

3

QU'EST-CE QUE LA RÉALITÉ ?

Il y a de cela quelques années, en Italie, le conseil municipal de Monza a promulgué un arrêté interdisant aux possesseurs de poissons rouges de conserver ces derniers dans des bocaux sphériques au motif qu'il était cruel de garder un poisson dans un récipient incurvé, car on lui imposait ainsi une vision distordue de la réalité. Mais comment savons-nous que nous avons l'image véritable et non déformée de la réalité ? Pourquoi ne serions-nous pas nous-mêmes dans un énorme bocal ? Et pourquoi notre vision ne serait-elle pas ainsi faussée comme par une énorme lentille ? Certes, la réalité que perçoit le poisson rouge est différente de la nôtre, mais comment être sûr qu'elle est moins réelle ?

Même avec une vision différente de la nôtre, le poisson rouge peut quand même formuler des lois scientifiques qui régissent le mouvement des corps qu'il observe au travers de son bocal. Par exemple, un corps se déplaçant librement et dont la trajectoire nous apparaît rectiligne semblerait suivre une courbe aux yeux du poisson rouge. Pour autant, ce dernier pourrait très bien formuler des lois scientifiques dans ce référentiel déformé qui seraient toujours vérifiées et qui lui permettraient de prédire le déplacement des objets à l'extérieur du bocal. Ses lois seraient peut-être plus compliquées que les nôtres, mais après tout la simplicité est une affaire de goût. Si le poisson rouge formulait une telle théorie, nous serions alors obligés d'admettre sa vision comme une image valable de la réalité.

Un exemple célèbre d'une même réalité décrite par des images différentes nous est fourni par le modèle de Ptolémée (vers 85-165 ap. J.-C.). Ce modèle, introduit vers l'an 150 de notre ère pour décrire le mouvement des corps célestes, a été publié dans un traité en treize volumes connu sous son titre arabe, l'*Almageste*. Celui-ci débute en détaillant les raisons qui autorisent à penser que la Terre est ronde, immobile, située au centre de l'Univers et de taille négligeable comparée à sa distance aux cieux. Malgré Aristarque et son modèle hélioc-

centrique, cette vision était partagée par une majorité de la population grecque éduquée depuis Aristote. Pour des raisons mystiques, on pensait que la Terre devait occuper le centre de l'Univers. Dans le modèle de Ptolémée, la Terre était immobile et les planètes ainsi que les étoiles se mouvaient autour d'elle en suivant des orbites compliquées, des épicycloïdes, trajectoires que l'on obtient en faisant tourner une roue à l'intérieur d'une autre roue.

Ce modèle semblait tout à fait naturel vu que l'on ne sent pas la Terre bouger sous nos pieds (sauf pendant les tremblements de terre ou les émotions intenses). Plus tard, propagées par les écrits grecs qui constituaient la base de l'enseignement en Europe, les idées d'Aristote et de Ptolémée ont fondé la pensée occidentale. Le modèle de Ptolémée a ainsi été adopté par l'Église catholique et a tenu lieu de doctrine officielle pendant près de quatorze siècles. Il a fallu attendre 1543 pour que Copernic propose un modèle concurrent dans son *De revolutionibus orbium coelestium* (*Sur les révolutions des sphères célestes*), qui a été publié moins d'un an avant sa mort bien qu'il eût travaillé sur sa théorie pendant plusieurs dizaines d'années.



L'univers selon Ptolémée. Dans la vision de Ptolémée, nous occupons le centre de l'Univers.

Copernic, tout comme Aristarque quelque dix-sept siècles plus tôt, décrivait un monde dans lequel les planètes tournaient selon des orbites circulaires autour d'un Soleil immobile. Même si cette idée n'était pas nouvelle, elle a rencontré une résistance farouche. On a soutenu que le modèle copernicien contredisait la Bible dans laquelle, selon l'interprétation en vigueur, les planètes tournaient autour de la Terre même si cette affirmation n'y figurait pas de façon claire. Et pour cause : à l'époque où la Bible avait été écrite, on pensait que la Terre était plate. Le modèle copernicien a déclenché une vive controverse portant sur la situation de la Terre, controverse dont le procès de Galilée en 1633 pour hérésie a constitué le point culminant. Galilée a été jugé pour avoir défendu ce modèle et affirmé qu'on « peut

défendre et tenir pour probable une opinion même après qu'elle a été déclarée contraire aux Saintes Écritures ». Reconnu coupable, il fut assigné à résidence pour le restant de ses jours et forcé de se rétracter. L'histoire dit qu'il aurait murmuré dans sa barbe : « *Eppur si muove* » (Et pourtant elle tourne). En 1992, l'Église catholique romaine a en définitive reconnu que la condamnation de Galilée avait été une erreur.

Finalement, lequel des deux systèmes est réel, celui de Ptolémée ou celui de Copernic ? Il est faux de prétendre, même si on l'entend couramment, que Copernic a invalidé Ptolémée. Comme dans l'opposition entre notre vision et celle du poisson rouge, les deux modèles sont utilisables car on peut très bien rendre compte de nos observations des cieux en supposant que la Terre est immobile ou bien que le Soleil est immobile. Malgré son rôle dans les controverses philosophiques sur la nature de notre Univers, l'avantage du système copernicien tient au fait que les équations du mouvement sont bien plus simples dans le référentiel dans lequel le Soleil est immobile.

