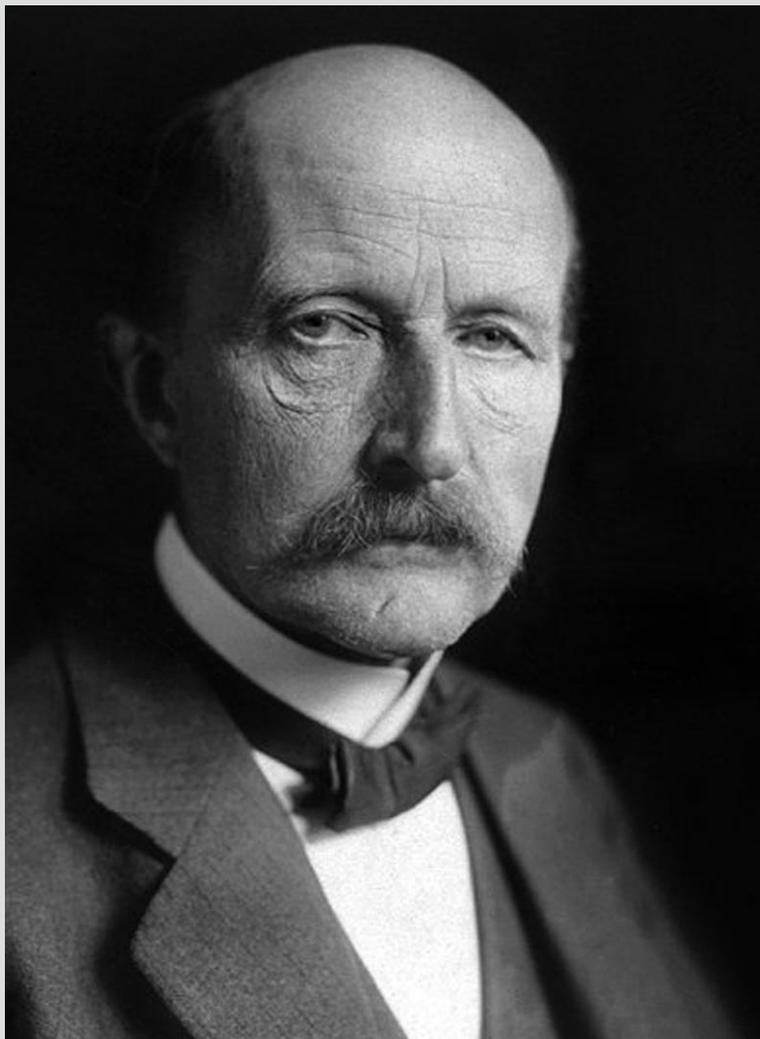


# Physique quantique : le défi de Planck non relevé

CAROLINE HARTMANN

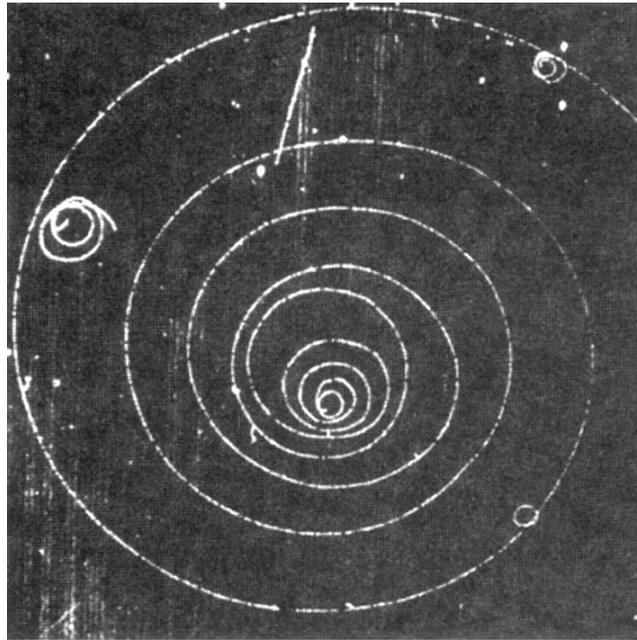


**La théorie quantique officielle laisse toujours sans réponses les interrogations fondamentales posées par la découverte de Planck, il y a plus d'un siècle. Quelle est la structure de l'atome, et comment celui-ci produit-il les résultats mesurés par la constante de Planck ?**

**L**e 14 décembre 1900, lors d'un discours devant la Société de l'empereur Guillaume à Berlin, le physicien allemand Max Planck (1858-1947) annonça sa découverte d'une nouvelle formule pour le rayonnement, permettant de décrire toutes les irrégularités observées quand la matière est chauffée et qu'elle commence à rayonner de la chaleur de différentes couleurs. Toutefois, sa nouvelle formule reposait sur une hypothèse importante : l'énergie de ce rayonnement n'est pas continue mais apparaît uniquement en paquets d'une certaine quantité. La difficulté résidait dans la façon dont on pouvait rendre physiquement intelligible l'hypothèse qui sous-tend cette formule. D'ailleurs, ces « paquets » d'énergie, qui ne sont pas constants puisqu'ils varient proportionnellement avec la fréquence d'oscillation (loi du déplacement de Wien), que sont-ils vraiment ?

