

Le rôle du climat dans la coexistence des derniers hominidés

La coexistence d'*Homo neandertalensis* et d'*Homo sapiens* est une de celles qui posent le plus de questions, tant ces deux groupes sont proches par les niches écologiques qu'ils occupent, par leurs comportements et par leur traits culturels. Ces hommes ont-ils cohabité dans les mêmes paysages pendant de longues périodes, tels les Australopithèques et des premiers *Homo*? Le contraste entre le Proche Orient et l'Europe, établi par Ian Tattersall, mérite d'être discuté.

Au Proche-Orient, des hommes anatomiquement modernes sont connus 100 000 ans avant notre ère, dans deux sites israéliens (Qafzeh et Skhul). De 80 000 à 40 000 ans avant notre ère, seuls les Néandertaliens sont connus dans cette région. Le premier groupe est associé à une faune en partie d'origine africaine, le second à une faune plus septentrionale. Au gré de fluctuations climatiques, la limite entre ces deux domaines fauniques et entre les hommes qui leur étaient associés s'est déplacée parallèlement à la direction Nord-Sud, dans un couloir reliant l'Afrique de l'Est à l'Eurasie. Cette région a donc vu une succession plutôt qu'une cohabitation de groupes humains.

L'équilibre se rompt au début du Paléolithique supérieur. Au cours d'un réchauffement climatique, des hommes modernes, désormais porteurs de techniques et d'organisations sociales nouvelles, se répandent d'Est en Ouest en Europe. Leurs proportions corporelles révèlent leurs origines tropicales. Leur adaptation biologique à leur nouveau milieu mettra plus de 15 000 ans. Le remplacement des Néandertaliens locaux n'a pas été «rapide». Dans un contexte d'occupation humaine discontinue et de très faible densité démographique, les Néandertaliens se maintiennent dans certaines zones géographiques pendant presque 10 000 ans après le début de l'invasion des hommes modernes. La supériorité de ces derniers n'était donc pas écrasante. C'est sans doute le début de la dernière glaciation, il y a 30 000 à 25 000 ans avant notre ère, qui a précipité l'extinction des Néandertaliens, en réduisant les territoires habitables et en exacerbant la compétition entre les deux groupes humains.

Jean-Jacques HUBLIN,
Directeur de recherche au CNRS

se sont généralisées parce que l'environnement a changé. Par exemple, les hominidés ont sans doute possédé un appareil vocal moderne pendant des centaines de milliers d'années avant d'utiliser un langage articulé, structuré de façon complexe. Enfin, l'apparition des caractères est parfois aléatoire, et complètement imprévisible (les propriétés de l'eau ne sont pas déductibles de celles de l'hydrogène et de l'oxygène). L'apparition de la pensée symbolique n'a donc rien d'exceptionnel, même si ses conséquences furent capitales. Aujourd'hui encore, nous ne savons pas comment le cerveau humain nous fait prendre conscience de ce qui se passe dans notre environnement, à partir des décharges électriques et chimiques dans les neurones. En revanche, nous savons qu'avant d'arriver à la pensée symbolique, notre espèce est passée par un état sans symbolique.

À l'arrivée d'*Homo sapiens*, à l'anatomie moderne, des caractères existants se sont peut-être combinés, par l'intermédiaire d'une mutation génétique mineure due au hasard, pour créer un potentiel sans précédent. Pourquoi *Homo sapiens* a-t-il alors continué longtemps d'avoir un comportement archaïque? Peut-être parce qu'il a acquis un comportement moderne grâce à l'apparition d'une innovation biologique qui n'a pas modifié son squelette (c'est-à-dire invisible sur les fossiles). Cependant, cette

espèce d'hominidés aurait alors remplacé toutes les populations de l'Ancien Monde en très peu de temps, ce qui n'est par corroboré par l'archéologie.

Je suppose plutôt que les capacités de l'homme moderne sont apparues avec l'espèce *Homo sapiens*, ou peu après, à l'état latent. Un stimulus culturel les aurait ensuite activées, ce qui se serait traduit par une innovation comportementale. Grâce aux avantages importants qu'elle conférerait, cette innovation se serait rapidement répandue, par simple contact entre les populations qui avaient déjà le potentiel de l'acquérir.

