

Pour la **rentrée** faites le plein de **nouvelles expériences**

...**ABONNEZ-VOUS !**

16 n^{os} • 76 €

au lieu de 102,70 € (prix de vente au numéro)

+ 1 Dossier Pour la Science offert !



→ **Le mensuel
de référence**



→ **Le trimestriel
thématique**

BULLETIN D'ABONNEMENT

**POUR LA
SCIENCE**

À découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe non affranchie à : Groupe Pour la Science • Service Abonnements • Libre réponse 90 382 • 75 281 Paris cedex 06

☐ **Oui, je m'abonne à *Pour la Science* (12 n^{os}/an) + *Dossier Pour la Science* (4 n^{os}/an)**

☐ **1 an • 16 numéros • 76 €** au lieu de 102,70 €

Tarif valable uniquement en France métropolitaine et d'outre-Mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 16 € – autres pays 35 €.

☐ **2 ans • 32 numéros • 143 €** au lieu de 205,40 €

Tarif valable uniquement en France métropolitaine et d'outre-Mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 34 € – autres pays 72 €.

+ En cadeau, je choisis 1 numéro *Dossier Pour la Science* parmi les titres suivants :



☐ **N° 71 - M0770671**
Avril - Juin 2011



☐ **N° 72 - M0770672**
Juill. - Sept. 2011



☐ **N° 73 - M0770673**
Oct. - Déc. 2011



☐ **N° 74 - M0770674**
Janv. - Mars 2012



☐ **N° 75 - M0770675**
Avril - Juin 2012



☐ **N° 76 - M0770676**
Juill. - Sept. 2012



☐ **N° 77 - M0770677**
Oct. - Déc. 2012



☐ **N° 78 - M0770678**
Janv. - Mars 2013

Retrouvez tous les numéros parus sur www.pourlascience.fr

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

CP : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél. (facultatif) : _____

Je choisis mon mode de règlement :

☐ **Par chèque à l'ordre de *Pour la Science***

☐ **Par carte bancaire**

Numéro de carte _____

Date d'expiration _____ Signature obligatoire _____

Mon e-mail pour recevoir la newsletter *Pour la Science* (à remplir en majuscule).

_____ @ _____

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher cette case ☐.

LOGIQUE & CALCUL

Cosmos : l'art de spéculer sérieusement

Certains événements astrophysiques majeurs tels que la naissance de trous noirs ou les mouvements de certaines étoiles pourraient-ils être contrôlés par des intelligences supérieures ?

Jean-Paul DELAHAYE

Notre imagination est bien timorée lorsque nous tentons de concevoir le futur ou la structure globale de l'Univers. La science-fiction nous aide un peu, mais elle oublie souvent les contraintes de la physique ou de la logique. La méthode la plus intéressante pour aborder ces « grandes questions » est finalement celle qui s'autorise toute hypothèse, mais en prenant en compte au mieux ce que nous apprend la science et ce qu'elle considère comme possible.

De nombreux scientifiques se sont adonnés à ce jeu de la spéculation savante – Nikolai Kardashev, Freeman Dyson, Carl Sagan, Lee Smolin, Roger Penrose, etc. –, et il en est résulté une assez volumineuse littérature, parfois technique, mais sidérante et enivrante à bien des égards. Ces explorations et extrapolations font hurler certains esprits peu enclins à la fantaisie : ils n'y voient rien de pertinent et s'emparent si l'on prétend que de tels exercices sont une forme légitime de recherche scientifique. Si c'est votre sensibilité, passez votre chemin, car le livre que nous analyserons conduit aux confins de la physique, du raisonnement et peut-être même du raisonnement.

Clément Vidal est philosophe des sciences et chercheur à la Vrije Universiteit de Bruxelles. Il vient de publier un livre dont le titre est tout un programme : *The Beginning and the End: The Meaning of Life in a Cosmological Pers-*

pective (Le commencement et la fin : le sens de la vie dans une perspective cosmologique). Connaissant et maîtrisant la littérature sur les questions de l'origine, du devenir ultime de l'Univers et les conceptions générales du monde formulées par la cosmologie et les philosophes, il présente un panorama organisé des réponses envisageables aux grandes questions que l'humanité se pose depuis toujours. Bien sûr, ces grandes questions ont été abordées par les religions, mais ici l'approche est non dogmatique et consiste comme il se doit à échanger des arguments rationnels et contradictoires.

