

INSTITUT DE FRANCE

ACADÉMIE DES SCIENCES

LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE  
ET L'ŒUVRE DE  
**ALBERT EINSTEIN**

Associé étranger de l'Académie

Lecture faite en la séance annuelle des prix  
DU 19 DÉCEMBRE 1949

PAR

**M. LOUIS DE BROGLIE**  
Secrétaire perpétuel



PARIS  
PALAIS DE L'INSTITUT  
M CM XLIX



INSTITUT DE FRANCE  
Académie des sciences

---

LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE

ET

L'ŒUVRE D'ALBERT EINSTEIN

Associé étranger de l'Académie

PAR

**M. LOUIS DE BROGLIE**

Secrétaire perpétuel

LECTURE FAITE EN LA SÉANCE ANNUELLE DES PRIX DU 19 DÉCEMBRE 1949

---

MESSIEURS,

Le monde scientifique a fêté, cette année, le soixante-dixième anniversaire d'Albert Einstein qui est né à Ulm, en Wurtemberg, le 14 Mars 1879. Aux États-Unis, cet anniversaire a été l'objet de cérémonies et d'hommages rendus à l'illustre savant et un volume jubilaire a été édité à cette occasion. Étant donnée la grandeur de l'œuvre du génial physicien, que notre Compagnie s'honore de compter depuis 1933 parmi ses associés étrangers, il nous a paru

naturel de chercher à montrer dans la présente Notice l'importance capitale qu'a eue cette œuvre dans l'évolution de la Science contemporaine.

Je ne parlerai qu'assez rapidement de la vie d'Einstein, laissant à ceux qui auront plus de recul que ses contemporains le soin d'en retracer l'ensemble avec plus de détails. D'ailleurs, ceux qui voudraient la connaître plus complètement pourraient se reporter à un ouvrage récemment traduit en français où M. Philippe Franck a retracé, en agrémentant son récit de beaucoup d'anecdotes pittoresques, le cours d'une existence qui, plus d'une fois et pour des raisons diverses, fut assez mouvementée.

D'origine israélite, Albert Einstein a passé son enfance à Munich où son père, industriel, dirigeait une petite usine électrique : c'est là qu'il fit ses premières études. Lorsqu'il eut 15 ans, son père, dont les affaires ne prospéraient pas, se rendit à Milan dans l'espoir d'y trouver une situation meilleure et le jeune Albert resta interne dans une école de la capitale de la Bavière. Ne se plaisant guère dans cette situation qui ne convenait pas à son caractère indépendant et assez incertain de la façon dont il allait orienter sa vie, il alla rejoindre son père en Italie, pays dont il a toujours conservé un excellent souvenir. Mais il lui fallait poursuivre ses études et, se sentant un goût marqué pour les sciences physico-mathématiques, il se décida à aller parfaire ses connaissances en ces matières au Polytechnicum de Zürich, établissement célèbre par l'excellence de ses enseignements et situé dans un pays dont Einstein savait déjà apprécier le libéralisme et la pondération.

Ayant achevé ses études supérieures, le jeune homme eut à chercher une carrière. Bien qu'il eût montré ses aptitudes en Mathématiques et en Physique, rien n'annonçait encore chez lui l'extraordinaire génie scientifique dont il allait bientôt faire preuve. S'étant attaché à la Suisse, il s'était fait naturaliser dans ce pays en 1901, à l'âge de 22 ans, et il avait épousé une camarade d'étude de nationalité Serbe, Mileva Maritch, dont il eut bientôt deux enfants.

Parvenu à l'âge d'homme et ayant fondé une famille, il lui fallait trouver une situation. Ce ne fut pas sans quelque peine ; cependant il parvint, grâce à quelques relations, à obtenir une place au Bureau fédéral des Brevets à Berne. Il eut à examiner et à juger de nombreux brevets d'invention, travail bien terre à terre, semble-t-il, pour le grand théoricien qu'il allait devenir ; mais, il l'a dit lui-même, ce travail eut l'avantage de tourner son esprit vers des problèmes concrets et précis tout en développant son ingéniosité. Et puis, ce travail n'était pas très astreignant, il lui laissait beaucoup de liberté, et cette liberté il l'employa à approfondir les problèmes les plus difficiles de la Physique de cette époque.