Dans sa célèbre et bien documentée biographie de Max Planck, John Heilbron\* décrit les deux visions du monde qui se sont affrontées à partir de là et qui ont façonné le débat scientifique sur cette question. D'un côté, l'hypothèse partagée par Planck, grand admirateur de Leibniz, selon laquelle la Nature est gouvernée par un principe de raison plus élevée et de causalité légitime ; de l'autre côté, l'émergence d'une croyance quasi mystique en une « loi éternelle de probabilité ».

Au début, la découverte de Planck a stimulé les imaginations et provoqué un véritable déferlement d'interprétations diverses. La grande question était de savoir si le rayonnement doit être plutôt considéré comme une onde ou s'il est constitué de simples particules portant une quantité d'énergie distincte. Les expériences semblaient démontrer les deux. De nombreux arguments militaient en faveur de l'onde. Dans l'expérience de la double fente, par exemple, la lumière ou les micro-ondes franchissent deux fentes disposées très proches l'une de l'autre et produisent sur un écran des figures caractéristiques des phé-



La trace laissée par des électrons lorsque ceux-ci passent à travers une chambre à bulle, nous suggère que l'électron est une particule.

nomènes ondulatoires – diffraction, réflexion et interférence. Dans d'autres expériences, on peut observer, comme dans une chambre à bulle, une véritable trace ou chemin d'une simple particule. On se trouvait face à un véritable paradoxe !

Depuis les travaux de Planck, les physiciens se sont efforcés de trouver une explication pertinente pour cette contradiction apparemment insoluble. Erwin Schrödinger a imaginé une solution possible, proposée à l'origine par Louis de Broglie, en supposant l'existence d'une sorte d'onde de matière. C'est sur la base de cette théorie, considérant chaque particule comme le centre d'une émission d'onde, que l'on a pu aboutir aux applications pratiques en physique des lasers.

## L'école de Copenhague

L'école de Copenhague, inspirée par les travaux de Niels Bohr, représentait le point de vue opposé à Planck. Elle a simplement essayé d'éviter le paradoxe en le considérant comme un résultat statistique d'événements aléatoires. Ainsi, la nature est vue comme une formidable accumulation de circonstances hasardeuses, ce qui a aussi constitué les fondements de la théorie statistique des gaz de Robert Clausius et de la thermodynamique de Ludwig Boltzmann. C'est le jeune génie mathématicien Werner Hei-

senberg, à la demande de Bohr, qui a développé la représentation mathématique de l'approche défendue par l'école de Copenhague. Pourtant, il avait presque échoué à l'examen de physique expérimentale car son professeur, Wilhelm Wien, remarqua que Heisenberg ne savait pas grand-chose sur l'aspect expérimental de la nature !

Bohr et ses acolytes sont parvenus à la désormais fameuse théorie quantique, que Planck appelait toujours de façon dénigrante sous le terme « mécanique matricielle ». Il est en effet difficile de croire sérieusement que toutes les structures géométriques de la nature ou la beauté complexe des structures vivantes ne soient le résultat que de mouvements aléatoires d'atomes et de plus petites particules.

Il existe de nombreuses raisons, la plupart tragiques, qui expliquent pourquoi la théorie quantique est devenue l'explication communément admise. La Première Guerre mondiale, et plus encore la Deuxième Guerre mondiale, ont détruit une grande partie des capacités en physique expérimentale en Europe et surtout en Allemagne, où étudiants et professeurs ont été mobilisés dans l'armée. De nombreux physiciens ont quitté l'Allemagne soit parce qu'ils étaient juifs, soit parce qu'ils ne supportaient plus la situation politique. C'est ainsi qu'après la guerre, la division entre science expérimentale et science théorique s'est fortement accentuée.

\* John L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man - Max Planck and the Fortunes of German Science*, 2ème édition, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 2000.

## Le hasard n'est pas une cause

Comment peut-on s'interroger sur le fonctionnement de la nature, quand on croit profondément que les phénomènes ne sont régis que par les lois de la probabilité ? C'est pourtant, aujourd'hui, la pensée dominante, qu'il s'agisse des trous noirs, du mythique Big Bang ou bien du réchauffement global. Or décrire la nature exclusivement à l'aide de *modèles* ne peut jamais expliquer un phénomène réel ; ces modèles ne révèlent jamais la vérité, même si une grande partie des journalistes ignorants prennent ces modèles pour seule référence. Pire encore, on passe sous silence des résultats expérimentaux qui contredisent le « modèle » accepté des scientifiques.

Max Planck, un homme de grande sagesse et donc un véritable scientifique, a reconnu la nécessité d'identifier les véritables problèmes importants à résoudre, et de les distinguer des nombreux « faux problèmes » (*Scheinprobleme*) qui apparaissent en science comme dans tous les domaines de recherches. Planck n'a jamais trouvé de solution au paradoxe mais son attachement à la recherche de la vérité était trop fort pour abandonner et accepter un compromis facile. Il savait que

chaque fois que l'on est confronté à un problème apparemment insoluble dans la nature, une réalité supérieure plus complexe doit se trouver cachée derrière ; en d'autres termes, il doit exister une « géométrie de l'Univers » différente de celle que l'on concevait auparavant. Planck insistait toujours, par exemple, sur le fait qu'il fallait rétablir la validité des équations de Maxwell car la physique avait atteint un point où les lois dites « classiques » n'étaient plus universellement valides.

