Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 66 (1954-1957)
Heft: 290

Artikel: L'œuvre scientifique d'Albert Einstein
Autor: Javet, Pierre
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-274720

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 06.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles
Vol. 66 1955 N° 290

L'œuvre scientifique d'Albert Einstein

Conférence prononcée le 4 mai 1955 devant la Société vaudoise des Sciences naturelles et la Société vaudoise d'Astronomie

92 Ei

PAR

Pierre JAVET

Albert Einstein s'est éteint le 18 avril 1955, à l'âge de soixante-seize ans. La presse ayant publié de nombreux renseignements biographiques à son sujet, je ne parlerai donc que de l'œuvre scientifique d'Albert Einstein.

Cependant, je tiens à dire que cet homme, qui fut grand parmi les plus grands hommes de science, fut grand aussi par les qualités de cœur et d'esprit. Parmi ses intimes, ceux qui ont vécu avec lui dans sa retraite de Princeton ont pu dire que rien de ce qui était humain ne lui était étranger.

Il se présente lui-même en ces mots : « Je suis Allemand, israélite de naissance, mais j'ai vécu en Suisse de l'âge de quinze ans à celui de trente-cinq ans, sauf de courtes interruptions. J'ai conquis mes grades à Zurich, je suis pacifiste, partisan d'une entente internationale et resté toujours fidèle dans ma ligne de conduite à cet idéal ».

* * *

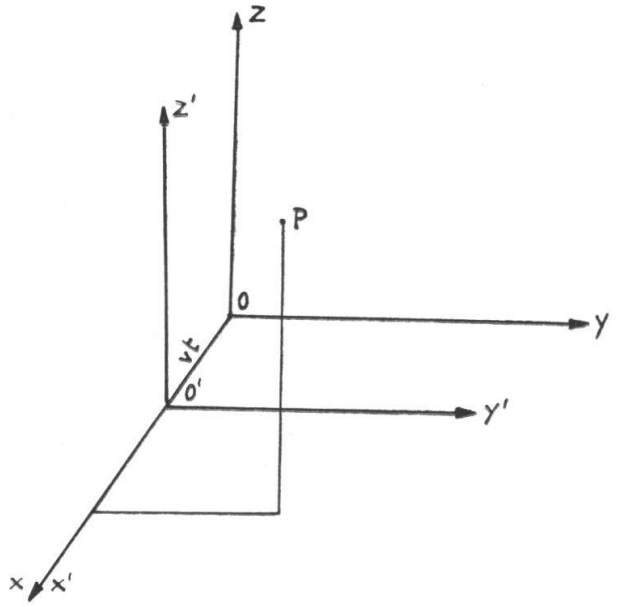
La tâche consistant à présenter en quelque soixante minutes l'œuvre d'Einstein n'est pas facile, car, d'une part, cette œuvre qui s'étend sur plus de cinquante années est immense et, d'autre part, les matières abordées ne sont pas simples.

La liste des publications scientifiques d'Einstein, arrêtée en mai 1951 et publiée à l'occasion de son soixante-dixième anniversaire, comprend 449 numéros. Un choix est donc nécessaire.

Je ne parlerai pas des travaux, pourtant importants, sur le mouvement brownien, les chaleurs spécifiques, la théorie atomique, la thermodynamique statistique (une statistique nouvelle porte le nom de Bose-Einstein), pour avoir le temps d'insister sur les deux contributions essentielles d'Einstein à la science de notre temps : la création de la théorie de la relativité et son apport décisif à la théorie des quanta. Le nom d'Einstein est en effet lié directement aux deux théories qui dominèrent la pensée scientifique et philosophique de la première moitié du XXe siècle.

La relativité.

En 1905, Einstein a vingt-six ans et travaille à Berne, au Bureau fédéral de la propriété intellectuelle. Il publie dans le Vol. 17 des *Annalen der Physik* un mémoire de trente pages : « Zur Electrodynamik bewegter Körper », qui est le travail initial sur la relativité restreinte.



