

# La physique : une science expérimentale qui étudie la Nature

---

## Comprendre la Nature

En grec *phusis* signifie « Nature ».

Ainsi, si l'on se réfère à l'étymologie, la physique se définit comme la science des phénomènes naturels. Le physicien est donc celui qui étudie le mouvement des astres, la propagation des ondes lumineuses ou sonores ou qui analyse 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. 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. D'Archimède à Einstein, ces hommes et ces femmes qui ont bâti notre physique partageaient la même curiosité exacerbée : ils souhaitaient comprendre le monde qui les entourait. C'est forcément

l'un des leurs qui parle le mieux de leur courage, de leur obstination et de leur acharnement. C'est pourquoi, pour illustrer notre propos, nous citerons l'un des pères de la physique moderne, Louis de Broglie : « 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. En fait, une théorie est susceptible d'être ébranlée chaque fois qu'elle a des difficultés pour expliquer un fait nouveau. Nous verrons dans ce livre 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. Mais 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.

---

## L'expérience en physique

« 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, Antoine Augustin Cournot 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 fixer au préalable les conditions dans lesquelles il souhaite travailler puis il effectuera ses mesures. Lorsque 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 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 lui était possible de collecter des données, mais ses expériences étaient particulièrement tributaires des conditions atmosphériques ! Certes la mise en orbite du satellite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) permet depuis peu de s'affranchir de ces problèmes puisqu'à bord de cet observatoire extra-terrestre il est désormais possible de réaliser des éclipses artificielles à volonté. Rappelons-nous toutefois que les choses ne sont pas simples pour l'astronome en matière d'expérimentation !

Les autres branches de la physique sont moins concernées par ce type de problèmes et le physicien peut généralement travailler dans les conditions expérimentales qu'il a lui-même définies. Pour autant, une expérience n'est pas toujours facile à mettre en œuvre et de nombreux obstacles s'élèvent au cours de sa réalisation.

Évoquons tout d'abord la question des instruments de mesure et prenons l'exemple de Galilée qui révolutionna l'astronomie. Ce physicien était incontestablement exceptionnel. 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. Ainsi, pour travailler le mieux possible, faut-il disposer d'instruments adéquats. Cela est particulièrement vrai de nos jours 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 leur coût exorbitant. Cela implique parfois 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 d'ores et déjà révolue !

Mais 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.

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 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. 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 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 présumés constituent probablement le plus grand des obstacles. Ils sont susceptibles d'entraver ou de compromettre une découverte. Ainsi, l'expérience seule ne suffit pas. Encore faut-il être capable de l'interpréter.

---

## Élaboration d'une théorie

L'interprétation d'une expérience est probablement l'étape la plus difficile du travail d'un physicien. L'exemple précédent permet de s'en convaincre. Mais cette étape est aussi la plus importante. N'oublions pas en effet que ce qui guide ce dernier, c'est la certitude que notre monde peut être compris et qu'il est possible de transcrire son fonctionnement sous forme de lois. Et 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 à plusieurs niveaux et ses liens avec la théorie sont de nature assez complexe. De façon générale il convient de ne jamais oublier 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'agisse 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. Son seul but est en effet

de montrer aux élèves que la loi qu'ils vont étudier dans le cadre de la leçon du jour est bien vérifiée expérimentalement. 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 siècle précédent, la relativité générale – dont Einstein avait publié les lois en 1916 – eut ainsi recours à une preuve expérimentale. Nous aurons l'occasion dans ce livre d'évoquer plus en détail ce chapitre de l'histoire des sciences. Au début du XX<sup>e</sup> siècle la relativité générale, qui redéfinissait totalement les notions classiques d'espace et de temps et qui parlait d'un espace-temps à quatre dimensions, était relativement mal acceptée : de nombreux scientifiques avaient des doutes quant à l'exactitude de cette théorie. À cette époque, une preuve expérimentale était nécessaire pour convaincre (cf. page 198). C'est l'Anglais Arthur Stanley Eddington 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. Eddington venait donc de vérifier 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. Comme l'écrivait le chimiste anglais Joseph Priestley : « 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.

