre de 15 minutes seulement. En fait il se désintègre en proton. Tandis que le temps de vie du proton est pratiquement éternel. Les expériences montrent qu'il doit vivre au moins 10^{32} années. Il en est ainsi parce que la masse du neutron est plus grande que la masse du proton et donc le neutron peut se désintégrer en proton. À cause de sa longue vie, le proton peut servir de carburant nucléaire aux étoiles. Mais si l'inverse était vrai, si la masse du proton était plus grande que la masse du neutron, ce serait le proton qui se désintégrerait en neutron, et ce serait le neutron qui servirait de carburant. Or, la combustion du neutron est très rapide, et les étoiles dureraient seulement un siècle si elles étaient composées en totalité de neutrons. De nouveau, les masses du proton et du neutron ont juste la valeur nécessaire pour que la vie et la conscience apparaissent.

Je peux encore vous décrire d'autres univers-jouets. Prenons un univers-jouet où la force nucléaire forte est divisée par deux. Les deutérons, qui résultent de la combinaison d'un proton et d'un neutron, ne se forment plus parce que la

force forte ne sera pas assez forte pour retenir le neutron et le proton ensemble. Il n'y aura pas non plus d'hélium puisque celui-ci résulte de la combinaison de deux deutérons. Sans hélium, pas de combustion nucléaire, ni d'étoiles ni de vie. Et si nous augmentons la force forte par un facteur de 2, les protons se combinent 2 par 2 pour former ce qu'on appelle un diproton. Le diproton est un carburant qui brûle très vite : les réactions s'emballent et les étoiles explosent. La vie n'a pas le temps d'apparaître. De nouveau, nous constatons que les constantes physiques, l'intensité des forces physiques, sont très soigneusement réglées, dans notre univers, pour l'apparition de la vie.

Encore un autre exemple, qui va permettre de répondre à la question : pourquoi vivons-nous dans un espace à trois dimensions ?

Supposons que nous vivions dans un univers à une dimension, c'est-à-dire sur une ligne droite, ou dans un univers à deux dimensions c'est-à-dire un plan. Dans un univers à une ou deux dimensions, notre cerveau, qui est composé de milliards de neurones, sera soit une ligne droite, soit totalement aplati. Tous les signaux électriques qui parcourent les neurones s'entrecroisent parce que tout sera sur la même ligne droite ou sur le même plan, donc la pensée ne sera pas possible. Il faut un univers à trois dimensions ou plus pour fabriquer un cerveau avec des neurones, où les signaux ne se mêleront pas. Considérons maintenant tous les univers avec plus de trois dimensions : quatre, cinq, etc. On s'aperçoit que, dans ces univers, les orbites des planètes ne seront plus stables autour des étoiles. Si la terre était dans un tel univers, soit elle tomberait vers le soleil, ce qui détruirait toute vie, soit elle s'éloignerait du soleil et deviendrait un vagabond dans l'espace glacé du milieu interstellaire où toute vie est impossible. L'univers à trois dimensions où nous vivons, est le seul qui permette l'émergence de la vie et de l'intelligence.

Je vais vous décrire maintenant le réglage de la densité de matière de l'univers. La matière exerce une force gravitationnelle attractive qui ralentit l'expansion de l'univers. Si la densité était trop grande, les galaxies, au lieu de s'éloigner les unes des autres, se rapprocheraient et le Big Bang serait devenu un Big Crunch : tout s'effondrerait au bout d'une année, de dix années, d'un siècle ou peut-être d'un million d'années. Et à nouveau, c'est un temps trop court pour que la vie et la conscience, la complexité, émergent.

Diminuons alors la densité de l'univers : maintenant la gravité est tellement faible que les galaxies et les étoiles ne se formeraient pas. En fait, on doit régler cette densité de l'univers à son commencement avec une précision de l'ordre de 10^{-12} . Pour vous donner une image, la précision du taux d'expansion initial de l'univers doit être comparable à la précision qu'il faut à un archer pour planter une flèche dans une cible d'un centimètre carré de côté, qui serait placée de l'autre côté de l'univers, à 15 milliards d'années-lumière. Une précision extrême.

Dans mon dernier exemple, je vais jouer avec la force de gravité. La force de gravité est très faible par rapport à la force électromagnétique, le rapport des

deux forces étant de l'ordre de 10^{-40} : c'est pourquoi vous pouvez soulever un clou avec un aimant, bien que toute la masse de la terre attire le clou. Mais malgré sa faiblesse, la gravité règne dans l'univers parce que la matière s'additionne toujours, tandis que, à cause de l'égalité de la charge de l'électron et du proton, les charges électriques et la force électromagnétique s'annulent.