De quelle innovation s'agissait-il? Probablement du langage : grâce à lui, les individus se sont communiqué des idées et des expériences. De surcroît, il

est indispensable au processus même de la pensée. Il impose de classer les objets et les sensations en groupes que l'on nomme et il permet d'associer les symboles mentaux. Aujourd'hui, nous ne pouvons pas concevoir la pensée sans langage. La capacité à former des symboles mentaux est la source de notre créativité : c'est en combinant ces symboles qu'on en vient à se poser des questions du type : «Que se passerait-il si...?»

Malgré les spéculations des linguistes, on ne sait pas comment le langage est apparu. En quel endroit? Au sein de quelle population? Néanmoins, une fois armé de facultés symboliques, *Homo sapiens* est devenu un adversaire redoutable, pas forcément rationnel, comme *Homo neandertalensis* l'a découvert à ses dépens.

Ian TATTERSALL est conservateur au Département d'anthropologie du Muséum d'histoire naturelle de New York. Jay MATTERNES est peintre et sculpteur.

Randall WHITE, *Dark Caves, Bright Visions: Life in Ice Age Europe*, W.W. Norton / American Museum of Natural History, 1986.

Derek BICKERTON, *Language and Species*, University of Chicago Press, 1990.

Ian TATTERSALL, *The Fossil Trail: How We Know What We Think We Know about Human Evolution*, Oxford University Press, 1995.

Christopher STRINGER et Robin MCKIE, *African Exodus: The Origins of Modern Humanity*, Henry Holt, 1997.

William HOWELLS, *Getting Here: The Story of Human Evolution*, Compass Press, 1997.

Ian TATTERSALL, *The Last Neanderthal: The Rise, Success and Mysterious Extinction of Our Closest Human Relatives*, Macmillan, 1995 ; deuxième édition : Westview Press, décembre 1999.

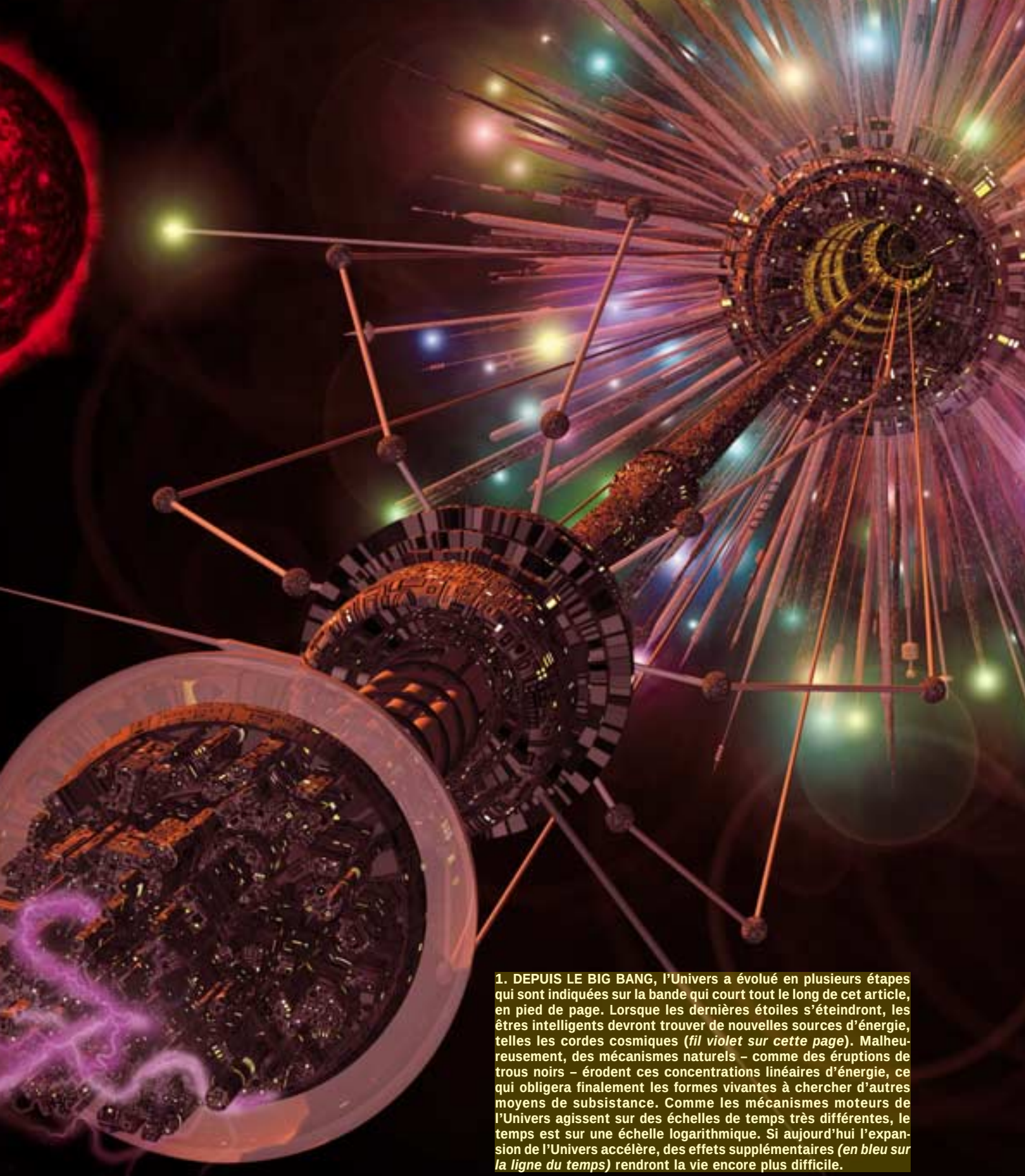
The Origin and Diversification of Language, sous la direction de Nina G. Jablonski et Leslie C. Aiello, University of California Press, 1998.

