

Voyage dans l'espace, depuis les premiers avions jusqu'à l'univers lointain.

Sylvie VAUCLAIR

Astrophysicienne, Professeur émérite à l'Université de Toulouse

MOTS-CLÉS

Terre, Univers, galaxies, humanité, cosmos, responsabilités, évolution, complexité, avenir, naissance

RÉSUMÉ

Nous vivons une époque particulière de l'histoire de l'humanité. Grâce à l'évolution des connaissances, à la fois théorique et technologique, l'Homme découvre l'Univers dont il fait partie et dont il est issu. Il prend conscience en même temps de la petitesse, de la finitude et de la fragilité de la planète qui l'a vu naître. Malheureusement l'humanité n'a pas encore acquis la maturité nécessaire à la gestion de toutes ces connaissances. L'homme s'ouvre au cosmos mais la Terre s'épuise. Je vous emmène ici dans un long voyage, dans l'espace et dans le temps, dont il faudrait revenir fortifié pour une meilleure appréhension de notre présence actuelle sur la Terre.

Depuis quelques dizaines d'années, l'Homme commence à prendre conscience de sa situation d'être vivant sur une minuscule planète, face à un Univers immense dont il fait partie, et qu'il découvre avec stupeur. Ces nouvelles connaissances ne concernent pas seulement quelques scientifiques, elles rejaillissent sur l'humanité entière. Il est donc indispensable de réfléchir sur notre situation d'êtres humains et de gérer cette situation en connaissance de cause face à toute cette immensité. Je vais vous emmener voyager dans une nouvelle dimension, vers un certain au-delà, l'au-delà de nos sens, l'au-delà de notre vie sur la Terre, l'au-delà de l'Univers lointain que nous découvrons petit à petit et auquel nous devons à présent faire face. Je remercie l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier de m'avoir invitée à exposer ainsi quelques-unes de ces connaissances et les interrogations qu'elles suscitent.

Une époque extraordinaire

Nous vivons la période la plus extraordinaire de toute notre histoire. Dans le passé la vie ne se concevait que sur le sol terrestre ou dans les océans. Il était impossible de s'en échapper, sauf par le rêve ou la poésie. À présent, des êtres vivent sur la surface de la Terre ont réussi à s'extraire de leur berceau planétaire. Ils ont conquis la troisième dimension, la verticalité. Ils ont quitté le sol pour évoluer dans le ciel qui, jusqu'alors, paraissait inaccessible. Les conséquences sont immenses, avec des répercussions fondamentales sur les sociétés humaines.

Tout est allé très vite. Soixante-dix ans seulement après la construction des premiers avions, l'Homme allait sur la Lune. Des milliers de satellites, de nombreux à but scientifique, tournent maintenant autour de la Terre. L'une des conséquences est

que la communication est devenue instantanée sur toute la planète. Dans le passé, les relations humaines se limitaient essentiellement au voisinage géographique. A présent chacun peut communiquer avec le monde entier par-delà les frontières. Les villages sont devenus internationaux, sous la forme de réseaux sociaux.

Des sondes spatiales ont déjà rendu visite à toutes les planètes du système solaire et à leurs satellites, pour les étudier de près. D'autres sont en cours ou en projet. Elles en profitent pour observer la Terre de loin et nous renvoyer son image. La Terre se fait des « selfies » par l'intermédiaire des sondes spatiales, et elle se découvre comme un petit point bleu dans l'immensité de l'espace. Les êtres humains vivant sur sa surface prennent ainsi conscience d'une manière aigüe de sa petitesse, de sa finitude, de ses ressources limitées. La vision de la Terre dans son ensemble conduit à une prise de conscience planétaire, du jamais vu dans l'histoire passée de l'humanité.



Figure 1 :
La Lune et la Terre vues par
la mission chinoise
Change'5-T1.
Cette mission avait fait le
tour de la Lune sans s'y
poser. On aperçoit la Terre
au loin, et la « face cachée »
de la Lune au premier plan.
Image Credit : Chinese
National Space
Administration, Xinhuanet



Figure 2 : La Terre vue de Saturne par la sonde spatiale Cassini
Sur cette image prise le 19 juillet 2013 par la sonde spatiale Cassini, la Terre apparaît comme un petit point bleu dans le ciel de Saturne. Le Soleil, éclipsé par la planète, éclaire magnifiquement ses anneaux.

