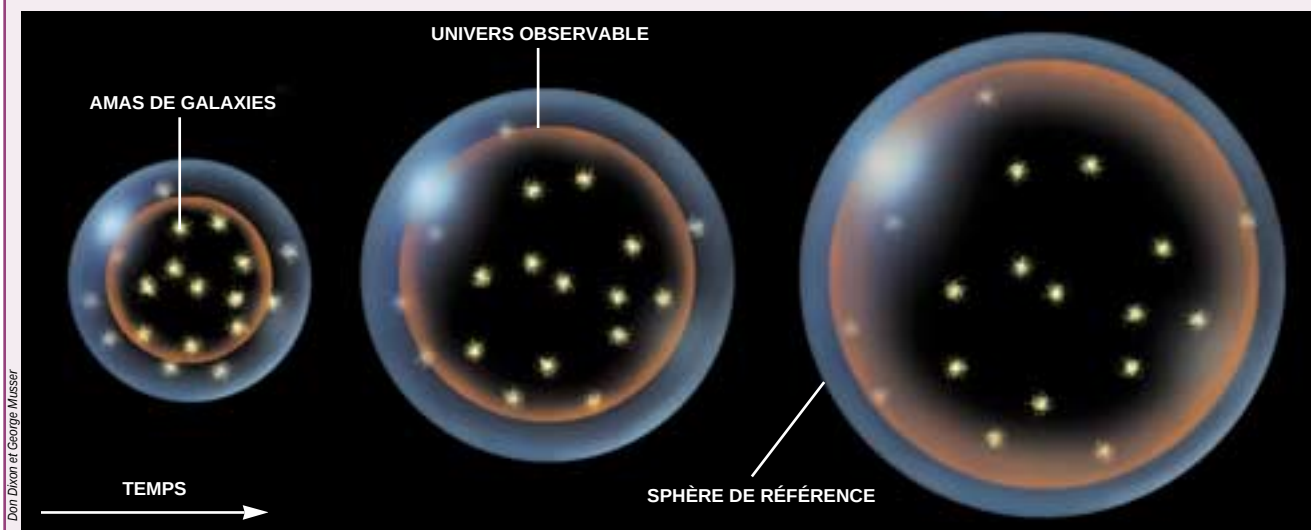


## Le pire de tous les univers possibles

**D**e tous les modèles d'univers en expansion perpétuelle, celui qui suppose l'existence d'une « constante cosmologique » est le moins engageant. D'une part, la vie ne peut y durer éternellement et, d'autre part, la qualité de la vie s'y détériore rapidement. Si les observations récentes d'une expansion accélérée (voir *Des supernovae pour sonder l'espace-temps*, par Craig Hogan, Robert Kirshner et Nicholas Suntzeff, *Pour la Science*, mars 1999) se confirment, notre avenir s'annonce sinistre. L'expansion cosmique écarte les objets les uns des autres, à moins qu'ils ne soient liés par la gravité ou par une autre

force. Ainsi, la Voie lactée fait partie d'un amas de galaxies plus grand. Cet amas, d'un diamètre de dix millions d'années-lumière environ, demeure agrégé, tandis que les galaxies hors de l'amas sont emportées à toute vitesse par l'expansion de l'espace intergalactique. La vitesse relative de ces galaxies lointaines est proportionnelle à leur distance. Au-delà d'une distance nommée horizon, la vitesse est supérieure à la vitesse de la lumière (ce que permet la relativité générale, car la vitesse est imprimée par l'expansion de l'espace lui-même). Nous ne pouvons voir plus loin.



L'Univers apparaît très différent aux yeux d'un observateur, selon que son expansion est ralentie (séquence ci-dessus) ou accélérée (séquence de la page ci-contre). Dans les deux cas, l'Uni-

vers est infini, et n'importe quelle portion de l'espace – représentée ici par une sphère de référence, qui englobe les galaxies en jaune vif – grandit. L'observateur ne voit qu'un volume limité,

deviendraient invisibles. Les ressources totales à notre disposition sont donc limitées par ce que nous voyons aujourd'hui (voir l'encadré ci-dessus).