Sans entrer dans le détail des idées einsteiniennes, il est possible, me semble-t-il, de faire comprendre le point de vue nouveau introduit par Einstein. Pour ce faire, il faut rappeler certaines difficultés auxquelles se heurtait la physique du début du siècle, difficultés manifestées par l'opposition régnant entre la mécanique des corps solides (établie par Newton et ses successeurs) et l'électromagnétisme tel que l'avaient constitué Maxwell, Hertz et Lorentz. Cette opposition appa-

raît nettement si l'on compare les réponses données par le mécanicien et l'électrodynamicien à la question suivante : comment les lois des phénomènes se modifient-elles quand on passe d'un premier observateur O à un deuxième observateur O′ en mouvement par rapport au premier ?

Si l'on se borne au cas du mouvement rectiligne et uniforme de O′ par rapport à O (restriction essentielle !), la figure indique que les coordonnées de P dans les deux systèmes de référence O $(x\ y\ z)$ et O′ $(x'\ y'\ z')$ sont liées par les formules (G) dites « de Galilée » dans lesquelles v désigne la vitesse de O′ par rapport à O.

$$(\mathrm{G})\quad \begin{cases} x' = x - v\,t \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

L'origine du temps est marquée par l'instant du passage de O′ en O.

(La 4e de ces relations est en fait une hypothèse introduite inconsciemment par Newton et ses successeurs.)

Ces formules (G) définissent une *transformation de Galilée* et O et O′ sont appelés « observateurs galiléens ». L'importance de ces formules provient du fait suivant : l'application successive de deux transformations de Galilée (la première faisant passer de O à O′ et la deuxième faisant passer de O′ à O″) peut être remplacée par une transformation de Galilée unique, faisant passer de O à O″. En d'autres termes, le produit de deux transformations de Galilée est encore une transformation de Galilée, propriété qui s'exprime en disant que ces transformations forment un *groupe*.

Or, les équations fondamentales de la dynamique des corps solides sont invariantes vis-à-vis des transformations de Galilée, ce qui signifie que *les lois des phénomènes mécaniques sont les mêmes pour tous les observateurs galiléens* (en mouvement relatif rectiligne et uniforme). Telle est la réponse du mécanicien à la question posée plus haut.

La réponse de l'électrodynamicien est bien différente, car les équations fondamentales de l'électromagnétisme (équations de Maxwell-Lorentz) ne sont pas invariantes pour les transformations de Galilée, ce qui revient à dire que les lois des phénomènes électromagnétiques ne sont pas les mêmes pour les deux observateurs O et O′.

En 1903, Lorentz montra que les transformations définies par

$$(\mathrm{L})\quad \begin{cases} x' = \dfrac{1}{\alpha}(x - v\,t) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \dfrac{1}{\alpha}\left(t - \dfrac{v\,x}{c^2}\right) \end{cases} \qquad \alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$c =$ vitesse de la lumière dans le vide

laissaient invariantes les équations de l'électromagnétisme. Ces transformations, comme celles de Galilée, forment un groupe : celui de Lorentz.

La réponse de l'électrodynamicien à la question posée plus haut peut maintenant être formulée en ces termes : les lois des phénomènes électromagnétiques restent inchangées à condition de faire usage de la transformation de Lorentz.

On peut donc dire que la mécanique est fondée sur le groupe de Galilée tandis que l'électromagnétisme l'est sur celui de Lorentz ; l'opposition qui régnait entre la mécanique et l'électromagnétisme se trouve ainsi précisée. Une synthèse de ces deux parties de la physique ne sera possible que quand elles seront fondées toutes deux sur le même groupe de transformations. Or : choisir le groupe de Galilée, c'est conserver la mécanique classique mais modifier les équations de Maxwell et avec elles toutes les lois des phénomènes électromagnétiques, tandis que choisir le groupe de Lorentz revient à conserver intactes les lois de l'électromagnétisme mais conduit à modifier celles de la mécanique. Quel que soit le choix, un groupe de phénomènes est sacrifié au profit de l'autre en ce sens qu'*il devient impossible de considérer comme rigoureusement exactes, et simultanément, les lois de la mécanique et celles de l'électromagnétisme* [1].

Pour des raisons d'ordre à la fois théorique et pratique Einstein proposa, en 1905, de choisir le groupe de Lorentz. Dès lors, les lois de la mécanique doivent être considérées comme approximatives. Cela signifie-t-il que les travaux antérieurs des mécaniciens aient été vains et leurs explications fallacieuses ? En aucune façon, car pour tous les phénomènes courants, dans lesquels les vitesses v sont petites par rapport à celle de la lumière, les lois nouvelles conduisent aux mêmes

[1] On voit comment le développement scientifique peut conduire à de véritables révolutions, car il n'y a pas de continuité possible entre le groupe de Galilée et celui de Lorentz.

résultats que les anciennes. C'est seulement quand v devient une fraction appréciable de c que les lois nouvelles donnent des résultats différents de ceux donnés par les lois classiques.

