

Troisième partie

**L'univers invisible :
toutes ces choses qui se cognent
dans le noir**

*Où l'on traite de ce qui pourrait exister,
mais n'a encore jamais été observé :
la vie extraterrestre, les dimensions multiples,
et tout un zoo de possibilités et impossibilités physiques.*

8 - A la recherche de M. Spock

*« Difficile de travailler en groupe
quand on a tous les pouvoirs. »*

*Q, le jour où il devint membre d'équipage
de l' Entreprise, dans l'épisode « Déjà Q »*

« Incessantes agressions, annexions territoriales, génocides ... à la moindre occasion ... La colonie est constituée comme si elle n'était qu'un seul organisme, régi par un génome déterminant un comportement, et le rendant par là même possible ... Le super-organisme physique agit de façon à ajuster l'équilibre démographique et à optimiser son économie énergétique ... Son règlement austère n'autorise ni le jeu, ni l'art, ni la compassion. »

Les Borgs sont parmi les extraterrestres les plus effrayants et les plus curieux jamais présentés à la télévision. Ce qui les rend si fascinants, me semble-t-il, c'est que leur organisme pourrait tout à fait exister au terme d'une sélection naturelle. De fait, bien que le paragraphe cité ci-dessus offre une description adéquate des Borgs, il n'est pas extrait d'un épisode de Star Trek. Il est paru dans une critique de l'ouvrage de Bert Hölldobler et Edward O. Wilson, Voyage chez les fourmis: il ne

décrit pas les Borgs, mais nos petits amis les insectes (1) Les fourmis ont opéré sur l'échelle de l'évolution de remarquables progrès, et il est facile de comprendre pourquoi. Peut-on imaginer une société évoluée dont le développement engendrerait pareil super-organisme communautaire? La compassion, et autres raffinements intellectuels, seraient-ils alors nécessaires à une telle société, ou ne représenteraient-ils qu'un embarras?

Gene Roddenberry a affirmé que le véritable but du vaisseau Entreprise était d'être le véhicule non pas de voyages spatiaux, mais de contes et d'histoires. Au-delà de toute la sorcellerie technologique, même un « techno » comme moi reconnaît que, si Star Trek « marche », c'est parce qu'il y a de l'action, et qu'on y retrouve les grands thèmes qui fondent l'art de conter depuis les épopées grecques - l'amour, la haine, la trahison, la jalousie, la joie, la crainte, l'émerveillement ... Nous nous laissons tous prendre avec la plus grande facilité à ces représentations des émotions humaines qui gouvernent notre vie. Si la vitesse de distorsion ne servait qu'au transport de sondes inoccupées, si les téléporteurs n'étaient conçus que pour déménager des échantillons de terreau, si les scanners médicaux ne s'occupaient que de la vie des plantes, Star Trek n'aurait même pas tenu jusqu'à la fin de la première saison.

De fait, la « mission perpétuelle » du vaisseau spatial Entreprise n'est pas d'explorer toujours plus à fond les lois de la physique, mais « d'explorer des mondes nouveaux, de rechercher de nouvelles formes de vie et de civilisation ». Ce qui rend Star Trek si fascinant - et en assure, je pense, la pérennité - est que tout cela étend le drame humain bien au-delà du règne de l'homme. Nous en venons à imaginer comment des espèces non humaines rencontrent au cours de leur développement des problèmes analogues à ceux qui se posent à l'humanité. Nous sommes confrontés à de nouvelles cultures imaginaires, à de nouvelles menaces. C'est un peu la même fascination que lorsqu'on visite un pays étranger pour la première fois, ou lorsqu'on lit des ouvrages d'histoire, et qu'on découvre ce qui était complètement différent, mais aussi ce qui était strictement identique dans le comportement de gens qui vivaient il y a des siècles.

Il nous faut, certes, suspendre notre incrédulité pour goûter ces divertissements. Chose curieuse, toutes les espèces étrangères rencontrées par l'équipage de l'Entreprise sont d'apparence humanoïde, et elles parlent toutes anglais ! Les auteurs s'en sont défendus dans la sixième saison de la Nouvelle génération. L'archéologue Richard Galen aurait découvert qu'un grand nombre de ces civilisations possèdent un matériau génétique commun, semé dans les océans primitifs d'un grand nombre d'univers par une civilisation antique. Cette idée évoque la théorie (presque) ironique de la panspermie, avancée par le lauréat du prix Nobel Francis Crick (2). Les fans de la série n'ont pas été sans le remarquer, d'où la remarque haute en couleur du physicien Sheldon Gashow, Prix Nobel de physique, sur les extraterrestres de Star Trek : « On dirait qu'ils ont tous chopé une éléphantiasis! » Cela ne l'empêche pas, comme la plupart des fans, de passer sur les artifices du scénario pour apprécier l'exploration des psychologies extraterrestres par les auteurs de Star Trek. Les scénaristes de Hollywood ne sont en général ni des

scientifiques ni des ingénieurs: il est donc naturel de s'attendre à ce que leur puissance créatrice, en matière d'extraterrestres, se consacre à imaginer des civilisations plutôt que des systèmes biologiques.

Et l'imagination ne leur a pas fait défaut. À côté des Borgs et de Q, le farceur omnipotent, l'univers de Star Trek comptait déjà plus de deux cents formes de vie spécifiques lorsque j'ai arrêté de les dénombrer. Notre galaxie est apparemment peuplée d'autres civilisations intelligentes, dont quelques-unes ont plus progressé que les autres. Certaines - la Fédération, les Klingons, les Romuliens et les Cardassiens - contrôlent de vastes empires, tandis que d'autres vivent isolées sur une planète unique, ou dans le vide interstellaire.

La découverte d'une intelligence extraterrestre pourrait être, comme l'ont souligné les spécialistes, la découverte la plus importante dans l'histoire de la race humaine. En effet, il est difficile d'imaginer une découverte qui puisse davantage modifier notre image de nous-mêmes et de notre place dans l'univers. Néanmoins, après trois décennies de recherches coordonnées, les témoignages prouvant de façon décisive qu'il y a d'autres formes de vie en dehors de notre propre planète nous font encore défaut. Cela peut sembler surprenant : s'il est une forme de vie dans l'espace, nous devrions à coup sûr la découvrir - de même que nombre des civilisations qui avaient émergé séparément sur les divers continents de notre Terre ont fini par se rencontrer (non sans quelques traumatismes).

Néanmoins, lorsqu'on y réfléchit plus profondément, on aperçoit clairement ce que cette quête d'autres formes de vie peut avoir d'intimidant. Supposons qu'une autre civilisation de la galaxie ait été informée, d'une manière ou d'une autre, de l'endroit exact où il fallait aller chercher, parmi les 400 milliards d'étoiles qui forment la Voie lactée, une planète accueillant la vie. Disons même qu'on leur a conseillé de tourner les yeux vers notre soleil. Quelle est la probabilité pour qu'ils découvrent notre existence? La vie est apparue sur Terre presque à sa création, il y a 4,5 milliards d'années. Mais il n'y a qu'une cinquantaine d'années environ que nous avons commencé à signaler notre existence. De plus, ce n'est que depuis vingt-cinq ans ou presque que nous possédons des radiotélescopes assez puissants pour servir de radiophares susceptibles d'être vus par d'autres civilisations. Ainsi, en 4,5 milliards d'années d'observation potentielle, les extraterrestres n'auraient pu découvrir la Terre qu'au cours des cinquante dernières années. En supposant qu'une civilisation extraterrestre ait choisi de se livrer à une observation à un moment ou un autre de l'histoire de notre planète, la probabilité qu'ils découvrent notre existence serait donc d'environ 1 sur 100 millions. Encore faudrait-il, je vous le rappelle, qu'ils sachent exactement où aller chercher !

Des piles d'ouvrages traitent de la possibilité d'une vie ailleurs dans la galaxie, et des possibilités de la détecter. L'estimation des nombres de civilisations évoluées va de plusieurs millions (estimation haute) à une seule (estimation basse), si l'on admet, avec quelque générosité, que notre civilisation est évoluée. Je n'ai pas l'intention de consacrer une étude approfondie à ces documents. J'aimerais, en revanche, décrire quelques-uns des arguments physiques concernant les origines des

espèces vivantes que l' Entreprise a pour mission de découvrir, et discuter quelques-unes des stratégies employées aujourd'hui sur Terre à cet objet.

L'argument a priori qui présuppose nécessairement la présence de la vie ailleurs dans notre galaxie me paraît irrésistible. Comme on l'a vu, il existe environ 400 milliards d'étoiles dans notre galaxie. Il serait vraiment étonnant que notre soleil soit le seul autour duquel une forme de vie intelligente se soit développée. On peut avancer une idée en apparence plus sophistiquée pour estimer la probabilité qu'une forme de vie équivalant à la nôtre se trouve ailleurs, en posant des questions évidentes, telles que : « Quelle est la probabilité pour que cette étoile [particulière] vive assez pour entretenir la vie sur un système planétaire ? », puis en passant à un niveau planétaire, avec des questions telles que : « Cette planète est-elle assez grande pour avoir une atmosphère ? » ; ou : « Quelle est la probabilité pour qu'elle ait connu un volcanisme susceptible de produire assez d'eau à la surface ? » ; ou encore : « Quelle est la probabilité pour qu'elle ait une lune dont la masse ou la proximité produisent des marées susceptibles de constituer des eaux stagnantes où se développerait la vie, mais non des raz de marée quotidiens ? » J'étudierai certaines de ces questions, mais le problème, lorsqu'on tente de déterminer des probabilités réalistes, c'est d'abord que bien des paramètres requis ne sont pas déterminés, et ensuite que nous ignorons comment ces paramètres sont corrélés. Il est déjà assez difficile de déterminer correctement la probabilité d'événements quotidiens. Lorsqu'on tente d'estimer une suite de probabilités infinitésimales, la signification opérationnelle de cette entreprise n'est souvent que marginale.

Il faudrait également se rappeler que, même si l'on parvient à déterminer une probabilité précise, son interprétation n'a rien d'évident. Par exemple, la probabilité d'une suite particulière d'événements - ainsi, le fait que je suis assis sur ce modèle spécifique de chaise, et que je tape mon texte sur cet ordinateur spécifique (parmi les millions fabriqués chaque année), en ce lieu précis (parmi toutes les villes possibles du monde), et à cet instant précis (parmi les 86 400 secondes qui font un jour) - est quasi nulle. On peut dire la même chose pour toute autre série de circonstances de ma vie. De même, dans le monde inanimé, la probabilité que, par exemple, un noyau radioactif dégénère au moment précis où il le fait est quasi nulle. Toutefois, nous ne calculons pas ces probabilités. Nous nous demandons plutôt quelle est la probabilité pour que le noyau dégénère en un intervalle de temps non nul, ou quelle est la probabilité pour que la dégénérescence se produise à un moment donné plutôt qu'à un autre.

Lorsqu'on tente d'estimer les probabilités de vie dans la galaxie, il faut faire bien attention à ne pas restreindre outre mesure la séquence d'événements que l'on examine. Si c'est le cas, et cela s'est produit, on sera tenté de conclure que la probabilité que la vie se soit formée sur Terre au moment exact où elle s'est formée était infinitésimale, et c'est un argument parfois utilisé pour prouver l'existence d'une intervention divine. Toutefois, comme je viens de l'indiquer, cette même possibilité quasi nulle peut concerner la probabilité que le feu de circulation que je vois depuis ma fenêtre passe au rouge alors que j'attends dans ma voiture au stop, à

11 heures 57 tapantes, le 3 juin 1999. Ce qui ne signifie pas pour autant que le fait ne se produira pas.

Ce qu'il nous faut admettre, c'est que la vie s'est bel et bien formée dans la galaxie une fois au moins. Je ne soulignerai jamais assez l'importance de cette idée. Toute notre expérience en matière de science montre que la nature se contente rarement de produire un phénomène une seule et unique fois. Nous constituons un précédent. Notre simple existence prouve que la formation de la vie est chose possible. Dès lors que nous savons que la vie peut apparaître dans la galaxie, la probabilité qu'elle apparaisse ailleurs augmente beaucoup. (Bien sûr, comme l'ont avancé quelques biologistes tenants de l'évolution, la vie n'implique pas forcément l'intelligence.)

Notre imagination étant à coup sûr bien trop faible pour prendre en compte toutes les conditions qui, combinées, pourraient faire naître une forme de vie intelligente, nous pouvons prendre appui sur notre propre existence pour examiner quelles propriétés de l'univers ont joué un rôle essentiel ou important dans notre propre évolution.

Commençons par l'univers en général. J'ai déjà mentionné une coïncidence cosmique: à savoir qu'à l'origine de l'univers un proton supplémentaire était produit tous les dix milliards environ de protons et d'antiprotons. Sans ces petits extras, la matière et l'antimatière se seraient annihilées réciproquement, et il ne serait pas resté de matière dans l'univers aujourd'hui, intelligente ou pas.

Le trait qui nous frappe ensuite dans l'univers dans lequel nous vivons, c'est qu'il est ancien, très ancien. Il a fallu à la vie intelligente environ 3,5 milliards d'années pour se développer sur Terre. C'est pourquoi notre existence avait besoin d'un univers qui, durant des milliards d'années, permît cette existence. Les dernières estimations quant à l'âge de notre univers tournent autour de 10 à 20 milliards d'années, ce qui est largement suffisant. Toutefois il n'est pas si facile, a priori, de concevoir un univers qui se développe comme le fait le nôtre sans s'effondrer dans ce qui serait l'inverse du « Big Bang » - un « Big Crunch » -, ou bien s'étendre à une telle vitesse que la matière n'aurait pas le temps de s'agglomérer pour former des étoiles et des galaxies. Les conditions initiales de l'univers, ou quelque processus physique dynamique apparu au début de son histoire, devraient être ajustées avec une très grande finesse pour mettre les choses exactement en place.

Ce problème est maintenant connu sous le nom de « problème d'un univers plat », et son examen occupe une place centrale dans la cosmologie actuelle. L'attraction gravitationnelle, due à la présence de la matière, tend à ralentir l'expansion de l'univers. En conséquence, il reste deux possibilités. Ou l'univers contient assez de matière pour faire cesser, puis reculer l'expansion (univers « clos »), soit il n'en contient pas assez (univers « ouvert »). Ce qui est surprenant avec l'univers actuel, c'est que, en additionnant toute la matière que nous pensons qu'il contient, nous nous trouvons avec une somme étonnamment proche de la frontière entre ces deux possibilités - un univers « plat », où l'expansion observée ralentirait sans jamais tout à fait s'arrêter, sur une durée illimitée.

Voilà ce qui est particulièrement surprenant : au fur et à mesure que l'univers progresse, s'il n'est pas exactement plat, du moins s'éloigne-t-il de plus en plus d'une forme plate au cours du temps. Puisque l'univers est sans doute âgé d'au moins 10 milliards d'années aujourd'hui, et que les observations faites suggèrent que l'univers est aujourd'hui presque plat, alors, il y a bien longtemps, il devait déjà être infiniment proche de cette forme. Il est difficile d'imaginer que cela ait pu se produire au hasard, sans l'appui de quelque processus physique. Il y a une quinzaine d'années, un processus physique a été inventé, qui peut nous convenir. Connue sous le nom d'«inflation», c'est un processus doué d'ubiquité, susceptible, en raison des effets quantiques, de s'être produit aux premiers temps de l'univers.