Il a dédié toute sa vie à montrer aux physiciens comment traquer les problèmes décisifs, ou significatifs, dans la nature. Il faisait souvent remarquer que trouver la raison de l'existence des « constantes universelles » de la nature constitue l'objectif principal de toutes recherches en physique ou en chimie. Il a d'ailleurs découvert une constante entièrement nouvelle que l'on appelle aujourd'hui la *constante de Planck* – le *quantum d'action* – qui est symbolisé par la lettre *h* dans l'équation de l'énergie de la matière rayonnante ;

$$E = h \nu,$$

(où *E* est l'énergie,  $\nu$  la fréquence du rayonnement et *h* la constante de Planck).

En poussant ses recherches au-delà, on découvre derrière ces constantes fondamentales un monde entier de secrets de la na-

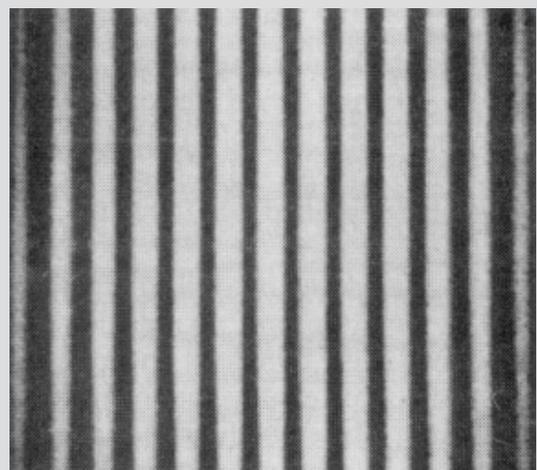
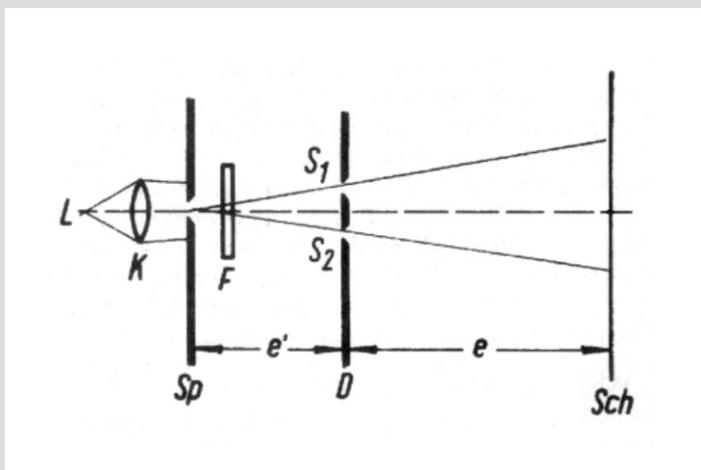
ture concernant la gravitation, la charge électrique élémentaire, etc. Déjà dans sa jeunesse, Planck avait découvert cette vérité quand il écrit que ces relations « *gardaient leur importance, indépendamment de toute matière ou substance particulière, et sont nécessaires pour tous les temps, et même pour des cultures extraterrestres ou extrahumaines* ».

## Les idées sont déterminantes

En quoi la découverte de Planck du *quantum d'action* est-elle fondamentale et que se cache-t-il derrière cette constante naturelle ? Pour comprendre son rôle dans la constitution de la matière, des atomes des molécules, nous devons maintenant nous pencher sur l'histoire de la recherche sur le rayonnement qui précéda la découverte majeure de Planck.

Jusqu'en 1832, les physiciens avaient une étrange conception des rayonnements. Le physicien écossais David Brewster était celui qui défendait avec le plus d'ardeur l'idée selon laquelle il existe trois types de rayonnement, chacun différent des autres quant à leur propriété de réflexion et leur nature fondamentale : d'abord, il y a la lumière que l'on peut voir dans les émissions solaires ou dans

↳



Quand un faisceau d'électron passe à travers deux fentes étroites, on arrive à montrer que les électrons sont de nature ondulatoire et qu'ils se comportent comme des rayons lumineux. Le schéma (à gauche) montre comment un faisceau focalisé de lumière, passant les deux fentes étroites *S1* et *S2*, projette une image sur l'écran à droite. On peut de cette manière observer les propriétés d'interférence. L'image est alternativement claire et sombre (à droite) car la lumière est formée d'ondes qui, successivement, s'additionnent et s'annulent, comme des vagues à la surface de la mer.

↳



## Planck sur les faux problèmes en science

Dans un discours donné en 1946 à l'université de Göttingen, Max Planck a soulevé le problème qu'il appelle « Scheinprobleme » – faux problèmes. Nous publions ci-dessous certains extraits de ce discours avec, entre crochets, quelques commentaires de Caroline Hartmann. (« Les faux problèmes de la science », in *Autobiographie scientifique et derniers écrits*, Max Planck, André George, 1960.)