Image Credit : NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

Qui sommes-nous donc ?

Qui sommes-nous donc ? Quel est le sens de notre vie sur Terre ? Que signifie cette humanité qui s'y développe depuis des centaines de milliers d'années, une éternité pour nous mais une paille dans l'échelle de temps universelle ? Le temps écoulé depuis les débuts de l'humanité, comparé à l'âge de la Terre, n'est pas plus grand que l'épaisseur de l'ongle comparé à la taille de notre corps tout entier ! Et lorsque la Terre est née, l'Univers avait déjà deux fois l'âge actuel de notre planète.

Le destin de l'homme est cosmique. Les éléments dont il est constitué viennent du cosmos et retourneront au cosmos quoi qu'il arrive. Que nous soyons enterrés ou brûlés à notre mort, le résultat final est le même. Plus tard, dans le cadre de l'évolution cosmique, certains de ces éléments se retrouveront peut-être sur une autre planète, dans une autre forme de vie, qui sait ?

L'homme n'est pas un système clos. L'individu en tant qu'être séparé du monde n'existe pas. Il fait partie intégrante du tout, de la collectivité, qu'il le veuille ou non. Nous vivons sur Terre pendant un temps limité, mais notre mort individuelle est nécessaire à l'évolution de la collectivité. Nous sommes parties prenantes de cette évolution.

C'est un vertige... Sommes-nous si peu de choses ? C'est alors que nous devons rebondir, et rappeler que nous, les êtres humains, sommes capables de concevoir et d'appréhender ces échelles incommensurables. Une pleine prise de conscience de la situation de l'Homme par rapport à cet Univers immense dont il fait partie me semble indispensable pour acquérir la plénitude et pour participer d'une manière efficace et constructive à l'évolution ultérieure de l'humanité.

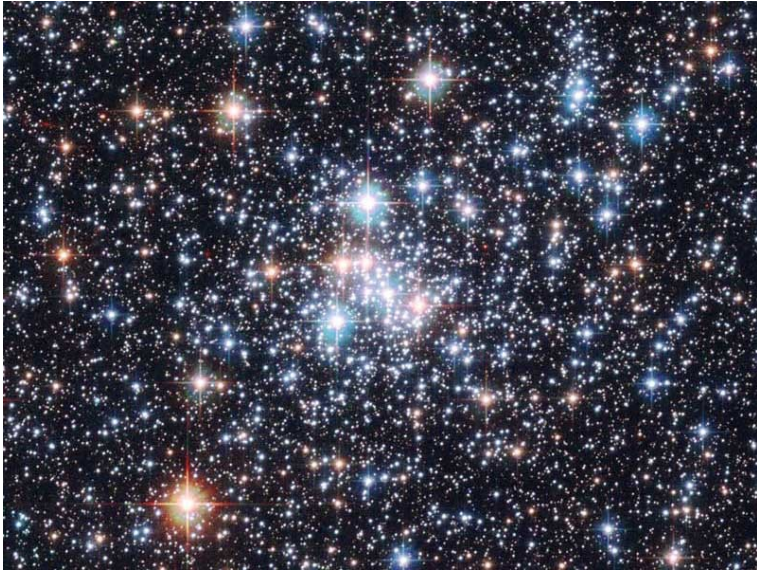


Figure 3 : Amas d'étoiles

Cette image, obtenue grâce au télescope spatial Hubble, montre les étoiles de l'amas NGC 290, qui se trouve à environ 200 000 années-lumière de nous, dans le Grand Nuage de Magellan. Les étoiles constituant ce type d'amas sont toutes nées à peu près en même temps.

Image Crédit : NASA, ESA, HST



Figure 4 :

Le « Champ Profond » du télescope spatial Hubble.

Il y a des galaxies partout. Cette image, prise en pose très longue par le télescope spatial Hubble, montre presque 10 000 galaxies dispersées dans le cosmos. Chacune d'elles comprend des dizaines à des centaines de milliards d'étoiles, peut-être autant de planètes... Les plus lointaines de ces galaxies existaient quand l'univers avait seulement 800 millions d'années. Les plus proches sont à un milliard d'années-lumière, et existent donc dans un univers ayant déjà environ 13 milliards d'années.

