

**Plus vite  
que la lumière**



idem

JOÃO MAGUEIJO

Plus vite  
que la lumière

Traduit de l'anglais (E-U) par  
Évelyne et Alain Bouquet

DUNOD

© 2003 by João Magueijo.

*All rights reserved under the Pan-American and International  
Copyright Conventions.*

Tous droits réservés selon la convention panaméricaine  
du Copyright et les conventions internationales sur  
le droit d'auteur.

*First published in the United States  
by Basic Books, a member of Perseus books Group.*

L'édition originale de cet ouvrage a été publiée aux  
États-Unis par Basic Books, une société du groupe  
Perseus books, sous le titre  
*Faster than the speed of light.*

Illustration de couverture : © Iscatel – Shutterstock.com

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2003, 2012 pour la nouvelle présentation  
ISBN 978-2-10-058298-3

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# 1

## Vraiment loufoque

**Je suis un physicien théoricien professionnel** et, selon tous les critères, un chercheur parfaitement authentique. Titulaire d'un doctorat de l'Université de Cambridge, j'ai ensuite obtenu une bourse post-doctorale prestigieuse à Saint John's College, à Cambridge également, bourse obtenue auparavant par les prix Nobel Paul Dirac et Abdus Salam, puis une bourse de chercheur de la Royal Society. Je suis maintenant professeur à l'Imperial College de Londres.

Si je mentionne tout cela d'entrée, ce n'est pas par vanité, mais parce que ce livre porte sur une spéculation scientifique qui soulève d'extraordinaires controverses. Peu de choses en science sont aussi solides que la théorie de la relativité d'Einstein, et cependant mes idées osent la défier, à un degré tel que l'on a pu parler du suicide d'une carrière scientifique. Il n'est pas étonnant qu'une revue de vulgarisation scientifique très connue ait pu titrer « Hérésie » un article sur mon travail.

Le terme *spéculation* est si fréquemment employé pour décrier les idées avec lesquelles on se trouve en désaccord, que l'on pourrait croire que la spéculation n'a pas sa place en science. C'est en fait le contraire qui est vrai. En physique théorique, et tout particulièrement dans mon domaine de recherche, la cosmologie, mes collègues et moi passons le

plus clair de notre temps à chercher des failles dans les théories existantes, et à envisager de nouvelles spéculations théoriques qui pourraient rendre compte des observations aussi bien, sinon mieux. Nous sommes payés pour douter de tout ce qui été proposé auparavant, pour proposer des alternatives insensées, et pour argumenter sans fin les uns avec les autres.

Je fus initié à cette tradition quand je devins étudiant à Cambridge en 1989. Je réalisai très vite qu'un physicien théoricien passe la majeure partie de son temps à discuter avec ses pairs : les collègues remplacent en quelque sorte les expériences. À Cambridge, des rencontres informelles se tenaient chaque semaine, au cours desquelles nous débattions de tous les sujets qui occupaient alors nos pensées. Il existait aussi les « Rencontres itinérantes de cosmologie » qui réunissaient à cette époque des chercheurs de Cambridge, de Londres et de l'Université du Sussex pour débattre des idées qui les rendaient dingues. Plus prosaïquement, il y avait aussi l'environnement informel de mon bureau, que je partageais avec cinq autres personnes, jamais d'accord et toujours en train de se railler les uns contre les autres.

Ces sessions se limitaient parfois simplement à des discussions générales, ou se concentraient à l'occasion sur l'étude d'un article récemment publié. D'autres fois, au lieu de parler des idées nouvelles tirées d'expériences, de calculs mathématiques ou de simulations informatiques, nous faisons le tour du bureau en spéculant carrément. Nous discutons alors sur des idées qui n'avaient encore aucun fondement expérimental ou mathématique, des idées qui s'animaient simplement dans nos têtes à partir de connaissances générales en physique théorique.

C'est très amusant à pratiquer, tout particulièrement quand vous avez longuement discuté avec votre entourage et fini par le convaincre

que vous avez raison, avant de vous frapper brusquement le front en réalisant qu'une faille, d'une embarrassante simplicité, ruine votre spéculation, et que vous avez stupidement induit tout le monde en erreur pendant une bonne heure. Ou inversement : vous avez été puérilement séduit par la spéculation erronée de quelqu'un.

Cette tradition de débats exerce une forte pression sur les nouveaux étudiants en thèse. Cela peut se révéler très intimidant, tout particulièrement quand vous réalisez au milieu d'une controverse que votre adversaire y est beaucoup plus expert que vous et que vous perdez complètement pied. Et Cambridge ne manquait nullement, parmi tous ses professeurs, de gens très intelligents qui aimaient bien se mettre en valeur, des gens qui ne se contentaient pas de vous montrer que vous aviez tort, mais qui prenaient un malin plaisir à vous démontrer que votre erreur était particulièrement évidente et à la portée de n'importe quel débutant. Ces expériences m'agaçaient prodigieusement, mais elles ne me déprimaient pas. Je les trouvais au contraire très motivantes. Vous en arriviez à penser que vous ne mériteriez pas votre place dans la communauté avant d'avoir imaginé quelque chose de vraiment neuf.