Rappelez-vous que l'espace vide n'est pas réellement vide, mais que des fluctuations quantiques peuvent convoier de l'énergie dans le vide. Quand la nature des forces entre les particules élémentaires évolua avec la température aux premiers temps de l'univers, il est possible que l'énergie stockée sous forme de fluctuations quantiques soit devenue la forme dominante d'énergie. Cette énergie créée à partir du vide peut exercer une répulsion plutôt qu'une attraction gravitationnelle. On a suggéré que l'univers a pu passer par une brève phase d'inflation, au cours de laquelle il aurait été dominé par cette énergie du vide, provoquant une phase d'expansion très rapide. On a pu démontrer qu'au terme de cette période, lorsque l'énergie du vide fut transférée dans celle de la matière et de la radiation, l'univers s'est retrouvé très exactement plat.

Il demeure toutefois un autre problème, plus ardu peut-être. Einstein a été le premier à le poser lorsqu'il a tenté d'appliquer à l'univers sa nouvelle théorie générale de la relativité. À son époque, on ne savait pas encore que l'univers s'étendait; on le croyait statique et immuable à grande échelle. Einstein chercha le moyen d'éviter que toute cette matière ne s'effondre à cause de sa propre attraction gravitationnelle. Il ajouta un terme à ses équations, appelé la « constante cosmologique », qui avait essentiellement pour fonction d'introduire une répulsion cosmique, donc d'équilibrer l'attraction gravitationnelle à grande échelle. Lorsqu'on admit que l'univers n'était pas statique, Einstein réalisa qu'il n'y avait nul besoin de ce terme, et reconnut que, en l'ajoutant au reste, il avait commis «la plus grosse gaffe» de sa carrière.

Hélas! c'est comme quand on essaie de remettre le dentifrice dans le tube: une fois posée la possibilité d'une constante cosmologique, impossible de revenir en arrière. Si un tel terme est possible dans les équations d'Einstein, il nous faut expliquer pourquoi il est absent de l'univers observé. En fait, l'énergie du vide telle que je l'ai décrite ci-dessus produit exactement le même effet que celui qu'Einstein a tenté de produire avec sa constante cosmologique. La question devient donc : comment expliquer qu'une telle énergie du vide ne soit pas aujourd'hui largement dominante dans l'univers? Ou, en d'autres termes, comment expliquer que le processus d'inflation n'y soit plus à l'œuvre?

Nous n'avons pas de réponse à cette question, qui compte parmi les plus profondes et les plus insolubles de la science. Tous les calculs que nous faisons d'après les théories actuelles suggèrent que l'énergie du vide devrait être

aujourd'hui bien plus importante qu'elle ne l'est selon nos observations. Certaines hypothèses, basées sur des phénomènes exotiques comme les mini-trous noirs euclidiens, pourraient expliquer cette disparition, mais aucune n'a de fondement ferme. Plus surprenant encore, des observations récentes faites à diverses échelles suggèrent toutes que la constante cosmologique, si elle est bien plus réduite que de raison, peut néanmoins aujourd'hui ne pas équivaloir à zéro. On pourrait mesurer dès lors son effet sur l'évolution de l'univers: il serait par exemple plus vieux qu'on ne le croit. C'est un sujet fort intéressant, qui occupe une bonne partie de mes recherches actuelles.

Néanmoins, quelle que soit la solution à ce problème, il est clair que la forme quasi plate de l'univers a été l'une des conditions nécessaires à la possibilité de la vie sur Terre, et que les conditions cosmologiques favorisant la formation de la vie sur Terre sont valables ailleurs aussi bien.

À un niveau microphysique élémentaire, on constate par ailleurs une énorme quantité de coïncidences cosmiques qui ont permis à la vie d'apparaître sur Terre. Si, parmi toutes ces quantités physiques de base, une seule s'était trouvée légèrement différente, alors les conditions nécessaires à l'évolution de la vie sur Terre n'auraient pu être réunies. Si la différence minime de masse entre un neutron et un proton (environ d'un millième) avait été multipliée, ne fût-ce que par deux, la quantité des éléments dans l'univers (dont certains sont essentiels à la vie sur Terre) serait radicalement différente de ce que nous observons aujourd'hui. De la même façon, si le niveau d'énergie de l'un des états d'excitation du noyau de l'atome de carbone était légèrement différent de ce qu'il est, les réactions qui produisent le carbone à l'intérieur des étoiles ne se produiraient pas, et il n'y aurait aujourd'hui pas de carbone - fondement des molécules organiques - dans l'univers.

Bien sûr, il est difficile de savoir à quel point il faut souligner ces coïncidences. Rien de surprenant, puisque notre évolution a eu pour cadre cet univers, à noter que les constantes de la nature possèdent effectivement les qualités qui nous ont permis, à nous, d'évoluer. On pourrait se figurer, pour faire progresser la discussion, que notre univers, celui que nous observons, fait partie intégrante d'un méta-univers existant à une échelle beaucoup plus grande que l'objet de notre observation. Dans chacun des univers qui composent ce métaunivers, les constantes naturelles pourraient être modifiées. Dans ces univers, dont les constantes sont incompatibles avec l'évolution de la vie, il n'existerait aucun observateur pour mesurer les données. Pour paraphraser la théorie du cosmologue russe Andrei Linde, qui souscrit à cette forme de «principe anthropique», c'est comme si un poisson doué d'intelligence se demandait pourquoi l'univers dans lequel il vit (l'intérieur d'un bocal à poisson) est fait d'eau. La réponse est simple: s'il n'était pas composé d'eau, le poisson ne serait pas là pour poser la question.

Puisque la plupart de ces problèmes, quoique intéressants, ne sauraient être résolus à un simple niveau empirique, mieux vaut peut-être les abandonner aux philosophes, aux théologiens ou aux auteurs de science-fiction. Acceptons le fait que l'univers a véritablement trouvé le moyen d'évoluer, sur un plan à la fois

microscopique et macroscopique, de façon à rendre possible l'évolution de la vie. Et tournons-nous maintenant vers notre propre habitat, la Voie lactée.

Lorsque nous nous demandons quels systèmes de notre propre galaxie pourraient accueillir une forme de vie intelligente, les enjeux physiques deviennent plus nets. Étant donné qu'il existe des étoiles dans la Voie lactée qui, suivant toutes les estimations, sont âgées d'au moins 10 milliards d'années, alors que la vie sur Terre ne date que de 3,5 milliards d'années, nous sommes en droit de nous demander si la vie a pu être présente dans notre galaxie avant qu'elle n'apparaisse sur Terre, et depuis combien de temps.

Lorsque notre galaxie commença à se condenser après l'expansion de l'univers, il y a 10 à 20 milliards d'années, les étoiles de la première génération étaient constituées entièrement d'hydrogène et d'hélium, les seuls éléments produits abondamment lors du « Big Bang ». La fusion nucléaire à l'intérieur de ces étoiles a continué à convertir l'hydrogène en hélium, et une fois ce combustible hydrogène épuisé, l'hélium commença à « brûler », jusqu'à former des éléments plus pesants encore. Ces réactions de fusion continueront à alimenter l'étoile jusqu'à ce que son cœur soit essentiellement constitué d'acier. Or l'acier ne peut fondre pour former des éléments plus pesants, et c'est pourquoi le combustible nucléaire de l'étoile s'épuise. Le rythme auquel une étoile brûle son combustible nucléaire dépend de sa masse. Notre propre soleil, après 5 milliards d'années de combustion d'hydrogène, n'en est pas encore à la moitié de la première phase de son évolution stellaire. Des étoiles de 10 masses solaires - c'est-à-dire pesant dix fois le poids du Soleil - brûlent leur combustible à peu près mille fois plus vite que le Soleil. Ces étoiles auront donc épuisé leur combustible d'hydrogène en moins de 100 millions d'années, quand le Soleil a une espérance de vie de 10 milliards d'années.

Qu'est-ce qui arrive à une de ces étoiles massives lorsqu'elle a épuisé son combustible nucléaire? Quelques secondes après qu'elle a brûlé ses ultimes réserves, l'étoile éclate en une explosion appelée supernova, l'un des feux d'artifice les plus brillants qui nous soient présentés dans l'univers. Les supernovas brillent un bref laps de temps de l'éclat d'un milliard d'étoiles réunies. À notre époque, il s'en produit deux ou trois tous les cent ans. Il y a mille ans environ, des astronomes chinois observèrent une nouvelle étoile, visible de jour dans le ciel, qu'ils baptisèrent « étoile invitée ». Cette supernova créa ce que notre télescope nous révèle maintenant comme étant la nébuleuse du Crabe. On notera que ce phénomène éphémère n'a été repéré nulle part en Europe occidentale. Le dogme de l'Église, à cette époque, déclarait que les cieux étaient éternels et immuables, et mieux valait ne pas y prêter attention plutôt que de risquer le bâcher. Quelque cinq cents ans plus tard, les astronomes européens s'étaient assez affranchis de ce dogme pour que l'astronome danois Tycho Brahe puisse repérer une nouvelle supernova dans la galaxie.

Une bonne partie des éléments pesants créés au cours du processus stellaire, et d'autres produits par l'explosion elle-même, sont dispersés dans l'environnement interstellaire : un peu de cette « poussière d'étoile » est incorporée dans un gaz qui s'affaisse pour former une autre étoile. Pendant des milliards d'années, de nouvelles

génération d'étoiles - dites de catégorie 1, tout comme notre soleil- se forment, et une grande partie de ces étoiles sont entourées d'un disque tourbillonnant de gaz et de poussières. Ceux-ci fusionnent et forment des planètes contenant des éléments pesants tels que le calcium, le carbone et l'acier. C'est de ces matières que nous sommes faits. Chaque atome de notre corps fut créé il y a des milliards d'années, dans la fournaise ardente de quelque étoile morte depuis longtemps. C'est à mon sens l'un des faits les plus fascinants et les plus poétiques touchant notre univers: nous sommes tous, au sens le plus littéral, des enfants d'étoiles.

À présent, si une planète comme la Terre se formait par hasard à proximité d'une étoile très massive, cela ne l'avancerait pas à grand-chose. Nous l'avons vu, ces étoiles évoluent et meurent dans un intervalle d'environ 100 millions d'années. Seules des étoiles ayant la masse de notre soleil, ou une masse inférieure, passeront plus de 5 milliards d'années dans une phase stable de combustion d'hydrogène. Il est difficile d'imaginer comment la vie pourrait se former sur une planète située dans l'orbite d'une étoile dont la luminosité connaîtrait de très importantes variations au cours de son évolution. À l'inverse, si une étoile plus petite et plus sombre que le Soleil possédait un système planétaire, une planète assez chaude pour entretenir de la vie aurait sans doute bien des chances d'être trop proche d'elle pour ne pas être détruite par les raz de marée. Si nous devons chercher des traces de vie, mieux vaut donc sélectionner des étoiles pas trop différentes de la nôtre. Il se trouve que le Soleil est plutôt un modèle courant dans la galaxie. Environ 25 % des étoiles de la Voie lactée - 100 milliards environ au total - correspondent au profil. La plupart sont plus âgées que le Soleil lui-même, et pourraient, en principe, avoir créé des lieux favorables à la vie, environ 4 ou 5 milliards d'années avant que le Soleil ne s'y mette à son tour.

Revenons sur Terre. Qu'est-ce qui fait la particularité de cette planète bleue ? En premier lieu, elle se situe dans la zone interne du système solaire. Ce détail compte : les planètes situées dans la zone externe ont un pourcentage d'hydrogène et d'hélium bien supérieur, et plus proche de celui du Soleil. La plupart des éléments lourds présents dans le disque de gaz et de poussière entourant ce dernier à sa naissance sont, semble-t-il, demeurés dans la zone interne du système. On pourrait donc s'attendre à trouver des lieux favorables à la vie situés à des distances plus courtes que celle qui sépare, par exemple, Mars d'une étoile dont la masse solaire serait de 1.

Ensuite, comme aurait dit Boucles-d'Or, la Terre est juste comme il faut - ni trop grande, ni trop petite, ni trop chaude, ni trop froide. Puisque les planètes situées dans la zone interne n'avaient sans doute pas d'atmosphère quand elles se sont formées, celle-ci dut être générée par des gaz émanant des volcans. L'eau à la surface de la Terre fut produite de cette façon. Sans doute une planète plus petite aurait-elle irradié de la chaleur de sa surface assez rapidement pour empêcher une bonne part du volcanisme de se mettre en œuvre. Ce fut sans doute le cas avec Mercure et la Lune. Mars est un cas limite. La Terre et Vénus sont parvenues à créer

une atmosphère. Des mesures récentes d'isotopes de gaz radioactifs dans les roches terrestres suggèrent que, après une période initiale de bombardement, qui dura de 100 à 150 millions d'années, il y a environ 4,5 milliards d'années, et au cours de laquelle la Terre fut créée par accréation de matière, le volcanisme produisit environ 85 % de l'atmosphère en quelques millions d'années. C'est pourquoi, encore une fois, il n'est pas surprenant que la vie organique se soit formée sur Terre plutôt que sur d'autres planètes du système solaire, et l'on pourrait s'attendre à voir apparaître des tendances similaires ailleurs dans la galaxie - sur les planètes de catégorie M, comme on les nomme dans l'univers de Star Trek.

Reste à savoir à quel rythme la vie, suivie d'une forme intelligente de vie, évoluerait - d'après notre expérience terrestre. La réponse à la première partie de la question est : à un rythme assez rapide. Des vestiges fossilisés d'algues bleu-vert âgées d'environ 3,5 milliards d'années ont été découverts, et divers chercheurs ont avancé que la vie était déjà florissante il y a 3,8 milliards d'années. Quelque 100 millions d'années seulement après le jour de sa création, la Terre accueillait déjà la vie. Voilà qui est très encourageant.

Bien sûr, entre le moment où la vie est apparue sur Terre et le développement multicellulaire complexe (puis celui d'une forme de vie intelligente), il s'est écoulé environ 3 milliards d'années. Nous avons toutes les raisons de penser que cette ère fut dominée par la physique plus que par la biologie. En premier lieu, l'atmosphère primitive de la Terre ne contenait pas d'oxygène. Le dioxyde de carbone, le nitrogène et de multiples traces de méthane, d'ammoniaque, de dioxyde de soufre et d'acide hydrochlorique étaient présents, mais non l'oxygène. Or non seulement ce dernier est essentiel pour les formes avancées de vie organique sur Terre, mais il joue un autre rôle important: c'est seulement quand l'atmosphère contient assez d'oxygène que l'ozone peut se former. L'ozone, comme nous en sommes de plus en plus conscients, est essentiel à la vie, parce qu'il forme une couche qui repousse les rayons ultraviolets, nocifs à la plupart des formes de vie. Il n'est pas surprenant, dès lors, que l'explosion rapide de la vie sur Terre n'ait commencé qu'une fois l'oxygène abondamment répandu.

Des mesures récentes indiquent que l'oxygène a commencé à se développer dans l'atmosphère il y a quelque 2 milliards d'années, et a atteint son niveau actuel 600 millions d'années après environ. L'oxygène produit à l'origine, grâce à la photosynthèse des algues bleu-vert présentes dans les océans premiers, n'avait d'abord pas réussi à s'élever dans l'atmosphère. L'oxygène réagit à un nombre si élevé de substances, telles que l'acier, que tout ce qui était produit par photosynthèse se combinait avec d'autres éléments avant de pouvoir atteindre l'atmosphère. En fin de compte, il s'oxyda assez de matière dans l'océan pour que l'oxygène libéré puisse s'accumuler dans l'atmosphère. (Ce processus n'eut jamais lieu sur Vénus, parce que la température était trop haute pour que s'y forment des océans, et c'est pourquoi la vie n'apparut pas, ni les algues bleu-vert préservant la vie.)

