

Isabelle Ricard

# UNE PETITE HISTOIRE DE LA **PHYSIQUE**



ellipses

# Qu'est-ce que la physique ?

## La science de la Nature

En grec « phusis » signifie « Nature ».

Si l'on se réfère à l'étymologie, la physique se définit donc comme la science des phénomènes naturels : le physicien ou la physicienne est celui ou celle qui étudie, par exemple, le mouvement des astres ou la propagation des ondes ou encore la matière dans ses moindres détails. Bien que la vie constitue un phénomène naturel, le domaine du vivant échappe toutefois à son domaine de compétences. En effet, au fil des siècles, les sciences de la vie et les sciences de la matière se sont peu à peu distinguées l'une de l'autre. Certes, certains domaines actuels, comme la biophysique, rapprochent les physiciens des biologistes, mais leurs domaines d'investigation restent malgré tout bien distincts.

Alors que reste-t-il à la physique ?

Un champ d'étude colossal, passionnant et terriblement ambitieux comme nous tâcherons de le montrer tout au long de cet ouvrage. Il suffit d'ailleurs d'énumérer les domaines qu'elle recouvre pour s'en convaincre : la recherche des origines de l'Univers, l'exploration du monde microscopique, l'analyse du mouvement des planètes, l'étude de la lumière ont suscité l'intérêt de générations de physiciens.

Depuis Archimède (287 av. J.-C., 212 av. J.-C.) jusqu'à Einstein (1879-1955), les hommes et les femmes qui ont bâti notre physique partageaient la même curiosité exacerbée : ils souhaitaient comprendre le monde qui les entourait.

Les mots du physicien Louis de Broglie (1892-1987) résument parfaitement cette quête :

## Qu'est-ce que la physique?

*Chaque fois que l'esprit humain, au prix des plus grands efforts, est parvenu à déchiffrer une page du livre de la Nature, il s'est tout de suite aperçu combien plus difficile il serait de déchiffrer la page suivante; néanmoins, un instinct profond l'empêche de se décourager et le pousse à renouveler ses efforts pour progresser encore plus avant dans la connaissance.*

Il est vrai que la tâche du physicien semble vraiment sans fin. En physique, les idées sont loin d'être figées puisqu'elles sont inlassablement remises en cause et réexaminées. De fait, une théorie est susceptible d'être ébranlée chaque fois qu'elle a des difficultés pour expliquer un fait nouveau. Nous verrons, dans cet ouvrage, comment la mécanique de Newton a été doublement remise en cause au XX<sup>e</sup> siècle lorsque sont apparues la physique quantique et la relativité. Pour autant, nous constaterons aussi que, malgré tout, lorsqu'une pomme tombe d'un arbre il est toujours possible d'utiliser les lois de Newton pour décrire son mouvement! Ainsi, il arrive que les nouvelles théories ne se substituent pas totalement aux anciennes mais qu'elles limitent simplement leur domaine d'application.

La physique est donc une science vivante, faite de bouleversements successifs. Rien n'exclut que l'avenir ne réserve aux prochaines générations des révélations totalement imprévisibles dans l'état actuel de nos connaissances scientifiques.

Dans cette optique, il est légitime de partager l'espoir du physicien des particules Emilio Segrè (1905-1989) qui, en 1959, déclarait :

*Je ne crois pas que Galilée, Einstein ou Newton aient été les derniers de leur espèce.*

## Une science expérimentale

*La vraie physique a été fondée le jour où Galilée a conçu l'idée non seulement d'interroger la nature par l'expérience (...) mais de préciser la forme générale à donner aux expériences en leur assignant pour objet immédiat la mesure de tout ce qui peut être mesurable dans les phénomènes naturels.*

Par ces mots, le mathématicien et philosophe Antoine Augustin Cournot (1801-1877) soulignait l'importance de l'expérience en physique et la distinguait de la simple observation. On a souvent dit que, contrairement à l'observateur qui se contente d'écouter la Nature, celui qui expérimente va plus loin puisqu'il l'interroge. Pour cela, il va tenter de

fixer au préalable les conditions dans lesquelles il souhaite travailler puis il effectuera ses mesures. Dans le cas où cela n'est pas réalisable, le terme même d'expérience peut prendre un sens légèrement différent.