Et soudain, en 1905, alors qu'il a à peine atteint 26 ans, son génie, que rien encore n'avait fait prévoir, éclate aux yeux du monde scientifique étonné, aussi inattendu qu'un orage dans un ciel serein. Dans cette même année 1905, il publie dans les *Annalen der Physik* trois mémoires qui ont eu une importance capitale dans l'évolution de la Science contemporaine. Dans l'un, il jette les bases de la théorie de la Relativité qui va bouleverser toutes les conceptions des physiciens et dominer désormais le développement de branches entières de leur Science ; dans un autre, il réintroduit en Optique la vieille hypothèse corpusculaire sous la forme nouvelle de la théorie des « Quanta de Lumière » et ouvre ainsi à ceux qui marcheront après lui dans cette voie des perspectives indéfinies ; enfin dans un troisième travail, d'une portée générale, peut-être un peu moindre que les deux autres, mais qui a cependant joué un rôle capital dans le développement de la Physique atomique, il établit les lois du mouvement Brownien et il apporte ainsi des renseignements précieux aux expérimentateurs qui, comme notre confrère Jean Perrin, vont bientôt établir la réalité des molécules et l'exactitude de la conception discontinue de la Matière.

Relativité, Quanta de Lumière, mouvement Brownien, cette étonnante trilogie de théories nouvelles écloses presque en même temps dans le cerveau

d'un jeune savant jusqu'alors inconnu, si elle effrayait quelque peu les esprits timorés et se heurtait à bien des incompréhensions, ne pouvait cependant manquer d'attirer les regards des milieux scientifiques sur le modeste employé du Service Bernois des Brevets. Néanmoins, peut-être parce qu'il n'avait pas suivi la filière universitaire normale, il eut assez de peine à entrer dans les cadres de l'enseignement supérieur. Il ne fut d'abord autorisé qu'à faire des cours libres, comme Privat Docent à l'Université de Zürich, et, s'il fut appelé en 1909 à faire partie du corps professoral de cette Université, ce fut seulement comme Professeur extraordinaire, c'est-à-dire comme Professeur adjoint. Mais bientôt l'Université allemande de Prague, ville qui faisait alors partie de l'Autriche-Hongrie, lui offrit une chaire de Physique théorique qu'il occupa de 1910 à 1912. Puis il revint quelque temps à Zürich, cette fois comme Professeur titulaire, jusqu'au jour où, sur les instances de savants illustres comme Planck et Nernst, il accepta, à la fin de 1915, de devenir leur collègue à l'Université de Berlin et à l'Académie des Sciences de Prusse. Certes, ni le caractère, ni les idées politiques ou sociales d'Einstein, ne l'attiraient vers l'Allemagne de Guillaume II, mais Berlin était alors, il faut le reconnaître, un des centres les plus brillants de la Science européenne et Einstein se laissa séduire par l'idée de travailler aux côtés des grands Maîtres qui avaient sollicité sa venue.

Dans cette période, un peu instable de son existence, qui va de 1905 à 1913, Einstein a publié un nombre considérable de courts mémoires où il envisage sous des aspects sans cesse différents et avec une étonnante pénétration les problèmes qui, dès 1905, avaient fait l'objet de ses premières recherches. Une fois installé à Berlin où il va rester presque 20 ans, son existence se stabilise et, bientôt remarié à une de ses cousines, il mène une vie assez retirée, notamment pendant la guerre de 1914-18 à laquelle, toujours Suisse de nationalité, il n'a pris et n'a voulu prendre aucune part. C'est alors que, dans ce recueillement, il couronne l'édifice de la théorie de la Relativité

par cette étonnante Relativité généralisée qui aboutit à une remarquable interprétation des forces de Gravitation. Et le développement de cette difficile théorie nouvelle ne l'empêche pas notamment en 1916 et en 1917, d'apporter d'importantes contributions à l'essor des théories quantiques.

Mais la guerre terminée, la gloire était venue pour lui. Sa théorie de la Relativité a les honneurs de la grande presse ; tout le monde en parle et en discute, même ceux qui sont totalement incapables de la comprendre. L'Académie des Sciences de Suède, qui sans doute ne veut pas prendre parti dans les discussions que soulève la théorie de la Relativité, lui décerne le prix Nobel de Physique, en 1921, non pour avoir découvert cette théorie, mais pour avoir le premier énoncé la loi de l'effet photoélectrique, conséquence de ses conceptions sur les quanta de Lumière.