Il faut voir dans ce qui précède une manière commode de rendre compte de l'évolution des idées plutôt qu'un exposé historique de cette évolution. Ainsi, j'ai passé sous silence les célèbres expériences de Michelson et Morley dont l'importance historique fut si grande. Après ce qui vient d'être dit, il est facile de se rendre compte des difficultés qu'elles soulevaient. Les expériences en question font intervenir à la fois des phénomènes d'ordre mécanique et des phénomènes d'ordre électromagnétique. Leur interprétation s'appuyait donc pour une part sur la transformation de Galilée et pour l'autre part sur celle de Lorentz, aussi cette dualité ne pouvait-elle que conduire à mettre en évidence les différences fondamentales et inconciliables entre ces deux groupes de transformations.

Avant 1905, on pensait (c'était le cas de Lorentz, par exemple) que les «vraies» coordonnées x', y', z', t' employées par O′ étaient celles définies par les formules (G), et ce point de vue était une conséquence des idées, dominantes à l'époque, sur le caractère absolu de l'espace et du temps (on voit en effet sur (G) que les coordonnées d'espace et de temps sont séparées, d'où il s'ensuit qu'il existe un espace absolu, lieu de tous les phénomènes simultanés, et un temps absolu, indépendant de l'état de mouvement).

Pour Lorentz, les coordonnées x', y', z', t' définies par (L) n'étaient pas les «vraies» coordonnées employées par O′ ; il les considérait comme des variables fictives commodes pour l'étude des équations de l'électromagnétisme. Puisque Einstein propose de choisir le groupe de Lorentz, il faut donc changer de point de vue et considérer x', y', z', t' définies par (L) comme les «vraies» coordonnées employées par O′. Selon le point de vue nouveau, les formules (L) expriment les relations qui existent réellement et physiquement entre les coordonnées spatiales et temporelles employées par O et O′ ; de ce point de vue nouveau résultent toutes les conséquences bien connues de la relativité *restreinte* (restreinte au cas du mouvement rectiligne et uniforme de O′ par rapport à O). Signalons en passant que cette interprétation einsteinienne de la transformation de Lorentz n'est pas la seule possible (cf. les travaux de Varcollier, Le Roux, Milne, entre autres) et qu'ainsi les conséquences souvent déconcertantes qu'Einstein en a déduites peuvent être évitées. Voici, brièvement rappelées, quelques-unes de ces conséquences.

La première d'entre elles est visible sur la quatrième équation (L) : les deux temps t et t' sont différents pour autant que $v \neq 0$. Or t mesure le temps physique marqué par les horloges de O et t' le temps marqué par celles de O' ; dire que ces deux temps sont différents revient à dire que le temps est relatif à l'état de mouvement des observateurs. C'est l'abandon de la notion de temps absolu qui, selon Newton, s'écoule partout et toujours semblable à lui-même.

Parmi les autres conséquences de l'interprétation nouvelle de la transformation de Lorentz, signalons encore : la variation de la masse en fonction de la vitesse, l'établissement de formules nouvelles (contenant des termes du deuxième ordre) pour la composition des vitesses, pour l'aberration et pour l'effet Doppler. Tout cela, contenu dans le mémoire de 1905, est vérifié journellement maintenant que l'on obtient aisément des particules dont la vitesse est voisine de celle de la lumière.

Il faut mentionner spécialement le principe de l'inertie de l'énergie, ou principe d'équivalence, selon lequel la masse est l'un des aspects que peut revêtir l'énergie. En vertu de ce principe, une masse de m grammes est équivalente à mc^2 ergs ; ainsi toute matière contient des quantités énormes d'énergie. Exactement quarante ans plus tard, l'explosion d'Hiroshima apportait une vérification terrifiante au principe de l'équivalence. Ce principe explique aussi pourquoi les poids atomiques ne sont pas des multiples exacts du poids de l'atome d'hydrogène. De plus, il joue un rôle fondamental en physique nucléaire.