Une partie importante du livre de C. Vidal sur laquelle nous allons nous concentrer traite d'un problème précis : les lois de la physique condamnent-elles irrémédiablement la vie à disparaître ?

La seconde loi de la thermodynamique, selon laquelle l'entropie de tout système fermé augmente inéluctablement, a pour conséquence que tout dans l'Univers finira par s'égaliser thermiquement dans ce qu'il est convenu d'appeler la « mort thermique », état stabilisé et uniforme qui, bien évidemment, interdit toute persistance d'êtres vivants et donc d'êtres humains. Quoique nous fassions, nous disparaîtrons, semble affirmer la thermodynamique.

Bien que discutée – faut-il considérer l'Univers comme un système fermé ? –, cette fin programmée de l'humanité, que

l'on retrouve sous la forme de la mort thermique ou sous d'autres formes dans la plupart des modèles cosmologiques, ne doit-elle pas nous inquiéter ?

À titre de provocation sans doute, C. Vidal explique que nous ne pouvons pas être indifférents à cela. De la même façon que pour les conséquences du réchauffement climatique ou du déséquilibre des comptes des caisses de retraite, pour C. Vidal, ne pas se sentir préoccupé de ce qu'il adviendra de l'humanité et de la vie, même dans un avenir très lointain, est une forme d'immoralité.

Civilisations avancées?

Là où son attitude diffère de celle la plus souvent affichée, c'est quand il annonce que la question n'est peut-être pas indépendante de notre volonté. Son avis se fonde sur la prise en considération de l'échelle de Nikolai Kardashev complétée par celle de John Barrow. Il s'agit de deux méthodes pour classer les civilisations technologiques futures (ou présentes, mais non encore découvertes) en fonction de leur état d'avancement.

Dans un article publié en 1964, l'astronome soviétique N. Kardashev a classé en trois niveaux les civilisations technologiques, en se fondant sur les quantités d'énergie qu'elles maîtrisent. Les civilisations de type I sur cette échelle contrôlent et utilisent toute l'énergie produite par leur planète ; nous n'y

sommes pas encore ! Les civilisations de type II accèdent à la totalité de l'énergie d'une étoile telle que notre soleil. Les civilisations de type III disposent et se servent de la totalité de l'énergie contenue dans une galaxie. Nous en sommes très loin !

En 1998, John Barrow, cosmologiste et astrophysicien à l'Université de Cambridge, a proposé une autre classification indépendante et complémentaire, fondée sur la taille des objets qu'une technologie donnée est en mesure de contrôler.

Il y a sept niveaux. Au niveau I, une civilisation maîtrise les objets de la taille de ses individus : habitations, véhicules, etc. Nous y sommes. Le niveau II correspond à une maîtrise des composants de base de ses individus – organes, cellules, gènes – qu'on devient capable de transplanter, remplacer, sélectionner et manipuler. Nous y arrivons. Le niveau III imagine une capacité d'action moléculaire permettant de connaître ou de créer des matériaux de toutes sortes en associant des molécules. Nous avons franchi quelques pas dans cette direction. Le niveau IV est celui du passage à l'échelle atomique : la science, devenue maîtresse des nanotechnologies, conçoit et construit des objets artificiels minuscules, atome par atome, et crée par exemple des formes artificielles de vie. Nous y pensons !

Le niveau V atteint le noyau des atomes et ses composants, qui deviennent manipulables. Le niveau VI domine les particules les plus élémentaires de la matière – quarks et leptons – permettant la création de nouveaux assemblages complexes. Nous en sommes loin. Le dernier niveau, Oméga, correspond à une domination totale de toutes les structures de base de l'espace et du temps. Nous ne savons même pas imaginer clairement ce que cela signifie.

Dans le parcours de ces deux échelles, envisageons diverses étapes. Nous en considérerons trois étudiées et décrites dans le livre de C. Vidal : les classiques sphères de Dyson ; les hypothétiques civilisations « starivores », peut-être observables dès maintenant ; les très spéculatives civilisations créatrices d'univers et sujettes à des mécanismes de sélection darwinienne à l'échelle du cosmos.