Ainsi, après que les conditions permettant des formes de vie complexes eurent

véritablement mûri, il fallut encore 1 milliard d'années environ pour que la vie se développe. Bien sûr, il n'est pas certain que cette échelle chronologique puisse s'appliquer en général. Des accidents tels que de mauvais tournants dans l'évolution, des changements climatiques et des événements cataclysmiques provoquèrent des extinctions, affectant et l'échelle chronologique et les résultats finaux.

Néanmoins, ces résultats indiquent qu'une forme de vie intelligente peut évoluer dans un intervalle de temps assez court sur l'échelle chronologique du cosmos -1 milliard d'années environ. L'ampleur de ce cadre temporel dépend de facteurs purement physiques, tels que la production de chaleur et les taux de réactions chimiques. Notre expérience sur Terre nous apprend que, même en limitant nos espérances de trouver une forme de vie intelligente à une vie organique et aérobique - et c'est là adopter une attitude bien conservatrice, rejetée par les auteurs de Star Trek (Horta, la créature rocheuse à base de silicone, est parmi mes préférées) -, les planètes en orbite autour des étoiles âgées de plusieurs milliards d'années, et dont la masse solaire serait d'environ 1, représentent les meilleures candidates.

Même en considérant la formation de la vie organique comme un processus robuste et relativement rapide, quelle preuve avons-nous que ces ingrédients de base - les molécules organiques, et les autres planètes - existent ailleurs dans l'univers? Là encore, des études récentes incitent à l'optimisme. On a observé des molécules organiques dans des astéroïdes, des comètes, des météorites, et dans l'espace interstellaire. Certaines sont des molécules complexes, et notamment les acides aminés, ces cubes dont se construit la vie. Des mesures micro-ondes du gaz interstellaire et des grains de poussière ont permis l'identification de douzaines de composants organiques, dont on suppose que certains sont des hydrocarbures complexes. Il est peu douteux que la matière organique soit présente dans toute la galaxie.

Et les planètes, enfin? On ne compte qu'une seule observation directe d'un autre système planétaire que le nôtre, bien qu'un seul système ait pu être observé hormis le nôtre. On a longtemps cru que la plupart des étoiles étaient entourées de planètes. Il est certain qu'une bonne partie des étoiles observées possèdent une compagne stellaire, dans ce qu'on appelle des systèmes binaires. De plus, on a observé que nombre de jeunes étoiles étaient entourées de disques périphériques de poussière et de gaz, qui ont sans doute engendré des planètes. Divers modèles numériques conçus pour prévoir la répartition des masses planétaires et des orbitales sur ces disques suggèrent (et je souligne ce mot) que ceux-ci produiront au moins une planète pareille à la Terre, et pareillement éloignée de son étoile. Tout récemment, un autre système planétaire a pu enfin être détecté, à 1 400 années-lumière de la Terre. De façon assez surprenante, le système observé est l'un des endroits les moins hospitaliers qu'on puisse imaginer pour accueillir des planètes: trois d'entre elles sont en orbite autour d'un pulsar - le noyau affaissé d'une supernova -, à une moindre distance que celle qui sépare Vénus du Soleil. Ces planètes pourraient fort bien s'être formées après plutôt qu'avant la supernova : du moins cette découverte indique que la formation de planètes n'est certainement pas un phénomène rare.

Je ne voudrais pas que l'arbre cache la forêt. Il est quasi miraculeux que les lois normales de la physique et de la chimie, combinées avec un univers en expansion âgé de plus de 10 milliards d'années, mènent au développement de consciences capables d'étudier l'univers où elles sont nées. Néanmoins, si les circonstances qui ont mené à la formation de la vie sur la Terre sont particulières, elles ne semblent en aucune façon lui être propres. Selon les arguments cités plus haut, il se peut fort bien qu'il y ait plus d'un milliard de sites favorables à la vie organique dans notre galaxie. Et puisque notre galaxie n'est qu'une galaxie parmi plus de cent milliards dans l'univers tel qu'on peut l'observer, j'ai peine à croire que nous soyons tout seuls. De plus, comme je l'ai noté, la plupart des étoiles de catégorie 1 se sont formées avant le Soleil (jusqu'à 5 milliards d'années plus tôt). Si l'on prend en considération le cadre temporel étudié plus haut, la vie intelligente a sans doute évolué sur bien des sites, des milliards d'années avant la naissance de notre étoile. En fait, il est probable que la plus grande partie de la vie intelligente soit apparue avant la nôtre. Ainsi, si l'on prend en compte la durée de vie des civilisations intelligentes, la galaxie pourrait être peuplée de civilisations ayant perduré littéralement des milliards d'années avant nous. D'un autre côté, à l'instar de la nôtre, ces civilisations ont peut-être affronté la guerre et la famine, et beaucoup n'ont peut-être pas survécu plus de quelques millénaires. Dans ce cas, la plus grande partie de la vie intelligente aurait disparu depuis longtemps. Comme un chercheur l'a dit avec force il y a vingt ans: «La question de savoir s'il existe ailleurs une forme de vie intelligente dépend, en dernière analyse, du degré d'intelligence qui caractériserait cette forme de vie. (3)»

Alors, comment savoir? Devrons-nous dépêcher des vaisseaux spatiaux pour explorer de nouveaux mondes étranges, et aller où nul ne s'est encore aventuré? Ou serons-nous découverts par nos voisins intergalactiques, qui auront fini par capter les divers épisodes de Star Trek, dont les signaux voyagent à vitesse-lumière sur toute l'étendue de la galaxie? Ni l'un ni l'autre, à mon avis - et je ne suis pas le seul à le croire.

En premier lieu, nous avons bien vu que les voyages dans l'espace ont de quoi nous effrayer. Il y faudrait plus d'énergie que nous ne saurions l'imaginer, pilotage en vitesse de distorsion ou non. N'oubliez pas que pour propulser une fusée en utilisant des moteurs à base d'un mélange de matière et d'antimatière, à une vitesse équivalant aux trois quarts de la vitesse-lumière, pour un aller-et-retour de dix ans jusqu'à l'étoile la plus proche, il faudrait une décharge d'énergie équivalant à la consommation totale d'électricité des États-Unis pendant plus de 100 000 ans! Et cette quantité n'est rien à côté de celle qu'il faudrait pour pouvoir véritablement distordre l'espace. De plus, pour avoir une chance raisonnable de trouver de la vie, il ne serait pas inutile de sonder quelques milliers d'étoiles au moins. Je crains que, même à vitesse-lumière, nous n'ayons pas assez du prochain millénaire pour y parvenir.

Voilà pour la mauvaise nouvelle. La bonne nouvelle, c'est que nous n'avons plus trop à craindre d'être enlevés par des extraterrestres. Eux aussi, ils ont sans doute fait leurs comptes énergétiques et découvert qu'il vaut mieux apprendre à nous

connaître de loin.

Faut-il alors consacrer nos efforts à diffuser notre existence sur les ondes? Certes, ce serait meilleur marché. Nous pourrions envoyer au système stellaire le plus proche un message d'une dizaine de mots qui pourrait être reçu par des antennes de radio de taille raisonnable, pour moins d'un dollar d'électricité. Toutefois - et là encore, je m'inspire d'Edward Purcell, lauréat du prix Nobel - si nous préférons diffuser plutôt que recevoir, nous risquons de manquer la plupart des formes de vie intelligentes. À coup sûr, ces civilisations lointaines peuvent se débrouiller bien mieux que nous pour transmettre de puissants signaux. Et comme nous sommes lancés dans la transmission radio depuis quatre-vingts ans ou presque seulement, rares sont les sociétés moins avancées que nous qui pourraient s'être dotées d'une technologie les mettant à même de recevoir nos signaux. C'est pourquoi, comme disait ma mère, il faut écouter avant de parler. Pourtant, alors même que j'écris ces mots, j'espère soudain que toutes ces sociétés plus avancées que nous ne sont pas en train de se dire la même chose.

Encore faut-il savoir quoi écouter. Si nous n'avons aucune idée préalable du canal sur lequel il faut nous brancher, la situation paraît sans issue. Ici, Star Trek peut nous guider. Dans l'épisode de la Nouvelle génération intitulé « L'enfant de la galaxie », l'Entreprise tombe par hasard sur une forme de vie extraterrestre qui vit dans l'espace vide et se nourrit d'énergie. Elle goûte tout particulièrement la radiation émise sur une fréquence très précise - 1 420 millions de cycles par seconde, sur une onde de 21 centimètres.

Pour parler comme Pythagore, s'il existe une musique des Sphères, nous tenons sans doute là sa tonalité dominante. 1 420 mégahertz, c'est la fréquence naturelle de précession du spin d'un électron tournant autour d'un noyau atomique d'hydrogène, le matériau dominant dans notre univers. C'est, mille fois plus que toute autre, la fréquence radio la plus importante de la galaxie. De plus, elle tombe précisément dans la fourchette de fréquences qui, telle la lumière visible, peuvent être transmises et reçues à travers une atmosphère susceptible d'accueillir une forme de vie organique. Enfin les bruits de fond sont très rares quand on émet à cette fréquence. Les radioastronomes l'ont utilisée pour localiser l'hydrogène dans la galaxie - ce qui revient évidemment à localiser la matière - et ont ainsi pu déterminer la forme de la galaxie. Toute espèce assez intelligente pour connaître les ondes radio et l'univers connaît nécessairement cette fréquence. C'est un signal domestique universel. Il y a trente-six ans, les astrophysiciens Giuseppe Cocconi et Philip Morrison ont suggéré qu'elle était la fréquence la plus propre à transmettre ou recevoir un signal, et nul n'est revenu depuis sur leur conclusion.

Hollywood n'a pas seulement deviné quelle fréquence se prêtait le mieux à l'écoute: il a également contribué à financer cette écoute. Pendant trente ans et plus, on a conduit des projets d'écoute à petite échelle, mais le premier projet d'ensemble à grande échelle a été fondé à l'automne 1985, lorsque Steven Spielberg a donné le coup de pouce décisif au lancement officiel le projet META, ou Megachannel Extra

Terrestrial Array (exploration large spectre des signaux extraterrestres). Né du cerveau du magicien de l'électronique, Paul Horowitz, professeur à l'université Harvard, le META est situé à l'emplacement du télescope des universités Harvard et Smithsonian (long de 26 mètres), dans le Massachusetts, et est financé par des investissements privés de la Société planétaire, auxquels Monsieur E. T. a contribué à hauteur de 100 000 dollars. Le META utilise un déploiement de 128 processeurs parallèles, qui scanne simultanément 8 388 608 canaux de fréquence de l'ordre de 1 420 mégahertz et, ce que l'on appelle ses harmoniques secondaires, de 2 840 mégahertz. On a accumulé les données pendant plus de cinq ans, et le META a parcouru trois fois le ciel en quête d'un signal extraterrestre.

Bien sûr, il faut savoir écouter intelligemment et admettre en premier lieu que, même si un signal est émis sur une fréquence de 1 420 mégahertz, il ne sera pas forcément reçu sur cette même fréquence. Et ce, à cause de l'infâme effet Doppler qui veut que le sifflement d'un train soit plus fort quand il approche et plus bas quand il s'éloigne. Cela vaut pour toutes les radiations émises par une source en mouvement. Puisque la plupart des étoiles dans la galaxie se déplacent à la vitesse de plusieurs milliers de kilomètres par seconde par rapport à nous, impossible d'ignorer cette modification de Doppler. (Les auteurs de Star Trek l'ont prise en compte, et ont doté le téléporteur de « compensateurs de Doppler » qui prennent en compte les déplacements relatifs du vaisseau spatial et de la cible visée.) Admettant que les transmetteurs de signaux ont réalisé ce fait, les chercheurs du I\IBTA ont étudié le signal de 1 420 mégahertz tel qu'il pourrait apparaître s'il était modifié après avoir été émis depuis trois sources possibles, à savoir : a) une source dont le déplacement serait parallèle à notre système local d'étoiles, b) une source dont le déplacement serait parallèle à celui du centre de la galaxie, c) une source dont le déplacement serait parallèle au cadre défini par les radiations de fond des micro-ondes cosmiques. Il est alors plus facile de distinguer de tels signaux des signaux terrestres : ces derniers sont tous émis par une source située à la surface de la Terre, ce qui n'est pas le cas des sources étudiées ci-dessus. Aussi les signaux terrestres ont-ils un « gazouillis » caractéristique quand ils apparaissent dans les données de I\IBTA.

Quel aspect prendrait un signal extraterrestre ? Cocconi et Morrison ont suggéré que nous pourrions chercher les premiers nombres premiers : 1, 3, 5, 7, 11, 13 ... C'est justement la série de coups tapés par Picard dans l'épisode « Allégeance », lorsqu'il tente de faire comprendre à ses ravisseurs qu'ils ont affaire à une espèce intelligente. Des pulsations émises par une tempête de surface sur une étoile, entre autres exemples, ne risquent pas d'émettre cette série précise. Les chercheurs du META ont cherché un signal encore plus basique : un ton constant, uniforme, sur une fréquence fixe. Il est facile de chercher une onde « porteuse » de ce type.

Horowitz et son collaborateur Carl Sagan, astronome issu de l'université de Cornell, ont fait le bilan des données accumulées durant cinq ans par le META. Ils ont isolé 37 signaux, sélectionnés parmi les 100 000 milliards détectés. Toutefois, aucun de ces « signaux » n'a été répété. De ces données, Horowitz et Sagan préfèrent dire qu'elles n'offrent pour l'instant aucun signal définitif. Du moins ont-ils réussi à

limiter le nombre possible de civilisations hautement avancées qui auraient tenté de communiquer avec nous à diverses distances de notre soleil.

Néanmoins, malgré la complexité incroyable de cet effort de recherche, seul un petit nombre de fréquences a été véritablement exploré, et, pour être détecté par le télescope du META, un signal requiert une assez grande quantité d'énergie: les autres civilisations devraient employer une puissance de transmission supérieure à l'énergie totale que la Terre reçoit du Soleil (environ 10¹⁷ watts) pour produire un signal susceptible d'être détecté. Il n'y a donc pas de quoi se laisser aller au pessimisme. Ce n'est pas une tâche facile que de rester à l'écoute. Le groupe du META est en voie de construire un détecteur plus vaste (ou BETA), ce qui devrait multiplier par 1 000 le potentiel de recherche.

La quête continue. Le fait que nous n'avons encore rien entendu ne devrait pas nous décourager. C'est un peu ce que me disait mon ami Sidney Coleman, professeur de physique à Harvard, à propos de l'achat d'une maison: il ne faut pas se décourager si, après en avoir regardé cent, vous n'avez toujours pas trouvé. Il suffit de tomber sur une seule qui vous plaise ... Un signal unique, mais définitif, même s'il est improbable que nous en recevions jamais un, changerait notre point de vue sur l'univers et annoncerait les prémices d'une ère nouvelle dans l'évolution de la race humaine.

Et pour ceux d'entre vous qui sont déçus à l'idée que, pour prendre contact avec les civilisations extraterrestres, nous n'allions pas leur rendre visite à bord de nos vaisseaux, rappelez-vous les Cythériens, cette civilisation hautement avancée que l'Entreprise rencontre, et qui prend contact avec d'autres civilisations non pas en voyageant à travers l'espace, mais en amenant à elle les voyageurs de l'espace. Dans un sens, c'est bien ce que nous faisons lorsque nous nous mettons à l'écoute de signaux venus des étoiles.