La gloire était venue avec les satisfactions d'amour-propre qu'elle peut fournir, mais aussi avec les inconvénients qu'elle présente pour l'homme de pensée, souvent par elle détourné de sa tâche. Einstein, après avoir parcouru le monde jusqu'à l'Extrême-Orient pour exposer ses théories à des auditeurs avides de voir et d'entendre un aussi grand génie, a été entraîné, souvent malgré lui, dans des activités politiques et sociales au milieu des troubles soubresauts de l'Allemagne d'après guerre. Il a notamment patronné le mouvement sioniste qui lui apparaissait comme la solution d'un problème qui l'avait toujours préoccupé. M. Philippe Franck a exposé dans son livre les luttes qu'Einstein a eues à soutenir et les attaques dont il a été l'objet dans un pays où déjà se préparaient dans l'ombre les violences du troisième Reich.

Sur le plan intellectuel, ces circonstances ont sans doute empêché la maturité d'Albert Einstein d'être aussi féconde que sa jeunesse. Mais, chaque fois qu'il retrouvait quelque loisir propice à la méditation, on voyait à nouveau jaillir la flamme de son génie. Sa note de 1925 sur la statistique de Bose-Einstein, ses recherches sur les théories unitaires de la Gravitation et de l'Électricité en fournissent d'admirables exemples.

Einstein faisait un voyage aux États-Unis lorsqu'Hitler en Allemagne, accède au pouvoir : lorsqu'il avait quitté Berlin, il prévoyait cet événement et s'attendait à ne plus revenir. Il revint cependant en Europe, mais n'entra pas en Allemagne où sa vie même eut été en danger. Pendant la belle saison de 1933, il séjourna sur la petite plage du Coq, en Belgique, où la police Belge dut prendre des mesures pour le protéger à la fois contre la haine des nazis et contre la curiosité excessive des journalistes. Le nouveau gouvernement allemand l'ayant destitué de ses fonctions et ayant confisqué tous ses biens, Einstein, après avoir donné sa démission de l'Académie des Sciences de Berlin, renonça à venir occuper à Paris la chaire que lui offrait le Collège de France et repartit pour les États-Unis, cette fois sans espoir de retour. Devenu directeur de l'« Institute of advanced Studies » de Princeton, il put dans le calme qui entoure ce haut lieu de l'esprit où règne la seule préoccupation de la science pure, reprendre le cours de ses travaux. Entouré d'élèves et d'admirateurs, il a poursuivi ses recherches sur les théories unitaires, ainsi que ses réflexions sur l'évolution de la Physique contemporaine. Dans ces dernières années, il a abandonné le poste de direction qu'il occupait à Princeton, mais il continue à y résider et à y poursuivre ses travaux dans la mesure où sa santé, devenue précaire, le lui a permis. Au milieu du respect et de l'admiration de ses pairs, Albert Einstein achève sa vie entouré par l'auréole d'une des œuvres scientifiques les plus géniales de l'histoire. C'est d'elle que je voudrais maintenant parler.

\*

\* \*

Pour tout homme cultivé, qu'il soit ou non consacré à l'étude de quelque branche de la Science, le nom d'Albert Einstein évoque le génial effort intellectuel qui, bouleversant les données les plus traditionnelles de la Physique, a abouti à établir la relativité des notions d'espace et de temps, l'inertie de l'énergie et l'interprétation en quelque sorte purement géométrique

des forces de gravitation. C'est là, en effet, une œuvre admirable, comparable aux plus grandes que l'on rencontre dans l'histoire des sciences, par exemple à celle de Newton ; à elle seule, elle suffirait à assurer à son auteur une gloire impérissable. Mais, si grande que soit cette œuvre, elle ne doit pas nous faire oublier qu'Albert Einstein a aussi apporté des contributions décisives à d'autres importants progrès de la physique contemporaine. Même si on laisse de côté les travaux pourtant remarquables, qu'il a accomplis sur le mouvement Brownien, sur la thermodynamique statistique et sur les fluctuations, on ne saurait méconnaître l'immense portée des recherches qu'il a consacrées à la naissante théorie des Quanta et, en particulier, sa conception des « Quanta de Lumière » qui, réintroduisant en Optique l'image corpusculaire, devait contraindre les physiciens à chercher une sorte de synthèse entre la théorie ondulatoire de la lumière de Fresnel et la vieille théorie granulaire. Par là, Einstein s'est trouvé à l'origine de tout le mouvement d'idées qui, sous les noms de Mécanique ondulatoire et de Mécanique quantique, devait quelques vingt ans plus tard jeter une si troublante lumière sur tous les phénomènes de l'échelle atomique.