Alors, si on construit un univers où la force de gravité est multipliée par 10, quelles en sont les conséquences ? Les étoiles, bien sûr, deviendront beaucoup plus petites parce que les forces d'attraction dues à la gravité seront beaucoup plus fortes. Une étoile dans cet univers pèsera 10^{-15} fois la masse de notre soleil. En fait, elle aura une masse de 10^{12} tonnes, celle d'un astéroïde. Le diamètre de l'étoile sera de l'ordre de 2 Km au lieu de 200 000 Km, sa durée de vie sera d'une année au lieu des 10 milliards d'années de notre soleil. On aura ainsi un univers où tout sera accéléré dans le temps, où tout sera beaucoup plus petit. La taille des galaxies deviendra aussi beaucoup plus petite (un dixième de milliardième de fois moins grande), les planètes seront beaucoup plus proches de leur soleil (trois cents fois plus proches). Au lieu de 365 jours pour faire le tour de leur étoile, il leur faudra 20 jours seulement. Et la planète tournera sur elle-même en une seconde. Sur terre, la plus grosse montagne aura 30 cm. Les organismes vivants de cet univers seront beaucoup plus petits et moins massifs. Ils auront la masse d'un millième de gramme. Dans ce genre d'univers, la complexité qui engendre l'intelligence et la conscience aura bien des difficultés à émerger.

Ainsi notre existence dépend d'un réglage d'une précision inimaginable des constantes physiques et des conditions initiales de l'univers.
Quelle attitude adopter devant cette constatation ?

Nous nous trouvons face à deux alternatives : nous pouvons dire que ce réglage est complètement dû au hasard. Alors pour expliquer son existence, il faut postuler une infinité d'univers parallèles. La notion d'univers parallèles a surgi à plusieurs occasions en physique. D'abord en mécanique quantique. Selon le physicien américain Hugh Everett, l'univers se divise en deux chaque fois qu'il y a alternative, choix ou décision.

Par exemple, il y aura un univers où vous êtes allé au cinéma et un univers où vous serez resté chez vous ; un univers où le mur de Berlin et le communisme russe seraient tombés ; un autre univers où ils auraient continué à exister. Le physicien russe Andreï Linde a proposé un modèle de Big Bang où notre univers ne serait qu'une bulle parmi une infinité d'autres bulles-univers dans un meta-univers. On peut aussi imaginer que notre univers est cyclique, et que notre présent univers n'est qu'un cycle parmi une infinité de cycles sans début ni fin.

Ces univers parallèles sont complètement déconnectés les uns des autres, et inaccessibles à l'observation. Il n'y a donc aucune manière de vérifier leur existence. Dans cette hypothèse des univers parallèles, on peut invoquer le hasard, il y aura toutes les combinaisons possibles de constantes physiques et de conditions initiales, et tous ces univers seront infertiles et dépourvus de vie et de conscience. Sauf le nôtre, où, par hasard, la combinaison sera gagnante et nous

sommes le « gros lot » de cette loterie. Le choix du hasard est donc permis par la science. Pour ma part, je trouve ce choix assez désespérant, car il amène le désespoir comme en témoignent les propos de Monod ou de Steven Weinberg : « Plus l'univers est compréhensible, plus il est dépourvu de sens ».

D'autre part, postuler une infinité d'univers complètement inaccessibles à l'observation va à l'encontre du postulat de simplicité d'Occam (tout ce qui n'est pas nécessaire est inutile) et fait violence à l'harmonie, la beauté et l'unité des lois que nous constatons dans la nature et à la sensibilité d'observateur de l'univers.

L'autre attitude que nous pouvons adopter, c'est de dire qu'il y a un seul univers. Mais s'il n'y a qu'un univers, et qu'il existe un réglage si précis, il faut postuler l'existence d'un Principe Créateur qui est à l'origine de ce réglage. La science ne peut pas choisir entre ces deux hypothèses. C'est à chacun de faire son pari pascalien.

Pour ma part, je parie non pas sur le hasard, mais sur la nécessité. Non seulement j'ai du mal à croire que la complexité et la beauté du monde que j'observe au télescope sont dus au pur hasard, mais ce pari permet le sens et l'espérance.