Le destin ultime de la vie

LAWRENCE KRAUSS • GLENN STARKMAN

Des milliards d'années durant, l'Univers était trop chaud pour que la vie apparaisse. Dans un avenir très lointain, il deviendra si froid et si vide que la vie, aussi ingénieuse soit-elle, sera oblitérée.

La croyance en la vie éternelle est au cœur de nombreuses religions. On imagine un paradis spirituel, une existence dépourvue de douleur, de mort ou de mal. Dans le royaume temporel, nous aspirons à une autre sorte de vie éternelle, évoquée par Charles Darwin dans la conclusion de *l'Origine des espèces* : «Comme toutes les formes actuelles de la vie descendent en ligne directe de celles qui vivaient longtemps avant l'époque cumbrienne, nous pouvons être certains que la succession régulière des générations n'a jamais été interrompue [...]. Dès lors, nous pouvons compter avec quelque confiance sur un avenir d'une incalculable longueur.» Nombre d'auteurs de science-fiction ont repris l'idée de Darwin. Ils ont reconnu que, lorsque le Soleil aura épuisé ses réserves d'hydrogène, la vie que nous connaissons sur notre planète s'éteindra. Cependant, l'espèce humaine est résistante, et nos descendants chercheront de nouveaux havres, se disséminant dans chaque recoin de l'Univers, à l'instar des organismes qui ont colonisé toutes les niches possibles de la Terre. Le mal, la douleur et la mort ne disparaîtront peut-être jamais, mais nous espérons que, quelque part dans l'Univers, certains de nos descendants survivront.