Albert Einstein a, surtout dans sa jeunesse, écrit de très nombreux mémoires, mais presque tous ces mémoires sont courts. Il n'a écrit que quelques exposés d'ensemble assez succincts. Il a généralement laissé à d'autres le soin de présenter dans des ouvrages complets les théories dont sa puissante pensée avait jeté les bases. Mais, s'il a surtout écrit de courts articles, il n'est pas un d'entre eux qui ne contienne soit d'admirables idées nouvelles destinées à révolutionner la science, soit de fines et profondes remarques atteignant les aspects les plus cachés du problème étudié et ouvrant en quelques mots des perspectives presque indéfinies. L'œuvre d'Einstein est avant tout une « œuvre de qualité » dont toute amplification et tout développement détaillé sont exclus. On pourrait comparer ses mémoires aux fusées d'un feu d'artifice qui, brusquement, dans l'ombre de la nuit,



viendrait éclairer d'une brève, mais puissante illumination, toute une immense région inconnue.

Dans toutes les recherches qu'il a entreprises, Einstein a toujours su, et là est la marque de son génie, dominer toutes les questions qu'il abordait et les envisager sous un aspect nouveau qui avait échappé à ses précurseurs. Ainsi, dans les formules de la transformation de Lorentz, il voit, non pas, comme on l'avait fait avant lui un simple artifice mathématique, mais l'expression même de la liaison qui existe physiquement entre l'espace et le temps. Ainsi encore, dans les lois inattendues et inexplicables avec les idées classiques, de l'effet photoélectrique, il aperçoit la nécessité de revenir en quelque manière à la conception granulaire de la lumière. On pourrait multiplier les exemples : tous nous prouveraient la géniale originalité d'un esprit qui sait apercevoir d'un seul coup d'œil, à travers la complexité de questions difficiles, l'idée simple et nouvelle qui permet d'en pénétrer le véritable sens et de répandre soudainement la clarté là où régnaient les ténèbres.

\*

\* \*

Ce n'est pas diminuer le mérite des grands inventeurs que de remarquer que leur découverte vient toujours à son heure, préparée en quelque sorte par tout un ensemble de travaux antérieurs. Le fruit était mûr, mais nul n'avait su encore s'en apercevoir et le détacher.

Lorsqu'en 1905, Albert Einstein, avec une merveilleuse intuition, a énoncé le principe de relativité et en a aperçu la signification et la portée, il y avait une vingtaine d'années que les physiciens connaissaient l'existence, dans les théories anciennes, de difficultés dont ils ne parvenaient pas à préciser entièrement l'origine. Ces théories anciennes admettaient, en effet, l'existence de l'éther, c'est-à-dire d'un milieu subtil remplissant tout l'espace qui servait, pourrait-on dire, à matérialiser la notion classique d'espace absolu. Ce milieu

support de tous les phénomènes électriques et lumineux, restait très mystérieux : un demi-siècle de recherches n'avait pas permis aux continuateurs de Fresnel d'en préciser d'une façon raisonnable les propriétés physiques et dans les théories assez abstraites du champ électromagnétique développées notamment par Maxwell, Hertz et Lorentz, il ne jouait plus guère que le rôle d'un milieu de référence ; or, même réduit à ce rôle modeste, il restait gênant, car son existence conduisait à prévoir des phénomènes de mouvements relatifs par rapport à l'éther, qui, en réalité, ne se manifestent pas. Ces phénomènes sont très petits dans toutes les conditions réalisables et longtemps on avait pu expliquer l'impossibilité de les mettre en évidence par le manque de précision des mesures. Mais les grands progrès que la technique des mesures interférentielles avait permis de réaliser dans le domaine de la précision avaient permis à des physiciens, comme Michelson, d'affirmer l'inexistence des effets du mouvement de la terre par rapport à l'éther sur les phénomènes optiques, tels qu'ils étaient prévus par les théories alors admises. Les théoriciens émus de cette divergence entre les prévisions théoriques et les observations avaient envisagé la question sous toutes ses faces, soumettant la théorie électromagnétique à toutes sortes d'études critiques et de tentatives de remaniement, H.- A. Lorentz, le grand spécialiste de ces questions, celui qui avait eu le mérite d'établir sur des bases solides la théorie des électrons et d'en avoir tiré des prévisions bien vérifiées par les faits, notamment celle de l'effet Zeeman, avait su apercevoir un fait important. Examinant la façon dont se transforment les équations de Maxwell, quand on passe d'un système de référence à un autre en mouvement rectiligne et uniforme par rapport au premier, il avait montré que ces équations restent invariantes lorsqu'on utilise certaines variables  $x', y', z', t'$  reliées aux variables initiales par certaines relations linéaires constituant ce que l'on nomme depuis lors la « transformation de Lorentz ». Mais, d'après les idées encore régnantes sur le caractère absolu de l'espace et du temps, les variables  $x', y', z', t'$ , de la