Prenons l'exemple de l'astronomie ou de l'astrophysique : dans ce domaine, expérimenter c'est observer et mesurer, avec les instruments adéquats, mais, bien évidemment, sans pouvoir agir sur l'astre ou les astres à étudier. L'observateur doit s'efforcer de trouver les conditions idéales, ce qui est loin d'être toujours facile. Pour s'en convaincre, il suffit de se souvenir que, pendant des siècles, le seul moyen dont l'astronome disposait pour étudier la couronne solaire était d'observer le Soleil au cours des éclipses totales. Non seulement cela limitait la durée pendant laquelle il était possible de collecter des données, mais ces expériences étaient particulièrement tributaires des conditions atmosphériques. Certes, la mise en orbite, en 1995, du satellite SOHO (SOLar and Heliospheric Observatory) a permis, pendant près de trente ans, d'observer des cycles solaires et de réaliser des éclipses artificielles à volonté, mais la mise en œuvre d'un tel projet a nécessité la réunion de moyens financiers et humains colossaux, comme c'est le cas aussi dans le domaine de la physique des particules. De manière générale, la reproductibilité des expériences est particulièrement difficile à assurer lorsqu'il s'agit d'observer des astres et l'astrophysicien ne choisit pas toujours quand et où vont se produire les phénomènes qu'il espère mettre en évidence.

D'autres branches de la physique sont moins concernées par ce type de problèmes : il est possible d'y définir et d'y maîtriser les conditions expérimentales choisies. Pour autant, toute expérience n'est pas facile à mettre en œuvre et de nombreux obstacles sont susceptibles de s'élever au cours de la réalisation de celle-ci. La mesure étant au centre de la problématique expérimentale, la question des instruments de mesure et de leur performance se pose inévitablement. Prenons l'exemple de Galilée (1564-1642) qui révolutionna l'astronomie.

Ce physicien était incontestablement visionnaire et exceptionnel dans sa clairvoyance et sa démarche, mais, sans sa lunette astronomique, son génie n'aurait pas suffi pour qu'il réalise son œuvre. C'est, en effet, cette lunette qu'il construisit lui-même (les premiers modèles étant apparus quelques années plus tôt aux Pays-Bas) qui lui permit d'« interroger » la Nature et de comprendre le mouvement des astres de notre système solaire.

Sans cet instrument, il n'aurait pu mener à bien son travail.

Disposer d'instruments de mesures adéquats est fondamental. Cela est particulièrement vrai depuis une soixantaine d'années où certaines expériences, notamment en physique des particules, exigent des moyens énormes. Les accélérateurs de particules s'étendent ainsi sur plusieurs dizaines de kilomètres et les infrastructures nécessaires pour les faire fonctionner sont colossales et sont très onéreuses. Cela implique souvent la collaboration de plusieurs nations sur un projet commun. Dans de nombreux domaines de la physique, l'ère du laboratoire isolé et des expériences artisanales est donc bel et bien révolue.

Nous venons de voir quelques-uns des obstacles que le physicien peut rencontrer dans la démarche expérimentale, mais, parfois, la principale difficulté d'une expérience ne réside ni dans sa faisabilité ni dans sa réalisation. Le plus délicat, avant toute entreprise expérimentale, c'est de s'affranchir de tout préjugé, autrement dit d'oublier le type de résultat que l'on espère obtenir. Sans cette dernière condition, tout le travail effectué pourrait s'avérer inutile pour que les résultats soient correctement interprétés. Un exemple classique de l'histoire de la physique illustre particulièrement cela. Au XIX<sup>e</sup> siècle, c'est à dire à une époque où l'on croyait que la lumière se propageait dans un milieu absolument immobile baptisé « éther », plusieurs physiciens avaient envisagé de mesurer, à l'aide d'expériences d'optique, la vitesse de la Terre par rapport à cet éther. L'expérience d'Albert Abraham Michelson (1852-1931), réalisée en 1881, était la plus précise de toutes mais elle ne permit pas de déceler un quelconque mouvement de l'éther par rapport à la Terre. Cette expérience fut renouvelée en 1887, en équipe, avec Edward Morley (1838-1923) et, à chaque tentative, la vitesse trouvée était nulle. Plusieurs explications furent proposées au cours de la décennie suivante mais aucune d'entre elles ne convint. Et pour cause : comme l'a montré Albert Einstein dans le cadre de sa théorie de la relativité restreinte, aucun milieu matériel n'est absolument immobile et, par conséquent, l'éther n'existe pas ! Ainsi, a-t-il fallu attendre 1905 pour comprendre l'échec apparent de cette expérience... Nous voyons sur cet exemple que les préjugés et présupposés constituent probablement le plus grand des obstacles. Ils sont susceptibles d'entraver ou de compromettre une découverte : une expérience réussie ne suffit pas ; il faut aussi être capable de l'interpréter.