Au cours de ces réunions, l'un des sujets qui revenaient le plus souvent sur le tapis était « l'inflation ». Il s'agit de l'une des idées les plus populaires de la cosmologie moderne, cette branche de la physique qui s'attaque aux questions aussi profondes que « D'où vient l'Univers ? », « D'où vient la matière ? », « Comment finira le monde ? » Ces questions sont longtemps restées du domaine de la religion, du mythe ou de la philosophie. Elles ont aujourd'hui reçu une réponse scientifique sous la forme de la théorie du big-bang, qui assure que l'Univers est en expansion depuis un passé dense et chaud.

L'inflation est une théorie proposée par Alan Guth, un physicien renommé du MIT, puis progressivement améliorée par plusieurs autres savants pour répondre à ce que nous appelons dans notre jargon « les paradoxes cosmologiques ». Plus précisément, et bien que la quasi-totalité des cosmologistes accepte maintenant l'idée que le cosmos a commencé par un big-bang, certains aspects de l'Univers demeurent inexpliqués par cette théorie, telle que nous la comprenons actuellement. Schématiquement, ces paradoxes sont reliés à une instabilité inhérente au modèle : l'Univers ne peut exister tel que nous le voyons aujourd'hui que si son état initial, à l'instant du big-bang, est fixé de manière extrêmement précise. Les moindres déviations de ce point de départ magique conduisent rapidement au désastre (tel qu'une fin prématurée de l'Univers). Cette condition initiale très improbable doit être « mise à la main » alors que nous souhaiterions la déduire de processus physiques concrets et calculables. Les cosmologistes jugent la situation très peu satisfaisante.

La théorie de l'inflation dit que l'Univers se dilatait incroyablement plus vite quand il était jeune (c'est en ce sens qu'il y a eu « inflation »). C'est actuellement la meilleure réponse aux paradoxes cosmologiques et la meilleure explication de l'aspect de l'Univers présent. Il est raisonnable de penser que la théorie est correcte, mais aucune preuve expérimentale de l'inflation n'a encore été apportée. Selon les normes scientifiques les plus rigoureuses, cela signifie que l'inflation demeure une spéculation.

Si l'enthousiasme de la plupart des savants n'en est nullement refroidi, la communauté des théoriciens britanniques n'a jamais vraiment admis que la théorie de l'inflation était *la* bonne réponse. Cela peut sembler du chauvinisme (car la théorie a d'abord été avancée par



un Américain) ou de l'entêtement, ou de la science. Quoi qu'il en soit, quand nous étions assis autour d'une table lors de ces réunions, la question de l'inflation était inévitablement abordée et l'assentiment général était que l'inflation, telle qu'on la comprenait, ne permettait pas de résoudre certains problèmes décisifs.

Au début, je ne pensais pas tellement à l'inflation car mon domaine d'activité était bien différent : les « défauts topologiques ». Il s'agit d'une théorie expliquant l'origine des galaxies et des autres grandes structures de l'Univers. Les défauts topologiques entrent en compétition avec l'inflation pour expliquer ces structures, mais ils ne résolvent malheureusement pas les paradoxes cosmologiques. Mais à force d'entendre sans cesse que l'inflation n'avait absolument aucun ancrage dans la physique des particules que nous connaissons, et qu'elle n'était rien d'autre qu'un succès américain de relations publiques, la nature humaine étant ce qu'elle est, je me mis moi aussi à penser à des alternatives.

Un novice dans le domaine peut ne pas percevoir clairement en quoi l'inflation résout les paradoxes cosmologiques. Il est encore moins évident de comprendre pourquoi il est difficile de les résoudre sans inflation. Mais un cosmologiste entraîné est parfaitement conscient de cette difficulté, d'autant plus irritante que personne n'a réussi à construire une alternative. L'inflation gagnait par défaut. Pendant plusieurs années, je gardais derrière la tête, et parfois devant, l'idée qu'il existait peut-être une autre façon, n'importe quelle autre façon, de résoudre les paradoxes cosmologiques.

La sixième année de mon séjour à Cambridge, la seconde de ma bourse à Saint John's College, la réponse me sembla un jour tomber du ciel. La matinée était triste, pluvieuse, typiquement anglaise, et je traversais les pelouses du collège avec une méchante gueule de bois,

quand je réalisai soudain qu'il me suffisait, pour résoudre les paradoxes sans l'inflation, de violer une seule règle du jeu, mais une règle sacrée. L'idée était d'une simplicité admirable, bien plus simple que l'inflation, mais je me sentis immédiatement mal à l'aise à l'idée de la proposer en guise d'explication. Elle supposait ce qui, pour un scientifique chevronné, tient de la folie. Elle remettait en cause la règle sans doute la plus fondamentale de la physique moderne : celle qui énonce que la vitesse de la lumière est constante.

S'il est une notion que chaque écolier retient d'Einstein et de la théorie de la relativité, c'est que la vitesse de la lumière est constante dans le vide<sup>1</sup>. Quelles que soient les circonstances, la lumière voyage dans le vide à la même vitesse, une vitesse constante que les physiciens notent par la lettre  $c$  : 299 790 km/s. La constance de la vitesse de la lumière est la base même de la physique moderne, la base sur laquelle sont bâties toutes les théories cosmologiques, l'étalon à l'aune duquel tout est mesuré dans l'Univers.