* * *

La théorie restreinte étant limitée au cas des mouvements rectilignes et uniformes des observateurs qu'elle considère, ne peut rendre compte des phénomènes de gravitation. Aussi, très tôt, Einstein chercha-t-il à généraliser cette première théorie, dans une vingtaine de publications parues à partir de 1910. Il atteint le but en 1915 et donne un premier exposé d'ensemble de la théorie généralisée dans un mémoire de cinquante-trois pages paru en 1916.

Le 28 novembre 1915, il écrivait à Arnold Sommerfeld : « Durant ce dernier mois j'ai vécu le temps le plus excitant de ma vie, et aussi le plus plein de succès. J'ai vu clairement qu'une solution satisfaisante ne peut être trouvée qu'en liaison avec la théorie de Riemann... La chose nouvelle, c'est que j'ai vérifié le fait que non seulement la théorie de Newton en ré-

sulte comme une première approximation, mais aussi le mouvement du périhélie de Mercure, comme deuxième approximation ». Sommerfeld, qui cite cette correspondance, ajoute : « Naturellement j'ai réagi d'une manière un peu incrédule », à quoi Einstein répond sur une carte datée du 8 février 1916 : « En ce qui concerne la théorie de la relativité généralisée, vous serez convaincu quand vous l'aurez étudiée. Mais je ne peux pas la défendre en deux mots ».

Si Einstein ne pouvait, en deux mots, défendre devant Sommerfeld sa théorie nouvelle, il est évident qu'à mon tour, je ne puis la présenter ici en quelques minutes. Je dois me borner à de brèves indications sur les moyens mis en œuvre pour atteindre le but désiré et sur quelques conséquences de la théorie nouvelle.

On a vu, dans la première partie de cet exposé, l'importance de la notion d'invariance vis-à-vis de certains groupes de transformations. Pour faire entrer les phénomènes de gravitation dans le cadre de la théorie, il est apparu nécessaire de formuler les lois de la nature sous forme invariante, et cette invariance doit subsister, non seulement pour des observateurs galiléens, mais aussi pour des systèmes de référence accélérés.

Ce problème se révéla beaucoup plus ardu que le précédent, mais ici de nouveau se manifesta le génie d'Einstein. Guidé par des analogies, éclairé par des intuitions remarquables et raisonnant essentiellement par induction, il parvint à formuler, sous la forme invariante désirée, la loi de la gravitation.

Cette loi nous apprend comment la répartition de la matière (ou de l'énergie) dans l'espace détermine le champ de gravitation et détermine en même temps le mouvement des corps soumis à ce champ. Quant à la relativité restreinte, elle devient un simple chapitre de la relativité généralisée : c'est l'étude des systèmes physiques dans les parties de l'univers où le champ de gravitation est nul ou infiniment petit.

Cette généralisation implique un profond changement des notions fondamentales ; non seulement l'espace et le temps perdent leur caractère absolu comme dans la théorie restreinte, mais encore l'existence d'un champ de gravitation modifie le cours du temps et modifie aussi la structure géométrique de l'espace, car cet espace (ou mieux cet espace-temps puisque seule l'union de ces deux notions conserve un sens) n'est plus euclidien.

Le problème de la gravitation est ainsi résolu d'une manière particulièrement élégante, car il est ramené à un problème de géométrie. En effet, à grande distance de toute masse,

l'espace est euclidien (le champ de gravitation étant nul) et l'on sait que dans ces conditions le mouvement d'un corps qui n'est soumis à aucune force est rectiligne et uniforme ; en d'autres termes, un point matériel libre décrit la ligne la plus courte (appelée géodésique) de l'espace euclidien dans lequel il se meut. En présence de masses, l'espace n'est plus euclidien mais la loi précédente subsiste : la trajectoire d'un point matériel est la géodésique de l'espace non euclidien déterminé par les masses données. Ainsi, par exemple, la détermination de l'orbite des planètes devient le problème de géométrie suivant : déterminer les géodésiques de l'espace-temps non euclidien créé par la présence de la masse solaire. On notera que la notion de force a disparu ; si les planètes décrivent telle ou telle orbite ce n'est pas parce qu'elles sont «attirées» par le Soleil mais parce que, en vertu de leur inertie, elles décrivent les géodésiques de l'espace-temps non euclidien existant autour de lui.