© worae.spshutterstock.com

1. La mort thermique de l'Univers



La seconde loi de la thermodynamique affirmant la croissance continue de l'entropie de l'Univers, considéré comme un système isolé, implique que l'Univers va vers un état où toute l'énergie sera uniformément distribuée et où toute vie sera impossible, un état nommé « mort thermique ». L'idée a été proposée en 1851 par Lord Kelvin qui s'appuyait sur les travaux de Sadi Carnot, James Joule et Rudolf Clausius. Les scénarios envisagés depuis par les cosmologistes sont plus

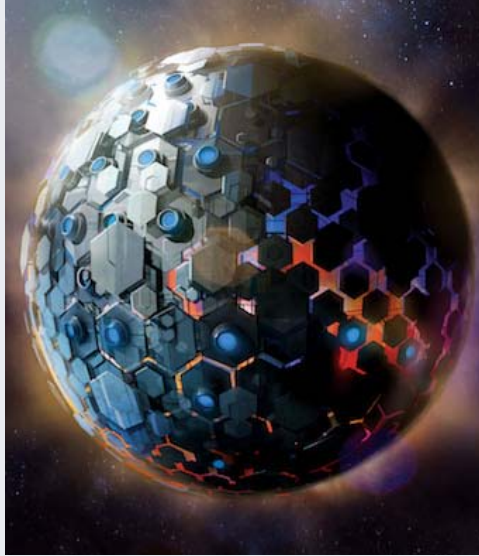
variés, mais la plupart prévoient qu'au-delà d'un certain moment, l'Univers ne pourra plus abriter la vie.

En 2000, Lawrence Krauss et Glenn Starkman expliquaient dans un article : « Les données actuelles suggèrent que la constante cosmologique est non nulle ou, ce qui revient au même, que nous vivons dans un Univers ouvert [...]. Si l'Univers reste déterminé par cette constante, notre capacité à maîtriser des structures de grandes tailles diminuera à mesure que le temps

s'écoulera. Les objets observables disparaîtront sur une durée de l'ordre de grandeur de la vie d'une étoile. De plus [...], la durée de vie de toute civilisation ne pourra qu'être finie [...]. À moins d'un improbable et très puissant effet gravitationnel, la totalité de l'information manipulable par une civilisation durant la totalité de l'histoire de l'Univers sera finie, et donc si nous admettons que la conscience et l'esprit sont fondés sur une forme de calcul physique, la vie ne peut pas être éternelle. »

2. Les sphères de Dyson

Les sphères de Dyson ont été imaginées comme un moyen pour une civilisation de profiter de toute l'énergie de rayonnement d'une étoile. Pour cela, de telles structures entourent un soleil. L'idée d'une coque immense est séduisante, mais, comme l'a précisé Freeman Dyson, elle est mécaniquement impossible : la gravitation de l'étoile conduirait à l'effondrement de la structure. Il faut plutôt imaginer une multitude d'objets en orbite autour de l'étoile, si nombreux que tout rayonnement qui s'en échappe est intercepté et capté par l'un des objets en orbite.



Jay Wong

Une sphère de Dyson est une structure envisagée en 1960 par le célèbre physicien américain Freeman Dyson, dans un article de la revue *Science*. Il s'inspirait d'un roman de science-fiction publié en 1937 par Olaf Stapledon et intitulé *Star Maker*. Il n'a jamais prétendu être l'inventeur de l'idée, quoiqu'elle porte son nom aujourd'hui.

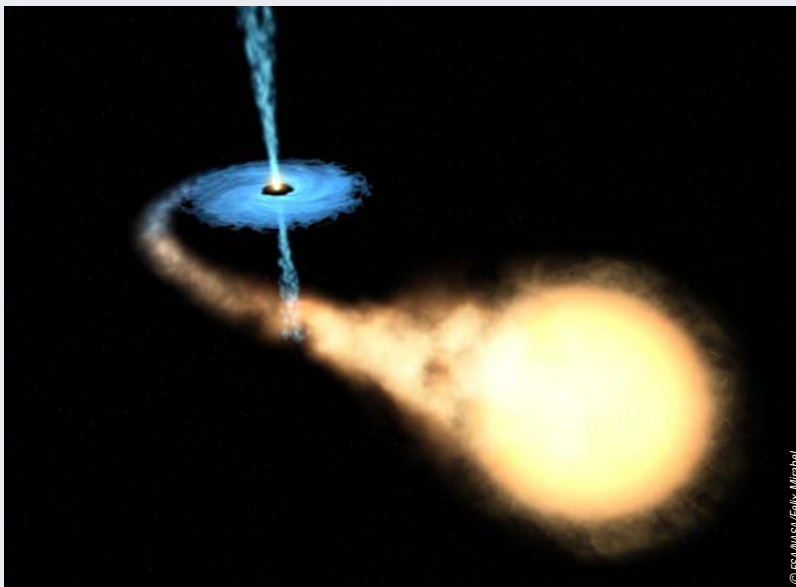
Capter toute l'énergie d'une étoile ?