En 1887, au terme de l'une des expériences scientifiques les plus importantes jamais entreprises, les physiciens Albert Michelson et Edward Morley démontrèrent que la vitesse apparente de la lumière n'était pas modifiée par le mouvement de la Terre. Ce résultat parut fort troublant à l'époque, contredisant la notion courante que les vitesses s'ajoutent toujours. Un missile va plus vite s'il est tiré d'un avion que s'il est tiré du sol, car la vitesse de l'avion s'ajoute à celle du missile. Si je jette quelque chose vers l'avant, de l'intérieur d'un train en mouvement, sa vitesse par rapport au train s'ajoute à la vitesse du train. Il est naturel

---

1. En traversant une substance appropriée, la lumière peut ralentir, s'arrêter et même, en un certain sens, accélérer. Cela ne contredit pas l'axiome fondamental de la théorie de la relativité qui concerne la vitesse de la lumière *dans le vide*.

de penser que les choses se passent de la même façon pour la lumière, et que celle qui est émise du train va plus vite. Pourtant, les expériences de Michelson et de Morley montraient que ce n'était pas le cas : la lumière se déplace toujours obstinément à la même vitesse. Cela signifie que si je prends un rayon de lumière et que je demande à plusieurs observateurs en mouvement les uns par rapport aux autres de mesurer la vitesse de ce rayon, ils trouveront tous la même vitesse apparente !

La théorie de la relativité restreinte, présentée par Einstein en 1905, était en partie une réponse à ce résultat étonnant. Einstein réalisa que si la vitesse  $c$  de la lumière ne variait pas, alors quelque chose d'autre devait changer. Ce quelque chose était la notion d'un espace et d'un temps universels et immuables. Ceci est profondément, follement, contraire à l'intuition. Dans notre vie quotidienne, nous percevons l'espace et le temps comme rigides et universels. Einstein concevait au contraire l'espace et le temps (l'espace-temps) comme un objet qui pouvait se déformer et se modifier, se dilater et se contracter, selon les mouvements relatifs de l'observateur et de ce qu'il observait. L'unique aspect de l'Univers qui ne changeait pas était la vitesse de la lumière.

Depuis lors, la constance de la vitesse de la lumière a toujours été tissée dans la trame même de la physique, dans la manière dont les équations de la physique sont écrites et même dans la notation utilisée. De nos jours, « varier » la vitesse de la lumière n'est même pas un mot grossier, c'est tout simplement un mot absent du vocabulaire de la physique. Des centaines d'expériences ont vérifié cet axiome fondamental, et la théorie de la relativité est au cœur de notre compréhension du fonctionnement de l'Univers. Et mon idée était précisément de construire une théorie où la vitesse de la lumière variait.

Plus exactement, je commençais à envisager la possibilité que la lumière se déplaçait plus vite qu'aujourd'hui dans l'Univers primordial. Je découvris avec surprise que cette hypothèse résolvait apparemment certains paradoxes cosmologiques sans faire appel à l'inflation. Mieux encore, leurs solutions apparaissaient comme une conséquence inévitable d'une théorie de la vitesse variable de la lumière (une « théorie VVL »). Tout se passait comme si les paradoxes du big-bang cherchaient précisément à nous dire que la lumière était réellement plus rapide dans l'Univers primordial, et qu'à un niveau très fondamental la physique devait être fondée sur une structure plus riche que la théorie de la relativité.

La première fois que, dans une discussion, j'avançai ma solution aux paradoxes cosmologiques, elle fut accueillie par un silence embarrassé. J'étais conscient que beaucoup de travail restait à faire avant que mon idée n'acquière quelque respectabilité. Telle quelle, elle pouvait passer pour délirante, mais j'étais très enthousiaste à son égard. Aussi, lorsque j'en parlai à l'un de mes meilleurs amis (aujourd'hui professeur de physique à l'université d'Oxford), je ne m'attendais pas à une réaction de totale apathie. Mais c'est ce que j'obtins : pas même un commentaire, juste un silence puis un « Humm... » prudent. Malgré toute ma ténacité, je n'arrivais même pas à discuter avec lui de ma nouvelle idée, à la manière dont les théoriciens discutent toujours de leurs spéculations même les plus effrénées.

Les mois suivants, chaque fois que je présentais mon idée aux gens autour de moi, les réactions étaient semblables. Ils hochaient la tête et, dans le meilleur des cas, ils disaient « Arrête, ne sois pas ridicule. » Dans le pire des cas, britanniques jusqu'au bout des ongles, ils disaient très diplomatiquement « Oh, je ne connais rien de ce sujet. » Au cours des six

années précédentes, j'avais lancé au fil de discussions plus que ma part d'idées folles, mais je n'avais jamais rencontré ce genre de réactions. Quand je baptisai mon idée VVL, pour Vitesse Variable de la Lumière, quelqu'un suggéra que cela voulait dire « Vraiment Vraiment Loufoque ».