C'est à un genre très différent de réalité alternative que nous sommes confrontés dans le film de science-fiction *Matrix*. On y voit l'espèce humaine évoluer sans le savoir dans une réalité virtuelle simulée, créée par des ordinateurs intelligents qui la maintiennent ainsi dans un état de satisfaction paisible afin d'aspirer l'énergie bioélectrique produite par les hommes (quoi que celle-ci puisse être). Cette vision n'est peut-être pas si folle vu le nombre de personnes qui préfèrent déjà aujourd'hui passer leur temps sur des sites de réalité virtuelle comme *Second Life*. Comment savoir si nous ne sommes pas des personnages d'un *soap opera* informatique ? En fait, si nous vivions dans un monde de synthèse, rien n'obligerait les événements à s'enchaîner de façon logique ou cohérente, ou encore à obéir à des lois. Les *aliens* nous contrôlant pourraient trouver tout aussi intéressant ou amusant d'observer nos réactions dans un monde où par exemple la Lune se couperait en deux, ou dans un monde où toutes les personnes au régime se mettraient à développer un amour incontrôlable pour les tartes à la banane. Si, en revanche, ces mêmes êtres appliquaient des lois cohérentes, alors rien ne nous permettrait de deviner qu'une autre réalité se cache sous la simulation. On peut aisément

ment appeler « réel » le monde des êtres supérieurs et « faux » le monde de synthèse. Mais, pour ceux qui habiteraient le dernier, nous en l'occurrence, incapables que nous serions d'observer le monde extérieur, nous n'aurions aucune raison de mettre en doute notre réalité. Voilà une version renouvelée, moderne, d'un fantasme classique qui fait de nous des produits de l'imagination issus du rêve d'un autre.

Ces exemples nous conduisent à une conclusion qui jouera un rôle majeur tout au long de cet ouvrage : *la réalité n'existe pas en tant que concept indépendant de son image ou de la théorie qui la représente*. Nous allons donc adopter un point de vue baptisé réalisme modèle-dépendant. Dans cette approche, toute théorie physique ou toute image du monde consiste en un modèle (en général un formalisme mathématique) et un ensemble de lois qui relie les éléments du modèle aux observations. C'est dans ce cadre que nous interpréterons la science moderne.

Depuis Platon, les philosophes n'ont cessé de débattre de la nature de la réalité. La science classique repose sur la croyance qu'il existe un monde extérieur réel dont les propriétés sont clairement déterminées et indépendantes de l'observateur qui l'étudie. Certains objets existent et se caractérisent par des propriétés physiques comme la vitesse et la masse, qui ont des valeurs bien définies. C'est à ces valeurs que s'attachent nos théories, nos mesures et nos perceptions lorsque nous tentons de rendre compte de ces objets et de leurs propriétés. L'observateur et l'objet observé appartiennent tous deux au monde qui existe de façon objective, et il serait vain d'essayer d'établir une distinction entre eux. En d'autres termes, si vous voyez un troupeau de zèbres en train de se battre pour une place de parking, c'est parce qu'un troupeau de zèbres est effectivement en train de se battre pour une place de parking. Tout autre observateur mesurera des propriétés identiques et le troupeau aura ces propriétés, qu'un individu extérieur les mesure ou non. En philosophie, cette doctrine porte le nom de réalisme.



« Ceci est un message enregistré. » « Ça m'est égal. Je suis un hologramme. »

Même si ce réalisme semble *a priori* attirant, nous verrons plus loin que notre connaissance de la physique moderne le rend difficilement défendable. Les principes de la physique quantique, qui est une description assez fidèle de la nature, nous enseignent ainsi qu'une particule ne possède ni position ni vitesse définie tant que celle-ci n'est pas mesurée par un observateur. Il est par conséquent *inexact* de dire qu'une mesure donne un certain résultat car la quantité mesurée n'acquiert sa valeur qu'à l'instant même de la mesure. En fait, certains objets ne possèdent même pas d'existence indépendante, mais ne sont que des composants d'un tout beaucoup plus grand. Et si la théorie baptisée principe holographique se révèle correcte, nous et notre monde quadridimensionnel ne sommes peut-être que des ombres sur la frontière d'un espace-temps à cinq dimensions. Notre statut dans l'Univers serait alors analogue à celui du poisson rouge.

Pour les stricts défenseurs du réalisme, le succès même des théories scientifiques est une preuve de leur aptitude à représenter la réalité. Pourtant, plusieurs théories peuvent rendre compte avec succès d'un même phénomène tout en faisant appel à des cadres conceptuels

distincts. Mieux encore, il est souvent arrivé qu'une théorie scientifique reconnue soit remplacée par une autre tout aussi fructueuse bien que fondée sur des conceptions de la réalité totalement nouvelles.