On peut juger la valeur et la fécondité d'une théorie nouvelle sur son aptitude à expliquer les faits anciennement connus et à en faire prévoir de nouveaux. La relativité généralisée satisfait à ce double critère. D'une part, en effet, la loi de Newton est une conséquence (du moins en première approximation) de celle d'Einstein, en sorte que tous les phénomènes de mécanique céleste expliqués par celle-là le sont aussi par celle-ci. La loi d'Einstein explique aussi le déplacement séculaire du périhélie de Mercure probablement mieux que ne le faisait celle de Newton.

D'autre part, la relativité généralisée a prévu l'existence de deux phénomènes totalement insoupçonnés avant elle.

Le premier de ces phénomènes est la déviation des rayons lumineux passant au voisinage d'une masse importante telle que le Soleil. La théorie restreinte prévoyait déjà une déviation, cette déviation étant la conséquence de l'inertie de l'énergie, mais la théorie généralisée ajoute à cette première cause de déviation l'effet dû à la courbure des géodésiques. Le calcul montre que les effets de ces deux causes sont égaux, en sorte que l'effet total est double de l'effet prévu primitivement. Pour un rayon passant à la distance r du bord solaire (l'unité étant le rayon du Soleil) la déviation angulaire est $d = 1{,}74'' / r$. Placée devant une telle prédiction théorique, l'observation doit répondre aux deux questions suivantes :

a) le phénomène prévu existe-t-il ?

b) si oui, sa mesure vérifie-t-elle la loi indiquée par la théorie ?

La réponse à la première question ne fait aucun doute : la lumière est déviée lors de son passage à proximité du Soleil. Quant à la deuxième question, il est impossible d'y répondre en quelques mots. Disons seulement que plusieurs spécialistes estiment que les déviations mesurées lors de certaines éclipses de Soleil vérifient la formule théorique tandis que d'autres concluent que les observations ne confirment ni n'infirment la loi d'Einstein.

Le deuxième phénomène prévu par la théorie est le décalage vers le rouge des raies des spectres émis par les atomes situés dans un champ de gravitation, ce décalage étant causé par le ralentissement du cours du temps dans un tel champ. L'observation a confirmé cette prévision théorique en vérifiant que les atomes solaires (ou mieux encore les atomes d'étoiles très denses) émettent des radiations de plus grande longueur d'onde que les atomes terrestres, mais tant de causes physiques peuvent modifier ces longueurs d'onde (effet Doppler en particulier) qu'il est difficile de dire si ce phénomène suit la loi prévue par la théorie. Cependant, certains auteurs considèrent cet « effet Einstein » comme la meilleure vérification expérimentale de la relativité générale.

Remarquons que si l'accord entre les prévisions théoriques et l'observation était parfait, cela ne constituerait pas un argument définitif en faveur de la théorie einsteinienne, car il est évident a priori que d'autres théories peuvent conduire aux mêmes résultats. Quoi qu'il en soit, la théorie einsteinienne a eu le très grand mérite d'avoir prévu l'existence de deux phénomènes importants.

La théorie des quanta.

La partie de l'œuvre einsteinienne évoquée jusqu'ici suffirait à placer son auteur à côté de Platon, Galilée et Newton.

Pourtant, ce n'est pas pour les travaux dont nous avons parlé jusqu'à maintenant qu'Einstein fut, en 1921, lauréat du prix Nobel de physique, mais pour sa contribution essentielle à la théorie des quanta. C'est cette deuxième face de l'œuvre einsteinienne que nous allons maintenant examiner.

Nominalement, Einstein reçut le prix Nobel pour un mémoire de seize pages paru en 1905, comme le premier mémoire sur la relativité, et dans le même volume 17 des *Annalen der Physik* (ce qui fait de ce volume l'un des plus remarquables de toute la littérature scientifique), mémoire qui contient sous forme explicite, bien qu'avec des notations

différentes des notations actuelles, l'équation photoélectrique fondamentale.

Ainsi, au cours de la même année, à l'âge de vingt-six ans, Einstein fonde la première des deux grandes théories qui devaient dominer la physique contemporaine — la relativité — et il apporte une contribution capitale à la deuxième : la théorie des quanta.

Pour situer l'apport d'Einstein, reportons-nous vers l'année 1900. A cette époque, l'interprétation théorique de l'intensité du rayonnement du corps noir résistait aux efforts des physiciens. Voici de quoi il s'agissait.