Il ne faut jamais prendre trop à cœur ce qui se passe dans ces réunions. En science, la manière la plus rapide de devenir fou est d'ailleurs de considérer tout assaut contre vos idées comme une insulte personnelle. Cela reste vrai même si les attaques sont méprisantes ou venimeuses, et même si vous êtes absolument certain qu'autour de vous, tout le monde vous considère comme fou. C'est ainsi que fonctionne la science. Toute idée neuve n'est que galimatias jusqu'à ce qu'elle survive aux attaques les plus violentes. Après tout, mon idée était précisément motivée par une remise en cause de la validité de l'inflation.

Mais quel que soit le nombre de gens jugeant loufoque l'idée d'une variation de la vitesse de la lumière, celle-ci continuait à m'inspirer le respect, sinon l'allégeance. Plus j'y pensais, plus je l'aimais. Je décidais donc de persévérer et de voir où elle me conduirait.

Pendant longtemps, elle ne me conduisit nulle part. Il arrive souvent en science qu'un projet ne décolle pas tant que les bonnes personnes ne sont pas rassemblées. La science moderne résulte la plupart du temps de collaborations, et j'avais désespérément besoin à cette époque du collaborateur adéquat. Livré à moi-même, je tournais en rond et je me heurtais aux mêmes détails secondaires. Rien de cohérent ne semblait jamais émerger et toute l'affaire me rendait dingue.

Malgré tout, le reste de mon travail de recherche avançait bien, et l'année suivante je ressentis une joie intense en recevant une bourse de la Royal Society. Rien n'est plus enviable pour un jeune chercheur, en Grande-Bretagne sinon dans le monde entier, que de recevoir cette

bourse. Elle vous accorde un financement et une sécurité pendant dix ans, ainsi que la liberté d'aller où vous voulez, faire ce que vous voulez. Je décidai alors que j'en avais assez de Cambridge et qu'il était temps d'aller voir ailleurs. J'ai toujours aimé les grandes villes et j'ai donc choisi d'aller à Londres, à l'Imperial College, université de pointe en physique théorique.

À cette époque, le principal cosmologiste à l'Imperial College était Andy Albrecht. Andy était l'un des inventeurs de l'inflation, mais depuis plusieurs années, il se demandait si c'était vraiment la bonne théorie. Son article fondamental sur l'inflation était aussi son premier article scientifique, et il l'avait écrit quand il était encore étudiant. Andy lui-même disait en plaisantant : « Il est invraisemblable que la réponse à tous les problèmes de l'Univers se trouve dans l'article d'un débutant. » Il avait donc tenté, à de nombreuses reprises, de trouver une alternative à l'inflation et, comme nous tous, avait misérablement échoué. C'est avec plaisir que nous nous sommes rapidement mis à travailler sur une théorie d'une vitesse variable de la lumière. J'avais trouvé mon collaborateur.

Les années suivantes furent intenses, poignantes, telles que je n'imaginai pas que la science puisse en offrir. Ce livre est en grande partie le récit de leur traversée, se déployant de Princeton à Goa, d'Aspen à Londres. C'est une chronique qui relate la manière dont les savants collaborent, dans une relation d'amour mêlé de haine qui, parfois, finit bien. Elle conte la façon dont cette idée folle prit corps progressivement, avant d'atteindre l'étape de l'article écrit, puis les combats avec les rédacteurs des revues auxquelles nous l'avons soumis pour publication, et avec les collègues qui n'étaient nullement convaincus que notre travail méritait même d'être publié. C'est enfin l'histoire

de la manière dont une idée se révèle ne pas être si délirante après tout, et comment une spéculation profondément théorique peut acquérir plus de soutien des observations que d'autres théories, plus reconnues.

Même si cette idée finit par être disqualifiée, ce qui demeure toujours une possibilité fort vraisemblable dans toute avancée intellectuelle, il reste de nombreuses raisons qui rendent son histoire intéressante. D'abord, j'aimerais que les gens comprennent ce qu'est réellement le processus de la recherche : rigoureux, compétitif, affectif et dialectique. Les débats sont perpétuels et les arguments sont parfois exprimés violemment. Je voudrais aussi que les profanes réalisent que l'histoire des sciences est jonchée de spéculations qui paraissent formidables, mais qui se révélèrent dénuées de pouvoir explicatif, et qui finirent dans les poubelles de la recherche scientifique. L'examen des idées nouvelles, leur acceptation ou leur rejet, c'est cela la science.

Mais le plus important, c'est qu'en racontant l'histoire de la VVL, je serai obligé d'expliquer en détail les idées même que cette théorie contredit, ou qu'elle court-circuite : la relativité et l'inflation. De manière quelque peu paradoxale, vous les verrez ainsi sous leur meilleur aspect : j'ai toujours pensé que les idées les plus brillantes présentées dans les manuels sont mieux expliquées par leurs contraires. Les obliger à affronter un concurrent irrespectueux, l'équivalent d'un contre-interrogatoire devant un tribunal, les rend plus vivantes.

C'est pour toutes ces raisons que j'estime que vous devriez lire ce livre, même si au bout du compte la théorie VVL ne tient pas toutes ses promesses. Il est bien sûr évident que l'histoire sera beaucoup plus passionnante si la théorie atteint brillamment ses objectifs. Je ne peux certainement pas garantir que ce sera le cas, même si je pense cela vraisemblable.