transformation de Lorentz ne pouvaient coïncider avec les véritables coordonnées d'espace-temps dans le nouveau système de référence. Lorentz les considérait donc seulement comme des sortes de variables fictives facilitant certains calculs : s'approchant cependant fort près de la véritable solution du problème, il avait défini à l'aide de la variable  $t'$  un « temps local », tandis que Fitzgerald, interprétant à sa façon les formules de Lorentz, attribuait l'échec des expériences de Michelson à un aplatissement, une contraction longitudinale, que subirait tout corps solide en mouvement. Transformation de Lorentz, temps local, contraction de Fitzgerald apparaissent comme des artifices permettant de rendre compte de certains aspects des propriétés du champ électromagnétique sans qu'on put nettement apercevoir leur signification profonde. Alors vint Albert Einstein.

Avec une grande hardiesse, il aborda ce redoutable problème qui avait déjà fait l'objet de tant de recherches en se plaçant résolument à un point de vue nouveau. Pour lui, les formules de la transformation de Lorentz ne sont pas de simples relations mathématiques définissant un changement de variables commode pour étudier les équations de l'Électromagnétisme : elles sont l'expression de la relation qui existe *physiquement* entre les coordonnées d'espace et de temps de deux observateurs Galiléens. Hypothèse hardie s'il en fût, devant laquelle avait reculé l'esprit perspicace de Lorentz ! Elle entraînait en effet l'abandon des notions traditionnelles depuis Newton sur la nature absolue de l'espace et du temps et établissait entre ces deux éléments du cadre où s'ordonnent toutes nos perceptions une relation imprévue tout à fait contraire aux données immédiates de notre intuition. Ce fut le merveilleux mérite d'Albert Einstein de parvenir, par une analyse extrêmement fine et profonde de la manière dont le physicien est amené par des opérations de mesure à constituer son cadre de l'espace et du temps, à montrer que les coordonnées d'espace et de temps de divers observateurs Galiléens sont bien reliées entre elles par les formules de Lorentz. Montrant que la non existence

de signaux se propageant avec une vitesse infinie entraîne l'impossibilité de vérifier la simultanéité de deux événements se produisant en des points éloignés, il analyse la manière dont les observateurs liés à un même système Galiléen parviendront cependant, en synchronisant leurs horloges par des échanges de signaux, à définir une simultanéité dans leur système de référence ; mais cette simultanéité ne sera valable que pour eux et des événements qui leur paraîtront ainsi être simultanés ne le seront pas pour des observateurs en mouvement par rapport à eux. Dans ces raisonnements intervient essentiellement le fait qu'aucun signal ne peut se propager avec une vitesse supérieure à celle de la lumière dans le vide.

Il ne saurait être question d'exposer ici en détails comment les idées d'Einstein ont conduit au développement d'une théorie mathématique précise et subtile, la théorie de la Relativité restreinte, qui nous enseigne comment se transforment les coordonnées d'espace et de temps lors des changements de systèmes de référence Galiléens en mouvement rectiligne et uniforme les uns par rapport aux autres. Nous nous bornerons à énumérer plus loin quelques - unes des principales conséquences de cette théorie. Mais nous devons souligner par quel admirable effort, sans beaucoup de précédents dans l'histoire des sciences, Einstein est arrivé à dégager des conceptions fondamentalement nouvelles qui ont d'un coup levé toutes les difficultés rencontrées sur son chemin par l'Électrodynamique des corps en mouvement.

Les idées nouvelles sur l'espace et sur le temps ont été représentées par l'introduction de l'espace-temps ou univers de Minkowski. Ce continu à 4 dimensions conserve le caractère *a priori* que possédaient séparément, dans l'esprit des savants antérieurs à Einstein, l'espace absolu et le temps absolu. Les distances et les éléments de volume de l'espace-temps ont en effet une valeur invariante, c'est-à-dire la même pour tous les observateurs galiléens malgré la diversité des coordonnées d'espace et des coordonnées de temps qu'ils emploient. L'espace et le temps cessent d'avoir un caractère absolu,

mais l'espace-temps qui les réunit conserve ce caractère. Dans l'espace-temps, chaque observateur découpe à sa manière son espace et son temps et les formules de la transformation de Lorentz nous montrent comment ces différents découpagelements sont reliés entre eux.