Image Credit : NASA, ESA, STScI and the HUDF Team.

Qu'est-ce que le temps ?

Dans toutes ces considérations, une notion apparaît de manière primordiale, celle du temps. Qu'est-ce donc que le temps ? Le temps existe-t-il réellement ? Que signifie-t-il ? Les découvertes contemporaines montrent que le déroulement du temps n'est pas le même suivant les circonstances, suivant les endroits, suivant les mouvements, et que l'instant en tant que tel n'existe pas. De plus, l'Univers n'a pas toujours existé. Il a eu un début. C'est alors que s'impose à nous cette découverte étonnamment paradoxale et lourde de conséquences : le début de l'Univers fut le début du temps aussi bien que celui de l'espace. Qu'est-ce que cela signifie ? Lorsqu'on parle de début, cela suppose en général un temps qui s'écoule, avec un « avant » et un « après ». Mais s'il s'agit du début du temps lui-même ? Dans le langage courant, nous n'avons pas les mots pour le dire. L'étude des mots et des images à notre disposition, et de leurs limites, représente un sujet de recherche passionnant.

Il est clair que le temps est indissociable de l'espace, pour tout ce qu'on observe. Si on regarde un objet, si on le voit, c'est que la lumière l'a quitté à un moment donné pour arriver à nos pupilles. Ce n'est pas instantané. La lumière voyage à environ 300 000 kilomètres par seconde. Il lui faut donc une seconde environ pour venir de la Lune, huit minutes pour venir du Soleil, quelques heures pour venir des autres planètes, quelques années pour venir des étoiles les plus proches et des milliards d'années pour venir des galaxies les plus lointaines. Le ciel est une mémoire visible, car on voit tout dans le passé. Par ailleurs, l'Univers actuel nous est inaccessible.

À notre échelle, nous avons la perception d'un temps qui s'écoule entre la naissance et la mort. Il apparaît souvent comme synonyme de dégradation, de fuite irrémédiable vers le néant. Cependant, c'est aussi le progrès, la création, le dépassement de soi. Dans tous les cas, c'est une dynamique.

Nous sommes faits pour voir le ciel

Nous découvrons aussi la finesse de la couche atmosphérique, qui nous protège de tous les rayonnements nocifs en provenance de l'espace. Quelques centaines de kilomètres tout au plus, fondamentaux pour la vie. Cette atmosphère n'est pas primitive, elle a été renouvelée grâce aux premières formes de vie, qui ont permis la constitution du gaz oxygène et de l'ozone. Elle ne laisse passer que très peu de rayonnements, les ondes radioélectriques et la lumière visible. Ce sont les deux « fenêtres atmosphériques ».

Il est intéressant ici de s'arrêter sur la signification de la « fenêtre visible ». L'atmosphère laisse passer précisément les rayonnements que l'œil humain est capable de voir, et ces rayonnements correspondent précisément au maximum de lumière en provenance du Soleil. Il s'agit d'un ajustement fabuleux : nous sommes « faits » pour voir le ciel et, en conséquence, pour nous poser toutes ces questions par rapport à l'Univers qui nous entoure et dont nous sommes issus.

Les rayons X, gammas, ultraviolets, infrarouges, n'arrivent pas jusqu'au sol, ou très peu. Alors les hommes ont inventé et fabriqué des instruments astronomiques ultraperformants pour les envoyer dans l'espace, dans le but d'observer l'Univers lointain sans être gêné par l'atmosphère terrestre. Les observations du ciel dans les rayonnements visibles, même s'ils arrivent jusqu'au sol, bénéficient aussi de l'espace, car cela permet de s'affranchir des turbulences de l'air. Les découvertes qui en résultent ont bouleversé nos connaissances.