On appelle traditionnellement les opposants au réalisme des anti-réalistes. Ces derniers postulent une distinction entre connaissance empirique et connaissance théorique. Les observations et les expériences sont considérées par eux comme utiles, mais les théories ne sont rien d'autre que des instruments n'apportant aucune vérité plus profonde sur les phénomènes étudiés. Certains ont même suggéré de ne cantonner la science qu'aux observations. Ainsi nombreux sont ceux qui, au XIX^e siècle, ont rejeté l'idée d'atome au motif qu'on ne pourrait jamais en voir. George Berkeley (1685-1753) est même allé jusqu'à prétendre que rien n'existe hormis l'esprit et les idées. On raconte qu'un de ses amis lui ayant affirmé qu'on ne pouvait réfuter les idées de Berkeley, le docteur Samuel Johnson, écrivain et lexicographe anglais (1709-1784), se dirigea vers une grosse pierre et shoota dedans, avant de déclarer : « Je réfute donc cela. » La douleur qu'il ressentit alors au pied n'étant elle aussi qu'une idée dans son cerveau, on ne peut pas vraiment voir là une réfutation des idées de Berkeley. Cependant, cette réponse est une bonne illustration de la position du philosophe David Hume (1711-1776). Selon lui, bien que rien ne nous force à croire en une réalité objective, nous devons en fait agir comme si elle existait.

Le réalisme modèle-dépendant court-circuite entièrement ce débat et cette controverse entre les écoles de pensée réaliste et antiréaliste. Dans le réalisme modèle-dépendant, la question de la réalité d'un modèle ne se pose pas, seul compte son accord avec l'observation. Si deux modèles différents concordent en tous points avec les observations qu'on a faites, comme c'est le cas entre nous et le poisson rouge, alors il est impossible d'en déclarer un plus réel que l'autre. On peut, dans une situation donnée, recourir à celui qui s'avère le plus pratique. Si l'on se trouve à l'intérieur d'un bocal, par exemple, alors la vision du poisson rouge est utile. En revanche, pour ceux qui sont à l'extérieur, décrire les événements d'une galaxie lointaine dans le référentiel d'un bocal sur Terre serait très étrange, sur-

tout quand ce bocal suit la rotation de la Terre, laquelle orbite elle-même autour du Soleil.

Il n'y a pas qu'en science que nous élaborons des modèles, dans la vie quotidienne aussi. Le réalisme modèle-dépendant ne s'applique pas seulement aux modèles scientifiques, mais également aux modèles mentaux conscients et inconscients que nous créons dans notre besoin de comprendre et d'interpréter le monde qui nous entoure. On ne peut extraire l'observateur – nous, en l'occurrence – de notre perception du monde car celle-ci est créée par nos organes sensoriels et notre façon de penser et de raisonner. Notre perception – et donc les observations qui sont à la base de nos théories – n'est pas directe ; elle est construite à travers la lentille qu'est la structure d'interprétation de notre cerveau humain.



« Vous avez une chose en commun. Le Dr Davis a découvert une particule que personne n'a vue et le Pr Higgs a découvert une galaxie que personne n'a vue. »

Le réalisme modèle-dépendant correspond à notre façon de percevoir les objets. Le processus visuel consiste pour le cerveau à recevoir des signaux provenant du nerf optique dont votre téléviseur ne voudrait pas pour construire son image. En effet, il existe un point aveugle à l'endroit même où le nerf optique se rattache à la rétine. Par ailleurs, la résolution dans notre champ de vision n'est correcte que dans une zone très restreinte, comprise dans un angle d'un degré

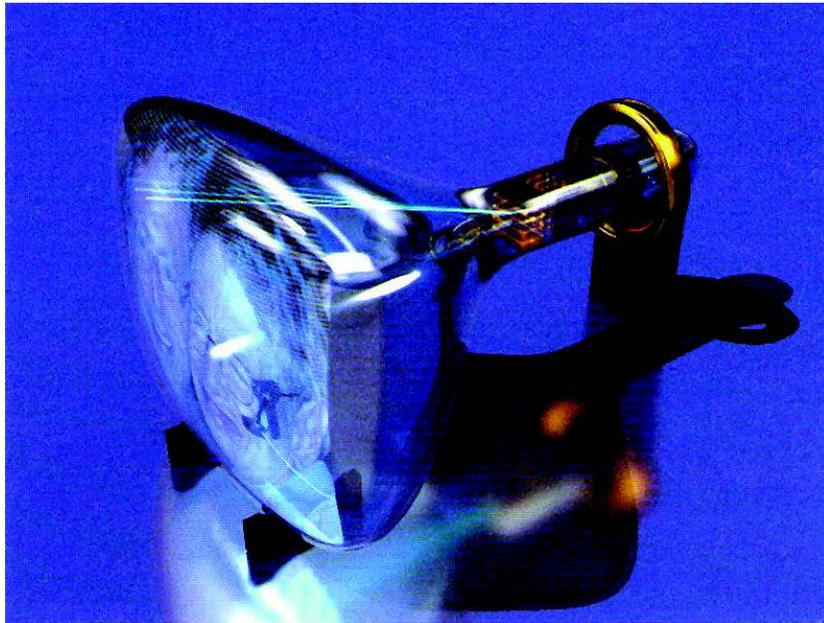
autour du centre de la rétine, zone qui a la taille de votre pouce lorsque vous tendez le bras. Les données brutes que vous envoyez à votre cerveau se résument donc à une image réduite, horriblement pixellisée et trouée en son milieu. Par bonheur, le cerveau est là pour traiter ces données, combiner les signaux provenant des deux yeux et boucher les trous par interpolation en supposant que les propriétés visuelles du voisinage sont similaires. Mieux encore, alors que la rétine lui envoie un tableau bidimensionnel de données, il exploite celui-ci afin de recréer l'impression d'un espace tridimensionnel. En d'autres termes, notre cerveau construit une image mentale ou encore un modèle.