Au cours de ces dernières années, plusieurs indications sont venues suggérer que la théorie VVL pourrait bien devenir un jour aussi dominante que le sont aujourd’hui la théorie de l’inflation ou celle de la relativité. D’abord, beaucoup d’autres personnes ont commencé à travailler dans cette direction, et en science, le « plus » est toujours le « meilleur ». Le nombre d’articles écrits sur la théorie VVL augmente chaque jour, et elle commence à figurer dans les sujets de conférence. Une petite communauté se développe autour de ces idées, et cela me réjouit beaucoup.

Ensuite, la théorie VVL a quitté son « berceau » cosmologique et a commencé à résoudre d’autres problèmes. Des recherches récentes ont montré que cette théorie avait quelque chose à apporter à chaque fois que nous parvenons aux frontières de notre compréhension de la physique. Ainsi, si la théorie VVL est correcte, les trous noirs auraient des propriétés bien différentes de ce que nous pensions. Au terme de leur effondrement, les étoiles auraient un sort tout à fait distinct et leur mort serait plus baroque. Le sort du voyageur spatial serait bien meilleur. Dans l’ensemble, nous sommes témoins d’une explosion de travaux théoriques conduisant à une étonnante ménagerie de nouveaux effets prédits lorsque la vitesse de la lumière varie, à chaque fois que les conditions physiques deviennent extrêmes. Quelque part au milieu de toutes ces prédictions se trouve l’espoir que la théorie VVL sera confirmée par les expériences.

Mais quelque chose de plus spectaculaire encore pourrait arriver. Depuis plusieurs décennies, nous savons que notre connaissance de la nature est incomplète. Deux branches dominent la physique moderne : la théorie relativiste et la théorie quantique. Chacune est un succès dans son propre domaine, mais lorsque les théoriciens tentent



de les réunir dans une théorie chimérique appelée la gravitation quantique, le désastre frappe. Il nous manque la théorie unificatrice ultime, le rêve inabouti d'Einstein d'un cadre unique et cohérent rassemblant tous les phénomènes connus.

La théorie VVL devient maintenant un acteur dans cette quête. Il est possible que l'ingrédient qui manque depuis si longtemps soit précisément une variation de la vitesse de la lumière. Cela ne manquerait pas d'ironie : pour accomplir le rêve d'Einstein nous devrions abandonner son unique certitude. En ce cas, la théorie VVL serait bien plus qu'une spéculation scientifique, elle pourrait approfondir notre compréhension du fonctionnement de l'Univers selon des voies que je n'avais jamais imaginées.



# **Partie I**

## **La vitesse de la lumière**



## 2

# Les rêves « bovins » d'Einstein

À l'âge de onze ans, mon père me donna un livre fascinant écrit par Albert Einstein et Leopold Infeld, *L'évolution de la physique*. Dans son introduction, la science est comparée à un roman policier. Sauf qu'il ne s'agit pas de trouver un coupable mais de comprendre comment fonctionne le monde.

Comme dans tout bon roman policier, les enquêteurs suivent souvent de fausses pistes. À plusieurs reprises ils doivent revenir en arrière pour écarter les indices erronés et identifier les vrais. Finalement, un tableau d'ensemble finit par se dessiner quand un nombre suffisant de faits ont été rassemblés et que les enquêteurs peuvent appliquer cet outil humain particulièrement puissant, la déduction, pour leur donner un sens. Ayant bâti une théorie sur l'origine du mystère, et avec un peu de chance, ils en déduisent certaines conséquences. Ils examinent alors si ces conséquences sont effectivement avérées et ainsi, espèrent-ils, résolvent le mystère.

Au bout de quelques paragraphes, cependant, le livre abandonne brusquement l'analogie avec un roman policier. Nous y apprenons que les savants se heurtent à une difficulté inconnue des détectives. Dans leur enquête sur le mystère de l'Univers, les savants ne peuvent jamais

déclarer l'affaire close. Qu'ils le veuillent ou non, ils n'enquêtent jamais sur une affaire isolée, mais sur un élément d'un ensemble gigantesque de mystères enchevêtrés. Très souvent, la solution apportée à un élément de l'enquête suggère que de précédentes réponses à d'autres éléments sont fausses, ou nécessitent au minimum un réexamen. Le jeu de la science peut être décrit avec exactitude comme une insulte sans fin à l'intelligence humaine.

Malgré l'indignité à laquelle elle nous soumet, j'ai tout de suite trouvé fascinante la physique. J'aimais en particulier la façon dont les mystères de l'Univers étaient posés. Les questions paraissent superficiellement très simples, mais leur signification se révèle extrêmement profonde. Elles revêtent élégamment l'abstraction des expériences de pensée et de la logique pure.

Mais ce n'est qu'après avoir bien avancé dans ma carrière de physicien que je me suis rendu compte que la majorité des problèmes en physique n'est pas abordée de manière froidement rationnelle, pas au début en tout cas. Avant d'être des savants, nous sommes des *Homo sapiens*, une espèce qui, malgré son nom pompeux, est beaucoup plus souvent menée par ses émotions que par sa raison. Nous ne distinguons pas toujours soigneusement les indices erronés et les hypothèses fausses, et nous ne nous limitons pas aux techniques les plus rationnelles pour résoudre les problèmes.