Le monde regorge de problèmes. Où que nous regardions, quelque problème nouveau surgit pour frapper nos yeux, dans notre vie personnelle aussi bien que dans notre activité professionnelle ou dans nos affaires, au royaume des questions économiques tout comme dans le domaine technique, et dans les arts tout de même que dans la science. Et certains problèmes sont vraiment obsédants : ils se refusent rigoureusement à nous laisser en paix. La torture de notre esprit peut quelquefois atteindre un tel degré que nos pensées nous hantent à longueur de journée, et nous dérobent même le sommeil de nos nuits. Et si par quelque heureuse chance nous réussissons à résoudre un tel problème, nous éprouvons un sentiment de délivrance et nous nous réjouissons d'avoir accru les richesses de notre savoir. Mais c'est une tout autre histoire, et une impression aussi désagréable que possible, de découvrir après une longue durée de labeur et d'efforts, que le problème dont notre esprit a été la proie ne peut absolument recevoir aucune espèce de solution, soit parce qu'il n'existe aucune méthode certaine de le débrouiller, soit parce que, considéré à la froide lumière de la raison, il apparaît comme absolument vide de sens : en d'autres termes parce que c'est un *faux problème* [*Scheinprobleme*], et qu'ainsi tout ce travail mental et cet effort ont été dépensés pour un pur néant. Il y a beaucoup de ces faux problèmes – à mon avis, singulièrement plus qu'on ne le soupçonnerait communément, – au royaume même de la science.

Il n'y a pas de meilleure sauvegarde contre les déplorables expériences de ce genre que de s'assurer en chaque occurrence et tout à fait au début si le problème considéré est un problème véritable, d'une signification réelle, et si l'on peut en espérer la solution. Pour fixer les idées je voudrais citer et examiner un certain nombre de problèmes, afin de voir s'ils ne finissent par nous apparaître simplement comme de faux problèmes. Ce faisant, je pense pouvoir rendre un service véritablement utile à quelques-uns d'entre vous. Mon choix de ces problèmes que l'on peut prendre comme spécimens ne se fonde pas sur quelques points de vue systématiques et moins encore peut-il prétendre à épuiser le sujet d'une manière quelconque. La plupart d'entre eux sont tirés du domaine des sciences, parce que c'est l'ordre d'idées où les facteurs décisifs sont le plus clairement discernables. Cependant, cette considération ne me détournera pas de toucher également à d'autres terrains pour autant que je puisse raisonnablement présumer que le sujet garde encore quelque intérêt pour vous.

Pour décider si oui ou non un problème donné offre une signification certaine, nous devons d'abord examiner rigoureusement les suppositions que renferme son énoncé. [...] Un exemple limpide est le fameux problème du mouvement perpétuel, c'est-à-dire le problème consistant

à fabriquer un appareil fonctionnant périodiquement et accomplissant à perpétuité un travail mécanique sans aucune espèce de changement dans la nature. Comme l'existence d'un tel appareil contredirait le principe de la conservation de l'énergie, il est impossible que cet appareil se présente dans la nature, de sorte qu'il ne peut s'agir que d'un faux problème. On peut faire le raisonnement suivant : « Le principe de la conservation de l'énergie, après tout, est une loi expérimentale. Donc, bien qu'aujourd'hui on le tienne pour universel et embrassant tous les cas possibles, sa validité pourrait quelque jour se voir restreinte, – et en fait une telle atteinte à son universelle applicabilité a été parfois soupçonnée en physique nucléaire ; de sorte que le problème du mouvement perpétuel pourrait alors devenir tout à coup un vrai problème. Donc son défaut de signification ne saurait être absolu. [...]

[...] il y a beaucoup de faux problèmes qui sont indubitablement destinés à demeurer tels pour toujours. L'un d'entre eux, par exemple, est celui qui a réussi à accaparer l'esprit d'un grand physicien pendant bien des années : l'étude des propriétés mécaniques de l'éther luminifère. Le défaut de sens, pour ce problème, découle de ses prémisses fondamentales, lesquelles postulent que les vibrations lumineuses sont d'une nature mécanique. Ces prémisses sont erronées, et le resteront toujours. [...]

Mon premier exemple est un faux problème, dont je vous prie de me pardonner la banalité. La salle où nous nous trouvons assis en ce moment a un mur de chaque côté, un à ma droite et un à ma gauche. Pour vous, voici le côté droit, pour moi qui suis assis en face de vous, voilà au contraire le côté droit. Le problème est alors : quel est le côté qui est en réalité le côté droit ? Je sais bien que cette question semble ridicule, mais j'ose cependant l'appeler le type même d'une multitude de problèmes qui ont été et demeurent partiellement encore le sujet de débats très sérieux et savants, à la simple différence que la situation n'est pas toujours si parfaitement claire. L'exemple prouve, dès le tout début, quelles grandes précautions il importe de prendre dans l'usage du mot *réel*. En de nombreuses occurrences, le terme ne garde quelque sens que si l'interlocuteur définit clairement d'abord le point de vue sur lequel il fonde ses considérations. Autrement, les mots *réel* ou *réalité* restent souvent vides de sens et équivoques. [...]