## Une science en lien avec d'autres domaines

Aujourd'hui, les sciences physiques manient des notions de plus en plus abstraites qui sont souvent mal connues du grand public. Leurs applications en revanche sont largement médiatisées puis finissent par faire partie de notre vie quotidienne. Ainsi, nombreux sont ceux qui confondent encore physique et technique. Pourtant, ces deux domaines sont bien différents : les retombées pratiques ne sont pas la préoccupation principale du physicien 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 de quelles motivations cette dernière est le fruit. À l'origine, les physiciens ne se sont pas intéressés aux semi-conducteurs uniquement pour fabriquer des diodes et des transistors : ils souhaitaient avant tout comprendre pourquoi ces corps étaient si spécifiques quant à leur conductivité électrique. Les applications arrivent donc en général plus tard, et c'est en ce sens que la physique théorique intéresse aussi l'industrie.

---

### Physique et mathématiques

Les liens qu'entretient la physique théorique avec les mathématiques sont assurément tout aussi forts que ceux qu'elle a tissés avec la physique dite appliquée, mais leur nature est beaucoup plus complexe. *A priori*, le fait que les mathématiques fonctionnent lorsqu'on les applique à la physique ne constitue pas une évidence. Rappelons que 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 Werner Karl Heisenberg écrivait lui-même : « L'idée que les mathématiques puissent en quelque sorte s'adapter à des objets de notre expérience me semble remarquable et passionnante. » Ainsi est-il légitime de s'étonner que la physique emploie tant 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 faire de la physique sans utiliser ces outils ? Dès lors, ne faudrait-il pas 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 (cf. page 38). D'autres physiciens n'allaient 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. Dans cette optique, le mathématicien Henri Poincaré pensait que les mathématiques fournissaient au physicien la seule langue dont il pouvait se servir pour traduire les subtilités qu'il souhaitait exprimer.

Mais 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 n'étaient vraiment qu'un langage leur seule pratique ne suffirait pas pour découvrir de la physique. Or l'histoire est là pour prouver le contraire. Nous choisirons un seul exemple pour illustrer cela : il s'agit de la découverte du positron (antiparticule de l'électron) et celle de l'antiproton (antiparticule du proton). L'existence de ces deux antiparticules avait été prédite de façon théorique dès 1929 par Paul Dirac (cf. page 241) et leurs caractéristiques précisées par Julius Robert Oppenheimer en résolvant l'équation établie par Dirac en 1927. 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 étaient mathématiquement nécessaires et c'est pour cela que leur existence a pu être prévue bien avant qu'on ne dispose d'une preuve expérimentale.

Il semble donc que les mathématiques puissent 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 considérait d'ailleurs qu'il fallait « rompre avec ce poncif cher aux philosophes sceptiques qui ne veulent voir dans les mathématiques

qu'un langage ». Il était convaincu au contraire que la mathématique était une pensée, « une pensée sûre de son langage. »

L'analyse du lien entre physique et mathématiques est à l'origine de nombreux travaux d'épistémologie et de nombreuses études pédagogiques. Il semble qu'une tendance actuelle vise à « démathématiser » l'enseignement de la physique dans les classes de lycée afin d'évoluer vers une démarche qui serait plus intuitive. Ceux qui combattent cette orientation la jugent utopique. Ils estiment en effet qu'elle renie la nature fondamentale du lien qui unit ces deux sciences. Le débat soulevé montre que le problème épistémologique que nous venons d'évoquer est encore d'actualité.

---

## Physique et philosophie

Tout physicien qui prétend comprendre notre monde pour élaborer des théories physiques doit être convaincu de la faisabilité de la démarche qu'il entreprend. Il doit donc croire que l'esprit de l'homme est capable de penser et de conceptualiser les lois de la Nature. Il est vrai que depuis le début du siècle dernier, la physique moderne met l'esprit des hommes à rude épreuve : certains concepts de probabilité ou d'espace-temps à quatre dimensions sont, par exemple, extrêmement difficiles à appréhender. On peut aussi s'interroger sur la capacité de l'esprit humain à concevoir de quelque manière que ce soit la notion d'infini.

Aujourd'hui encore, les philosophes et astrophysiciens partagent bon nombre d'interrogations communes sur les problèmes de contingence et de finalité, notamment lorsqu'ils font porter leur réflexion sur la cosmogonie et s'intéressent à l'origine de l'univers. Les liens entre physique et philosophie revêtent ainsi une importance fondamentale.

---

## Physique et sciences de la vie

Le fait que la matière vivante soit encore exclue du domaine de la physique se justifie davantage par une tradition ancienne que par l'existence d'une frontière immuable entre ces deux domaines. L'essor de la biophysique montre d'ailleurs à quel point ces deux domaines sont aujourd'hui liés. Actuellement, dans le cadre de la biologie