Parmi les télescopes envoyés dans l'espace, celui qui nous a peut-être apporté le plus d'information sur l'Univers depuis une trentaine d'années est le HST, Hubble Space Telescope. Avec son miroir de 2,4 mètres de diamètre, et ses possibilités d'observation sur le long terme, il nous a donné accès aux galaxies les plus lointaines de l'Univers observable. Ce télescope spatial présente la particularité d'une maintenance « in situ ». Plusieurs missions d'astronautes ont permis de le maintenir en état depuis 1990. Une prouesse technologique autant qu'humaine ! Ce télescope spatial terminera bientôt ses fonctions et laissera la place à son successeur, le JWST (James Webb Space Telescope) qui devrait être lancé en 2021.



Figure 5 : Mission de maintenance du télescope spatial Hubble

Au cours de la 4ème mission de maintenance du télescope Hubble, l'astronaute américain Michael Good peut être observé en train de réparer le télescope spatial, attaché au bras robotisé de la navette Atlantis. On aperçoit clairement sur Terre la séparation du jour et de la nuit, ainsi que la teinte bleue de l'atmosphère terrestre. Image Credit : STS-125 Crew, NASA.

D'autres missions spatiales ont permis d'étudier en détail la première lumière du Big Bang, ce que les astrophysiciens appellent le « bruit de fond cosmologique » ou encore le « rayonnement cosmologique primordial ». À sa naissance (avec toutes les réticences déjà évoquées pour l'emploi de ce mot), l'Univers était très chaud et très dense, tellement dense qu'il était opaque au rayonnement. La lumière présente à l'époque était en permanence absorbée et rediffusée par la matière. Puis, au cours de l'évolution, la densité a diminué et il est arrivé un moment, après 380 000 ans, où tout est devenu transparent. Dès lors, les rayons lumineux ont pu se propager jusqu'à nous sans être absorbés. Cette lumière du Big Bang est encore détectable par nos instruments, mais ce n'est plus de la lumière visible. Avec l'expansion de l'Univers, les ondes lumineuses se sont étirées, sont passées du rouge à l'infrarouge, puis aux ondes radioélectriques, celles qu'on observe actuellement. Ce rayonnement a été étudié en détail par plusieurs missions spatiales, en particulier le satellite Planck, mission de l'Agence Spatiale Européenne qui a fonctionné entre 2009 et 2013. Cette étude a permis de confirmer que ce que nous observons dans l'Univers ne représente que 5% de toute la matière et l'énergie qui existent. Les 95% restant nous sont inconnus, sauf que nous connaissons leur répartition : 25% environ de « matière noire », qui se comporte gravitationnellement comme notre matière visible, et 70% environ d'énergie sombre, qui se comporte d'une manière opposée, comme une pression négative. Elle a permis aussi de mesurer précisément l'âge de l'Univers, 13,8 milliards d'années.

Les systèmes planétaires

Le Soleil étant une étoile ordinaire, avec son cortège de planètes, il semblait évident depuis longtemps que les étoiles du ciel devaient elles aussi être entourées de planètes. Pour en avoir la preuve, il fallait des instruments performants, car la lumière des étoiles nous empêche de distinguer les systèmes planétaires qui tournent autour d'elles. Tout le monde sait maintenant, grâce au prix Nobel de Physique 2019, que la première planète en orbite autour d'une étoile de type solaire a été découverte en 1995 par les astrophysiciens suisses Michel Mayor et Didier Queloz, à l'observatoire de Haute Provence. Depuis cette époque, de très nombreuses observations ont été effectuées, depuis le sol terrestre ou dans l'espace. Les dénombrements de ces « exoplanètes » montrent qu'il peut y en avoir une centaine de milliards dans notre propre Galaxie, et il n'y a pas de raison qu'il n'en aille pas de même dans les autres galaxies. Les systèmes planétaires sont une banalité !

Les études de la formation des étoiles, au sein des nuages interstellaires, montrent qu'il est normal que des planètes se forment autour d'elles. Les étoiles naissent grâce à l'effondrement local du gaz des nébuleuses (essentiellement de l'hydrogène, avec un peu d'hélium et des traces de tous les autres éléments) sous l'effet, par exemple, d'une onde de choc. Il est important de rappeler que tout cela tourne ! La galaxie tourne, les nébuleuses tournent. Un effondrement de gaz dans un milieu en rotation ne donne pas finalement une sphère, mais un disque avec un renflement au centre. La suite est claire : le renflement devient étoile et le disque système planétaire.