9 - Toute une ménagerie de possibilités

« Voilà de belles perspectives d'exploration ! Il ne s'agit plus de tracer le plan des étoiles ou d'étudier des nébuleuses, mais de dresser la liste des possibilités d'existence inconnues. »
Q à Picard, dans l'épisode «Les meilleures choses ... »

En plus de treize ans, les auteurs de Star Trek ont eu l'occasion de recourir à certaines des idées les plus excitantes qui soient en physique, tous domaines confondus. Parfois ils les exploitent correctement; parfois ils en font n'importe quoi. Parfois ils se contentent de reproduire le jargon des physiciens, et parfois ils vont jusqu'à reprendre les idées convoyées par ces mots. Lire la liste des sujets traités revient à passer en revue la physique moderne : relativité restreinte, relativité

générale, cosmologie, physique des particules, voyage dans le temps, distorsion de l'espace et fluctuations quantiques, pour ne citer que quelques exemples.

Dans cet avant-dernier chapitre, je présenterai rapidement quelques idées parmi les plus intéressantes empruntées par nos auteurs à la physique moderne - notamment les concepts sur lesquels je n'ai pas eu le temps de me pencher auparavant. Leur diversité m'incite à les présenter sous forme de glossaire, sans ordre thématique préconçu. Dans le dernier chapitre, j'adopterai une présentation similaire - en prenant pour échantillons les bourdes scientifiques les plus évidentes de la série, d'après une sélection opérée par divers fans, d'éminents collègues et moi-même. Dans les deux cas, je me suis contenté d'une dizaine d'exemples, mais j'aurais pu ne pas m'en tenir là.

Les ordres de grandeur dans la galaxie et dans l'univers

Notre galaxie est la scène où se déroule le drame de Star Trek. Tout le long de la série, diverses distances intergalactiques jouent un rôle crucial dans l'action. On y jongle avec les UA (unité astronomique: 1 UA équivaut à 150 millions de kilomètres, soit la distance qui sépare la Terre du Soleil), notamment pour donner une idée du nuage Végur dans le premier film de Star Trek. De plus, divers aspects de notre galaxie sont avancés, dont une « Grande Frontière » en son centre (dans Star Trek V: L'ultime frontière) et, dans les premiers épisodes, une « frontière galactique » à sa lisière (cf « Là où nul n'est allé », « Ou tout autre nom », ou « La vérité n'est-elle pas toujours belle ? »). Il semble dès lors utile, si l'on veut décrire le terrain de jeu où se situe Star Trek, d'offrir notre propre tableau de la galaxie et de ses voisins, et de donner notre propre idée des ordres de grandeur dans l'univers.

Parce que les chiffres concernés sont énormes, on traduit rarement les distances astronomiques en unités conventionnelles tels que les kilomètres. Les astronomes ont préféré créer des unités de grandeur plus appropriées. L'une d'elles est l'U A. Elle représente l'échelle de distance du système solaire : Pluton, qui y figure l'Ultima Thulé, se situe à environ 40 UA de la Terre. Dans Star Trek: Le film, le nuage Végur est décrit comme ayant un diamètre de 82 UA, ce qui est considérable - et plus grand encore que tout notre système solaire !

Pour la comparer aux distances interstellaires, nous gagnons à transposer la distance entre la Terre et le Soleil en termes de temps nécessaire à la lumière (ou à l' Entreprise lorsqu'elle se déplace en vitesse de distorsion 1) pour voyager du Soleil à la Terre, à savoir environ 8 minutes. (C'est le temps qu'il faudrait à la lumière pour atteindre, depuis leur soleil, la plupart des planètes de catégorie M.) Nous pouvons donc dire que 1 UA équivaut à 8 minutes de lumière. Par comparaison, la distance séparant la Terre de l'étoile la plus proche, Alpha du Centaure - système binaire d'étoile où, semble-t-il, a vécu Zefrem Cochrane, l'inventeur de la vitesse de distorsion - est d'environ 4 années-lumière: distance caractéristique de celle qui sépare les étoiles dans notre région de la galaxie. Étant donné leur vitesse actuelle, nos fusées mettraient plus de 10 000 ans pour atteindre Alpha du Centaure. En

vitesse de distorsion 9, qui équivaut à environ 1 500 fois la vitesse lumière, elles mettraient près de 6 heures pour traverser une année-lumière.

La distance séparant le Soleil du centre de la galaxie est d'environ 25 000 années-lumière. En vitesse de distorsion 9, il faudrait environ 15 ans pour couvrir cette distance, et il est donc improbable que Sybok, lorsqu'il prend le commandement de l' *Entreprise*, réussisse à la ramener au centre de la galaxie, comme il le fait dans *Star Trek V: L'ultime frontière*, à moins que l'*Entreprise* n'y soit déjà.

La Voie lactée est une galaxie en forme de spirale, qui comprend en son centre un large disque d'étoiles. Elle est longue d'environ 100 000 années-lumière, et large de quelques milliers. Le *Voyageur*, projeté à quelque 70 000 années-lumière de la Terre dans le premier épisode de la série qui porte son nom, se retrouve donc de l'autre côté de la galaxie. À une vitesse de distorsion 9, il faudrait au vaisseau environ 50 ans pour retourner dans la région de notre soleil depuis ce point.

Au centre de notre galaxie, il y a un renflement - un amas dense d'étoiles - qui s'étend sur plusieurs milliers d'années-lumière. On pense qu'il renferme un trou noir d'environ un million de fois la masse solaire. Il est probable que les autres galaxies recèlent en leur centre des trous noirs allant de dix mille à plus de un million de fois la masse solaire.

Un halo vaguement sphérique, composé de très vieilles étoiles, entoure la galaxie. Les amas de milliers d'étoiles - ou «clusters globulaires» - qu'on y a trouvés figurent apparemment parmi les échantillons les plus anciens de notre galaxie. Ces étoiles auraient jusqu'à 18 milliards d'années, si l'on se fie à notre méthode actuelle de datation, et seraient encore plus anciennes que le «cluster noir» de l'épisode intitulé «Le culte du héros», qui passait pour avoir 9 milliards d'années. On pense qu'un halo sphérique encore plus énorme, constitué de «matière noire» (nous reviendrons sur ce terme) entoure la galaxie. Ce halo demeure invisible à tous les télescopes, et sa masse est peut-être égale à dix fois celle de la galaxie.

La Voie lactée est une galaxie en spirale de taille ordinaire, qui contient quelques milliards d'étoiles. Il y a environ 100 milliards de galaxies dans l'univers observable, et chacune contient un nombre d'étoiles plus ou moins identique! Parmi celles qu'il nous est possible d'observer, 70 % environ sont en spirale; les autres sont à peu près sphériques et répondent au nom de galaxies elliptiques. Les plus larges forment des galaxies elliptiques géantes, dont la masse est dix fois celle de la Voie lactée.

La plupart des galaxies sont agrégées en amas. Dans notre amas local, les galaxies les plus proches de la Voie lactée sont de petites galaxies satellites, qui tournent en orbite autour de la nôtre. Ces phénomènes, que l'on peut observer depuis l'hémisphère Sud, ont pour nom le Grand et le Petit Nuage de Magellan. Ils sont situés à environ 2 millions d'années-lumière de notre voisine la plus importante, la galaxie Andromède, où logeraient les Kelviens, qui tentent de s'emparer de l'*Entreprise* pour rentrer chez eux dans l'épisode « Ou tout autre nom ». En vitesse de distorsion 9, le voyage prendrait environ 1000 ans!

À cause du temps mis par la lumière pour voyager, plus nos regards vont

chercher loin, plus ils remontent dans le temps. Les senseurs électromagnétiques nous ramènent ainsi jusqu'à l'époque où la Terre était vieille de 300 000 ans. Auparavant, la matière existait sous la forme de gaz chaud ionisé, opaque aux radiations électromagnétiques. En quêtant un peu dans toutes les directions, nous percevons les radiations émises par la matière et la radiation lorsqu'elles se «dissocièrent». Ce phénomène a été baptisé arrière-plan de micro-ondes cosmiques. En l'observant (et récemment encore avec le satellite COBE lancé par la NASA en 1989), nous pouvons nous faire une idée de ce qu'était l'univers lorsqu'il avait 300 000 ans.

Enfin l'univers lui-même se développe de façon uniforme. Le résultat, c'est que les galaxies lointaines s'éloignent encore - et plus elles sont lointaines, plus vite elles s'éloignent - à une vitesse exactement proportionnelle à la distance qui les sépare de nous. Ce rythme d'expansion, caractérisé par une quantité baptisée constante de Hubble, est tel que des galaxies situées à 10 millions d'années-lumière s'éloignent à une vitesse moyenne de 150 à 300 kilomètres par seconde. En faisant les calculs inverses, on découvre que toutes les galaxies observables dans l'univers étaient rassemblées à l'époque du Big Bang, il y a 10 à 20 milliards d'années.

La matière noire

Comme je l'ai mentionné plus haut, notre galaxie est apparemment immergée dans une vaste mer de matériau invisible !. En étudiant le mouvement des étoiles, des nuages de gaz d'hydrogène, et même du Petit et du Grand Nuage de Magellan autour du centre galactique, et en recourant aux lois de Newton qui mettent en rapport la vitesse des objets en orbite et la masse qui les attire, on a déterminé que, sur des distances équivalentes à environ dix fois la distance qui nous sépare du centre de la galaxie, s'étend un halo de matière noire à peu près en forme de spirale. Ce matériau constitue au moins 90 % de la masse de la Voie lactée. De plus, en observant le mouvement d'autres galaxies, y compris celles de forme elliptique, ainsi que le mouvement des groupes de galaxies, nous découvrons qu'il y a plus de matière dans ces systèmes que nos seules observations ne l'indiquent. L'univers tout entier, tel que nous l'observons, semble donc être dominé par la matière noire. La pensée admise est que cette matière constitue la masse de l'univers pour une proportion de 90 à 99 % .

L'idée de la matière noire s'est insinuée dans les séries *La nouvelle génération* et *Le Voyageur* de façon assez amusante. Ainsi, dans l'épisode du *Voyageur* intitulé « Cathexis », le vaisseau pénètre une « nébuleuse de matière noire » qui, comme on peut l'imaginer, est pareille à un gros nuage noir et opacifiant. L'Entreprise avait déjà rencontré pareils objets, dont le « cluster noir » mentionné plus haut. Toutefois, si la matière noire est impressionnante, ce n'est pas parce qu'elle fait écran à la lumière d'une façon particulière, mais parce qu'elle ne brille pas, n'émet aucune radiation ni n'en absorbe de manière significative. Si c'était le cas, les télescopes la détecteraient. Si vous vous trouviez à l'intérieur d'un nuage de matière noire, comme c'est sans doute le cas pour nous, vous ne vous en apercevriez même pas.

La question de la nature, de l'origine et de la répartition de la matière noire compte sans doute parmi les énigmes les plus excitantes de la cosmologie actuelle. Puisque cette matière inconnue domine la densité de masse de l'univers, sa répartition a dû déterminer quand et comment la matière observable s'est affaissée sous l'effet de la gravité pour créer les clusters galactiques, les galaxies, les étoiles et les planètes qui font tout l'intérêt de l'univers à nos yeux. Notre existence même dépend directement de cette matière. De plus, la somme totale de matière noire dans l'univers déterminera le sort ultime de l'univers: le grand «Bang» final (s'il s'effondre) ou un sifflement ininterrompu (s'il continue son expansion alors même que les étoiles s'éteindront les unes après les autres). Cela dépendra de la quantité de matière qu'il contient, puisque l'attraction gravitationnelle est le facteur qui ralentit l'expansion.

Plus palpitants encore sont les arguments forts qui voudraient que la matière noire soit constituée de particules entièrement différentes des protons et neutrons qui composent la matière ordinaire. Les estimations relatives à la quantité de matière normale dans l'univers, basées sur les calculs des taux de réaction nucléaire aux premiers temps de l'univers, et la formation subséquente d'éléments légers, suggèrent qu'il n'y a peut-être pas assez de protons et de neutrons pour expliquer la présence de la matière noire autour des galaxies et des clusters. Qui plus est, pour comprendre la façon dont les petites fluctuations dans la répartition initiale de matière se sont effondrées dans le plasma brûlant de l'univers originaire, formant les galaxies et les clusters que nous observons aujourd'hui, il faut, semble-t-il, prendre en compte un type inédit de particule élémentaire qui ne produirait pas d'interaction avec la radiation électromagnétique. Si la matière noire est bel et bien constituée d'un type inédit de particules élémentaires, alors :

a) La matière noire ne se trouve pas juste «là-bas» : elle est dans la chambre même où vous lisez ce livre, et traverse votre corps imperceptiblement. Ces particules élémentaires exotiques ne s'amassent pas pour former des objets astronomiques; elles constitueraient plutôt un gaz «diffus» qui se répandrait abondamment dans toute l'étendue de la galaxie. Puisque leur interaction avec la matière est pour le moins restreinte, elles devraient être capables de se déplacer à travers des objets aussi vastes que la planète Terre. Ces particules peuvent de fait être observées dans la nature : notamment les neutrinos (leur nom doit être familier aux fans de Star Trek, et j'en reparlerai).

b) On peut observer directement la matière noire ici-bas, sur terre, en faisant usage de techniques sophistiquées portant sur la détection de particules élémentaires. Divers détecteurs, conçus pour réagir à divers types de matière noire, sont en cours d'élaboration.

c) La détection de ces particules pourrait révolutionner la physique des particules élémentaires. Ces objets sont en toute probabilité les résidus de processus de production remontant aux tout premiers temps de l'univers, avant même qu'il ait atteint l'âge d'une seconde, et qui interviennent en physique à des niveaux d'énergie comparables ou supérieurs à ceux dont nous faisons directement l'expérience toutes

les fois que nous utilisons un accélérateur moderne.

Pour palpitante que soit cette hypothèse, nous ne pouvons encore affirmer que la matière noire ne relève pas, en fait, d'une matière bien moins exotique. Il y a plusieurs façons d'assembler des protons et des neutrons de façon qu'ils ne brillent pas : si nous peuplions la galaxie avec des balles de neige ou des blocs de pierre, nous aurions du mal à détecter ceux-ci. Dans ce cas de figure, il faut supposer qu'il existe dans la galaxie nombre d'objets presque assez vastes pour être des étoiles, mais trop petits pour qu'une réaction thermonucléaire se produise dans leurs noyaux. On parle de « naines brunes » : Data et ses collègues de l'Entreprise les ont contestées dans l'épisode « Chasse à l'homme ». De fait, on conduit en ce moment d'intéressantes expériences pour découvrir si les naines brunes, ou machos (Massive Astrophysical Compact Halo Objects: objets astrophysiques massifs caractérisés par un halo compact) - représentent un élément clef du halo de matière noire qui entoure la Voie lactée. Bien que ces objets ne se prêtent pas à une observation directe, si l'un d'eux devait passer devant une étoile, la lumière de l'étoile serait affectée par la gravité du macho, et en paraîtrait plus brillante. Ce phénomène dit « effet de lentille gravitationnel » fut prédit par Einstein dans les années trente, et nous disposons maintenant de la technologie nécessaire à sa détection. Diverses expériences permettent l'observation de millions d'étoiles dans notre galaxie, soir après soir, pour voir si cet effet de lentille se produit. La sensibilité suffit à détecter un halo de machos formant de la matière noire - à supposer qu'ils constituent véritablement la plus grande part de la matière noire qui entoure notre galaxie. Des observations préliminaires ont permis des estimations, lesquelles tendent à suggérer que le halo de matière noire n'est pas composé de machos, mais la question reste ouverte.