## De l'expérience aux lois

L'interprétation d'une expérience est probablement l'étape la plus difficile du travail d'une physicienne ou d'un physicien. N'oublions pas, en effet, que ce qui guide les scientifiques, c'est la certitude que notre monde peut être compris et qu'il est possible de transcrire son fonctionnement sous forme de lois. En effet, comme le disait Albert Einstein :

*Il est certain que la conviction - apparentée au sentiment religieux - que le monde est rationnel, ou au moins intelligible, est à la base de tout travail scientifique un peu élaboré.*

Le rôle de l'expérience se situe donc à plusieurs niveaux et ses liens avec la théorie sont de nature assez complexe. De façon générale, il convient de se rappeler qu'une expérience ne constitue pas une démonstration : elle ne peut en aucun cas suffire pour justifier une loi. Tout au plus interviendra-t-elle pour confirmer des résultats prévus dans le cadre d'une théorie. À ce titre, le rôle de l'expérience-confirmation n'est pas du même ordre selon qu'il s'agit de vérifier une loi admise par tous ou de valider une théorie nouvelle. Ainsi, lorsqu'un cours de physique débute par une expérience, l'intérêt de cette dernière est essentiellement d'ordre pédagogique. Il en va tout autrement lorsqu'il s'agit de corroborer par l'expérience une théorie qui est encore jugée révolutionnaire. Dans ce cas, l'expérience est là pour conforter la validité de la théorie et son succès pourra permettre de convaincre certains esprits sceptiques. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, la relativité générale, dont Einstein avait publié les lois en 1916, eut ainsi recours à une preuve expérimentale capitale. Nous aurons l'occasion dans ce livre d'évoquer plus en détail ce chapitre important de l'histoire des sciences. À cette époque, la relativité générale, qui redéfinissait totalement les notions classiques d'espace et de temps et qui supposait l'existence d'un espace-temps à quatre dimensions, était relativement mal acceptée : de nombreux scientifiques avaient des doutes quant à sa pertinence. Une preuve expérimentale était attendue pour convaincre ses détracteurs. C'est l'Anglais Arthur Stanley Eddington (1882-1944) qui a pu la fournir en observant, le 29 mai 1919, dans le Golfe de Guinée, au cours d'une éclipse totale, une étoile située derrière le Soleil. Si cette étoile était visible bien qu'elle fût cachée par notre astre, c'est parce que, comme l'avait prévu Einstein, la lumière qu'elle émettait était effectivement déviée par le Soleil, qui était un corps suffisamment massif pour incurver la trajectoire des rayons lumineux. Grâce à cette expérience, Eddington a vérifié expérimentalement ce qui, jusque-là, n'était qu'une théorie très peu intuitive et assez mal diffusée. En 1919, Einstein était déjà célèbre, mais on peut

dire que ce succès expérimental a encore accru sa notoriété. Cet exemple montre comment une expérience peut légitimer une théorie nouvelle et lui permettre d'être acceptée et reconnue du grand public.

En 1919, le but d'Eddington était de confirmer une déduction élaborée dans le cadre d'une théorie. Mais il peut arriver que la place de l'expérience en physique se situe avant la formulation d'une loi. C'est alors par tâtonnements, puis par induction, que le physicien progresse vers la formulation de nouvelles hypothèses, et, comme l'a écrit le philosophe et chimiste anglais Joseph Priestley (1733-1804):

*Des théories même imparfaites suffisent à suggérer des expériences qui viennent corriger leurs imperfections et donnent naissance à d'autres théories plus parfaites.*

L'expérience constitue l'un des grands moyens dont les physiciens disposent pour progresser. Son pouvoir est tel qu'elle est même capable de remettre totalement en cause une théorie. Il suffit, en effet, d'un unique contre-exemple expérimental, d'un seul fait que l'on est incapable de justifier pour que tout l'édifice vacille et que cette dernière s'effondre.

## Physique théorique et physique appliquée

De nos jours, les sciences physiques manient des notions de plus en plus abstraites qui sont parfois mal connues du grand public. Leurs applications, en revanche, sont largement médiatisées puis finissent par faire partie de la vie quotidienne de chacun. Certes, la frontière entre physique et technologie est quelque peu poreuse ; pour autant, ces deux domaines se distinguent grandement : les retombées pratiques ne sont pas la préoccupation principale du physicien théorique dont le but est seulement la connaissance du monde qui l'entoure

Aussi, même si les applications de la physique théorique surprennent souvent par leur portée, il ne faut pas oublier que les applications ne sont pas, *a priori*, ce qui motive les physiciennes et les physiciens théoriques. Par exemple, les chercheurs ne se sont pas initialement intéressés aux semi-conducteurs pour fabriquer des diodes et des transistors : ce qu'ils souhaitaient, au départ, c'était comprendre pourquoi ces corps étaient si spécifiques quant à leurs propriétés électriques. Les applications des semi-conducteurs sont arrivées ultérieurement, et ce n'est que dans un second temps qu'ils ont permis le développement de l'électronique. C'est en ce sens que la physique théorique intéresse aussi l'industrie...