Considérons une enceinte matérielle vide dont les parois sont à la température absolue T. Cette enceinte est parcourue par un rayonnement électromagnétique dont l'état stationnaire est atteint lorsque la paroi absorbe, pendant l'unité de temps, autant d'énergie qu'elle en émet. Quand l'équilibre est réalisé, ce rayonnement (appelé rayonnement noir à la température T) a une certaine densité d'énergie u. L'étude de cette densité pose un double problème : il s'agit tout d'abord de déterminer l'intensité totale de ce rayonnement et ensuite la répartition de cette intensité en fonction de la fréquence ν du rayonnement.

Le premier problème est relativement simple. Stefan, en 1879, avait établi expérimentalement que $u = aT^4$, résultat qui fut confirmé théoriquement en 1884 par Boltzmann.

La détermination de la répartition spectrale, répartition caractérisée par la fonction $u(\nu)$, s'avéra beaucoup plus difficile. Kirchhoff obtint un premier résultat : le fonction $u(\nu)$ ne dépend que de T et est indépendante des constantes qui caractérisent la paroi ; la fonction u est donc une fonction universelle de T et sa détermination devenait une tâche essentielle de la physique. Wien fit faire un pas au problème en démontrant que

$$u(\nu) = k\,\nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right)$$

où f est une nouvelle fonction qu'il s'agissait de déterminer. La physique classique ne put aller plus loin et échoua complètement dans la détermination de la fonction f, en ce sens que les fonctions f qu'elle prétendait déterminer n'étaient pas vérifiées par l'étude expérimentale du rayonnement noir.

Ce fut Planck, en 1900, qui donna la solution correcte :

$$u(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/RT} - 1}$$

Pour établir cette formule, Planck supposa — contrairement aux idées classiques — que les oscillateurs, qui dans la matière de l'enceinte sont responsables de l'émission et de l'absorption du rayonnement, émettent ou absorbent seulement des quantités finies d'énergie (appelées quanta), ces quantités étant proportionnelles aux fréquences émises. Il a ainsi introduit comme facteur de proportionnalité la célèbre « constante de Planck » h qui joue un rôle fondamental dans tous les phénomènes élémentaires. Rayleigh, Jeans et Poincaré ont prouvé ensuite que l'introduction d'un élément de discontinuité — mesuré par h — est indispensable pour obtenir la loi exacte et que les conceptions classiques doivent nécessairement conduire à des lois inexactes.

Dans ses premiers travaux, Planck supposa que l'énergie rayonnante est émise *et absorbée* par quanta, ce point de vue constituant ce qu'on peut appeler, avec de Broglie, la première version de la théorie des quanta. En conséquence, il lui sembla nécessaire d'admettre que l'énergie rayonnante est *transmise* par quanta, ce qui revient à dire que l'énergie ne serait pas répartie uniformément sur le front des ondes électromagnétiques mais que celles-ci posséderaient des concentrations locales d'énergie. Une telle conception — pour les ondes lumineuses en particulier — parut à Planck inconciliable avec les phénomènes d'interférence et de diffraction, phénomènes qui trouvent une explication complète et détaillée à partir de la théorie des ondes homogènes établie par Fresnel et Maxwell. Aussi Planck revint-il en arrière en admettant que seule l'*émission* était discontinue (deuxième version de la théorie des quanta).

Afin de saisir le rôle joué par Einstein dans ces questions, il faut dire quelques mots de l'effet photoélectrique, découvert par Hertz en 1887 déjà. Certains métaux, éclairés par une lumière de fréquence suffisante, émettent des électrons ; la vitesse de fuite de ces électrons, qui peut être mesurée, est indépendante de l'intensité de la lumière incidente mais dépend par contre de la fréquence de cette lumière. Si la fréquence est inférieure à une fréquence limite ν_0, aucun électron n'est arraché, tandis que le phénomène se déclanche au moment où la fréquence atteint la fréquence limite ν_0. La théorie ondulatoire classique de la lumière s'était révélée incapable d'expliquer un tel comportement du phénomène.