Les étoiles à neutrons

Ces objets sont, rappelez-vous, les uniques vestiges des noyaux affaissés des étoiles devenues des supernovas. Bien que leur masse soit en général quelque peu supérieure à celle du Soleil, elles sont si denses qu'elles ont à peu près la taille de Manhattan! Une fois de plus les auteurs de Star Trek se sont surpassés en matière de terminologie. L'Entreprise a rencontré plusieurs fois une forme de matériau rejeté d'une étoile à neutrons, et les auteurs ont baptisé ce matériau « neutronium », Puisque les étoiles à neutrons sont composées quasi exclusivement de neutrons joints entre eux si fortement que l'étoile constitue pour ainsi dire un noyau atomique géant, le nom est bien choisi. La machine du Jugement dernier, dans l'épisode qui porte ce nom, est apparemment composée de neutronium pur, et donc imperméable aux armes de la Fédération. Toutefois, pour que ce matériau demeure stable, il lui faut subir une pression extrême créée par l'attraction d'une masse stellaire de matériau dont le rayon n'excède pas 15 kilomètres.

L'Entreprise a frôlé plusieurs fois des étoiles à neutrons. Dans l'épisode «Évolution», au moment où les Nanites entreprennent de grignoter les ordinateurs du

vaisseau, l'équipage est occupé à étudier une étoile à neutrons, sur le point d'exploser au terme de son processus d'accrétion. Dans l'épisode «La Société des chefs-d'œuvre», l'Entreprise doit défiécher un fragment de noyau stellaire que sa course dirige contre Moab IV.

Il y a sans aucun doute des millions d'étoiles à neutrons dans la galaxie. La plupart furent dotées à leur naissance de champs magnétiques internes d'une dimension incroyable. S'ils tournent rapidement, ils font de merveilleux radiophares. Chacun de leurs pôles émet de la radiation, et si le champ magnétique est dévié en fonction de l'axe du spin, il se crée un phare tournant. Depuis la Terre, nous détectons ces explosions périodiques d'ondes radio, et nommons leur source des «pulsars». En tournant ainsi dans l'espace, ils constituent les meilleures horloges de l'univers. Les signaux émis par les pulsars sont d'une régularité chronométrique qui ne se décale pas plus d'une microseconde par an. De plus, certains produisent plus de 1 000 pulsations par seconde. Ce qui signifie qu'un objet qui est par essence un noyau atomique géant, dont la masse équivaut à celle du Soleil, et dont la longueur est de 10 à 20 kilomètres, effectue sa rotation mille fois par seconde. Méditez cela : la vitesse de rotation à la surface de l'étoile à neutrons est égale à deux fois la vitesse de la lumière ! Les pulsars illustrent le fait que la nature produit des objets plus extraordinaires encore que tous ceux que les auteurs de Star Trek peuvent imaginer.

De nouvelles dimensions

Alors que James T. Kirk dérive lentement à l'intérieur et à l'extérieur de notre univers dans «La toile de Tholé», nous apprenons que la faute en revient à une «interphase spatiale», qui connecte pour un bref laps de temps différents plans dimensionnels, constituant à l'ordinaire des « univers parallèles». Deux fois déjà nous avons rencontré ces univers avec Kirk - l'un est constitué d'antimatière dans « Le facteur alternatif», et la téléportation permet d'accéder à l'autre dans «Miroir, mon beau miroir». Dans la série de la Nouvelle génération, on trouve aussi le continuum-Q, temps non linéaire défini par le Dr Paul Mannheim comme « une fenêtre ouverte sur d'autres dimensions», et, bien sûr, le subspace lui-même, qui contient un nombre infini de dimensions, où peuvent se dissimuler des extraterrestres comme ceux qui capturent le lieutenant Riker dans l'épisode« Schismes».

L'idée que, d'une façon ou d'une autre, les quatre dimensions de l'espace et du temps où nous vivons ne sont pas les seules est tenace dans les consciences populaires. Récemment, un psychiatre enseignant à Harvard a écrit un livre à succès (et connu, semble-t-il, quelques problèmes avec le département d'Études médicales) où il rapporte les analyses effectuées avec divers patients qui tous affirment avoir été enlevés par des extraterrestres. Dans une interview où on lui demandait d'où venaient les extraterrestres et comment ils étaient arrivés, il aurait suggéré qu'ils venaient « d'une autre dimension».

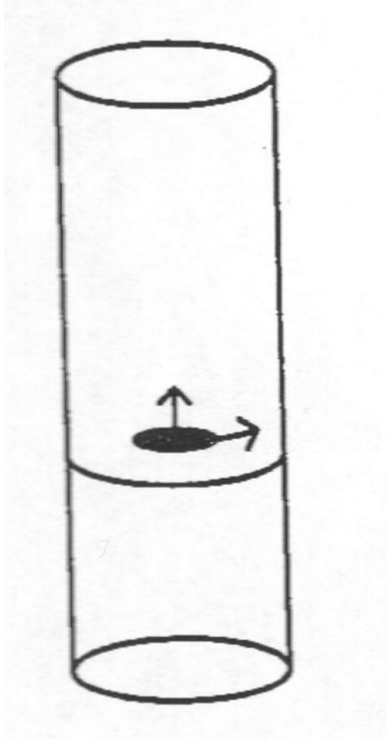
Cet engouement pour les dimensions supérieures nous vient sans aucun doute de la théorie de la relativité restreinte. Une fois que Hermann Minkowski eut rattaché

l'espace tridimensionnel au temps, formant ainsi l'espace-temps quadridimensionnel, il était naturel de présupposer que le processus pourrait se poursuivre. Qui plus est, une fois que la relativité générale eut démontré que la force de gravité, telle que nous la percevons, pouvait être associée à la courbure de l'espace-temps, il n'était pas exagéré de supposer que d'autres forces étaient susceptibles d'être associées à la courbure, en d'autres dimensions.

Les premiers scientifiques qui spéculèrent sur cette idée furent le physicien polonais Theodor Kaluza, en 1919, et, indépendamment, le physicien suédois Oskar Klein en 1926. Ils suggérèrent que l'électromagnétisme pouvait être relié à la gravité dans un univers à cinq dimensions. Peut-être la force électromagnétique est-elle reliée à une quelconque «courbure» dans une cinquième dimension, de même que la force gravitationnelle est l'effet de la courbure présente dans l'espace-temps quadridimensionnel.

L'idée est séduisante, mais n'est pas sans poser problème. De fait, toute série d'hypothèses surajoutant des dimensions à l'univers devra expliquer pourquoi l'homme ne fait pas l'expérience de ces dimensions comme il fait l'expérience de l'espace et du temps. La réponse qu'on a proposée est très importante, parce qu'elle ressurgit régulièrement lorsque les physiciens se penchent sur l'éventualité de dimensions supérieures dans l'univers.

Soient un cylindre et un insecte doué d'intelligence. Tant que la circonférence du cylindre est plus large que la taille de l'insecte, l'insecte peut se mouvoir sur les deux dimensions, et sentir qu'il rampe sur une surface bidimensionnelle.



Toutefois, si la circonférence du cylindre devient par trop réduite, l'insecte, lui, croira ramper sur un objet unidimensionnel (une ligne, une corde) et ne pourra se déplacer que vers le haut ou vers le bas.

Maintenant, voyons comment cet insecte pourrait finir par découvrir qu'il y a une autre dimension, correspondant à la circonférence du cylindre. S'il possédait un microscope, il pourrait réussir à distinguer la largeur de la «corde». Toutefois, la longueur d'onde de la radiation nécessaire pour distinguer des dimensions aussi réduites devrait être de l'ordre du diamètre du cylindre, ou plus restreinte encore puisque les ondes ne diffusent l'image d'un objet que s'il est à peu près sur la même longueur qu'elles (cf chapitre 5). Puisque l'énergie d'une radiation augmente à mesure que décroît sa longueur d'onde, il faudrait un certain minimum d'énergie pour distinguer cette « dimension supplémentaire».



Si, d'une façon ou d'une autre, une cinquième dimension se trouvait «cantonée» dans un cercle étroit, à moins de concentrer une grosse somme d'énergie sur un point réduit, nous ne réussirions sans doute pas à le faire traverser par des ondes pour prouver son existence. Après tout, nous savons que l'espace est tridimensionnel parce que nous en faisons l'expérience avec des ondes qui se déplacent dans l'ensemble des trois dimensions. Si les seules vagues susceptibles d'être envoyées dans la cinquième dimension requièrent beaucoup plus d'énergie que nous ne pouvons en produire, même en utilisant des accélérateurs à haute énergie, alors nous ne pourrions faire l'expérience de cette dimension supplémentaire.

Malgré son intérêt intrinsèque, la théorie Kaluza-Klein demeure donc incomplète. Tout d'abord, elle n'explique pas pourquoi la cinquième dimension serait cantonnée précisément dans une aire aussi réduite. Puis nous connaissons maintenant l'existence de deux autres forces fondamentales dans la nature, hors l'électromagnétisme et la gravité - la force nucléaire forte et la force nucléaire faible. Pourquoi nous en tenir à une cinquième dimension? Pourquoi ne pas définir un nombre de dimensions supplémentaires qui concilierait toutes les forces

fondamentales ?

De fait, la physique moderne des particules a ouvert cette possibilité. Les efforts actuels, centrés autour de ce qu'on appelle la théorie des supercordes, ont eu pour but premier d'étendre la théorie générale de la relativité de façon à élaborer une théorie cohérente de la gravité quantique. Toutefois, l'horizon d'une théorie unifiée portant sur l'ensemble des interactions a fini par refaire surface.

J'ai déjà fait l'inventaire des défis propres à l'élaboration d'une théorie qui tenterait de concilier la relativité générale avec la mécanique quantique. La difficulté principale, dans cet effort, consiste à comprendre comment il convient de traiter les fluctuations quantiques dans l'espace-temps. Dans la théorie des particules élémentaires, les excitations quantiques se produisant à l'intérieur de champs - le champ électrique, par exemple - se manifestent sous la forme de particules élémentaires, ou quanta. Si l'on tente de comprendre les excitations quantiques dans le champ gravitationnel, qui correspond dans la relativité générale aux excitations quantiques de l'espace-temps, les mathématiques donnent des prédictions absurdes.

La théorie des supercordes, quant à elle, supposait qu'à des niveaux microscopiques, qui sont le propre d'échelles très réduites (10⁻³³ centimètres) où les effets de la gravité quantique pourraient être importants, ce que nous considérons comme des particules élémentaires de la dimension d'un point pourraient être résolus sous l'aspect de cordes vibrantes. La masse de chaque particule correspondrait d'une façon ou d'une autre à l'énergie produite par la vibration de ces cordes.

Cette proposition quelque peu excentrique se justifie : on a découvert dès les années soixante-dix qu'une telle théorie nécessitait l'existence de particules ayant des propriétés semblables à celles que présentent les excitations quantiques dans l'espace-temps (ou gravitons). La relativité générale est donc en quelque sens incluse dans une théorie qui pourrait être bien en accord avec la mécanique quantique.

Toutefois, une théorie quantique des cordes ne peut être mathématiquement cohérente avec un contexte qui ferait intervenir quatre, cinq, voire six dimensions. Il se trouve que ces théories ne demeurent cohérentes que dans un contexte qui fait intervenir dix dimensions, voire vingt-six ! Le lieutenant Reginald Barclay, momentanément doté d'un QI de 1200 après avoir essayé le rayon d'une sonde cythérienne, a eu une longue discussion avec Albert Einstein sur le holodeck pour savoir laquelle de ces deux possibilités est la plus agréable lorsqu'il s'agit d'incorporer la mécanique quantique à la relativité générale.

Cette pléthore de dimensions peut paraître un obstacle, mais on n'a pas tardé à reconnaître que, comme beaucoup d'obstacles, elle était également opportune. Toutes les forces fondamentales présentes dans la nature pourraient ainsi être incorporées dans une théorie faisant intervenir dix dimensions, ou plus encore, dans laquelle toutes les dimensions moins les quatre qui nous sont déjà connues seraient cantonnées dans des diamètres de l'ordre de l'échelle de Planck (10⁻³³ centimètres) - c'était la conjecture du lieutenant Barclay - et qui échappent donc actuellement à toute mesure.

Hélas ! nous en sommes restés au stade des espérances. Nous ne savons

absolument pas pour l'instant si les suggestions de la théorie des cordes peuvent produire une grande théorie unifiée prenant en compte toutes les données. Comme avec la théorie Kaluza-Klein, personne ne peut expliquer clairement pourquoi les autres dimensions, si elles existent, se cantonneraient ainsi, en abandonnant l'existence sur grande échelle aux quatre autres dimensions de l'espace-temps.

La morale de toute cette saga pourrait être : oui, ma chère, il y a peut-être des dimensions supplémentaires dans l'univers. De fait, nous avons maintenant quelques raisons de les pressentir. Toutefois, ces dimensions supplémentaires ne sont pas du genre à abriter des extraterrestres qui pourraient alors enlever des patients psychiatriques (ou le commandant Riker, tant qu'on y est). Ce ne sont pas des «univers parallèles». Et ils ne sauraient être mélangés avec les quatre dimensions de l'espace-temps de façon à permettre aux objets de dériver d'un endroit à l'autre dans l'espace en passant à travers une autre dimension, comme le sous-espace le permettrait dans l'univers de Star Trek.

Néanmoins, nous pouvons écarter la possibilité de « passerelles » micro- ou macroscopiques menant à des univers par ailleurs indépendants ou parallèles. Dans la relativité générale, des régions présentant une haute courbure - à l'intérieur d'un trou noir, ou d'un mini-trou noir - sont considérées comme des passerelles reliant des régions de l'espace-temps potentiellement immenses, sinon indépendantes. Je ne vois aucune raison pour prévoir ces phénomènes en dehors des trous noirs et des mini-trous noirs, si l'on se base sur notre vision actuelle, mais puisque nous ne pouvons pas les éliminer, laissons aux vaisseaux spatiaux de la Fédération toute liberté pour les découvrir.

Les anyons

Dans l'épisode de la Nouvelle génération intitulé «La phase suivante», Geordi Laforge et Ro Laren disparaissent lors d'une confusion entre le téléporteur et une technique de dissimulation romulienne, qui met la matière «hors phase». Ils sont présumés morts, et demeurent invisibles et muets jusqu'à ce que Data, pour une toute autre raison, modifie un « émetteur d'anyons » et les «déphase» miraculeusement.

Si les auteurs de Star Trek n'avaient jamais entendu parler d'anyons, et je suis prêt à le parier, leur adresse à concocter des noms adéquats devient pour ainsi dire surnaturelle. Les anyons sont des constructions théoriques proposées et baptisées par mon ami Frank Wilczek, physicien à l'Institut d'études avancées de Princeton, et ses collaborateurs. Soit dit en passant, il est l'inventeur d'une autre particule, qui pourrait rendre compte de la matière noire, et qu'il a nommée l'axion, d'après un nom de lessive. Or des « puces axioniques » ont fait leur apparition dans Star Trek: elles appartiennent au réseau neural d'une machine avancée. Mais je m'éloigne du sujet.

Dans l'espace tridimensionnel où nous vivons, les particules élémentaires sont désignées comme des fermions et des bosons, selon leur spin. Nous associons à chacune de ces variétés un nombre quantique, qui donne la valeur de leur spin. Ce nombre peut être entier (0, 1, 2, etc.) ou rationnel (1/2, 3/2, 5/2, etc.). Les particules

dotées d'un spin entier sont appelées «bosons», et les particules dotées d'un spin rationnel, « fermions». Le comportement des fermions et des bosons dans le cadre de la mécanique quantique varie : lorsque deux fermions identiques sont inversés, la fonction d'onde quantique décrivant leurs propriétés est multipliée par -1, alors que lorsqu'on inverse des bosons, leur fonction d'onde ne subit aucune altération. C'est pourquoi deux fermions ne peuvent jamais se trouver au même endroit, parce que leur inversion ne changerait rien à leur configuration, mais multiplierait la fonction d'onde par -1. Or la seule chose qui peut être multipliée par -1 et rester la même est 0. Ainsi, la fonction d'onde devrait disparaître. C'est l'origine du célèbre principe d'exclusion de Pauli, qui portait à l'origine sur les électrons: deux fermions identiques ne peuvent investir le même état quantique.