Le but de ces structures est de capturer l'essentiel de l'énergie du rayonnement d'une étoile. L'idée d'une coque sphérique creuse entourant l'étoile, retenue assez souvent dans les livres de science-fiction, est bien sûr la plus naturelle. Cependant, comme le précise F. Dyson lui-même, elle est physiquement impossible : la force d'attraction de l'étoile la ferait s'effondrer. Sans donner beaucoup de précisions, F. Dyson pense plutôt à une collection d'un grand nombre d'objets en orbite autour de l'étoile concernée, dont la totalité cache l'étoile et en capte toutes les émissions, ou au moins une partie importante.

Une civilisation réussissant la construction d'un tel ensemble serait une civilisation de type II sur l'échelle de N. Kardashev. Le spectre émis par une telle sphère, absorbant l'essentiel du rayonnement de l'étoile enveloppée, serait nécessairement très différent des spectres connus des étoiles nues. On serait donc en mesure de les détecter de très loin. Pour F. Dyson, les émissions infrarouges de ces hypothétiques sphères mériteraient d'être recherchées pour détecter d'autres civilisations éventuelles. L'idée a été suivie plusieurs fois. En particulier, des recherches menées par le Fermilab, aux États-Unis, explorant 250 000 sources d'émission, ont conduit en 2009 à repérer 17 sources infrarouges compatibles avec ce qu'on imagine que produirait une sphère de Dyson. Mais aucune n'a encore été confirmée comme provenant d'une civilisation extraterrestre.

Capter l'énergie émise par une étoile, sans en laisser s'échapper trop, c'est très bien, mais la matière d'une étoile est aussi de l'énergie. Aussi, on imagine qu'une civi-

3. Les étoiles doubles starivores

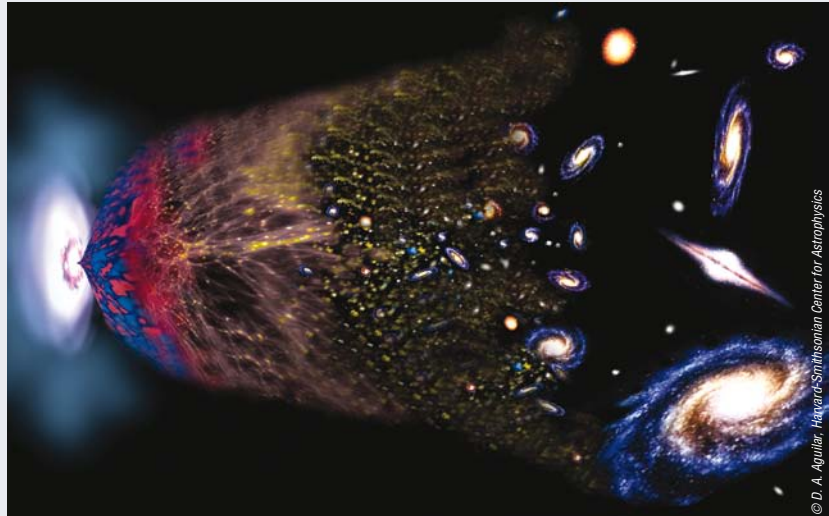


© ESA/NASA/Felix Mirabel

Il existe trois sortes de systèmes d'étoiles doubles. Les deux corps peuvent être en contact, totalement détachés ou semi-détachés, c'est-à-dire échangeant de la matière. Cette troisième catégorie, d'après Clément Vidal, est particulièrement intéressante : « Dans les systèmes semi-détachés, on observe un flux énergétique qui pourrait être contrôlé. Des arguments thermodynamiques permettent une interprétation métabolique de ces systèmes binaires. La justesse de telles interprétations n'est pas tranchée, mais on peut envisager des tests à partir des données astrophysiques disponibles. »