Autre exemple encore, tiré celui-ci du domaine de la physique moderne. Lorsque le comportement d'un électron en mouvement est étudié à l'aide d'un microscope électronique, l'électron apparaît comme une particule suivant une trajectoire déterminée. Mais, si on fait passer l'électron à travers un cristal, l'image projetée sur l'écran offre toutes les caractéristiques d'une onde lumineuse réfractée. La question de savoir si l'électron est en réalité une particule qui occupe une certaine position dans l'espace à un certain temps, ou au contraire une onde emplissant tout l'espace infini, constituera donc un faux problème tant que nous manquons à stipuler lequel des deux points de vue est mis en jeu dans l'étude du comportement de l'électron. [...]

Nous allons maintenant considérer un problème qui fut toujours regardé comme d'une importance essentielle, à cause de sa signification pour la vie humaine, – le fameux problème des rapports entre le corps et l'esprit. En un

un corps incandescent ; ensuite, la chaleur – le rayonnement thermique – que l'on peut sentir, par exemple quand on est à proximité d'un morceau de fer chauffé ; enfin, les rayonnements qui se produisent lors de processus chimiques.

Le physicien français André-Marie Ampère a introduit davantage de raison dans ce débat, en affirmant que la lumière n'est rien d'autre que le rayonnement thermique visible, et que bien d'autres types de rayonne-

ment trouvent leur origine dans un même processus. L'œil humain peut donc voir le rayonnement que dans un certain spectre lumineux, ce qui n'est pas possible pour les rayonnements à d'autres fréquences.

Lentement mais sûrement, l'hypothèse d'Ampère s'est imposée. Nous voyons là un exemple de l'importance cruciale de l'idée – l'hypothèse – dans la recherche scientifique car, sans l'idée d'Ampère, les scientifiques auraient continué sur une fausse

piste pendant longtemps, comme c'est souvent le cas aujourd'hui avec l'élaboration de simples « modèles » de phénomènes.

L'hypothèse d'Ampère a ouvert une toute nouvelle voie pour la physique expérimentale. Celle-ci a permis l'émergence d'une longue tradition scientifique, comprenant entre autres Heinrich Hertz, Philipp Lenard, Otto Lummer, Ernst Pringsheim, Marie Curie, Lise Meitner et Otto Hahn. Pour com-



pareil cas, nous devons essayer avant tout de préciser le sens de notre problème. Il existe en effet des philosophes qui prétendent que les processus mentaux n'ont aucunement besoin d'être accompagnés de processus physique mais qu'ils ont lieu d'une façon entièrement indépendante de ces derniers. Si cette vue est exacte, les processus mentaux sont soumis à des lois radicalement différentes de celles qui s'appliquent aux processus physiques. S'il en est bien ainsi, le problème des rapports du corps à l'esprit se scinde alors en deux problèmes séparés, – le problème du corps et le problème de l'esprit, – de sorte que le problème initial perd de son sens et dégénère en un faux problème. Cette conclusion conduit à considérer le sujet comme bien précisé et nous n'avons à nous occuper que de l'interaction réciproque du processus mental et du processus physique. L'expérience montre qu'ils sont très étroitement unués l'un par l'autre. Supposons par exemple que quelqu'un me pose une question. Sa question est introduite par un processus physique : les ondes sonores qu'il émet en proférant ses paroles se propagent, frappent mes oreilles et sont transmises à mon cerveau par l'intermédiaire des nerfs sensoriels. Telle est la cause des processus mentaux qui se déroulent dans mon cerveau, c'est-à-dire la réaction sur le sens des mots perçus, suivie d'une décision qui forme le contenu de la réponse que je dois donner. [...]

Mais alors, quelle est la nature du rapport entre le processus physique et le processus mental ? Les processus mentaux sont-ils causés par les processus physiques ? Et dans ce cas, selon quelles lois ? Comment quelque chose de matériel peut-il agir sur quelque chose d'immatériel et vice versa ? Il est bien difficile de répondre à toutes ces questions. [...]

[A partir de là, Planck se lance dans une longue discussion sur les fondements de ce problème et examine la théorie du parallélisme. Il s'agit de l'hypothèse selon laquelle l'esprit et le corps sont indépendants l'un de l'autre, chacun obéissant à ses propres lois et les liens entre eux s'établissent, comme le pensait Gottfried Wilhelm Leibniz, selon une « harmonie préétablie ». Celle-ci gouverne en fait tous les esprits doués de raison, dans le domaine le plus élevé des idées et de la raison l'esprit ; cette idée est proche de ce que Johannes Kepler appelle l'« esprit de l'Univers ».