Dans tous les cas, si les particules ne peuvent se déplacer que dans deux dimensions- c'est le cas des êtres bidimensionnels rencontrés par l'Entreprise (voir l'entrée suivante) qui y sont forcés, et c'est ce qui se passe dans le monde réel lorsque des configurations atomiques sont ordonnées dans un cristal de façon que les électrons, par exemple, ne se déplacent que sur un plan bidimensionnel -, les règles habituelles de mécanique quantique s'appliquant à l'espace tridimensionnel sont modifiées. Le spin n'est plus quantifiable, et les particules peuvent recevoir n'importe quelle valeur pour cette quantité. Dès lors, au lieu de fermions ou de bosons, on aura des anyons-. D'où ce nom, et cette théorie explorée par Wilczek et d'autres.

Mais revenons aux auteurs de Star Trek. Ce qui m'amuse, c'est que le nombre par lequel la fonction d'onde des particules est multipliée lors d'un échange de particule est appelé une «phase». Les fonctions d'onde de fermions sont multipliées par une phase de -1, alors que celles des bosons sont multipliées par une phase de 1, et demeurent donc inchangées. Les anyons sont multipliés par une combinaison de 1 et d'un nombre imaginaire (les nombres imaginaires sont les racines carrées des nombres négatifs), et dès lors sont au sens propre « hors de phase » avec les particules normales. Il semble donc raisonnable de penser qu'un « émetteur d'anyons » changerait la phase de l'objet visé, non?

Les cordes cosmiques

Dans l'épisode de la Nouvelle génération intitulé « La perte », l'équipage de l'Entreprise rencontre des êtres bidimensionnels qui ont perdu leur chemin. Ces êtres habitent un « fragment de corde cosmique ». Dans l'épisode, ce fragment est décrit comme un mince filament spatial, infiniment petit, exerçant une forte attraction gravitationnelle et vibrant selon une série caractéristique de fréquences subspatiales.

De fait, les cordes cosmiques sont des objets dont on a suggéré qu'ils furent créés au cours d'une transition de phase, dans les premiers temps de l'univers. L'un des experts internationaux de ces objets théoriques vient de rejoindre l'équipe universitaire de Case Western Reserve, et j'entends donc beaucoup parler des cordes cosmiques en ce moment. Leurs propriétés les feraient ressembler en partie aux objets rencontrés par l'Entreprise.

Au cours d'une transition de phase subie par une matière (lorsque l'eau bout, ou gèle), la configuration des particules qui constituent cette matière change. Lorsque l'eau gèle, elle forme une structure cristalline. À mesure que les cristaux alignés en diverses directions se forment, ils se rencontrent pour former arbitrairement des lignes et créent ces figures qui nous paraissent si jolies sur une fenêtre, en hiver. Au cours de la transition de phase, dans les premiers temps de l'univers, la configuration de la matière, de l'énergie, de la radiation et de l'espace vide (qui, je vous le rappelle, peut convoier de l'énergie) changea également. Parfois, au cours de ces transitions, diverses régions de l'univers se relâchèrent pour dessiner des configurations diverses. Lorsque celles-ci se développèrent, elles aussi purent se croiser, parfois en un point, parfois le long d'une ligne, et dessiner des frontières entre les régions. L'énergie se trouva emprisonnée dans cette frontière, et forma ce que nous appelons une corde cosmique.

Nous ignorons si les cordes cosmiques apparurent véritablement au cours des premiers temps de l'univers, mais si ce fut le cas, et qu'elles ont perduré jusqu'aux temps présents, elles pourraient réserver des effets fascinants. Elles seraient infiniment fines - plus fines qu'un proton - et pourtant la densité de masse qu'elles convoieraient serait énorme, jusqu'à un million de millions de tonnes par centimètre. Elles pourraient ainsi constituer les semences autour desquelles la matière s'affaisse pour former des galaxies. Elles vibreraient en produisant non pas des harmoniques spatiales, mais des ondes gravitationnelles. Il se peut que nous détections la signature d'une corde cosmique sous la forme d'une onde gravitationnelle, avant même d'observer ladite corde directement.

Voilà pour les similarités avec la corde évoquée dans Star Trek. Passons maintenant aux différences. À cause de la a conclu à un spin up, les suivantes continueront d'attribuer ce caractère à la particule.

Ce qui ne va pas sans problèmes. Comment, pourriez-vous objecter, la particule peut-elle posséder à la fois un spin up et un spin down avant que mesure ne soit prise? La réponse correcte, c'est qu'elle ne les possède ni l'un ni l'autre. La configuration du spin était indéterminée avant même que les mesures ne soient prises.

Le fait que la fonction d'onde quantique qui décrit les objets ne corresponde pas toujours à des valeurs uniques pour les objets susceptibles d'être observés est particulièrement perturbant lorsqu'on passe aux objets vivants. Il y a un paradoxe célèbre appelé «le chat de Schrödinger ». (Erwin Schrödinger est l'un des « jeunes Turcs » de vingt ans, qui, au début de ce siècle, aidèrent à découvrir les lois de la mécanique quantique. L'équation décrivant l'évolution temporelle de la fonction d'onde quantique est connue sous le nom d'équation de Schrödinger.) Figurez-vous une boîte dans laquelle on a mis un chat. À l'intérieur de la boîte, pointé sur le chat, se trouve un fusil rattaché à une source radioactive. La source radioactive, selon une certaine probabilité quantique, dégènera à un moment ou un autre. C'est alors que le coup partira, et tuera le chat. La fonction d'onde qui décrit le chat est-elle, avant même que j'ouvre la boîte, une superposition linéaire d'un chat vivant et d'un chat mort? Cela paraît absurde.

De même, notre conscience est toujours unique et n'est jamais indéterminée. L'acte de conscience a-t-il une valeur de mesure? Si c'est le cas, on pourrait affirmer que chaque instant correspond à une probabilité quantique non nulle relative à divers effets possibles, et que notre acte de conscience détermine l'effet dont nous faisons l'expérience. La réalité comporte donc un nombre infini d'embranchements. À chaque instant, notre conscience détermine la branche que nous empruntons, mais il existe a priori un nombre infini de possibilités différentes.

Cette interprétation de la mécanique quantique en termes de « mondes pluriels » - qui veut que, dans une autre branche de la fonction d'onde quantique, c'est Stephen Hawking qui rédige ce livre et moi qui le préface - serait à l'origine des malheurs du pauvre Worf. C'est ce qu'explique Data au cours de l'épisode. Lorsque le vaisseau de Worf traverse une « fissure quantique dans l'espace-temps » tout en émettant un « pulsation subspatiale », les barrières entre les réalités quantiques « s'effondrent », et Worf commence à passer d'une branche de la fonction d'onde à une autre, à des intervalles aléatoires, faisant ainsi l'expérience d'une longue série de réalités quantiques alternatives. Cela ne saurait se produire, bien sûr, parce que, une fois la mesure relevée, le système, y compris l'appareil de mesure (Worf, ici), a participé du changement. Une fois que Worf a eu une expérience, il est impossible de revenir en arrière (ou de passer à côté, si j'ose dire). L'expérience elle-même suffit à fixer la réalité: c'est dans la nature même de la mécanique quantique.

L'épisode évoque un autre aspect de la mécanique quantique. L'équipage de l'Enterprise réussit à vérifier que Worf appartient à une autre « réalité quantique » en démontrant que sa « signature quantique au niveau atomique » ne ressemble à rien de ce qu'on peut trouver dans le monde. Selon Data, cette signature est unique, et nul processus physique ne saurait la modifier. C'est là du jargon technique, bien sûr, mais on peut le rattacher à une propriété intéressante de la mécanique quantique. La somme totale de tous les états possibles d'un système est définie comme un espace de Hilbert d'après le nom de David Hilbert, le célèbre mathématicien allemand qui, entre autres découvertes, faillit énoncer les lois de la relativité générale avant Einstein. Il arrive parfois que l'espace de Hilbert se divise en secteurs indépendants nommés des « secteurs de supersélection ». Il n'est alors aucun processus physique local qui puisse transférer un système d'un secteur à un autre. Chaque secteur est défini par une quantité, par exemple la charge électrique totale du système. Si l'on voulait parler en poète, on pourrait dire que cette quantité fournit une « signature quantique » unique pour ce secteur, puisque toutes les opérations quantiques locales ont lieu dans le même secteur, et que le comportement des opérations et des données observables qui sont associées à ces opérations est déterminé par cette quantité.

Toutefois, les diverses branches de la fonction d'onde quantique d'un système doivent se situer dans un seul et unique secteur de supersélection, parce que chacune d'elles est, en principe, physiquement accessible. Désolé pour Worf: même s'il violait bel et bien les dogmes fondamentaux de la mécanique quantique en sautant d'une branche à l'autre, nulle manifestation extérieure ne viendrait confirmer son

témoignage.

Tout l'intérêt de l'interprétation de la mécanique quantique en termes de pluralité de mondes (ou de toute autre interprétation de la mécanique quantique, du reste), c'est que vous ne pouvez jamais expérimenter plus d'un monde à la fois. Et Dieu merci, d'autres lois de physique interdisent l'apparition de millions de vaisseaux Entreprise venus de réalités différentes, comme c'est le cas à la fin de l'épisode. La simple conservation de l'énergie - un concept purement classique - suffit à l'interdire.

Les solitons

Dans l'épisode de la Nouvelle génération intitulé «De nouveaux fondements», l'Entreprise assiste à une expérience conduite par le Dr J a'Dor, habitant de la planète Bilana III. Il utilise une « vague de solitons», à savoir un ensemble stable d'ondes de distorsion subspatiales, pour enclencher la vitesse de distorsion à bord d'un vaisseau expérimental sans passer par les manœuvres de pilotage habituelles. Ce système requiert une planète qui soit la destination ultime du voyage, laquelle offrira à la vague un champ de dispersion où elle pourra se disperser. L'expérience manque de s'achever en désastre, mais celui-ci est bien sûr évité à la dernière minute.

Les auteurs de Star Trek ne sont pas les inventeurs des solitons. Le terme est une abréviation pour « ondes solitaires» et renvoie de fait à un phénomène observé à l'origine dans les ondes aquatiques par un ingénieur écossais, John Scott Russell, en 1834. Alors qu'il menait en bénévolé une étude sur la conception d'un chaland pour la Société unie des canaux d'Édimbourg, il remarqua quelque chose d'étrange. Citons-le :

« J'observais le mouvement d'un bateau rapidement halé le long d'un canal étroit par une paire de chevaux, lorsque le bateau s'arrêta brusquement. Ce ne fut pas le cas de la masse d'eau qu'il avait mise en mouvement dans le canal. Elle s'accumula autour de la proue du vaisseau dans un état d'agitation violente, puis, le laissant derrière elle, poursuivit sa course à grande vitesse, prenant la forme d'un grand renflement isolé, d'une masse d'eau lisse, arrondie et bien définie, qui se propagea le long du canal sans apparemment changer d'aspect ni diminuer sa vitesse. Je la suivis à cheval et la dépassai alors qu'elle continuait de rouler à une vitesse de 10 ou 15 km/h, tout en préservant son aspect d'origine, à savoir quelque 10 mètres de long et de 30 à 50 centimètres de haut. Son poids diminua peu à peu et, après l'avoir poursuivie sur quelque kilomètres, je la perdis dans les détours du canal. C'est donc au mois d'août 1834 que je rencontrai pour la première fois, sans l'avoir prévu, ce phénomène aussi beau qu'étrange que j'ai baptisé l'onde de translation 2. »

Scott Russell inventa par la suite l'expression « onde solitaire» pour décrire cette merveille, et le terme a survécu, même si les solitons ont surgi dans de nombreuses sous-disciplines de la physique. De façon plus générale, les solitons sont des objets stables, d'expansion classique, de dimensions finies, qui se propagent d'un point à un autre. C'est pourquoi les désastres qui fondent l'intrigue de « Nouveaux fondements» ne sauraient se produire dans la réalité. Et d'abord, le soliton ne saurait « émettre un grand nombre d'interférences radios». Si c'était le cas, il dissiperait

son énergie. Pour la même raison, il ne saurait accumuler de l'énergie ou changer de fréquence sans interruption.

Les ondes normales sont des objets étendus qui tendent à dissiper leur énergie au cours de leurs déplacements. Toutefois, les forces classiques - qui résultent d'une interaction à travers l'espace, appelé un «champ» - conservent en général les solitons intacts, si bien qu'ils peuvent se propager sans disperser leur énergie dans leur environnement. Parce qu'ils proposent une solution aux équations de mouvement en conservant leur énergie, ils se comportent en principe comme des objets fondamentaux, comme des particules élémentaires. De fait, dans certains modèles mathématiques de l'interaction forte qui maintient soudés les quarks, le proton peut être considéré comme un soliton, ce qui signifierait que nous sommes tous constitués de protons ! On a proposé d'introduire de nouveaux champs dans la physique des particules élémentaires, qui pourraient se condenser pour former des « étoiles à solitons », objets qui auraient la taille d'une étoile, mais relèveraient d'un champ unique et cohérent. Ces objets n'ont encore jamais été observés, mais il se peut qu'ils existent.

Les quasars

Dans l'épisode «Pégase», où nous apprenons l'existence du traité d'Algon qui interdit à la Fédération de faire usage des technologies de brouillage, nous voyons l'Entreprise (commandée par Picard) explorer le quasar de Mécorie. Auparavant, dans l'épisode de la première saison intitulé «Le sept de Galilée», nous avons appris que le premier vaisseau Entreprise avait reçu l'ordre d'examiner ces objets toutes les fois qu'il en croiserait un. En réalité, ni l'un ni l'autre de ces vaisseaux spatiaux n'aurait la moindre chance de rencontrer un quasar au cours d'une exploration des lisières de notre galaxie. En effet les quasars, qui sont les objets les plus riches en énergie qu'on a repérés dans notre univers (ils déchargent une énergie comparable à celle émise par des galaxies tout entières, tout en étant si petits qu'on ne saurait les observer distinctement au télescope), sont, pense-t-on, d'énormes trous noirs présents au centre de certaines galaxies, qui ingurgitent littéralement la masse centrale de leurs hôtes. C'est l'unique explication qu'on ait pu avancer pour rendre compte de l'énergie et de l'ordre de grandeur qui caractérisent les quasars. Quand la matière chute dans un trou noir, elle décharge une quantité abondante d'énergie (en perdant sa propre énergie gravitationnelle). Si des trous noirs dont la masse serait d'un million ou un milliard de fois la masse solaire existent au centre de certaines galaxies, ils peuvent avaler des systèmes stellaires tout entiers, qui délivreront à leur tour l'énergie nécessaire pour compléter le signal du quasar. C'est la raison pour laquelle les quasars participent souvent de ce que nous nommons « les noyaux galactiques actifs ». C'est aussi la raison pour laquelle il vaut mieux ne pas aller les examiner de trop près. La rencontre serait fatale.

Les neutrinos

Les neutrinos sont mes particules préférées dans la nature, et c'est pourquoi je les ai gardés pour la fin. J'ai consacré une bonne partie de ma recherche à ces bêtes parce que nous ne savons presque rien sur leur compte, quand ils promettent de nous enseigner bien des choses sur la structure fondamentale de la matière et la nature de l'univers.