4. La sélection naturelle de Lee Smolin

L'idée de la sélection naturelle a été reprise dans diverses sciences. Par exemple, les algorithmes génétiques sont un moyen de concevoir des programmes efficaces en simulant un processus de sélection entre programmes candidats. En cosmologie, l'idée a été proposée par Lee Smolin qui imagine que les trous noirs se forment dans un univers comme le nôtre sont dans certains cas assimilables à des naissances d'univers. Les univers les plus susceptibles de donner naissance à d'autres trous noirs sont favorisés et ont donc une descendance plus nombreuse. Par conséquent, on ne doit pas être étonné d'être présent dans un univers où les trous noirs se forment aisément. Une sorte de sélection naturelle se déroulerait donc à un niveau cosmique.



© D. A. Aguilar, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics

lisation avancée de niveau V sur l'échelle de J. Barrow, maîtrisant les états très denses de la matière, souhaiterait s'en emparer rapidement sans avoir à attendre les milliards d'années nécessaires pour que l'émission naturelle de l'étoile la rende disponible. Peut-on concevoir d'autres moyens d'utiliser rapidement et efficacement l'énergie d'une étoile et qu'adopterait une civilisation avancée ? C'est une idée que C. Vidal étudie en détail.

Aspirer la matière de l'astre

L'observation de certains systèmes astrophysiques doubles, en particulier impliquant un trou noir et une autre étoile, suggère d'intéressantes questions sur ce thème. L'étoile y est aspirée par un mécanisme d'accrétion progressive et parfois irrégulier, comme s'il était piloté. L'ensemble permet d'accéder à une part importante de l'énergie de l'étoile sans attendre qu'elle s'en libère par émission spontanée. Par ailleurs, certains systèmes doubles émettent des jets de matière et de rayonnement comme s'ils évacuaient une sorte de déchet. La forme optimale de consommation de l'énergie d'une

étoile ne ressemblerait-elle pas à cela ? La matière serait utilisée petit à petit, et ce qui est expulsé correspondrait à l'évacuation de l'entropie. C. Vidal insiste sur l'analogie thermodynamique entre un tel système et le métabolisme des êtres vivants que nous connaissons.

Bien sûr, pour arriver à de telles formes, la vie hypothétique constituant ces systèmes doubles serait très différente de celle sur Terre, fondée sur la chimie du carbone. F. Dyson lui-même et d'autres ont depuis longtemps suggéré que la vie pourrait exister sous des formes très différentes de la nôtre. Il n'est pas absurde d'imaginer de tels types exotiques de vie, que justement des civilisations avancées sur l'échelle de J. Barrow maîtriseraient et créeraient.

L'existence de ces systèmes vivants fonctionnant sur un rythme temporel sensiblement plus rapide que le nôtre, à une température plus élevée et en utilisant une matière plus dense que celle de la Terre, est bien évidemment une spéculation. Elle mérite d'être précisée, mais pourquoi se l'interdire ? La suggestion de C. Vidal, que certains systèmes binaires observés depuis longtemps par nos télescopes ont des propriétés thermodynamiques évoquant des

systèmes vivants pourraient être des civilisations avancées, n'est donc pas plus absurde que les sphères de F. Dyson.

C. Vidal propose de nommer « stari-vores » ces civilisations qui mangent les étoiles. Un autre indice qu'il avance en faveur de l'idée que nous voyons depuis longtemps ces structures artificielles est fondé sur la grande variété des systèmes doubles connus. Aujourd'hui encore, on découvre des systèmes binaires qui se présentent sous des formes inattendues... comme lorsque nous découvrons de nouveaux êtres vivants sur Terre !

Une caractéristique de tous les êtres vivants est qu'ils manipulent de l'information. Celle-ci est au cœur de leur reproduction (l'information génétique), de leur action sur leur environnement (l'information à l'œuvre dans notre système nerveux, dans l'organisation sociale, et dans la circulation du savoir scientifique). Une preuve définitive de la découverte de civilisations extraterrestres ne sera établie que lorsque nous aurons pu prouver que de tels systèmes de traitement de l'information sont présents dans les objets célestes que nous soupçonnons être liés à des intelligences différentes de la nôtre. Pour l'instant, nous n'y sommes pas !