Il est d'ailleurs si efficace dans sa tâche que, même si on porte des verres qui retournent les images, il modifie son modèle au bout d'un certain temps de façon à récupérer la vision originale. Et si on enlève alors les verres, le monde apparaît provisoirement renversé mais rapidement la vision normale revient. Lorsqu'on dit : « Je vois une chaise », on utilise en fait la lumière renvoyée par la chaise pour élaborer une image mentale ou un modèle de la chaise. Si le modèle est retourné, il est à parier que le cerveau corrigera cette erreur avant qu'on essaie de s'asseoir.

Le réalisme modèle-dépendant résout également, ou à tout le moins contourne, un autre problème : celui du sens de l'existence. Comment puis-je savoir qu'une table existe toujours quand je sors d'une pièce et que je ne la vois plus ? Que signifie le verbe « exister » pour des choses que l'on ne peut voir comme des électrons ou des quarks – les constituants des protons et des neutrons ? On pourrait très bien imaginer un modèle au sein duquel la table disparaîtrait lorsque je sors de la pièce et réapparaîtrait à la même position quand je reviens mais, d'une part, ce serait étrange et, d'autre part, que dire si le plafond s'écroule alors que je suis sorti ? Comment, dans ce modèle de la-table-disparaît-quand-je-sors, rendre compte du fait que la table est écrasée sous des débris de plafond lorsque je reviens ? Le modèle dans lequel la table reste là est bien plus simple et s'accorde avec l'observation. On ne peut rien demander de plus.

Dans le cas de particules subatomiques invisibles, les électrons sont un modèle utile qui permet d'expliquer les traces dans les

chambres à bulle et les points lumineux sur un tube cathodique, et bien d'autres phénomènes encore. L'histoire rapporte que c'est le physicien britannique J.J. Thomson qui a découvert l'électron en 1897 au laboratoire Cavendish, à l'Université de Cambridge. Il travaillait sur des courants électriques traversant des tubes à vide, phénomène connu sous le nom de rayons cathodiques. Ses expériences l'ont amené à suggérer, non sans audace, que ces mystérieux rayons étaient constitués de minuscules « corpuscules », ces derniers étant des constituants de l'atome que l'on pensait pourtant à l'époque inséparable. Non seulement Thomson n'avait pas « vu » ces électrons, mais encore ses expériences ne permettaient pas de démontrer de façon irréfutable ses suppositions. Son modèle allait pourtant s'avérer crucial dans de nombreuses applications qui vont de la science fondamentale jusqu'à l'ingénierie, et les physiciens aujourd'hui croient en l'électron même s'ils n'en ont jamais vu.

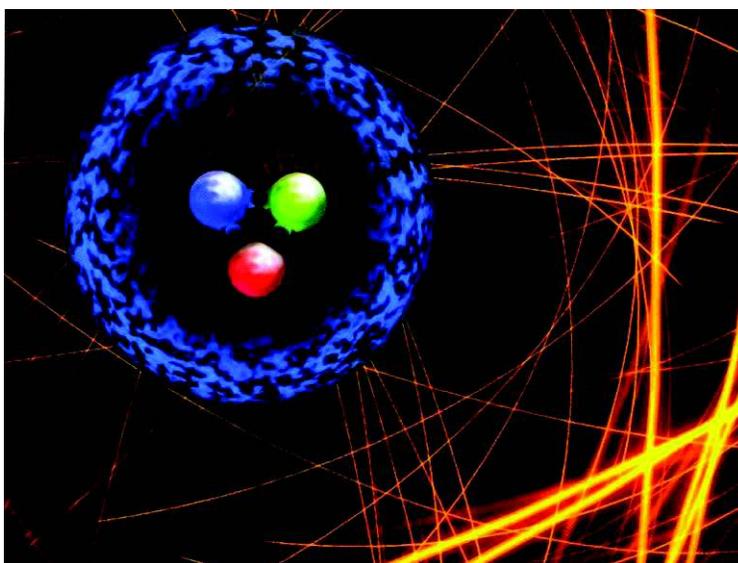


Rayons cathodiques. Nous ne pouvons pas voir des électrons isolés mais nous pouvons voir les effets qu'ils produisent.

Le modèle des quarks, qu'on ne peut pas plus voir, permet d'expliquer quant à lui les propriétés des protons et des neutrons dans le noyau de l'atome. Bien que protons et neutrons soient des assemblages de quarks, on n'a jamais pu observer de quark individuel car les forces qui les lient augmentent avec la distance qui les sépare. Par conséquent, il n'existe pas de quark isolé dans la nature. Ceux-ci vont toujours par groupes de trois (comme dans les protons et les neutrons) ou bien par paires quark-antiquark (comme dans le cas des mésons π), se comportant comme s'ils étaient reliés par des élastiques.