Dans les premières étapes du développement d'une idée nouvelle, notre comportement est proche de celui des artistes et nous sommes portés par nos humeurs et nos goûts. En d'autres termes, nous partons d'un pressentiment, d'une impression, voire d'un désir que le monde soit d'une certaine manière, et nous progressons à partir de cette intuition, en nous y accrochant souvent bien après que les données nous

aient indiqué que nous nous étions engagés dans une impasse, nous et ceux qui nous ont fait confiance. Ce qui finit par nous sauver, en fin de compte, est que l'expérience est notre juge ultime et règle tous les différends. Aussi vive et subtile que soit notre intuition, il arrive un moment où nous devons la mettre à l'épreuve de faits froids et têtus. Sinon, nos intuitions, aussi chéries soient-elles, ne seront jamais rien d'autre que cela.

Cela s'applique tout particulièrement à cette branche de la physique que l'on appelle la cosmologie, l'étude de l'Univers dans son ensemble. La cosmologie ne traite pas de telle ou telle étoile, de telle ou telle galaxie. Ceci relève de l'astronomie. Pour le cosmologiste, les galaxies ne sont que de simples molécules d'une substance particulière que nous appelons le fluide cosmologique. C'est le comportement global de ce fluide universel que les cosmologistes cherchent à comprendre. L'astronomie s'occupe des arbres, la cosmologie de la forêt.

Il va sans dire que ce domaine est un terrain idéal ouvert à la spéculation. Ses arcanes nous ont conduits à un roman policier complexe empli d'indices, de fausses pistes, de déductions et de données empiriques. Il est inévitable que l'on y trouve aussi des savants s'appuyant beaucoup plus longtemps sur leurs intuitions et leurs spéculations qu'ils ne veulent bien l'admettre.

La cosmologie a longtemps relevé de la religion, et qu'elle soit devenue une branche de la physique est dans une certaine mesure une réussite spectaculaire. Comment un système aussi complexe que l'Univers peut-il être soumis à une enquête scientifique ? La réponse peut vous surprendre : au regard des forces qui y règnent, l'Univers n'est pas très compliqué. Il est par exemple bien plus simple qu'un écosystème, ou qu'un animal. La dynamique d'un pont suspendu est plus difficile à

décrire que celle de l'Univers. C'est d'avoir compris cela qui a ouvert la porte à la cosmologie scientifique.

Le grand bond est venu de la découverte de la théorie de la relativité, en même temps que les observations astronomiques progressaient. Les héros de cette histoire sont Albert Einstein, le juriste et astronome américain Edwin Hubble, et le physicien et météorologue russe Alexandre Alexandrovitch Friedmann<sup>1</sup>. Ensemble, ils intégrèrent la constance de la vitesse de la lumière et ses étonnantes implications à un mystère plus vaste : les origines de l'Univers. Et tout commença par un rêve...

**Quand Albert Einstein était adolescent**, il eut un rêve très particulier. Plusieurs années après, il se sentait encore profondément marqué par ce rêve, et cette obsession finit par se métamorphoser en réflexions profondes. Ces réflexions allaient profondément modifier notre compréhension de l'espace et du temps, et finalement toute notre perception de la réalité physique qui nous entoure. En vérité, elles allaient déclencher la plus radicale des révolutions en science depuis Isaac Newton, et elles allaient remettre en question la rigidité même de l'espace et du temps qui fondent notre culture occidentale.

Voici ce rêve :

Par un matin brumeux de printemps, en haute montagne, Einstein suivait un sentier zigzagant le long d'un torrent dévalant des sommets enneigés. Ce n'était plus le froid glacial de la nuit, mais il faisait encore très frais car le soleil émergeait lentement à travers la brume. Les oiseaux chantaient à tue-tête couvrant de leurs chants le bouillonnement des

---

1. Sans oublier bien sûr le physicien belge Georges Lemaître, qui fut le premier à relier la théorie de la relativité aux observations astronomiques et à lancer ainsi la théorie du Big-Bang (note du traducteur).



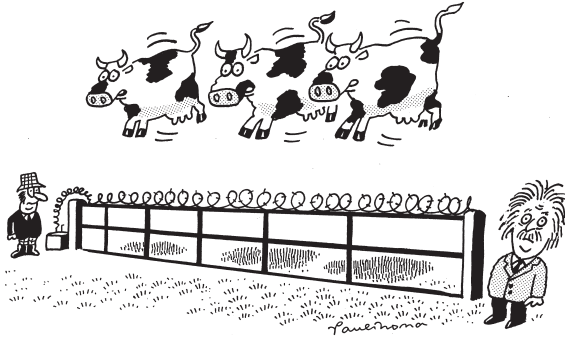
eaux tumultueuses. Les pentes étaient couvertes de forêts denses, seulement interrompues ici et là par des falaises vertigineuses.