Depuis quelques années, grâce aux observations en infrarouge depuis l'espace, et grâce aux super instruments terrestres appelés interféromètres, il est possible d'observer directement les disques autour d'étoiles en formation, et même la formation des planètes dans ces disques. Cela représente en particulier l'un des succès du grand interféromètre radio ALMA (Atacama Large Millimeter Array), situé à plus de 5000 m d'altitude au Chili, dans le désert de l'Atacama.



Figure 6 : Grande région de formation de nouvelles étoiles
Cette image obtenue avec le télescope spatiale Hubble montre une région spectaculaire de formation de nouvelles étoiles dans le Grand nuage de Magellan.
Image Credit : NASA/ESA/HST

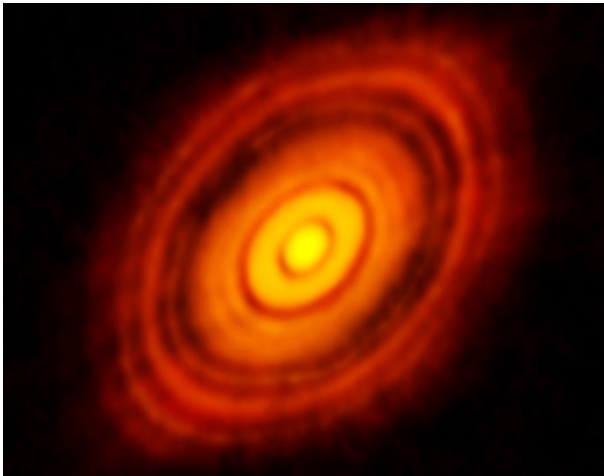


Figure 7 : Le disque protoplanétaire de HL Tauri
L'interféromètre ALMA (Atacama Large Millimeter Array) installé au Chili permet d'obtenir des détails étonnants, en particulier dans les disques présents autour des étoiles en formation. Ce système, nommé HL Tauri, est situé à 450 années-lumière de nous. Son diamètre est d'environ 1500 minutes de lumière, c'est-à-dire un peu moins de 200 fois la distance Terre-Soleil, et l'instrument peut voir des détails de l'ordre de 40 minutes de lumière, soit 5 fois la distance Terre-Soleil. Les anneaux noirs au sein du disque brillant sont des régions de formation de planètes autour de l'étoile centrale.
Image Credit : ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), NSF

Et la vie dans tout ça ?

Ces découvertes contemporaines conduisent à de nouvelles perspectives au sujet de l'origine de la vie. Comment la vie est-elle arrivée sur notre planète ? Y a-t-il de la vie ailleurs, sur d'autres planètes ? Et d'abord, qu'est-ce que la vie ? Paradoxalement, si on creuse un peu cette question, on s'aperçoit que si tout le monde parle de la vie, il n'existe pas de définition claire, précise et universelle de ce qu'on entend par ce mot. De très nombreuses idées de définition de la vie ont été proposées dans la littérature, sans convergence globale. Cette situation reflète sans doute les difficultés de compréhension du passage du non-vivant au vivant.

Il est donc bien difficile de cerner la manière de détecter des traces de vie dans notre Univers, ailleurs que sur Terre. Chez nous, il n'existe pas de vie sans eau liquide. La première idée est donc de chercher s'il existe ailleurs des planètes solides pouvant contenir de l'eau liquide. La réponse est positive : parmi toutes les planètes observées dans l'espace, il y en a qui répondent à ce critère. On les appelle abusivement les « planètes habitables ». En fait on ne sait rien de plus à leur sujet...

Les astrophysiciens ont réussi à mettre au point des techniques permettant de caractériser les atmosphères des planètes, même si on ne les voit pas directement. Lorsqu'une planète passe devant son étoile, il est parfois possible de découvrir dans le « spectre lumineux » de l'étoile des signatures de molécules, qu'on ne voit pas autrement. Il s'agit alors sans aucun doute de molécules présentes dans l'atmosphère de la planète, traversée par les rayons lumineux de l'étoile. Ce sont des études en plein essor, l'idée étant de découvrir des traces éventuellement liées à de la vie, par exemple de l'ozone.