Dans les années qui ont suivi l'apparition du modèle des quarks, une controverse est née quant à la possibilité de parler de leur existence alors même qu'on ne pourrait jamais en isoler un. Certes, imaginer certaines particules comme des combinaisons d'un petit nombre de particules subatomiques offrait un cadre cohérent qui permettait d'expliquer de façon simple et élégante leurs propriétés.

Pourtant, même si les physiciens étaient déjà habitués à postuler l'existence de particules pour expliquer des anomalies statistiques dans la diffusion d'autres particules, l'idée d'accorder une réalité à une particule potentiellement inobservable par principe semblait inenvisageable pour nombre d'entre eux. Avec le temps et à mesure que les prédictions du modèle des quarks se sont révélées exactes, l'opposition a cependant perdu de sa vivacité. Il est très possible que des *aliens* dotés de dix-sept bras, d'une vision infrarouge et aux oreilles pleines de crème fraîche aient observé expérimentalement le même phénomène sans éprouver le besoin de recourir aux quarks. Le réalisme modèle-dépendant nous permet simplement de dire que les quarks existent dans un modèle qui s'accorde avec notre expérience du comportement des particules subatomiques.



Quarks. Le concept de quark est un élément essentiel des théories en physique fondamentale même si on ne peut observer de quark isolé.

Le réalisme modèle-dépendant permet également de réfléchir à des questions comme : si la création du monde remonte à une date donnée dans le passé, qu'y avait-il avant ? Pour saint Augustin, philosophe du début de la chrétienté (354-430), la réponse n'était pas que Dieu était occupé à préparer l'enfer pour les individus qui oseraient soulever cette question. Selon lui, le temps aussi était une propriété du monde créé par Dieu, et donc n'existait pas avant la création. Quant à cette dernière, il ne croyait pas qu'elle fût très ancienne. Cette thèse, que l'on peut admettre, est défendue par ceux qui croient à la lettre le récit de la Genèse malgré tous les fossiles et autres preuves qui laissent penser que le monde est beaucoup plus ancien. (Pourquoi diable sont-ils là ? Pour nous tromper ?) On peut également croire en un modèle différent qui fait remonter le Big Bang à 13,7 milliards d'années. Ce modèle qui rend compte de la plupart de nos observations actuelles, géologiques et historiques, constitue à ce jour la meilleure représentation de notre passé. Capable d'expliquer les fossiles, les mesures de radioactivité et la lumière que nous rece-

vons de galaxies situées à des millions d'années-lumière, ce modèle – la théorie du Big Bang – nous est plus utile que le premier. Malgré tout cela, on ne peut affirmer qu'un modèle est plus réel que l'autre.

Certains défendent un modèle au sein duquel le temps est antérieur au Big Bang. On ne voit pas clairement en quoi un tel modèle permettrait de mieux expliquer les observations actuelles car il est clair que les lois d'évolution de l'Univers ont pu être modifiées au cours du Big Bang. Si c'est le cas, élaborer un modèle qui décrit le temps avant le Big Bang n'aurait aucun sens car ce qui se serait produit alors n'aurait eu aucune conséquence sur le présent. On pourrait donc tout aussi bien se contenter d'une création du monde qui part du Big Bang.

Un modèle est donc de qualité s'il satisfait les critères suivants :

1. Être élégant.
2. Ne contenir que peu d'éléments arbitraires ou ajustables.
3. S'accorder avec et expliquer toutes les observations existantes.
4. Pouvoir prédire de façon détaillée des observations à venir, qui à leur tour permettront d'infirmer ou de disqualifier le modèle si elles ne sont pas vérifiées.

Par exemple, la théorie d'Aristote qui postulait un monde composé de quatre éléments, la terre, l'air, le feu et l'eau, monde dans lequel tout objet se mouvait afin d'accomplir sa mission, était une théorie élégante, sans aucun élément ajustable. Mais, dans de nombreux cas, elle ne permettait aucune prédiction et, quand bien même, ses prédictions ne concordaient pas toujours avec les observations. En particulier, elle prédisait que les objets plus lourds devaient chuter plus rapidement car leur but est de tomber. Personne ne crut devoir tester cette assertion avant que, selon la légende, Galilée ne fasse tomber des poids de la tour de Pise. Cette anecdote est sans doute apocryphe : on sait aujourd'hui qu'il fit en fait rouler des objets de masses différentes sur un plan incliné et observa que leur vitesse augmentait à un rythme identique, en contradiction avec la prédiction d'Aristote.

Les critères énoncés plus haut sont évidemment subjectifs. Il est ainsi difficile de mesurer l'élégance même si elle importe énormément aux yeux des scientifiques, toujours à la recherche de lois de la nature aptes à résumer de la façon la plus économique possible un grand nombre de cas particuliers en un seul cas général. L'élégance se rapporte à la forme de la théorie, mais aussi au nombre de facteurs ajustables qu'elle contient car une théorie truffée de paramètres *ad hoc* perd de son élégance. Pour paraphraser Einstein, une théorie se doit d'être aussi simple que possible, mais pas trop. Ptolémée a dû ajouter les épicycloïdes aux orbites circulaires de ses corps célestes afin de rendre compte de leurs trajectoires. Le modèle aurait été plus précis encore s'il y avait ajouté des épicycloïdes sur les épicycloïdes, et encore des épicycloïdes par-dessus le marché. De fait, même si une complexité accrue implique une meilleure précision, les scientifiques n'apprécient que peu de devoir complexifier à outrance un modèle afin de coller à un ensemble spécifique d'observations car celui-ci apparaît alors plus comme un catalogue de données que comme une théorie procédant d'un principe général et puissant.