5. La sélection artificielle de Clément Vidal

L'idée de Lee Smolin (voir l'encadré 4) permet seulement d'expliquer que les univers où se forment facilement des trous noirs sont plus probables que les autres. Ce qui étonne les cosmologues est plutôt que le jeu des paramètres physiques de notre univers permet à la vie d'y exister, alors que de très petites variations de ces paramètres conduisent à des univers où la vie serait impossible. Cependant, s'il y a un tel ajustement fin favorisant la vie, il faut, pour l'expliquer, imaginer d'autres mécanismes que celui d'une sélection naturelle entre univers. Dans son livre,

Clément Vidal évoque une variante de l'idée de L. Smolin : la sélection artificielle d'univers. Les civilisations avancées maîtrisant des quantités d'énergie bien supérieures à celles dont nous avons le contrôle créeraient des trous noirs en disposant d'un certain contrôle de leurs caractéristiques, qu'elles choisiraient favorables à la vie. Cette évolution cosmique sur le long terme serait un moyen indirect d'échapper à la mort qui nous est promise au sein de notre univers, ou au moins permettrait d'engendrer des univers succédant au nôtre qui, parce qu'ils seraient favorables à

la vie, pourraient être vus comme nos descendants. La disparition inéluctable à laquelle les lois de notre univers nous vouent serait alors contournée.

Ce type de spéculations déplaît fortement à ceux qui ne souhaitent pas qu'on extrapole le savoir scientifique au-delà de ce qui est fermement établi. C. Vidal défend l'idée qu'à condition de mener des raisonnements restants compatibles avec les connaissances scientifiques acquises, cette attitude est la meilleure façon d'envisager les grandes questions que l'humanité se pose depuis toujours.

Parmi les tests envisageables pour établir l'existence de starivores, C. Vidal en a imaginé un assez simple. Une fois l'étoile consommée, une telle civilisation serait amenée à se déplacer vers une nouvelle étoile proche dans le but de l'exploiter. Si nous observions un corps très dense s'éloignant d'un système binaire épuisé ou presque épuisé dans la direction de l'étoile voisine, ne devrions-nous pas en conclure que nous avons affaire à une telle civilisation, qui se dirige vers sa proie ?

Enfants-univers

Une autre idée folle, mais qu'un spéculateur déterminé doit étudier, concerne des civilisations d'un niveau encore supérieur : les civilisations créatrices de nouveaux univers.

La cosmologie envisage que lorsqu'un trou noir se forme, c'est une porte vers un nouvel univers qui pourrait s'ouvrir. La séparation complète entre l'intérieur du trou noir et l'univers où il se forme évoque la création d'une bulle de savon s'échappant d'une surface plane sur laquelle on souffle. La bulle se détache et s'en va, indépendante, coupée de tout contact causal avec la surface dont elle est issue. Ce processus d'engendrement d'un enfant-univers peut bien sûr se poursuivre, et l'enfant-univers donnera naissance à d'autres enfants-univers, et ainsi de suite.

Poussant l'analogie avec le monde vivant, le physicien théoricien américain Lee Smolin a proposé dès 1992 l'idée que ces engendrements pourraient donner lieu à une forme de sélection naturelle. L'idée d'un darwinisme cosmique concernant les trous noirs semble choquante, mais elle se tient, car d'un univers père à ses descendants, il est naturel d'imaginer certaines variations (elles sont nécessaires pour qu'il y ait sélection) : les constantes physiques par exemple ne s'imposent pas logiquement. Depuis longtemps, on a émis l'idée qu'elles pourraient varier avec le temps ou, et c'est ce qui nous intéresse ici, qu'il pourrait exister des univers ayant des constantes fondamentales différentes des nôtres.

Le raisonnement « darwinien », expliquant certaines propriétés de notre univers, est le suivant.



© ArchaicMDesign/Shutterstock.com

a) Si la naissance de nouveaux univers est possible, par exemple par la création de trous noirs se détachant complètement de leurs univers d'origine,
 b) et si les paramètres des univers ainsi créés varient légèrement et aléatoirement d'un univers à ses descendants,
 c) il en résulte un taux de reproduction différent d'un univers à l'autre, selon ses caractéristiques,
 d) donc se trouveront sélectionnés et favorisés les univers ayant les meilleures capacités à créer de nouveaux univers descendants.
 e) De ce fait, il n'est pas étonnant que nous observions des valeurs des paramètres fondamentaux de notre univers qui correspondent à un taux important de production de trous noirs.