En descendant, le paysage devenait plus ouvert et la forêt dense s'ouvrait de plus en plus sur de vastes clairières et des pâturages. Peu après, le fond des vallées apparut, et dans le lointain Einstein pouvait voir une multitude de champs portant toutes les marques inimitables de la civilisation. Certains champs étaient cultivés et des barrières les divisaient en formes plus ou moins régulières. Ailleurs, Einstein pouvait voir des vaches pâturent paresseusement, dispersées à travers les prairies.

Le soleil pénétrait maintenant de plus en plus profondément la brume, et ainsi il diluait l'atmosphère en un flou léger et ténu à travers lequel Einstein commençait à voir les détails des champs au-dessous de lui. Dans cette région, il était courant de séparer les propriétés par des barrières électrifiées. Elles étaient particulièrement laides, et de plus la plupart semblaient ne pas fonctionner du tout. Il n'y avait qu'à voir toutes ces vaches mâchonner joyeusement l'herbe auparavant inaccessible de l'autre côté de la barrière, leur tête passant entre les fils avec un manque choquant d'égards pour la propriété privée...

Quand Einstein atteignit la prairie la plus proche, il alla examiner la barrière électrifiée. Il la toucha et, comme il s'y attendait, ne ressentit aucun choc. Il n'était pas surprenant que les vaches ne s'en soucient pas. Tandis qu'il jouait avec la barrière, Einstein vit une forte silhouette s'approcher du côté opposé de la prairie. C'était un éleveur portant une batterie neuve, et qui s'approchait d'un petit chalet. Einstein le vit y entrer et remplacer la batterie vide. À travers la porte ouverte, Einstein vit l'homme brancher la batterie neuve et *exactement au même moment* il vit les vaches reculer d'un bond de la barrière (figure 2.1). *Tout se*

*passa en même temps, exactement.* Un long meuglement de mécontentement s'en suivit.



**Figure 2.1**

Einstein continua sa promenade, et au moment où il atteignait l'autre extrémité du pâturage, l'éleveur rentrait chez lui. Ils se saluèrent poliment, puis un dialogue étrange s'en suivit, le genre d'échange que l'on ne trouve jamais que dans la brume folle des rêves.

« Vos vaches ont des réflexes extraordinaires », dit Einstein. « À l'instant même, je vous ai vu brancher votre batterie neuve et, sans perdre de temps, elles ont toutes sauté en même temps. »

En entendant ces paroles, l'éleveur sembla extrêmement troublé, et il regarda Einstein avec incrédulité. « Elles ont toutes sauté en même temps ? Merci de votre compliment, mais mes vaches ne sont pas en chaleur. Moi aussi, je les regardais quand j'ai branché la batterie neuve, parce que j'espérais leur causer une peur violente : j'aime bien jouer des tours à mes vaches. Pendant un bref instant, il ne se passa rien. Et puis j'ai vu la vache la plus proche de moi sauter en arrière, puis la suivante, et ainsi de suite, progressivement, jusqu'à ce que la dernière saute elle

aussi. » (figure 2.2). C'était au tour d'Einstein d'être troublé. L'éleveur racontait-il des histoires ? Pourquoi mentirait-il ? Et pourtant il était bien sûr de ce qu'il avait vu : l'éleveur branche la nouvelle batterie, la première vache saute en l'air, la dernière vache saute en l'air, *exactement au même moment*. Et cependant il n'allait pas se disputer avec l'éleveur, quoiqu'il commençât à avoir envie de l'étrangler.

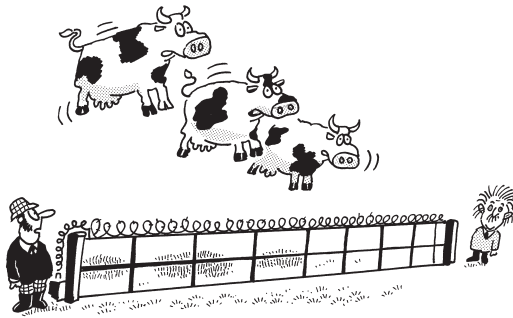


Figure 2.2

C'est alors qu'il se réveilla. Quel rêve idiot, et avec des vaches qui plus est. Et pourquoi avait-il eu un tel désir d'homicide pour si peu ? Autant oublier tout ce non-sens.

Dans beaucoup de rêves étranges, cependant, une signification plus profonde émerge finalement dans l'esprit du rêveur, et en vérité, avant d'oublier le rêve tout à fait, Einstein eut soudain un éclair. Ce n'était qu'un rêve, et cependant, en un sens, il ne faisait rien d'autre que d'exagérer une caractéristique réelle de notre monde. La lumière voyage très vite, mais pas à une vitesse infinie, et ce que ce rêve apparemment innocent impliquait, c'était qu'une propriété physique aussi simple de la lumière conduit à une conséquence totalement folle : le temps doit être relatif ! Ce qui arrive « au même moment » pour une

personne peut très bien se présenter comme une succession d'événements pour quelqu'un d'autre.

En fait, la lumière voyage si vite qu'elle semble infiniment rapide, mais cela est simplement dû aux limitations de nos sens. Une expérience soigneuse révèle immédiatement la vérité : la lumière voyage à un peu moins de 300 000 kilomètres par seconde. La vitesse finie du son est plus évidente pour nous parce que cette vitesse est beaucoup plus faible que celle de la lumière : le son voyage à 300 mètres par seconde environ. Aussi, quand vous criez devant une falaise située à 300 mètres de vous, vous entendez deux secondes plus tard votre écho : votre cri atteint la falaise en une seconde, il est renvoyé par elle et il vous revient en écho une seconde plus tard.