[Planck note que nous savons que les processus mentaux peuvent avoir un impact énorme sur le monde physique, « à la manière d'une légère brise déclenchant quelque chose qui va s'enfermer en une puissante avalanche, ou d'une minuscule étincelle qui fera exploser un énorme

magasin de poudre. » Nous pourrions essayer d'étudier ces forces mais seulement si l'on fait confiance aux états conscients de notre esprit, « car il n'existe pas de science de l'esprit inconscient ou subconscient. Il y aurait là une contradiction dans les termes, une contradiction interne. On ne sait pas ce que c'est que le subconscient. Par conséquent, tous les problèmes concernant le subconscient sont de faux problèmes ». Et Planck continue : « La situation devient tout à fait différente et plus compliquée, si la faculté de connaître et celle de sentir sont jointes par un acte de volonté. En ce cas, en effet, nous nous trouvons en présence de l'antique dilemme du libre arbitre ou de la volonté opposé au principe de causalité. [...]

« [...] La volonté est-elle libre, jouissons-nous du libre arbitre, ou notre volonté obéit-elle au déterminisme ? »

[A ce point, la confusion qu'a créée Planck dans l'auditoire pouvait seulement être levée en considérant le problème d'un point de vue supérieur. Cependant, il persiste à examiner le problème seulement d'un point de vue objectif et formel, celui qui est perçu comme « scientifique ». Il se demande si l'on peut dire que quelqu'un est « libre » quand il arrive à examiner ses propres décisions. Il fait remarquer qu'il serait en fait seulement possible d'examiner les décisions du passé.

[D'une certaine manière, tout cela est vrai mais sans toucher au point crucial. Comme Planck ne considère pas un point de vue supérieur, il nous laisse avec une conception libérale de la liberté. Creusant davantage pour établir une définition correcte de la « liberté », il soulève différents cas de prise de décision, certaines après une longue et raisonnable délibération, d'autres avec de bonnes intentions ou, dans le pire des cas, en réaction à la rage. Hélas, la plupart des scientifiques d'aujourd'hui, ainsi qu'une bonne partie de la population, ne considèrent pas l'idée selon laquelle les êtres humains ont la capacité d'être libres dans un sens plus élevé, c'est-à-dire en cherchant et découvrant continuellement les lois de l'Univers, et en essayant de « synchroniser » leur volonté à cette « courbure ». Cela n'a rien à voir avec la causalité ou la détermination. Comme une planète qui « sait » toujours où aller même si sa trajectoire est en réalité très différente et non linéaire à chaque instant, un être humain devient véritablement libre que quand il s'engage dans ce processus continu de recherche et de découverte.

[Finalement, Planck revient à son thème principal et offre une solution permettant de savoir quels problèmes sont véritablement significatifs et lesquels sont des faux problèmes. Ces phrases remarquables sont celles citées à la conclusion de cet article.]

prendre les développements qui ont mené à l'hypothèse révolutionnaire de Planck, nous devons passer en revue rapidement les percées fécondes de Robert Wilhelm Bunsen et Gustav Kirchhoff. Après la découverte d'Ampère, Bunsen et Kirchhoff ont mené des expériences avec toute une variété d'éléments afin d'analyser leur spectre, c'est-à-dire les couleurs caractéristiques que chaque élément émet lorsqu'on le chauffe. Ils ont utilisé un dispositif simple conçu par Bunsen – le « brûleur Bunsen » ou « bec Bunsen » – qui permet de régler la quantité d'oxygène amenée à une flamme de gaz afin de maîtriser la température de la combustion. Grâce à ces expériences, il a été possible de déduire les éléments présents dans le Soleil par une analyse spectrale de la lumière solaire, ce que l'on appelle les « raies de Fraunhofer » d'après le nom de leur découvreur Joseph von Fraunhofer. Bunsen et Kirchhoff ont aussi mis en évidence un nouveau phénomène étrange qui n'est toujours pas à ce jour compris. Bunsen et Kirchhoff ont décrit leur découverte dans l'essai intitulé *Über das Verhältnis zwischen dem Emissions- und Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht* (Sur la relation entre les capacités d'émission et d'absorption des corps en fonction de la chaleur et de la lumière, Leipzig, 1859-1862) : « Lorsqu'un corps donné, un fil de platine par exemple, est chauffé lentement, il commence à une certaine température à émettre des rayonnements d'une longueur d'onde supérieure à celle de la lumière visible. A une certaine température, des raies dans le spectre infrarouge sont émises. Ensuite, lorsque la température monte, des raies de longueur d'onde plus courte commencent à apparaître, de telle sorte qu'à chaque température, des raies d'une certaine longueur d'onde s'ajoutent alors qu'augmente l'intensité des rayons de longueurs d'onde plus grandes. [...] De là, il découle [...] que tous les corps, quand leur température monte lentement, se mettent à émettre des rayons de même longueur d'onde. Cela signifie qu'à la même température, les corps rougeoient puis, quand toutes les parties ont atteint une température plus élevée, ils envoient des rayons jaunes, et ainsi de suite. Toutefois, l'intensité des rayons d'une certaine longueur d'onde, que les corps à la