Ce pouvoir explicatif d'un hypothétique mécanisme de sélection naturelle à l'échelle cosmique ne répond qu'à la question portant sur l'ajustement fin des paramètres de notre physique favorisant la création de trous noirs. C'est intéressant, mais cela ne répond pas à la question bien plus importante de l'ajustement fin des paramètres de notre physique à l'apparition de la vie, et plus généralement de la complexité et de l'intelligence.

Cet ajustement fin, examiné depuis longtemps par les cosmologistes, a donné lieu à des travaux scientifiques et des réflexions philosophiques. C. Vidal livre une discussion assez critique de ce thème qui le conduit à la conclusion que c'est un sujet délicat, logiquement, philosophiquement et donc scientifiquement, qui exige qu'on le traite expérimentalement à l'aide de tests, par exemple en simulant d'autres mondes physiques. Malheureusement, ce type de simulations est aujourd'hui hors de portée. Reste que si, comme de nombreux cosmologistes le défendent, il y a vraiment un ajustement fin des paramètres fondamentaux de l'univers assurant l'apparition de la vie – et pas seulement des trous noirs –, alors la sélection naturelle entre univers (envisagée par L. Smolin) n'en fournit pas de bonne explication. Il faut trouver autre chose.

Une alternative est celle des univers multiples. L'univers global, dont nous ne percevons qu'une infime partie, serait en

fait composé d'une multitude d'univers parallèles, la plupart ne donnant pas naissance à de la vie et causalement séparés du nôtre et les uns des autres. Nous n'avons pas à être étonnés de vivre dans un univers spécialement ajusté à la vie, car sinon nous n'existerions pas ! Ce mode de raisonnement controversé dénommé *principe anthropique* est examiné par C. Vidal, mais comme il se fonde sur l'idée des univers multiples qui est probablement impossible à tester, il ne séduit pas C. Vidal, qui introduit et défend une variante de l'idée de L. Smolin : la sélection artificielle d'univers.

Effet de sélection

Si, comme on l'a déjà envisagé plus haut, il existe (ou existera) des civilisations maîtrisant les composants ultimes de l'univers (donc de niveau III sur l'échelle de Kardashev, et au moins V sur l'échelle de Barrow), pour quoi ne pas imaginer qu'arrivé à un certain stade de développement, une civilisation crée des trous noirs – et donc des univers – dont elle décide les paramètres. Pour lutter contre leur disparition inéluctable (du fait de la mort thermique ou d'une autre sinistre conséquence cosmologique des structures de leur univers), de telles civilisations pourraient souhaiter créer des univers favorables à la vie, et peut-être même plus favorables à la vie que ne l'est leur univers. La sélection darwinienne de L. Smolin, incapable d'expliquer la vie, serait alors remplacée par une forme de sélection artificielle comme celle pratiquée par l'humanité depuis des millénaires et qui a conduit à des espèces végétales et animales adaptées à nos désirs.

Une telle sélection artificielle entre univers n'est pas en mesure d'expliquer complètement l'ajustement fin des paramètres (qui aurait créé le premier univers où la vie a été possible ?), mais constitue, parmi d'autres, une idée qu'il faut prendre en considération pour envisager le futur lointain.

Les exercices intellectuels proposés par le livre de Vidal, sont un sommet inégalé de liberté et de rigueur (autant qu'elle est possible), dans un domaine où la science et le rêve semblent s'accorder et dialoguer passionnément.

L'AUTEUR



J.-P. DELAHAYE est professeur émérite à l'Université de Lille et chercheur au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille (LIFL).

BIBLIOGRAPHIE

C. Vidal, *The Beginning and the End. The Meaning of Life in a Cosmological Perspective*, Springer, 2014.

R. Carrigan, *IRAS-based whole-sky upper limit on Dyson spheres*, *Astrophys. Journal*, vol. 698, pp. 2075-2086, 2009.

J. Barrow *et al.*, *Fitness of the Cosmos for Life*, Cambridge University Press, 2008.

L. Krauss et G. Starkman, *Life, the universe, and nothing: Life and death in an ever-expanding universe*, *Astrophys. Journal*, vol. 531, pp. 22-20, 2000.