## Physique et mathématiques

Nous évoquerons, enfin, les liens étroits qu'entretient la physique théorique avec les mathématiques. Ils sont assurément tout aussi forts que ceux qu'elle a tissés avec la physique dite « appliquée », mais leur nature est beaucoup plus complexe.

Remarquons, tout d'abord, que le fait que les mathématiques fonctionnent lorsqu'on les applique à la physique ne constitue pas une évidence : la physique étudie la Nature, et, par conséquent, le monde réel, alors que les mathématiques sont le fruit de recherches abstraites basées sur l'utilisation d'un formalisme particulier. Le physicien allemand Werner Karl Heisenberg (1901-1976) écrivait d'ailleurs à ce sujet :

*L'idée que les mathématiques puissent en quelque sorte s'adapter à des objets de notre expérience me semble remarquable et passionnante.*

Il est, effectivement, légitime de s'étonner que la physique emploie autant de mathématiques et que ces dernières soient utilisables dans le cadre de cette science expérimentale.

Les dérivées, les vecteurs, les matrices sont l'œuvre des mathématiciens. Mais qui pourrait envisager aujourd'hui de mener des travaux de physique sans utiliser ces outils ? Dès lors, faut-il considérer les mathématiques comme un langage grâce auquel s'exprimeraient les lois de la physique ? Cette opinion a notamment été défendue par Galilée qui estimait que la Nature, elle-même, était « écrite en langue mathématique ». D'autres physiciens n'allèrent pas aussi loin que lui. Ils considéraient simplement que l'utilisation des mathématiques était l'unique moyen que l'homme avait trouvé pour rendre compréhensibles les lois de la physique. Ainsi, d'après le mathématicien et physicien Henri Poincaré (1854-1912) :

*Les mathématiques fournissent au physicien la seule langue dont il peut se servir pour traduire les subtilités qu'il souhaite exprimer.*

Peut-on, pour autant, conclure que les mathématiques ne sont, pour la physique, qu'un simple langage ?

Savoir parler une langue et maîtriser parfaitement la rhétorique ne permettent pas de rédiger un roman : il faut, en outre, posséder des idées et les mots ne sont là que pour traduire ces dernières. Ainsi, si les mathématiques étaient uniquement un langage, alors leur seule pratique ne suffirait pas pour découvrir de la physique. Or l'histoire des sciences est là pour prouver le contraire comme l'illustrent la découverte du positron (antiparticule de l'électron) et celle de l'antiproton (antiparticule du proton) qui furent imaginés mathématiquement avant d'être

détectés expérimentalement. En effet, dès 1929, le Britannique Paul Dirac (1902-1984) avait envisagé leur existence tandis que l'Américain Robert Oppenheimer (1904-1967) avait précisé leurs caractéristiques en résolvant l'équation établie par Dirac. Or, il a fallu attendre 1932 pour que le positron soit détecté expérimentalement dans le rayonnement cosmique et 1955 pour que l'antiproton soit identifié. Le positron et de l'antiproton ont donc été, dans un premier temps, des entités hypothétiques « mathématiquement nécessaires » avant que celles-ci ne soient, dans un second temps, détectées expérimentalement.

On voit sur cet exemple que les mathématiques peuvent jouer un rôle bien plus fondateur que celui d'un simple langage. On ne saurait donc les cantonner à ce seul rôle. Le philosophe des sciences Gaston Bachelard (1884-1962) exprimait ce point de vue quand il écrivait :

*Il faut rompre avec ce poncif cher aux philosophes sceptiques qui ne veulent voir dans les mathématiques qu'un langage. Au contraire, la mathématique est une pensée, une pensée sûre de son langage.*

L'analyse du lien entre physique et mathématiques est complexe. Elle est encore aujourd'hui à l'origine de nombreux travaux d'épistémologie. Il est donc légitime de se demander si l'on peut réellement parler de physique sans utiliser les mathématiques. Cet ouvrage propose une approche historique pour introduire les grands concepts de la physique : il s'agit d'aborder, sous ce prisme, des anecdotes et des courants d'idée qui ont façonné notre culture scientifique. Les lectrices et les lecteurs qui souhaiteront aller plus loin dans le maniement de certains concepts physiques pourront, dans un second temps, revisiter ces notions sous un angle plus mathématisé. Des suggestions de lectures complémentaires leur seront proposées en fin d'ouvrage.