*même température émettent, peut être très différente. [...] »*

## Le rayonnement du corps noir

Afin de mieux expliquer ces phénomènes, Kirchhoff a conçu une certaine forme idéale que l'on appelle aujourd'hui le « rayonnement du corps noir » ou *Hohlraumstrahler*. Il la décrit de la manière suivante : « Lorsqu'une pièce est fermée par des murs à la même température et, en même temps, qu'aucun rayonnement ne peut pénétrer dans la pièce, alors chaque paquet d'énergie dans la pièce aura la même qualité et intensité, comme s'il provenait d'un corps noir à la même température ; son énergie est donc indépendante de la condition et de la forme du corps, et dépend seulement de sa température. La véracité de cette affirmation peut être établie quand on considère qu'un paquet de raies de même forme mais en direction opposée, sera totalement absorbé par les réflexions infinies dans le corps noir. A l'intérieur d'un corps creux, opaque et incandescent, à une certaine température, nous trouvons ainsi toujours la même intensité, peu importe les autres conditions de ce corps. »

En considérant de tels phénomènes réguliers dans la nature, on peut se sentir quelque peu perplexe car les résultats semblent contrarier notre expérience habituelle. Imaginez un instant que votre voiture ait un réservoir d'essence de 40 l et s'arrête toujours exactement après 300 km, quelle que soit la quantité d'essence que vous ayez mise. Au premier abord, vous penseriez que votre réservoir a une fuite. Mais si votre garagiste, après une révision complète, vous dit que tout est en ordre, vous risquez de vous sentir mal à l'aise par rapport à cette constante. « Il y a quelque chose qui cloche... le réservoir n'a pas de cerveau... ! ? » En fait, ces constantes universelles dans la nature nous montre qu'il existe bel et bien une sorte de « pensée » qui sous-tend la composition de l'Univers, que celui-ci est composé avec une certaine « intention », une sorte de géométrie fondamentale.

Avant Planck, Wilhelm Wien s'était attaqué à la résolution du paradoxe

posé par les observations de Bunsen et Kirchhoff. Dans la *Théorie du rayonnement thermique* (in *Kultur und Gegenwart*, 1915), Wien écrit : « Ainsi, la théorie du rayonnement est l'une des théories physiques les plus importantes car elle traite des lois qui gouvernent l'apparition des raies lumineuses et thermiques, et aussi parce que ces observations nous conduisent plus profondément que toute autre théorie au cœur même de la composition de la matière. [...] Maintenant, l'une des tâches les plus importantes pour la théorie du rayonnement consiste à décrire l'émission comme une fonction de la température et de la longueur d'onde. »

## La structure atomique

Wien touche ici à la question fondamentale de la composition de la matière, tout en déplorant la compréhension superficielle que nous avons des structures atomiques, entre autres en ce qui concerne le déplacement des électrons dans les atomes. Il décrit le problème de la façon suivante : « Pour trouver une telle loi, nous devons comprendre plus clairement ce qui arrive lorsque la lumière est émise parce que cela se passe, semble-t-il, dans les molécules ou les atomes des corps. Selon la théorie électromagnétique de la lumière, ce serait la charge électrique qui, reliée d'une façon ou d'une autre aux molécules et aux atomes, produirait l'émission de lumière. Cette hypothèse a trouvé une importante confirmation dans le phénomène découvert par Zeeman. Il s'agit du décalage de position de la raie spectrale que l'on observe quand le corps émettant est placé dans un champ magnétique. Sur la base de l'hypothèse selon laquelle la couleur de la lumière émise est déterminée par la vitesse des électrons se déplaçant suivant des orbites circulaires, on peut facilement calculer le changement dans cette vitesse angulaire, et avec lui le changement de couleur. A partir du décalage dans les raies spectrales et l'amplitude du champ magnétique, on peut même déterminer le rapport charge sur masse de l'électron – la charge dite spécifique. [...] Toutefois, même si l'on arrive à apprendre quelque chose sur le mécanisme de la production de

*lumière, on ne connaît toujours pas la cause du déplacement des électrons qui produisent la lumière.» (Ibidem.)*

Wilhelm Wien a trouvé la première loi pour décrire ces phénomènes mais elle n'était valide que pour les températures basses. Ce n'est qu'à la fin de l'année 1900 que Max Planck trouva la loi pour toutes les températures et de nombreux travaux expérimentaux (en particulier ceux d'Otto Lummer, Ernst Pringsheim et Friedrich Kurlbaum) ont par la suite confirmé sa validité. Néanmoins, la question cruciale posée par Wien restait toujours sans réponse. La découverte par Planck des « paquets » d'énergie ne faisait que rendre la solution plus pressante. Dès lors, il aurait été nécessaire d'élaborer de nouvelles idées sur la structure de la matière pour comprendre la vérité sous-jacente à ces phénomènes. Cependant, certains théoriciens, surtout Niels Bohr et son école, ont introduit des inepties en voulant tout expliquer par les lois de la probabilité. Wien était très troublé par l'orientation que prenait le débat : « *On doit chercher maintenant encore plus profondément pour expliquer pourquoi une telle partition de l'énergie doit se produire. On doit en trouver la raison dans les caractéristiques atomiques de la matière, et l'on doit conclure que les théorèmes habituels de la théorie de probabilité ne doivent pas être utilisés. Il est possible que nous ayons affaire ici à certaines contraintes dans la liberté de mouvement des électrons au sein des atomes. [...] Il doit y avoir quelque chose en jeu, dans les processus moléculaires, qui n'est toujours pas compris, empêchant l'énergie d'être répartie selon les lois habituelles de la probabilité. Nous verrons aussi que le comportement de cette chaleur spécifique des corps mène en effet au même résultat. Toutefois, l'origine de ce comportement n'est pas encore connue. Il se peut que les collisions de molécules, interprétées jusqu'à maintenant comme des collisions mécaniques ordinaires, emportent avec elles quelque chose d'encore inconnu.* »