Les diverses formes d'énergie ne se dilueront pas toutes de la même façon. Par exemple, l'Univers pourrait contenir un réseau de cordes cosmiques, des concentrations minces et infiniment longues d'énergie, qui se seraient formées lors du refroidissement de l'Univers primordial. L'expansion ne réduit pas l'énergie par unité de longueur de ces cordes cosmiques (voir *Les cordes cosmiques*, par Alexander Vilenkin, *Pour la Science*, février 1988). Comment profiter de cette manne ? Des êtres intelligents pourraient-ils couper une corde, se rassembler aux extrémités et consommer son énergie ? Si le réseau de cordes est infini, leur appétit pourrait être

satisfait. Cette stratégie a un grave défaut : si une civilisation trouve le moyen couper des cordes cosmiques, des phénomènes naturels pourraient faire la même chose spontanément. Des trous noirs pourraient naître sur des cordes et les dévorer. Ainsi, les êtres vivants n'absorbent qu'une portion finie de corde avant d'atteindre l'extrémité. Tout le réseau de cordes finirait par disparaître, laissant la civilisation dans la misère.

Peut-on puiser dans le vide quantique ? Après tout, l'accélération cosmique résulte peut-être de l'existence de la constante cosmologique, une forme d'énergie qui ne se dilue pas quand l'Univers se dilate (voir *L'anti-gravité*, par Lawrence Krauss, *Pour la Science*, mars 1999). Dans ce cas, l'espace vide est baigné d'un rayonnement étrange, nommé rayonnement de Gib-

bons-Hawking ou de De Sitter. Hélas, l'extraction d'énergie de ce rayonnement à des fins pratiques est utopique : si le vide fournissait de l'énergie, il tomberait dans un état d'énergie inférieur ; or le vide est déjà l'état d'énergie minimale. Quelles que soient notre ingéniosité et la « coopération » de l'Univers, nous devons un jour faire face à la finitude des ressources.

Cette finitude est-elle réhabilitatoire pour la vie éternelle ? L'humanité pourrait-elle réduire sa consommation énergétique, par exemple en réduisant sa température corporelle ? Des humains génétiquement modifiés pourraient probablement vivre à des températures un peu inférieures à 37 °C. Toutefois, la température de congélation du sang est une limite à ces tentatives. Viendra un moment où nos descendants devront abandonner leur enveloppe corporelle.