Aucune vie n'a été découverte dans le système solaire. Les études de la planète Mars montrent qu'elle a dû être « habitable » dans son première milliard d'années, car son atmosphère était plus dense et elle possédait un champ magnétique quasiment disparu aujourd'hui. Mais attention, habitable ne signifie pas habitée !

Un autre espoir de trouver des traces de vie dans le système solaire est lié aux « satellites de glace » autour de Jupiter et Saturne. Ce sont des satellites (Europa, Ganymède, Encelade) recouverts de glace d'eau. Les études physiques de ces satellites montrent qu'il doit y avoir des océans d'eau liquide sous la glace. Y aurait-il là de la vie, comme au fond de nos océans à nous ? Des missions spatiales sont prévues pour aller voir de près.

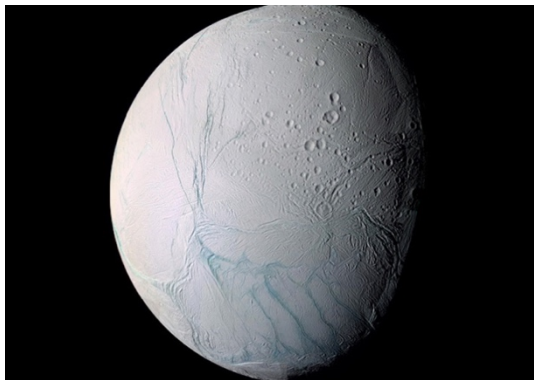


Image 8 :

Encelade, satellite de glace de Saturne

Encelade est l'un des satellites de Saturne, avec un diamètre d'environ 500 km. Il est recouvert d'une couche de glace d'eau, et il existe probablement un océan liquide sous la glace. Il éjecte des vents de vapeur d'eau qui contiennent des molécules organiques, du gaz carbonique, de l'oxyde de carbone, des sels et des silicates. C'est un lieu de recherche future de la vie dans le système solaire, avec les satellites de Jupiter Europe et Ganymède.

Image Credit : NASA, Cassini

En conclusion : la « conquête de l'Espace »

L'humanité a fêté cette année les cinquante ans des premiers pas des Hommes sur la Lune. Il est clair que sans la compétition entre les pays et sans la guerre froide, les américains n'auraient pas précipité ainsi leurs missions lunaires. Actuellement, si les chinois envoient de nouvelles missions sur la Lune, c'est évidemment pour prouver leur montée en puissance sur la scène internationale. Cependant, si l'on prend un peu de recul, on se rend compte que tout cela s'inscrit dans la grande quête de l'humanité à la recherche de ses origines. Si les hommes sont allés sur la Lune, c'est parce que l'humanité était prête pour cela. S'ils y envoient à présent des sondes spatiales et des instruments, c'est pour préparer l'avenir de l'être humain, d'une manière ou d'une autre.

Cet avenir peut être spatial, mais la première urgence reste la préservation de notre planète, avec en tête cette image impressionnante d'un petit point bleu dans le ciel de Saturne. C'est là que nous vivons, avec nos joies et nos drames. Nous observons que la planète change, elle est en phase de modifications importantes et graves. L'Homme est responsable en grande partie de ces modifications. Il est important d'essayer de renverser la vapeur, de diminuer la pollution, les rejets de gaz à effet de serre. Malheureusement, le processus est engagé. Même si nous réussissons à en diminuer la progression, le réchauffement de la Terre est en cours, il repose sur des changements atmosphériques déjà effectués depuis des années. Il faut donc s'y préparer, tout en agissant pour l'infléchir et essayer de lui imposer une limite.

Est-ce que la présence de l'Homme sur la Terre peut avoir une quelconque signification par rapport à l'évolution globale de l'Univers ? Notre passage sur Terre correspond à la période au cours de laquelle nos éléments fondamentaux sont organisés et structurés selon les processus du vivant et du conscient. Qu'est-ce que la conscience ? Les découvertes actuelles nous conduisent à repenser notre existence au cosmos, dans le cadre du gigantesque espace-temps dont nous faisons partie.

BIBLIOGRAPHIE

Sylvie Vauclair, *De l'origine de l'Univers à l'origine de la vie, une virgule dans l'espace-temps*, éd. Odile Jacob, 2017