En 1905, Einstein, abandonnant la deuxième version de la théorie des quanta, vit dans l'allure du phénomène photoélectrique la preuve que le rayonnement possède une structure corpusculaire, que l'énergie d'une onde de fréquence ν

est concentrée dans un corpuscule d'énergie égale à $h\nu$, corpuscule appelé maintenant photon. Ainsi Einstein mettait en évidence l'aspect corpusculaire du rayonnement ; cependant il ne prétendait pas abandonner son aspect ondulatoire. Pour la première fois, il attirait donc l'attention des physiciens sur la dualité onde-corpuscule, dualité qui a pris une signification physique de plus en plus profonde au fur et à mesure du développement de la physique contemporaine (nouvelle théorie des quanta et mécanique ondulatoire).

Ces vues nouvelles permirent le développement rapide de la théorie des quanta : en 1913, Bohr donne la théorie quantique de l'atome (explication de la formation des raies spectrales) et en 1916 Sommerfeld perfectionne la théorie de Bohr en introduisant les corrections de relativité, ce qui lui permet de rendre compte de la structure fine des raies de l'hydrogène. Einstein suit ces travaux de très près et, en 1917, dans le célèbre mémoire « Zur Quantentheorie der Strahlung », il établit d'une manière nouvelle et maintenant classique — on la trouve dans tous les traités — la formule de Planck.

On sait que la dualité onde-corpuscule introduite par Einstein dans la théorie de la lumière fut étendue par L. de Broglie en 1924 à la matière qui, elle aussi, possède à la fois des qualités corpusculaires et des qualités ondulatoires. Einstein fut favorable à cette idée et réalisa immédiatement le grand intérêt qu'elle présentait, aussi contribua-t-il au développement de la théorie nouvelle, la mécanique ondulatoire, à laquelle sont attachés les noms de Heisenberg (relations d'incertitude), Born, Schrödinger, Dirac. En 1924 déjà, Einstein proposa de chercher à mettre en évidence des phénomènes d'interférence et de diffraction à partir d'un courant de particules matérielles. Deux ans plus tard, Davisson réussissait l'expérience mémorable établissant la réalité des ondes de de Broglie. Max Born écrit à ce sujet : « Quand Davisson m'a envoyé ses résultats sur l'étrange maximum trouvé dans la réflexion des électrons par les cristaux, il s'est souvenu de l'indication d'Einstein de rechercher si ce maximum ne pouvait pas être interprété comme frange d'interférence des ondes de de Broglie. Einstein a donc participé directement à la création de la mécanique ondulatoire ».

On sait que, sous l'influence de Heisenberg et Born principalement, l'interprétation probabiliste de la nouvelle mécanique a prévalu. Selon cette interprétation on ne peut attribuer simultanément une position et une vitesse bien déterminées

aux particules élémentaires et on doit repousser un déterminisme rigoureux.

En 1927 déjà, au congrès Solvay, et plus tard encore, Einstein formula de sérieuses objections à cette position de la mécanique nouvelle. Malgré une abondante discussion avec plusieurs physiciens, il ne se rallia jamais à l'interprétation probabiliste. Il se refusa toujours à admettre que l'état d'un système physique est *complètement* décrit par la fonction Ψ de la mécanique ondulatoire. « Il se peut — écrivait de Broglie au lendemain de la mort d'Einstein — que, presque seul contre tous, il ait eu raison : l'avenir dira si son génial regard ne fut pas, ici aussi, le plus perçant ».

* * *

Si Einstein n'avait publié que les travaux dont je n'ai pas eu le temps de parler, il figurerait déjà au nombre des grands physiciens. Quand on ajoute à cela l'édification de la théorie de la relativité et les contributions à la théorie des quanta on ne peut qu'être étonné et stupéfait par l'ampleur de cette œuvre qui prend place parmi les plus importantes de celles que nous offre l'histoire des sciences. La vigueur et l'originalité de la pensée d'Einstein ont marqué d'une façon décisive la pensée scientifique des cinquante dernières années ; et non pas la pensée scientifique seulement, mais aussi la réflexion philosophique. En effet, plusieurs des subtiles analyses d'Einstein ont conduit les philosophes, autant que les physiciens et les mathématiciens, à reposer sur des bases nouvelles l'ancien mais toujours actuel problème de la connaissance [1].

[1] Le lecteur trouvera dans *Albert Einstein: philosopher-scientist* (The library of living philosophers, New-York, 1949) une série d'études portant sur les différents aspects de l'œuvre einsteinienne ainsi qu'une bibliographie des publications d'Einstein.