Les trous noirs avalent les galaxies

Au rythme actuel, le combustible galactique s'épuise

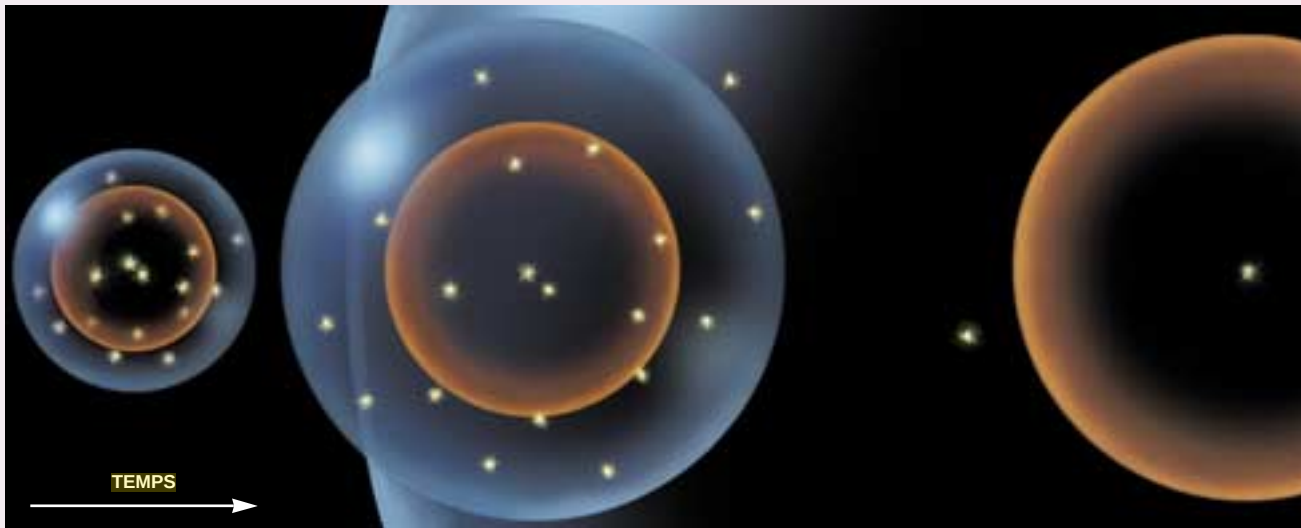
10<sup>30</sup>

10<sup>37</sup> ans après le Big Bang

Si, comme semblent le montrer les observations, l'Univers possède une constante cosmologique positive, l'expansion accélère et les galaxies s'écartent de plus en plus rapidement. Leur vitesse est toujours proportionnelle à leur distance, mais la constante de proportionnalité ne varie pas, au lieu de diminuer avec le temps comme dans un univers dont l'expansion ralentit. Par conséquent, les galaxies qui sont aujourd'hui au-delà de notre horizon resteront toujours hors de vue. Même les galaxies que nous observons aujourd'hui – excepté celles de l'amas local – atteindront la vitesse de la lumière et disparaîtront à nos yeux. L'accélération, qui ressemble à l'inflation de l'Univers primordial, a commencé

quand l'Univers était environ deux fois plus jeune qu'aujourd'hui, il y a plus de cinq milliards d'années.

La disparition des galaxies lointaines sera progressive. La longueur d'onde de leurs rayonnements s'allongera jusqu'à devenir indétectable. Simultanément, la quantité de matière observable diminuera, et le nombre de mondes accessibles à nos vaisseaux spatiaux décroîtra. Dans 2 000 milliards d'années, bien avant l'extinction des dernières étoiles de l'Univers, tous les objets hors de notre propre amas de galaxies ne seront plus observables ou accessibles. Il n'y aura plus aucun nouveau monde à conquérir. Nous serons alors vraiment seuls dans notre coin d'Univers.



qui gonfle parce que les signaux lumineux se propagent (*sphère rouge*). Si l'expansion ralentit, l'observateur aperçoit une partie de plus en plus grande de l'Univers ; de plus en plus de galaxies

remplissent le ciel. En revanche, si l'expansion accélère, la fraction observable de l'Univers diminue ; l'espace semble alors se vider de toute galaxie.

Cette idée futuriste ne présente pas de difficultés fondamentales. Elle suppose simplement que la conscience n'est pas liée à un ensemble particulier de molécules organiques, mais qu'elle peut être incarnée dans une multitude de formes différentes, des robots aux nuages interstellaires sensibles (voir *Laisserons-nous la Terre à des robots ?* par Marvin Minsky, *Pour la Science*, décembre 1994). Nombre de philosophes modernes et de cognitivistes considèrent la pensée consciente comme un processus réalisable par un ordinateur. Nous ne discuterons pas cette thèse ici (ce qui est commode, car nous ne sommes pas compétents pour le faire), mais nous nous contenterons de signaler que l'humanité aura plusieurs milliards d'années pour concevoir des incarnations physiques où elle transfèrera un jour les consciences.

Afin de réduire la consommation énergétique, ces «corps» nouveaux devront fonctionner à des températures très basses et avoir des métabolismes plus lents que nos corps d'aujourd'hui.

F. Dyson a calculé que, si les organismes ralentissaient leur métabolisme alors que l'Univers se refroidit, ils pourraient consommer une quantité d'énergie totale finie sur toute l'éternité. Les consciences seraient également ralenties (mesurées, par exemple, par le nombre de pensées par seconde), mais le nombre total de pensées pourrait rester illimité. En bref, les êtres intelligents survivraient éternellement, pas seulement en temps absolu, mais aussi en temps subjectif : tant que les organismes seront assurés d'avoir des pensées en nombre infini, ils ne se formaliseront pas d'une vie ralentie. Le marché – ralentissement du métabolisme contre vie

éternelle – semble avantageux, mais l'infini n'est pas intuitif. Un organisme ne maintient le même degré de complexité que si la vitesse de traitement de l'information est proportionnelle à la température du corps, tandis que la vitesse de consommation d'énergie est proportionnelle au carré de la température (le facteur additionnel de température provient de lois thermodynamiques fondamentales). Ainsi, les besoins de puissance diminuent plus vite que la promptitude cognitive (voir la figure 4, à gauche). À 37 °C, le corps humain dépense environ 100 watts. À -118 °C, un organisme de complexité équivalente penserait deux fois moins vite, mais consommerait un quart de la puissance. Le compromis est acceptable, parce que les mécanismes physiques dans l'environnement ralentissent au même rythme.

L'effet tunnel liquéfie la matière

10<sup>65</sup>