Dans Star Trek, on utilise ou on mesure à plusieurs reprises les neutrinos à bord des vaisseaux spatiaux. Ainsi, on annonce un taux élevé de neutrinos au moment où des objets traversent le mini-trou noir de Bajora. Nous apprenons également dans l'épisode «L'ennemi» que le viseur de Geordi La Forge peut détecter les neutrinos, lorsqu'une balise à neutrinos est envoyée à sa recherche, pour le rapatrier d'une planète inhospitalière. On rencontre aussi un « champ de neutrinos » dans l'épisode «Jeux de pouvoir», qui interfère momentanément avec la tentative de transporter certaines formes de vie criminelles et incorporelles à bord de l'Entreprise.

On a d'abord deviné l'existence des neutrinos, solution potentielle d'une énigme portant sur la nature de la dégénérescence des neutrons. Quoique les neutrons soient stables à l'intérieur des noyaux atomiques, on a observé que des neutrons libres dégénéraient en l'espace de dix minutes environ, pour former des protons et des électrons. La charge électrique n'en souffre pas parce qu'un neutron est électriquement neutre, alors qu'un proton a une charge positive et qu'un électron a une charge égale et opposée, donc négative. Les masses additionnées d'un proton et d'un électron sont presque supérieures à la masse d'un neutron : il ne reste donc pas beaucoup d'énergie libre pour produire d'autres particules massives au cours de la dégénérescence, de toute façon.

Cependant, on constate parfois que le proton et l'électron partent dans la même direction au cours de la dégénérescence. Ce cas est impossible, parce que chaque particule émise est porteuse d'un moment. Si le neutron d'origine était au repos, son moment était nul, et il aurait fallu qu'une autre particule soit émise afin de convoier un moment dans la direction opposée.

Cette particule hypothétique fut proposée par Wolfgang Pauli dans les années trente, et baptisée «neutrino» (petit neutron) par Enrico Fermi. Il choisit ce nom parce que la particule suggérée par Pauli se devait d'être électriquement neutre pour ne pas altérer la conservation de la charge dans la dégénérescence, et devait de plus avoir une masse très réduite, puisqu'elle devait être produite grâce à l'énergie restant après l'émission du proton et de l'électron.

Parce que les neutrinos sont électriquement neutres et parce qu'ils n'éprouvent pas la grande force qui relie entre eux les quarks et permet de souder les noyaux, leur interaction avec la matière ordinaire est faible. Pourtant, parce que les neutrinos sont produits au cours de réactions nucléaires, comme celles qui alimentent le Soleil en énergie, ils sont partout. Six cents milliards de neutrinos en provenance du Soleil traversent à chaque seconde chaque centimètre carré de notre corps - un assaut inexorable qui a même inspiré un poème à John Updike. Une telle invasion de neutrinos passe inaperçue parce que les neutrinos traversent les corps sans laisser de traces.

En moyenne, ces neutrinos solaires pourraient traverser 10 000 années-lumière de matière avant de produire la moindre interaction avec elle.

Si c'est le cas, comment pouvons-nous être certains que les neutrinos existent autrement qu'en théorie? Eh bien, ce qui est extraordinaire avec la mécanique quantique, c'est qu'elle offre des probabilités. C'est pourquoi j'ai écrit « en moyenne » au paragraphe précédent. Quoique la plupart des neutrinos traversent 10 000 années-lumière de matière sans produire d'interaction, si on a assez de neutrinos et une cible assez large, on peut forcer sa chance.

En 1956, ce principe fut mis en pratique par Frederick Reines et Clyde Cowan, qui établirent une cible de plusieurs tonnes à proximité d'un réacteur nucléaire, et observèrent bel et bien quelques résultats. Cette découverte empirique du neutrino (en fait, il s'agissait de l'antineutrino) se produisit plus de vingt ans après qu'il avait été avancé dans la théorie, et bien après que la majorité des physiciens avaient admis son existence.

De nos jours, nous faisons usage de détecteurs encore bien plus vastes. La première observation de neutrinos solaires fut faite dans les années soixante par Ray Davis et ses collaborateurs. Ils utilisèrent 100 000 gallons de détergent dans une citerne enterrée dans la mine d'or du Goldstake, dans le Dakota du Sud. Tous les jours en moyenne, un neutrino émis par le Soleil interférait avec un atome de chlorure et le transformait en un atome d'argon. Soulignons l'exploit de ces chercheurs qui réussirent à détecter l'alchimie nucléaire avec des taux si réduits. Il se trouve que le taux mesuré par leur détecteur, et tous les détecteurs de neutrinos solaires qui prirent la relève, est différent du taux prédit. Cette « énigme du neutrino solaire », comme on l'appelle, pourrait souligner la nécessité d'élaborer une nouvelle physique fondamentale liée aux neutrinos.

Le plus grand détecteur de neutrinos du monde est en voie de construction dans la mine de Kamiokande, au Japon. Il contient plus de 30 000 tonnes d'eau, et succédera à un détecteur de 5 000 tonnes, l'un des deux détecteurs de neutrinos qui réussit, en 1987, à détecter une poignée de neutrinos issus d'une supernova apparue dans le Grand Nuage de Magellan, à plus de 150 000 années-lumière de la Terre!

Voilà qui me ramène à mon point de départ. Les neutrinos sont l'un des quelques instruments que les physiciens utilisent pour ouvrir des fenêtres sur l'univers. En exploitant tous les genres possibles de détection des particules élémentaires, en plus de nos habituels détecteurs électromagnétiques, nous pourrions découvrir les secrets de la galaxie bien avant de nous lancer dans son exploration. Bien sûr, s'il était possible d'inventer un détecteur à neutrinos de la taille du viseur de Geordi, ce serait d'un grand secours !

10 - La contrée inaccessible

Geordi: « Soudain, c'est comme si les lois de la physique passaient directement par la fenêtre. »
Data : « Pourquoi pas? Elles sont si gênantes ! »

Dans «Le véritable Q »

«Doc, vous me vérifierez aussi l'impossible.»
Kirk à MacCoy dans «Le temps mis à nu»

« Ce que vous décrivez n'est autre que ...
la non-existence.»
Kirk à Spock dans « Le facteur alternatif»

Tout physicien raisonnable qui serait également fan de Star Trek admettra qu'il faut prendre la série avec une certaine distance. Cependant, il y a des moments où, pour une raison ou une autre, les auteurs de Star Trek outrepassent le vague ou l'improbable et présentent des choses absolument impossibles. Si détecter les quelques erreurs techniques de chaque épisode est le passe-temps favori de tous les fans de la série, les erreurs de détail ne sont apparemment pas celles que les physiciens et les étudiants de physique adorent relever. Ils leur préfèrent les énormes gaffes, qui alimentent les pauses-café et les déjeuners lors de colloques professionnels.

Soyons francs : quand la série fait intervenir une donnée de science physique - fût-elle d'importance minimale -, elle suscite aussitôt un débat à la pause-café du lendemain. Pour ma part, j'ai encore à l'esprit ce jour où l'un de mes anciens étudiants, Martin White, diplômé de Yale et aujourd'hui à l'université de Chicago, entra dans mon bureau peu de temps après avoir vu Star Trek VI: La contrée inaccessible. J'aurais pensé que nous allions parler des ondes gravitationnelles dans les tout premiers temps de l'univers. Au lieu de quoi Martin se mit à délirer sur une scène précise du film, qui couvre à peu près 15 secondes. Deux assassins casqués envahissent le vaisseau du chancelier Gorkon, neutralisé par des torpilles à photons lancées depuis l'Entreprise, et donc en gravité zéro - et tirent sur tout ce qui bouge, y compris Gorkon. Ce qui nous a impressionnés, Martin et moi, ainsi que maints collègues et étudiants avec qui j'ai parlé de l'épisode, c'est que les gouttes de sang qui volent à travers le navire sont sphériques. Sur Terre, toutes les gouttes de liquide sont de forme allongée, à cause de l'attraction implacable de la gravité. Dans une région dépourvue de gravité comme le vaisseau de Gorkon, même les larmes auraient une forme sphérique. Les physiciens le savent, mais ont rarement l'occasion d'en faire la démonstration visuelle. En veillant à l'exactitude du détail, les responsables des effets spéciaux de Star Trek ont fait le bonheur de tout un tas de physiciens. Il n'en faut pas plus.

Toutefois, les erreurs ne sont pas sans nous captiver. En fait, l'erreur la plus mémorable de Star Trek repérée par un physicien ne relève absolument pas de la physique. Elle m'a été rapportée par le physicien des particules et auteur d'ouvrages scientifiques Steven Weinberg, prix Nobel de physique pour sa collaboration au modèle standard d'interaction de particules élémentaires. Comme je savais qu'il garde toujours la télé allumée pendant qu'il résout des calculs compliqués, je lui ai écrit pour

lui demander ses impressions sur Star Trek. Réponse de Weinberg: «La plus grosse erreur de Star Trek, c'est de foutre systématiquement le subjonctif avec "après que"!»

Le plus souvent, toutefois, ce sont les erreurs de physique qui attirent l'attention des physiciens. Je crois que ces erreurs confirment l'idée de beaucoup de physiciens que la physique est très éloignée de la culture populaire - sans parler du sentiment de supériorité que nous éprouvons à nous payer la tête des éminents lettrés qui rédigent les scripts. Peut-on imaginer un long métrage important qui ferait parler Napoléon en allemand, ou placerait la Déclaration d'indépendance au xrx- siècle? Aussi, lorsqu'une erreur physique de ce calibre parvient à s'insinuer dans ce qu'on pourrait, après tout, supposer être une série d'inspiration scientifique, les physiciens la pourfendent avec délectation. J'ai été surpris de découvrir combien de mes collègues distingués - de Kip Thome à Stephen Weinberg, en passant par Sheldon Glashow et Stephen Hawking (peut-être le plus accro de tous) - ont regardé Star Trek. Voici donc une liste de mes gaffes préférées, glanées dans des discussions avec les physiciens sus-nommés et d'autres, ou que d'autres fans m'ont fait parvenir par e-mail. J'ai fait un effort pour me concentrer essentiellement (mais non exclusivement) sur celles qui relèvent d'une physique «ayant bien les pieds sur terre». C'est pourquoi je ne réponds pas aux questions répétées du style «pourquoi la lumière stellaire dessine-t-elle un trait allongé chaque fois qu'on passe en vitesse de distorsion?», ou autres. De même, je laisserai de côté le jargon technique - c'est-à-dire l'usage abusif de terminologies scientifiques et pseudoscientifiques, destinées à offrir un avant-goût des technologies du futur. Enfin j'ai essayé en général de sélectionner des exemples que je n'ai pas déjà traités.

« Dans l'espace, personne ne vous entendra hurler »

Le slogan d'Alien a tout bon, à la différence de Star Trek. Les ondes sonores NE VOYAGENT PAS dans l'espace vide! Et pourtant, lorsqu'une station spatiale en orbite autour de la planète Tanuga IV explose, l'équipage de l'Entreprise l'entend en même temps qu'il y assiste, et nous avec. Pire, nous l'entendons au moment même où nous l'observons. Même si les ondes sonores pouvaient voyager dans l'espace, ce qui n'est pas le cas, la vitesse d'une onde de pression telle que le son est très largement inférieure à la vitesse de la lumière. Il suffit de se rendre à un match de football pour constater qu'on voit les choses avant de les entendre.

Souvent, les cours de physique de lycée incluent l'expérience suivante : on place une sonnerie électrique sous une cloche de verre dont l'air peut être aspiré par une pompe. Lorsque l'air a été entièrement aspiré, le son s'éteint. Dès le xvrr siècle, on a compris que le son requérait un support où voyager. Dans le vide, tel qu'il existe à l'intérieur de la cloche, il n'y a rien qui puisse porter les ondes sonores, et c'est pourquoi on n'entend pas le son qui se produit à l'intérieur. Plus précisément, le son est une onde de pression, ou une perturbation, qui se déplace lorsque certaines zones dont la pression est supérieure ou inférieure à la pression ordinaire se propagent à

travers un support. Ôtez le support, et il n'y a plus de pression pour accueillir une perturbation. Soit dit en passant, cette expérience de la cloche est à l'origine d'un mystère que j'ai déjà mentionné, et qui occupe une place essentielle dans l'histoire de la physique. Car si on n'entend plus la sonnerie électrique, on la voit encore! Dès lors, si la lumière est censée être une sorte d'onde, dans quel milieu voyage-t-elle pour ne pas disparaître en même temps que l'air? Cet argument a sérieusement étayé l'hypothèse de l'éther.

Pour ce qui est de Star Trek, je n'avais jamais fait attention aux sons ou à l'absence de sons dans l'espace. Toutefois, après que Steven Weinberg et plusieurs autres eurent mentionné qu'ils se rappelaient des sons associés aux explosions de Star Trek, j'ai vérifié l'épisode que je venais de regarder, « Question de perspective », où la station spatiale de Tanuga IV explose. Et c'était bien ça: BOUM! La même chose se produisit dans l'épisode suivant, où une navette qui transportait des cristaux de trilitium volés à bord de l'Entreprise explosa bruyamment à proximité de la planète Arkaria. Enfin, je me reportai au long métrage le plus récent, *Génération*. Là, même une bouteille de champagne fait du bruit quand elle explose dans l'espace.

Un de mes collègues physiciens, Mark Srednicki de Santa Barbara (université de Californie) a attiré mon attention sur une gaffe de calibre supérieur, dans un épisode où les ondes sonores servent d'arme contre un vaisseau en orbite. Comme si cela ne suffisait pas, on annonce que les ondes sonores atteignent « 1812 décibels ». Il y a de quoi écorcher le tympan sensible des physiciens: l'échelle des décibels est une échelle logarithmique, comme celle de Richter. Ce qui signifie que le nombre de décibels représente déjà une puissance de 10, et qu'ils sont normalisés de façon que 20 décibels soient dix fois plus sonores que 10 décibels, et 30 décibels dix fois plus sonores encore. Un son de 1812 décibels, c'est en fait un son de 101812 décibels - soit 1 suivi de 11 568 313 814 300 zéros de fois plus bruyant qu'un jet!

Plus rapide qu'un phaseur à grande vitesse

Si le voyage en vitesse de distorsion, plus rapide que celle de la lumière, fait partie intégrante des mythes de Star Trek, cette possibilité repose sur toutes les subtilités de la relativité générale et sur de nouvelles formes exotiques de matière décrites plus haut. Mais pour les objets normaux voués à des activités normales, la vitesse-lumière est et sera toujours l'ultime frontière. Parfois, cette vérité première est oubliée. Dans un épisode trépidant intitulé « L'espace d'un clin d'œil », Kirk se fait piéger par les Scalosiens. Pour lui faire épouser leur reine, Deela, ils lui font boire une potion qui accélère ses actes et les ajustent à la vitesse scalosienne. Les Scalosiens vivent en effet leur existence à un rythme hyperaccélééré qui leur permet d'échapper aux senseurs de l'Entreprise. Avant de s'unir nuptialement à la reine, Kirk tente de lui tirer dessus avec son phaseur. Toutefois, comme elle peut se déplacer en l'espace d'un clin d'œil (humain), elle s'écarte de la trajectoire du tir avant même que le rayon ne la touche. Qu'est-ce qui cloche dans cette scène? La réponse est : absolument

tout !

Ce que certains fans ont remarqué, c'est que le taux d'accélération nécessaire à Deela pour bouger pendant le laps de temps que mettra le rayon du phaseur à traverser la chambre, à vitesse-lumière, ne cadre pas avec le reste de l'épisode. La lumière voyage à une vitesse de 300 millions de kilomètres à la seconde. Deela se trouve à un mètre environ de Kirk lorsqu'il tire : le rayon devrait mettre 1/300 000 de seconde pour la toucher. Si, pour elle, cet intervalle correspond à 1 ou 2 secondes, c'est que le temps scalosien est 300 millions de fois plus rapide que le temps ordinaire. Et, si c'est bien le cas, 300 millions de secondes scalosiennes équivalent à 1 seconde du temps ordinaire, tel qu'il est vécu à bord de l' *Entreprise*. Hélas, 300 millions de secondes, cela représente environ 10 ans!