J. Barrow, *Impossibility: The Limits of Science and the Science of Limits*, Random House, 1999.

L. Smolin, *The Life of the Cosmos*, Oxford University Press, 1997.

N. S. Kardashev, *Transmission of information by extraterrestrial civilizations*, *Soviet Astronomy*, vol. 8, pp. 217-221, 1964.

F. Dyson, *Search for artificial stellar sources of infrared radiation*, *Science*, vol. 131, pp. 1667-1668, 1960.



Retrouvez la rubrique
Logique & calcul sur
www.pourlascience.fr

SCIENCE & FICTION

Ces mondes glacés qui hébergeraient la vie

Certaines planètes glacées de la science-fiction ressemblent à la Terre il y a des millions d'années, voire à des lunes glacées qui abritent peut-être des formes de vie encore inconnues.

Jean-Sébastien STEYER et Roland LEHOUCQ

À l'heure où l'épisode VII de la saga *Star Wars* est en cours de tournage, revenons sur l'épisode V, *L'Empire contre-attaque* (Kershner et Lucas, 1980). Au début du film, l'alliance rebelle s'est réfugiée sur la planète Hoth située dans la Bordure Extérieure. C'est à la surface glacée de cette planète hostile, sans cesse fouettée par de violents blizzards, que les Rebelles ont construit une base secrète – finalement prise d'assaut par les forces de Dark Vador.

Pour les géologues, la planète Hoth, aussi fictive soit-elle, n'est pas sans rappeler la Terre d'il y a plus de 650 millions d'années. En effet, d'après le célèbre modèle nommé *snowball earth* en anglais (Terre boule de neige, qu'il serait plus juste de remplacer par Terre boule de glace), la Terre aurait subi plusieurs épisodes de glaciation plus ou moins intenses il y a entre 850 et 635 millions d'années, une ère nommée Cryogénien. Si l'idée d'une glaciation globale a d'abord été avancée par le géologue australien – et grand explorateur de l'Antarctique – Douglas Mawson en 1949, le modèle « Terre boule de glace » a été largement développé et argumenté par les géologues américains Joseph Kirschvink et Paul Hoffman dans les années 1990, pour expliquer la présence de roches sédimentaires (les diamictites) d'origine glaciaire, à des latitudes proches de celles de l'équateur.

S'il est assez consensuel, ce modèle est cependant discuté par des géophysiciens



1. LE TAUNTAUN est un animal imaginaire qui vit sur la planète Hoth dans la saga *Star Wars*. Grâce à sa fourrure épaisse, il est adapté au froid de la planète.

qui pensent que la Terre n'aurait pas pu sortir d'une situation glacée aussi stable, ou que la quantité d'eau n'était pas suffisante pour recouvrir toute la surface terrestre d'une couche de glace continue. Les débats se concentrent sur la superficie et l'extension de cette hypothétique croûte de glace.

Notons qu'au Cryogénien, les océans terrestres abritent déjà quantité d'algues et de bactéries, mais aucune vie n'est encore présente sur le supercontinent de l'époque, la Rodinia. Ce n'est pas le cas de la planète Hoth qui, pour les besoins cinématographiques, est peuplée d'animaux plus complexes tels les wampas, sortes de yétis au pelage blanc, et dont un spécimen s'attaque au héros Luke Skywalker.

Le film suggère aussi que ces prédateurs carnivores se nourrissent d'autres animaux, les tauntauns, des bipèdes cornus domestiqués par les Rebelles qui les utilisent comme montures. L'écosystème de Hoth est donc plus complexe que celui de la Terre au Cryogénien. Sur Terre, il faut attendre la fin du Silurien, il y a 420 millions d'années environ, pour voir apparaître les premiers réseaux trophiques continentaux : ceux-ci sont alors composés de plantes et d'arthropodes terrestres (mille-pattes, proto-scorpions, etc.), auxquels s'ajoutent les fameux stégocéphales (amphibiens fossiles) au début du Carbonifère, il y a 360 millions d'années environ.

Sur Hoth, les wampas mangent les tauntauns, mais que mangent ces derniers ? Probablement de l'herbe, ce qui trahirait la