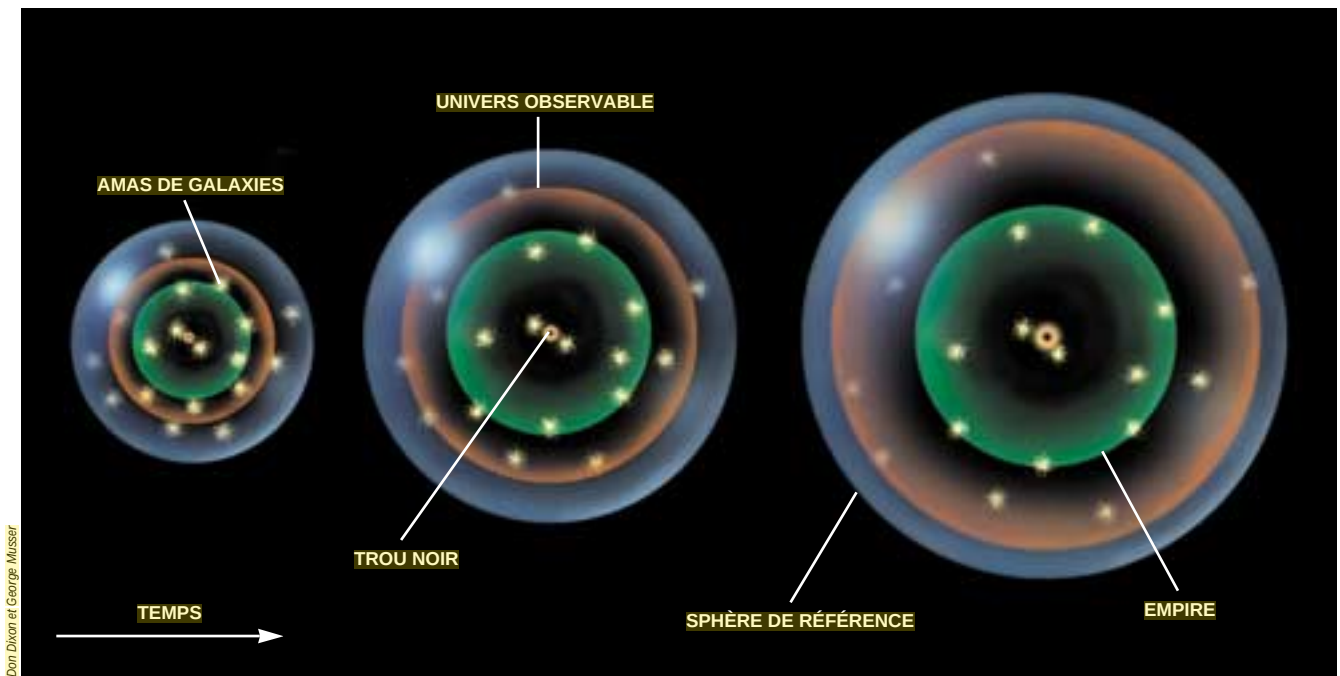
1. DEPUIS LE BIG BANG, l'Univers a évolué en plusieurs étapes qui sont indiquées sur la bande qui court tout le long de cet article, en pied de page. Lorsque les dernières étoiles s'éteindront, les êtres intelligents devront trouver de nouvelles sources d'énergie, telles les cordes cosmiques (*fil violet sur cette page*). Malheureusement, des mécanismes naturels – comme des éruptions de trous noirs – érodent ces concentrations linéaires d'énergie, ce qui obligera finalement les formes vivantes à chercher d'autres moyens de subsistance. Comme les mécanismes moteurs de l'Univers agissent sur des échelles de temps très différentes, le temps est sur une échelle logarithmique. Si aujourd'hui l'expansion de l'Univers accélère, des effets supplémentaires (*en bleu sur la ligne du temps*) rendront la vie encore plus difficile.

Séparation de l'espace et du temps

Inflation

10^{-51} an depuis le Big Bang

10^{-44}



Don Dixon et George Musser

2. EN ANALYSANT LA STRATÉGIE de récupération d'énergie élaborée par le physicien Steven Frautschi, de l'Institut de technologie de Californie, on comprend pourquoi l'humanité survivra difficilement dans le futur très lointain, de l'ordre de 10^{100} ans. Dans de nombreuses théories cosmologiques, les ressources se multiplient quand l'Univers – et tout volume arbitraire qu'il contient (*sphère bleue*) – se dilate et qu'une fraction de plus en plus grande devient observable

(*sphère rouge*). Une civilisation pourrait utiliser un trou noir pour transformer en énergie de la matière, captée dans l'«empire» du trou noir (*sphère verte*). Toutefois, à mesure que cet empire grossit, la conquête de nouveaux territoires est de plus en plus coûteuse ; la dilution de la matière l'emporte finalement. En effet, la matière deviendra si diluée que l'humanité ne pourra plus construire un trou noir suffisamment grand pour la récupérer.

Est-ce bien sûr ? La science ne connaît encore ni les fondements physiques de la vie ni ceux de l'expansion de l'Univers, mais le destin ultime de la vie n'est pas imprévisible. Les observations cosmologiques récentes indiquent notamment que l'Univers ne se recontractera pas, après avoir atteint une taille maximale : son expansion se poursuivra indéfiniment. Ainsi, la vie n'est pas menacée d'un «grand écrasement» flamboyant au cours duquel toute civilisation serait effacée. La nouvelle semble bonne : pourquoi une civilisation intelligente n'utiliserait-elle pas les inépuisables ressources de l'Univers pour survivre perpétuellement ?