Bon, pardonnons cette petite absence aux auteurs de *Star Trek*. Elle pose toutefois un problème plus grave, impossible à résoudre, et sur lequel plusieurs physiciens de ma connaissance ont mis le doigt. Les phaseurs, nous dit-on, sont des armes à énergie canalisée, dont les rayons voyagent à vitesselumière. Désolé, mais il faut bien l'admettre. Si les phaseurs sont composés d'énergie pure et non de rayons de particules, comme l'indiqu~ le manuel technique de *Star Trek*, leurs rayons voyagent à la vitesse-lumière. Ainsi, quelle que soit la vitesse à laquelle on se déplace, même si l'on la multiplie par 300 millions, il est impossible d'échapper à la trajectoire d'un rayon de phaseur qui arrive sur vous. Pourquoi? Parce que, pour savoir qu'il arrive sur vous, il vous faut d'abord voir que le coup part. Or la lumière qui fonde cette perception voyage à la même vitesse que le rayon. En termes plus simples, impossible de savoir qu'il va vous toucher avant d'être touché! Tant que les rayons de phaseurs seront composés d'énergie pure, on ne pourra leur échapper. Un problème similaire, mettant en scène une tentative de dévier un rayon de phaseur, apparaît dans l'épisode de *Voyageur* intitulé « Le Phage ».

Parfois, cependant, ce sont les critiques de *Star Trek* qui se trompent. On m'a ainsi suggéré de relever une erreur dans *Génération* : une étoile qui éclaire une planète disparaît, et aussitôt la planète tombe dans l'obscurité. C'est impossible, bien sûr, parce que la lumière met un temps déterminé pour voyager de l'étoile à la planète. Lorsque j'éteins la lumière d'une étoile, la planète ne le saura pas avant un certain temps. Toutefois, dans *Génération*, le processus est observé intégralement depuis la surface de la planète. Si la perspective est celle de la planète, dès l'instant où l'étoile explose, la surface de la planète doit effectivement s'obscurcir. L'information que l'étoile a implosé et l'absence de la lumière parviendront en effet simultanément à la planète. Les deux seront retardées, mais elles coïncideront !

Certes, les auteurs ne se sont pas trompés, mais ils gâchent tout en réduisant à l'excès le délai. On nous dit que la sonde qui détruira l'étoile ne mettra que 11 secondes pour l'atteindre après le tir opéré sur la surface de la planète. La sonde voyage à vitesse sub-lumineuse - nous pouvons le déduire du fait qu'il faut moins du double de ces 11 secondes après le lancement de la sonde, pour que les observateurs, présents sur la planète, voient l'étoile commencer à imploser, ce qui indique que la lumière a dû mettre moins de 11 secondes pour faire le voyage du retour. La Terre,

par comparaison, est à une distance de 8 minutes-lumière de notre soleil, comme je l'ai dit. Si le Soleil explosait maintenant, nous mettrions huit minutes pour le réaliser. J'ai du mal à croire que la planète de catégorie M de *Généralisations* pourrait exister à une distance de 10 secondes-lumière d'une étoile à combustion d'hydrogène comme notre soleil. Cette distance multiplie par cinq la taille du soleil - c'est bien trop proche pour ne pas susciter un léger malaise.

Une faille dans l'horizon événementiel ... ou dans le scénario

Bien que j'aie promis de ne pas m'appesantir sur le jargon technique, je ne peux m'empêcher d'applaudir à la série *Voyageur*, qui bat tous les records dans ce domaine. Elle recourt à tout ce que la physique moderne comporte de jargon, tandis que le *Voyageur* tente de rentrer à sa base et voyage dans le temps avec une régularité d'horloge. Toutefois les termes de physique ont en général un sens, et lorsqu'on les exploite simplement pour consolider une intrigue, on se prendra inévitablement les pieds dans le tapis de temps à autre. J'ai mentionné dans le chapitre 3 que la «faille» dans l'horizon événementiel qui permet la rescousse du *Voyageur* (dans cet épisode insensé intitulé « Le Phage ») fait particulièrement rigoler les physiciens. Introduire une «faille» dans un horizon événementiel, c'est comme ôter une extrémité à un cercle, ou être un peu enceinte. Cela ne veut strictement rien dire. L'horizon événementiel qui entoure un trou noir n'est pas une entité physique, mais un lieu à l'intérieur duquel toutes les trajectoires demeurent à l'intérieur du trou. C'est une propriété de l'espace courbe que toute trajectoire, y compris celle de la lumière, se courbera en arrière sous l'attraction du trou, une fois que l'on sera à l'intérieur d'un certain rayon. Soit l'horizon événementiel existe, et avec lui le trou noir, soit il n'existe pas. Une aiguille ne passerait pas à travers, encore moins le *Voyageur*.

Le docteur a-t-il les reins solides ?

Je reconnais qu'en ce qui concerne les prouesses technologiques le docteur holographique de la série *Voyageur* est parmi mes préférées. Il y a une scène merveilleuse dans laquelle un patient demande au docteur comment il se fait qu'il soit solide s'il est un hologramme. Bonne question ... Le docteur répond en débranchant un « rayon de confinement magnétique» pour montrer que, sans lui, il est aussi incorporel qu'un mirage. Puis il ordonne de rebrancher le rayon, histoire de flanquer quelques gifles au patient. C'est là une scène savoureuse, mais, hélas, impossible. Comme je l'ai écrit dans le chapitre 6, le confinement magnétique accomplit des miracles sur les particules chargées d'électricité, qui rencontrent, dans un champ magnétique constant, une force qui les fait se déplacer en orbites circulaires. Toutefois, la lumière n'est pas chargée. Elle ne rencontre aucune force dans un champ magnétique. Puis" qu'un hologramme n'est qu'une image lumineuse, le docteur ne l'est pas moins.

De vos mains ou de votre postérieur, quel est le plus sensible?

Des dilemmes de l'interphase

Star Trek a parfois commis ce que j'appelle l'horrible erreur de *Ghost*. Je fais référence à un film récent qui porte ce titre, et où le personnage principal, un fantôme, passe à travers les murs et ne peut pas soulever des objets parce que sa main les traverse. Toutefois, comme par miracle, chaque fois qu'il s'assoit sur une chaise ou sur un divan, son postérieur reste en place. De même, il ne passe pas à travers le sol. Dans le dernier chapitre, j'ai décrit la façon dont Geordi LaForge et Ro Laren sont mis « hors phase » par rapport à la matière normale par un « générateur d'interphase » romulien. Ils découvrent à leur grande surprise qu'ils sont invisibles et peuvent traverser les gens et les murs - Ro croit un moment qu'elle est morte (peut-être a-t-elle vu une rediffusion de *Ghost* quand elle était petite). Et pourtant, Ro et Geordi s'appuient sur le plancher et s'assoient sur des chaises impunément. La matière, c'est la matière: chaises et plancher ne diffèrent pas des murs, que je sache, et vos pieds et fesses ne sont pas plus ou moins solides que vos mains.

Au passage, il y a une autre erreur fatale dans cet épisode qui ruine la cohérence d'un bon nombre d'autres épisodes palpitants de Star Trek. En physique, deux choses qui toutes les deux réagissent réciproquement avec une troisième réagiront nécessairement réciproquement entre elles. Ce qui boucle la boucle en nous ramenant à la loi première de Newton. Si j'exerce une force sur vous, vous exercerez une force égale et inverse sur ma personne. Ainsi, si Geordi et Ro peuvent observer l'Entreprise quand ils sont dans leur nouvelle « phase », c'est qu'ils réagissent à la lumière, qui est une onde électromagnétique. Ne serait-ce qu'en vertu de la loi de Newton, ils devraient donc être visibles. Le verre est invisible précisément parce qu'il n'absorbe pas la lumière visible. Pour voir - pour être sensible à la lumière - il faut l'absorber. En absorbant la lumière, on ne peut que la perturber. Et perturber la lumière, c'est être visible pour un autre. La même chose vaut pour les « insectes d'interphase » invisibles qui envahissent l'Entreprise en s'accrochant aux corps des membres d'équipage dans l'épisode « Fantômes ». La force qui leur permet de reposer sur la matière normale sans passer à travers elle n'est rien d'autre que l'électromagnétisme (la répulsion électrostatique entre les particules chargées qui relie les atomes d'un corps aux atomes d'un autre corps). Lorsque vous interagissez électromagnétiquement, vous faites partie de notre monde.

Jeter le bébé avec l'eau du bain

Dans l'épisode de la Nouvelle génération intitulé « Mon beau vaisseau », l'Entreprise se gare pour subir un « nettoyage de baryons ». Ces particules, semble-t-il, s'agglutinent sur les superstructures des vaisseaux au cours de longs voyages en vitesse de distorsion et doivent être éliminées. Au cours du nettoyage, l'équipage doit être évacué, parce que le rayon nettoyeur est nocif pour les tissus vivants. Et comment! Les seuls baryons stables sont 1) les protons, 2) les neutrons, dans les noyaux atomiques. Ces particules composent tout ce qui est visible dans ce monde, en

débarrasser l' *Entreprise* ne laisserait pas grand-chose pour les épisodes suivants.

C'est froid, le froid

La gaffe qui a les faveurs de mon collègue et ami Chuck Rosenblatt, grand fan de *Star Trek*, concerne un objet congelé à une température de - 295. Voilà une découverte bien excitante: sur l'échelle de Celsius, le zéro absolu correspond à - 273. Le zéro absolu, comme son nom l'indique, est la température la plus basse qu'on puisse potentiellement atteindre - elle se définit comme la température à laquelle cessent les mouvements moléculaires et atomiques, les vibrations et rotations. Bien qu'il soit impossible d'atteindre ce degré théorique, des systèmes atomiques ont pu être refroidis à hauteur d'un millionième de degré - et, au moment où j'écris, à deux milliardièmes de degré - au-dessus du zéro absolu. Puisque l'idée même de température est corrélée aux déplacements moléculaire et atomique, on ne saurait obtenir moins qu'une absence de mouvement. Même dans 400 ans, le zéro absolu sera toujours absolu.

Que la lumière soit!

J'avoue non sans embarras que cette erreur grossière m'a été révélée par un étudiant en physique de première année, Ryan Smith - lors d'un cours, j'avais informé la classe que je rédigeais ce livre. Toutes les fois qu'un membre de l' *Entreprise* tire un rayon de phaseur, celui-ci nous est visible. C'est bien sûr impossible à moins que le phaseur lui-même n'émette de la lumière dans toutes les directions. La lumière n'est visible que lorsqu'elle rebondit sur un objet. Si jamais vous avez assisté à une conférence où l'on fait usage d'un pointeur laser - en général, ce sont des lasers rouges hélium-néon -peut-être vous rappellerez-vous que seul est visible le point où le laser touche l'écran. Pour donner à voir le rayon tout entier, il faut diffuser un nuage de poussière dans la pièce en frappant l'une contre l'autre deux éponges à tableau noir, ou autre recette de ce genre. (Essayez donc un jour: le spectacle-lumière qui en résulte est assez étourdissant.) Les shows-laser consistent à faire rebondir la lumière du laser sur de l'eau ou de la fumée. Ainsi, à moins que l'espace vide ne soit particulièrement poussiéreux, nous ne devrions pas voir le rayon de phaseur, excepté à l'endroit précis où il touche son objet.

Les astronomes font la fine bouche

On apprendra sans surprise que, lorsque des gens détectent des erreurs dans la série, celles-ci relèvent généralement des domaines qui les intéressent. En interrogeant les gens pour recueillir des exemples, j'ai systématiquement collecté des réponses liées aux occupations spécifiques des intéressés. J'ai reçu plusieurs e-mail de fans astronomes qui réagissaient à des erreurs subtiles de *Star Trek*. Un étudiant en astronomie m'a même cité un cas où les auteurs ont déployé tous leurs efforts

pour déguiser en erreur un fait avéré d'astronomie. La forme de vie dévoreuse d'énergie qui, dans «L'enfant de la galaxie», prend l'Entreprise pour sa maman et se met en devoir de têter son énergie est une créature spatiale en bas âge. À la dernière seconde, LaForge invente un moyen de faire lâcher prise au bébé. Celui-ci est séduit par la radiation émise par l'Entreprise sur une longueur d'onde de 21 centimètres. En changeant la fréquence émise, l'équipage « fait tourner le lait », et le bébé lâche prise. Ce qui fait l'intérêt de l'épisode, et le dénonce comme erroné, c'est que les auteurs se sont inspirés d'un fait que j'ai cité dans le chapitre 8: la radiation de 21 centimètres est une fréquence universelle émise par l'hydrogène, que les astronomes exploitent pour dresser la carte des gaz interstellaires. Les auteurs ont cru que cela signifiait que tout émet des radiations à 21 centimètres, y compris l'Entreprise. En fait, la transition atomique dans l'hydrogène responsable de cette radiation est extrêmement rare: un atome donné dans l'univers ne l'émettra qu'environ une fois tous les quatre cents ans. Toutefois, comme l'univers est rempli d'hydrogène, le signal de 21 centimètres est assez fort pour être détecté depuis la Terre. Dans ce cas précis, je donnerais aux auteurs 20/20 pour leur bonne volonté, puis descendrais la note à 15 pour leur erreur d'interprétation (mais je suis connu pour noter large).

À la NASA, un scientifique a pointé une erreur que j'avais laissé passer, mais qui ne saurait échapper à un membre de la NASA. La pratique ordinaire des astronefs est de se mouvoir en orbite géostationnaire autour des planètes : la période orbitale du vaisseau est la même que celle de la planète. Le vaisseau stationne donc au-dessus d'un point constant de la surface de la planète, comme les satellites météorologiques géostationnaires avec la Terre. Pourtant, quand on voit l'Entreprise se mettre en orbite au-dessus d'une planète, l'on voit en arrièreplan la planète se déplacer. Si le stationnement en orbite n'est pas géostationnaire, la téléportation posera de gros problèmes.

Ces sacrés neutrinos

Pardon, mais je ne peux m'empêcher de ressortir mes neutrinos. Comme je suis passé un peu vite sur Profondeur Espace 9 dans cet ouvrage, c'est lui rendre justice que de finir avec une bourde glanée dans cette série, et que m'a citée David Brahm, un autre fan physicien. Quark s'y empare d'une machine qui altère les lois de la probabilité dans son environnement immédiat. Vous imaginez l'intérêt dans les casinos - le genre d'avantages auxquels un Ferengi ne peut résister. La ruse est toutefois éventée par Dax, qui analyse le flux de neutrinos traversant la station spatiale. À sa grande surprise, elle découvre que tous ces neutrinos sont gauchers : tous, ils tournent dans un seul sens. Il y a sûrement quelque chose qui cloche! Les neutrinos qui tournent dans le sens opposé semblent tous avoir disparu !

Hélas, entre tous les phénomènes physiques qu'ils auraient pu exploiter pour mettre à nu les supercheries de Quark, les auteurs ont trouvé le moyen de sélectionner un fait authentique ! À notre connaissance, les neutrinos sont effectivement gauchers ! Ces particules sont dans toute la nature les seules qui n'ont,

apparemment, qu'un seul état de spin. Si l'analyse de Dax révèle cette information, elle devrait avoir toutes les raisons de penser que les choses sont normales.

Ce qui, à mon avis, fait le sel de cet exemple est très exactement ce qui fait l'intérêt de la physique de Star Trek : parfois, il faut reconnaître que la vérité est plus étrange que la fiction.