Aujourd'hui, nous avons la responsabilité de poursuivre les recherches sur les travaux de scientifiques comme Pierre et Marie Curie, Lise Meitner et Otto Hahn, pour acquérir une meilleure compréhension

de la structure atomique. En effet, certaines questions fondamentales restent sans réponse et nous avons besoin de nouvelles idées et d'hypothèses novatrices pour déterminer la cause du mouvement des électrons, savoir si ce mouvement est régi par des lois géométriques et comprendre pourquoi certains éléments sont plus stables que d'autres.

## Planck sur les Scheinprobleme

Au lendemain de la guerre, au moment même où certains domaines de la physique se trouvaient délabrés, Max Planck établit dans son dernier discours (17 juin 1946, à Göttingen), sur quels fondements doit reposer la recherche scientifique et quelle exigence éthique doit y être consacrée : « *En cette matière, un dilemme sérieux et fondamental doit cependant être affronté. Si l'on voit, à travers tant d'exemples, que de grandes et importantes questions se révèlent de faux problèmes à une analyse minutieuse et que pratiquement le mot même de réel varie souvent de sens selon le point de vue adopté, – n'est-ce point que la connaissance scientifique se ramène à un simple relativisme ? Et dans ce cas n'y aurait-il en elle, ni vue universellement valable, ni réalité absolue, indépendante de quelque perspective particulière ?* »

« *Il serait à vrai dire bien malheureux qu'il en fût ainsi. Non : il peut exister en science, aussi, des règles absolument correctes et décisives, tout de même qu'il y a des valeurs absolues en éthique. En outre, et c'est là la chose essentielle, ces préceptes, ces règles et ces valeurs mêmes, sont les buts les plus importants et les plus dignes d'efforts, dans toute entreprise intellectuelle. Dans le domaine des sciences exactes, on trouve les valeurs des constantes universelles, telles que la quantité élémentaire d'électricité, ou encore le quantum élémentaire d'action, et beaucoup d'autres. Ces constantes apparaissent toujours les mêmes, quelle que soit la méthode utilisée dans leur mesure. Chercher à les découvrir et à décrire tous les processus physiques et chimiques à partir de ces constantes voilà l'entreprise que nous puissions vraiment tenir pour le but ultime de la recherche et*

*de l'étude scientifiques.*

« *La situation n'est pas différente dans le domaine de la religion et de l'éthique. A coup sûr, là encore, un rôle considérable appartient souvent au point de vue que l'on adopte en conséquence de conditions spéciales, impliquées dans un problème donné. Il arrive souvent alors que la valeur morale de la sincérité apparaisse abaissée ou affaiblie d'une manière regrettable. Je veux complètement dédaigner ici les mensonges conventionnels auxquels l'on recourt par respect humain. Car la sincérité, cette vertu la plus noble de toutes les vertus humaines, doit bien régner ici, sur tout un domaine bien défini, dans lequel ses commandements acquièrent une signification morale absolue, indépendante de tout point de vue particulier. Il s'agit de la probité envers soi-même, devant sa propre conscience. Il n'existe pas de circonstance où l'on puisse admettre en ce domaine le plus léger compromis moral, la plus légère justification morale pour la plus minuscule déviation. Celui qui viole ce commandement, dans l'espoir peut-être d'obtenir momentanément quelque avantage temporel, en fermant délibérément et consciemment ses yeux à une stricte évaluation de la situation véritable, est comme un prodigue qui dissiperait toujours sa santé d'une manière insensée et qui doit inévitablement supporter tôt ou tard les graves conséquences de sa témérité folle.*

« *Ces valeurs absolues en science et en morale sont celles dont la recherche constitue la véritable fin de tout effort intellectuel et de toute activité humaine, une fin à laquelle sont confrontés tous les hommes un jour ou l'autre sous une forme ou sous une autre. Cette tâche n'est jamais achevée, et le fait en est garanti par la circonstance que les problèmes véritables, quoique accompagnés parfois de faux problèmes, apparaissent constamment en d'incessantes variétés et suscitent constamment des tâches nouvelles à l'activité des hommes. Car c'est là l'ouvrage qui est comme le vent favorable nécessaire au navire de la vie humaine pour naviguer en haute mer et, pour évaluer la dignité de cet ouvrage, il y a une mesure infaillible, à jamais vénérable, une phrase qui figure le jugement décisif et impérieux pour tous les temps : C'est à leurs fruits que vous les connaîtrez. » ■*