Néanmoins, la vie se nourrit d'énergie et d'information, qui, selon des arguments scientifiques très généraux, ne peuvent être récupérées qu'en quantités finies, même en un temps infini. Pour persister, la vie devra s'accommoder de ressources décroissantes et d'une connaissance limitée. Dans ces conditions, aucune forme significative de conscience ne pourra subsister indéfiniment.

Les déserts d'une vaste éternité

Depuis un siècle, l'eschatologie scientifique (l'étude du sort ultime de l'homme et de l'Univers) a oscillé entre optimisme et pessimisme. Peu après la prédiction confiante de Darwin, les scientifiques se sont inquiétés de la «mort thermique», une époque lointaine où le cosmos, stabilisé à une température uniforme, n'évoluerait plus. Puis, dans les années 1920, la découverte de l'expansion de l'Univers a dissipé cette crainte : l'expansion indéfinie préviendrait la stabilisation thermodynamique. Toutefois, peu de cosmologistes ont envisagé les autres conséquences sur la vie d'un Univers en expansion perpétuelle, jusqu'à la parution, en 1979, d'un article du physicien Freeman Dyson, de l'Institut d'études avancées de Princeton. F. Dyson se fondait sur des résultats de Jamal Islam, de l'Université de Chittagong, au Bangladesh ; plusieurs physiciens et astronomes ont poursuivi son travail en l'actualisant. L'an dernier,

nous avons décidé de réexaminer la question quand ont été publiées de nouvelles observations qui conduisent à imaginer une évolution de l'Univers bien différente de celle que l'on prévoyait jusqu'alors.

Depuis 12 milliards d'années, l'Univers a beaucoup évolué. Extraordinairement chaud et dense, il s'est dilaté et refroidi. Des centaines de milliers d'années durant, le rayonnement a dominé ; le «fond diffus cosmologique» qui a été mesuré par le satellite COBE en 1992, est considéré comme un vestige de cette ère. Ce rayonnement correspond à celui d'un corps à une température de 3 kelvins, soit environ -270°C . Puis la matière s'est imposée, et des structures de plus en plus grandes se sont condensées. Aujourd'hui, si les observations cosmologiques récentes sont correctes, la dilatation de l'Univers s'accélère, signe probable qu'un nouveau type d'énergie, émanant peut-être de l'espace lui-même, prend le relais.

La vie que nous connaissons n'existe que si des planètes tournent autour

Apparition de l'électromagnétisme

10^{-18} an depuis le Big Bang

Synthèse des noyaux atomiques

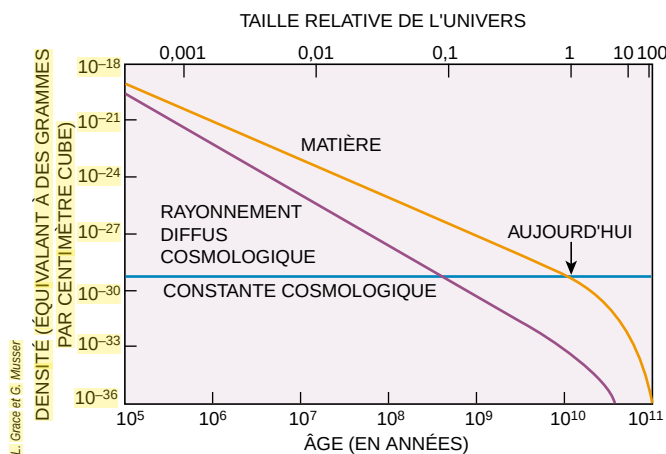
10^{-5}

d'étoiles. Or, la mort des étoiles est inéluctable, et la fréquence de leur naissance a chuté depuis le pic initial, qui s'est produit il y a environ dix milliards d'années. Dans 100 000 milliards d'années, les dernières étoiles formées par les processus classiques s'éteindront, et une nouvelle ère commencera. Des mécanismes aujourd'hui trop lents pour être remarqués prédomineront : les systèmes planétaires seront dispersés par les passages d'étoiles proches, la matière, ordinaire ou exotique, se désintégrera, et les trous noirs s'évaporeront lentement.