Nous verrons au chapitre 5 que beaucoup considèrent le « modèle standard », qui décrit les interactions entre particules élémentaires, comme inélégant. Pourtant, ses succès sont sans comparaison avec les épicycloïdes de Ptolémée. Le modèle standard a prédit avec succès pendant plusieurs dizaines d'années l'existence de particules nouvelles avant même qu'elles ne soient découvertes, ainsi que le résultat précis de nombreuses expériences. Mais il est affligé d'un défaut majeur : il contient des dizaines de paramètres ajustables que la théorie ne précise pas et dont il faut fixer les valeurs de manière *ad hoc* si l'on veut pouvoir coller aux observations.

Le quatrième critère est important car les scientifiques sont toujours impressionnés quand des prédictions novatrices et inattendues se révèlent exactes. Plus étonnant, même dans le cas contraire, il n'est pas rare de remettre en cause l'expérience plutôt que le modèle. En dernier recours, la répugnance à abandonner un modèle peut être telle qu'on préfère le sauver quitte à le modifier de façon substantielle. Finalement, s'ils sont capables d'une rare ténacité afin de sauver une théorie qu'ils admirent, l'ardeur des physiciens faiblit cepen-

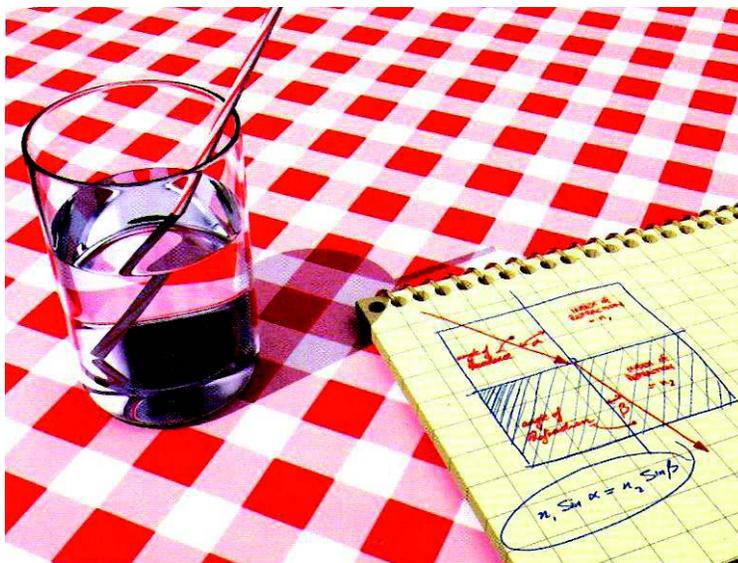
dant à mesure que les altérations deviennent de plus en plus artificielles ou pénibles, autrement dit « inélégantes ».

Lorsque les modifications demandées deviennent par trop baroques, il est temps d'élaborer un nouveau modèle. Le concept d'Univers statique est l'exemple typique d'un vieux modèle qui a dû céder sous le poids des observations contraires. Dans les années 1920, la majorité des physiciens pensaient que l'Univers était statique, de taille constante. Or, en 1929, Edwin Hubble a publié ses observations décrivant un Univers en expansion. Hubble n'a pas constaté directement cette expansion, mais il a analysé la lumière émise par les galaxies. Cette lumière transporte une signature caractéristique, son spectre, qui dépend de la composition de la galaxie. Or ce spectre subit une modification spécifique lorsque la galaxie se déplace par rapport à nous. Par conséquent, en analysant les spectres de galaxies lointaines, Hubble a pu déterminer leurs vitesses relatives. Il s'attendait à trouver autant de galaxies s'éloignant de nous que de galaxies s'en rapprochant. Au lieu de cela, il a découvert que presque toutes les galaxies s'éloignaient de nous, et ce d'autant plus vite qu'elles étaient lointaines. Il en a conclu que l'Univers était en expansion. D'autres pourtant, se raccrochant obstinément à l'ancien dogme d'un Univers statique, ont tenté de trouver une autre explication. Le physicien Fritz Zwicky de Caltech¹ a par exemple suggéré que la lumière perdait progressivement de son énergie lorsqu'elle parcourait de grandes distances, cette atténuation entraînant une modification du spectre compatible avec les observations de Hubble. Durant des dizaines d'années ensuite, nombreux ont ainsi été les scientifiques à se cramponner à la théorie statique. Malgré tout, le modèle le plus naturel était celui de Hubble et il a fini par être universellement accepté.