Envoyez un éclair de lumière sur un miroir à 300 000 kilomètres de vous, et deux secondes plus tard, votre « écho de lumière » vous reviendra, un phénomène bien connu dans les communications radio dans l'espace, par exemple au cours des missions lunaires. L'écho pour une mission sur Mars reviendrait au bout de trente minutes : vous envoyez un message radio depuis la Terre, il voyage à la vitesse de la lumière jusqu'à Mars en quinze minutes à peu près, et la réaction de l'astronaute vous revient en quinze autres minutes. Une discussion au téléphone pendant des vacances sur Mars serait certainement exaspérante.

Le rêve des vaches ne décrit rien d'autre que ce qui se passe vraiment dans la réalité, bien que fortement exagéré. C'est à peu près ce que nos sens percevraient si la vitesse de la lumière ressemblait plus à la vitesse du son. Dans le rêve d'Einstein, l'électricité se propage le long des fils à la vitesse de la lumière<sup>1</sup>. Par conséquent l'image de l'éleveur branchant la batterie voyage en direction d'Einstein côte à côte avec l'impulsion

---

1. Licence artistique.

électrique parcourant les fils. Elles atteignent simultanément la première vache, et l'impulsion lui donne un choc. On sous-entend ici que le temps de réaction de la vache est nul<sup>1</sup>, et par conséquent l'image de l'éleveur branchant la batterie, l'image de la première vache sursautant et l'impulsion électrique parcourant les fils voyagent maintenant toutes les trois côte à côte en direction d'Einstein.

Quand elles arrivent à la hauteur de la deuxième vache, celle-ci sursaute et l'image de son sursaut se joint aux précédentes. Maintenant, l'image de l'éleveur branchant la batterie, les images des deux premières vaches sautant en l'air et l'impulsion électrique le long des fils voyagent de concert vers Einstein. Et cela continue jusqu'à la dernière vache. C'est pour cela qu'Einstein voit exactement au même moment l'éleveur brancher sa batterie et toutes les vaches sauter simultanément. S'il avait placé une main sur la barrière, il aurait reçu un choc électrique et se serait exclamé « Scheisse ! » à l'instant même où il vit tout cela arriver. Il n'était pas victime d'une hallucination, tout cela se serait *vraiment* passé en même temps. Ou plus précisément, au même instant de son temps à *lui*.

Le point de vue de l'éleveur est par contre assez différent. Il est sujet à ce qui ressemble à une succession d'échos de lumière renvoyés par des falaises/miroirs de plus en plus éloignés de lui. Quand il branche sa batterie, c'est l'équivalent d'un homme qui crie par-dessus un abîme. L'impulsion électrique voyage vers la première vache, qui sursaute au moment où elle est atteinte : c'est comme le cri voyageant vers la falaise de l'autre côté de l'abîme et s'y réfléchissant. L'image de la vache sursautant venant vers l'éleveur est l'analogie de l'écho revenant. Il observe donc un délai entre le branchement de la batterie et la réception

---

1. Licence artistique, à nouveau.

de l'image de la première vache sautant, comme il y a un délai entre le cri et l'écho. Les images des vaches successives sautant en l'air sont analogues à une série d'échos renvoyés par des falaises de plus en plus lointaines, et elles arrivent donc avec des délais de plus en plus longs, et elles se succèdent donc dans le temps.

L'éleveur ne souffre donc pas non plus d'hallucinations. Il observe réellement un délai entre le branchement de la batterie et le saut de la première vache, et il voit vraiment les vaches sauter les unes après les autres et non pas simultanément. Et si Einstein avait placé sa main sur la barrière, il l'aurait également vu sauter et jurer après toutes les vaches.

Il n'existe aucune contradiction entre Einstein et l'éleveur, aucun sujet de dispute. Les observateurs ont bien dit ce qu'ils avaient vu, simplement de deux points de vue différents. Si la lumière avait voyagé à une vitesse infinie, le rêve d'Einstein n'aurait jamais été possible. Telles que sont les choses, il n'est qu'une simple exagération.

Et pourtant si, il y a une contradiction ! Le rêve d'Einstein nous dit qu'il n'existe pas de concept absolu de « c'est arrivé au même moment », absolu dans ce sens qu'il doit être vrai sans ambiguïté pour tous les observateurs. Ce rêve montre au contraire que le temps doit être relatif et varier d'un observateur à l'autre. Un ensemble d'événements qui arrivent tous simultanément pour un observateur peut très bien apparaître en séquence pour un autre.

Mais est-ce une illusion ? Ou le concept de temps est-il réellement plus complexe que ce à quoi nous sommes habitués ? Dans notre expérience quotidienne, deux événements qui arrivent au même moment arrivent toujours au même moment pour tout le monde. Serait-il possible que ce ne soit qu'une grossière approximation ? Est-ce cela que signifie le rêve d'Einstein ? Le temps peut-il être relatif ?