À quelles limites radicales se heurtera une vie intelligente ? Une civilisation suffisamment évoluée, dans un univers éternel, au volume potentiellement infini, pourrait-elle collecter des quantités infinies de matière, d'énergie et d'information ? Curieusement, non. Même après une éternité de dur labeur bien planifié, les êtres vivants n'accumuleront qu'un nombre fini de particules, une quantité finie d'énergie et un nombre fini de bits d'information. Cet échec est d'autant plus frustrant que le nombre de particules, de joules et de bits disponibles peut croître sans limites. Le problème ne réside pas dans le manque de ressources, mais dans la difficulté de les collecter.

La cause en est l'expansion de l'Univers, qui diminue la densité de ressources disponibles. Quand le rayon de l'Univers double, la densité d'énergie des atomes est divisée par huit. Pour les ondes lumineuses, la décroissance est encore plus rapide : leur densité d'énergie est divisée par 16, parce que la dilatation les disperse tout en allongeant les longueurs d'onde, affaiblissant ainsi leur énergie.

En raison de cette dilution, il faut de plus en plus de temps pour collecter une quantité fixée de ressources.



3. L'EXPANSION DE L'ESPACE agit de différentes façons sur les diverses formes d'énergie. La matière ordinaire (en orange) se raréfie proportionnellement au volume. Le rayonnement cosmologique diffus (en violet) est également dilué, mais, de surcroît, les longueurs d'onde sont allongées (et l'énergie est alors réduite). La densité d'énergie, représentée par la constante cosmologique (en bleu), ne varie pas, du moins selon les théories actuelles.

Deux stratégies s'offrent aux êtres intelligents : laisser la matière venir à eux ou aller la chercher. Dans le premier cas, la meilleure approche à long terme consiste à laisser la gravité opérer. De toutes les forces de la nature, seuls la gravité et l'électromagnétisme attirent les objets à des distances arbitrairement grandes. Toutefois, les forces électromagnétiques sont « écrantées » : des particules de charges opposées se neutralisent, de sorte que les objets sont généralement neutres et, dès lors, insensibles aux forces électriques et magnétiques. En revanche, aucun écrantage de la gravité n'est possible, car les particules ne font que s'attirer.

Abdiquer face au vide

Toutefois, l'expansion de l'Univers écarte les objets et affaiblit ainsi leur attraction mutuelle. Dans tous les modèles d'Univers, excepté un, la gravité ne suffit finalement plus à regrouper des quantités plus grandes de matière. L'Univers aurait déjà atteint ce stade : les amas de galaxies constituent peut-être les structures les plus vastes qui soient liées par la gravité (voir *Les amas de galaxies*, par Patrick

Henry, Ulrich Briel et Hans Böhringer, *Pour la Science*, février 1999). La seule exception concerne un univers en équilibre entre expansion et contraction, où la gravité continue indéfiniment à assembler des quantités toujours plus grandes de matière. Ce scénario semble aujourd'hui contredit par les observations et, de toute manière, il n'offre pas de perspectives très optimistes : dans 10^{33} ans environ, la matière accessible sera si concentrée que la majeure partie s'effondrera en trous noirs, anéantissant toute forme de vie. Sur Terre, tous les chemins mènent peut-être à Rome, mais, dans un trou

noir, ils conduisent en un temps fini au centre du trou, où le démembrement et la mort sont inéluctables.

La stratégie de recherche active des ressources n'est, hélas, pas plus efficace que l'approche passive. L'expansion de l'Univers réduit l'énergie cinétique, de sorte que les prospecteurs devraient dilapider leur butin afin de maintenir leur vitesse. Même dans le scénario le plus optimiste – où l'énergie vient au prospecteur à la vitesse de la lumière et est collectée sans pertes –, une civilisation ne pourrait engranger une énergie illimitée que dans un trou noir auprès de celui-ci. En 1982, à l'Institut de technologie de Californie, Steven Frautschi a ainsi calculé que l'énergie tirée des trous noirs s'amenuiserait même plus vite que les coûts de prospection (voir la figure 2). Nous avons récemment réexaminé cette idée et nous avons découvert qu'un trou noir n'amasserait l'énergie indéfiniment que s'il était plus gros que l'Univers visible.

La dilution cosmique de l'énergie serait un handicap considérable si l'Univers se dilatait à vitesse croissante : tous les objets lointains que nous voyons aujourd'hui finiraient par s'éloigner plus vite que la lumière et

5x10⁹ : L'inflation reprend ; la portion d'Univers observable décroît **1,5x10¹⁰ : Mort du Soleil**