Notre quête des lois qui gouvernent l'Univers nous a conduit à formuler toute une série de théories ou de modèles, de la théorie des quatre éléments à celle du Big Bang en passant par le modèle de Ptolémée ou la théorie phlogistique, et bien d'autres encore. Chaque fois, notre conception de la réalité et des constituants fondamentaux de l'Univers s'est modifiée. Prenons par exemple la théorie de la lumière. Newton pensait qu'elle était constituée de petites particules ou

¹ Abréviation pour California Institute of Technology (NdT).

« corpuscules ». Cela permettait d'expliquer pourquoi elle voyageait en ligne droite mais aussi pourquoi elle se courbait ou se réfractait en changeant de milieu, en passant par exemple de l'air dans le verre ou de l'air dans l'eau.

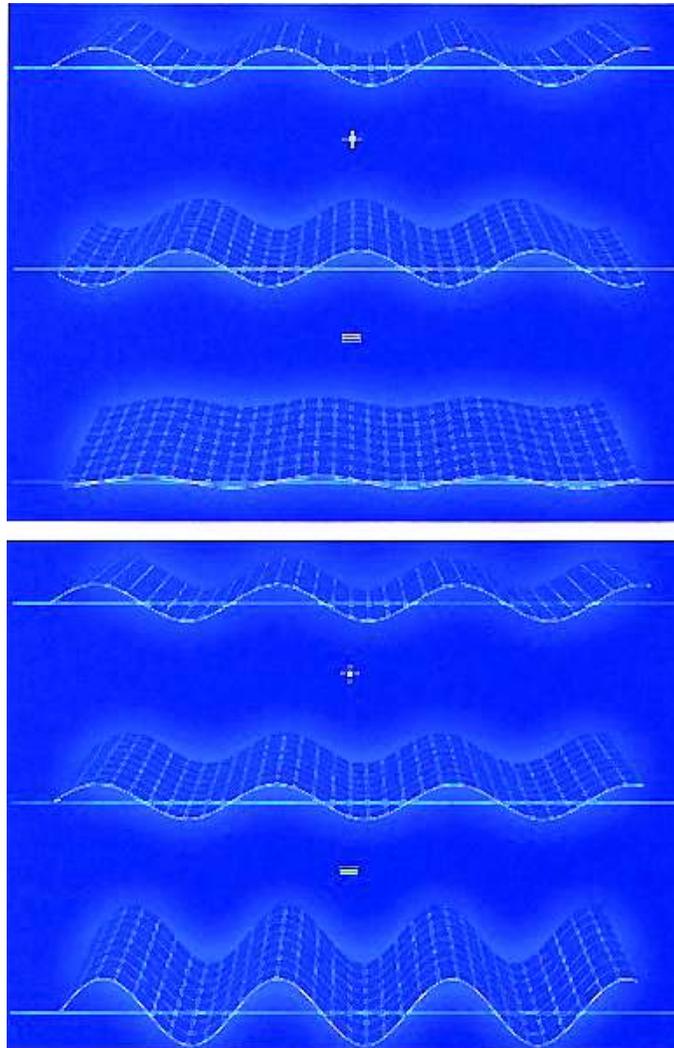


Réfraction. Le modèle newtonien de la lumière pouvait expliquer la déviation des rayons lumineux quand ils passent d'un milieu à un autre, mais pas un autre phénomène baptisé aujourd'hui « anneaux de Newton ».

La théorie des corpuscules ne permettait pas en revanche d'expliquer un phénomène que Newton lui-même avait observé, connu sous le nom d'anneaux de Newton. Posez une lentille sur une surface plate réfléchissante et éclairez sa face supérieure avec une lumière monochrome comme celle que produit une lampe au sodium. En regardant par-dessus, vous verrez apparaître une alternance d'anneaux concentriques clairs et sombres, tous centrés sur le point de contact entre la lentille et la surface plane. La théorie particulière de la lumière est impuissante à expliquer ce phénomène tandis que la théorie ondulatoire en rend très bien compte.

Dans la théorie ondulatoire de la lumière, les anneaux clairs et sombres sont dus à un phénomène appelé interférence. Une onde, à l'instar de l'onde qui court à la surface de l'eau, consiste en une série de bosses et de creux. Quand deux ondes se rencontrent, les creux qui se rencontrent ou les bosses qui se rencontrent se renforcent mutuellement, amplifiant l'onde. On parle alors d'interférence constructive. On dit que les ondes sont « en phase ». À l'inverse, lors de la rencontre, il peut arriver que les creux de l'une des ondes correspondent aux bosses de l'autre et *vice versa*. Dans ce cas, les ondes s'annulent : on dit qu'elles sont « en opposition de phase ». On parle alors d'interférence destructive.

Dans les anneaux de Newton, les anneaux brillants sont situés aux endroits où la distance verticale entre la surface plane réfléchissante et la lentille correspond à un nombre entier (1, 2, 3,...) de longueurs d'onde, engendrant ainsi une interférence constructive. (La longueur d'onde est la distance entre deux bosses ou deux creux successifs de onde.) Les anneaux sombres en revanche sont situés aux endroits où la distance verticale entre la surface et la lentille correspond à un nombre demi-entier ($\frac{1}{2}$, $1 \frac{1}{2}$, $2 \frac{1}{2}$, ...) de longueurs d'onde, engendrant alors une interférence destructive – l'onde réfléchie par la lentille annulant celle réfléchie par la surface.

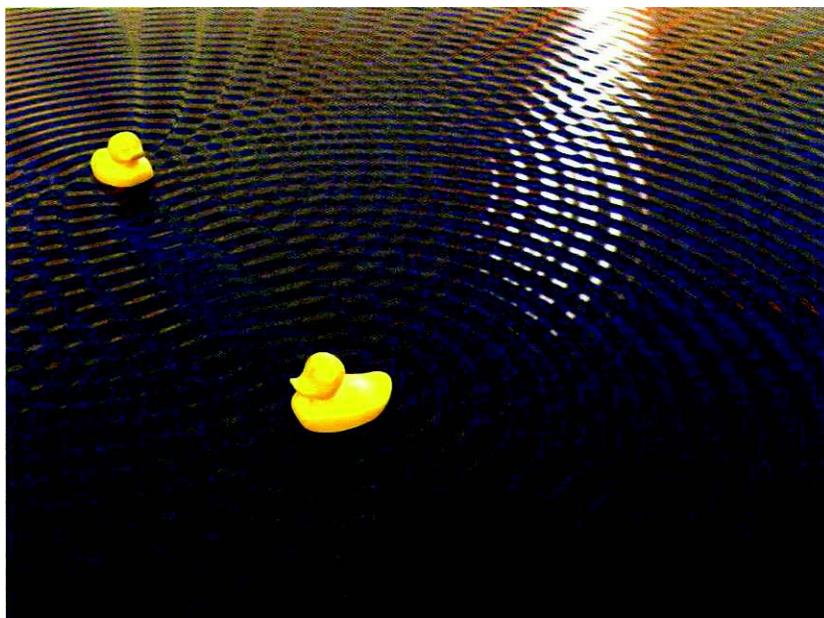


Interférences. Tout comme des personnes, deux ondes qui se rencontrent ont tendance soit à se renforcer, soit à s'atténuer mutuellement.

Au XIX^e siècle, cet effet a servi à confirmer la théorie ondulatoire de la lumière, invalidant par là même la théorie particulaire. Einstein a pourtant démontré au début du XX^e siècle que l'effet photoélec-

trique (utilisé aujourd'hui dans les téléviseurs et les appareils photo numériques) s'expliquait par le choc d'une particule de lumière, ou quantum, sur un atome, choc au cours duquel un électron est éjecté. La lumière se comporte donc à la fois comme une particule et comme une onde.

Le concept d'onde a sans doute vu le jour dans un esprit humain après qu'il eut observé l'océan ou la surface d'une mare quand on y jette un caillou. Mieux encore, si vous avez déjà lancé deux cailloux dans une mare, vous avez sans doute été le témoin d'interférences analogues à celles de la figure ci-après. Ce phénomène se produit également avec d'autres liquides, sauf peut-être le vin quand on en boit trop. Le concept de particule est quant à lui naturel pour qui observe des rochers, des cailloux ou du sable. Mais la dualité onde/particule – l'idée qu'un objet puisse être décrit tout à la fois comme particule ou comme onde – est aussi étrangère à notre sens commun que l'idée de boire un morceau de grès.



Interférences à la surface de l'eau. Le concept d'interférences se manifeste dans la vie courante sur des étendues d'eau, des plus petites mares jusqu'aux océans.

Les dualités de ce type – des situations dans lesquelles deux théories très différentes peuvent rendre compte avec précision du même phénomène – conviennent parfaitement au réalisme modèle-dépendant. Chaque théorie peut décrire et expliquer certaines propriétés mais aucune ne peut prétendre être meilleure ou plus réelle que l'autre. Appliqué aux lois qui régissent l'Univers, ce principe devient : il ne semble pas exister de modèle mathématique ou de théorie unique capable de décrire chaque aspect de l'Univers. Comme nous l'avons vu au premier chapitre, à cette théorie unique se substitue un réseau entier de théories baptisé M-théorie. Chaque théorie de ce réseau permet de décrire une certaine gamme de phénomènes. Dans les cas où ces gammes se recouvrent, les théories concordent ce qui permet de considérer qu'elles forment ensemble un tout cohérent. Mais aucune théorie du réseau ne peut prétendre décrire à elle seule chaque aspect de l'Univers – toutes les forces de la nature, toutes les

particules soumises à ces forces ainsi que le cadre spatio-temporel qui les englobe. Si cette situation ne comble pas le rêve traditionnel des physiciens d'une théorie unifiée unique, elle n'en est pas moins acceptable dans le cadre du réalisme modèle-dépendant.

Nous discuterons en détail de la dualité et de la M-théorie au chapitre 5, mais nous devons auparavant nous pencher sur un principe fondamental de la physique contemporaine : la théorie quantique et plus particulièrement l'approche dite des histoires alternatives. Cette formulation nous dit que l'Univers ne suit pas une existence ou une histoire unique, mais que toutes les versions possibles de l'Univers coexistent simultanément au sein de ce que l'on appelle une superposition quantique. Voilà qui peut sembler au premier abord aussi choquant que la théorie de la table qui disparaît quand on quitte la pièce. Pourtant, cette approche a passé avec succès tous les tests expérimentaux auxquels elle a pu être soumise.