Dans l'espace-temps, tout ce qui pour chacun de nous constitue le passé, le présent et l'avenir, est donné en bloc et tout l'ensemble des événements, pour nous successifs, dont est formée l'existence d'une particule matérielle est représenté par une ligne, la ligne d'Univers de la particule. D'ailleurs, cette conception nouvelle respecte le principe de causalité et ne porte pas atteinte au déterminisme des phénomènes. Chaque observateur, au fur et à mesure que son temps propre s'écoule, découvre pour ainsi dire de nouvelles tranches de l'espace-temps qui lui apparaissent comme les aspects successifs du monde matériel, bien qu'en réalité l'ensemble des événements constituant l'espace-temps préexistent à cette connaissance. Bien qu'ayant bouleversé un grand nombre des notions admises par la Physique classique, la théorie de la Relativité peut en un sens être considérée comme le couronnement ou l'aboutissement de cette Physique, car elle respecte la possibilité pour chaque observateur de localiser et de décrire tous les phénomènes dans le cadre de l'espace et du temps, ainsi que leur déterminisme rigoureux d'où résulte que l'ensemble de ces phénomènes passés, présents ou à venir est en quelque sorte donné *a priori*. La Physique quantique issue de l'étude des phénomènes atomiques a conduit sur ces points à des conceptions très différentes qui s'éloignent bien davantage de celles de la Physique classique. Nous n'aborderons pas l'étude de cette question qui nous entraînerait trop loin et nous nous bornerons à dire qu'en tout cas pour tous les phénomènes macroscopiques étudiés par la Physique classique, phénomènes où interviennent un nombre immense de processus quantiques, les conceptions de la théorie de la Relativité conservent toute leur valeur à titre d'approximations statistiques très exactes.

Dès qu'Albert Einstein eut jeté les fondements de la théorie de la Relativité, d'innombrables conséquences d'un haut intérêt découlèrent d'idées si étrangement nouvelles. Contraction de Lorentz-Fitzgerald, ralentissement apparent des horloges en mouvement, variation de la masse avec la vitesse dans le mouvement des particules rapides, formules nouvelles contenant des termes supplémentaires pour l'aberration et l'effet Doppler, formules nouvelles pour la composition des vitesses permettant de retrouver directement comme une simple conséquence de la cinématique relativiste, la célèbre formule de Fresnel, vérifiée par Fizeau, donnant l'entraînement des ondes lumineuses par les corps réfringents en mouvement, telles sont quelques-unes des principales conséquences des conceptions d'Einstein. Et ce ne sont pas là de simples vues théoriques : on ne saurait trop insister sur le fait que la théorie de la Relativité restreinte s'appuie aujourd'hui sur d'innombrables vérifications expérimentales, car nous savons couramment obtenir des particules de vitesses voisines de celle de la lumière dans le vide, particules pour lesquelles il est nécessaire de tenir compte des corrections introduites par la théorie de la Relativité. Pour ne citer que deux exemples parmi beaucoup d'autres, rappelons que la variation de la masse avec la vitesse déduite par Einstein de la Dynamique relativiste, après avoir été solidement établie par les expériences de Guye et Lavanchy, est quotidiennement vérifiée par l'observation du mouvement des particules très rapides dont la Physique nucléaire fait aujourd'hui un si grand usage : rappelons aussi que de belles expériences de M. Ives ont permis de vérifier les formules relativistes de l'effet Doppler et de démontrer ainsi indirectement l'existence du ralentissement des horloges dont elles sont une conséquence.

Assurément, quelques-unes des conséquences de la théorie de la Relativité avaient été aperçues, en quelque sorte isolément les unes aux autres, par divers théoriciens et notamment par H.-A. Lorentz et par Henri

Poincaré. Mais quelque remarquables qu'aient été leurs résultats, seule la vigoureuse synthèse d'Einstein les a fait apparaître sous leur véritable jour comme découlant tous d'un même principe fondamental.

Si la théorie de la Relativité restreinte a été ainsi, de nombreuses façons, directement vérifiée par l'expérience, elle a aussi indirectement prouvé toute sa valeur en servant de point de départ à de fructueuses théories nouvelles. Elle intervient ainsi dans la théorie des photons (quanta de lumière), dans celle de l'effet Compton, elle trouve des vérifications expérimentales dans l'étude de l'effet photoélectrique et de la diffraction des électrons quand on a affaire à des particules de très grande vitesse où la variation de la masse avec la vitesse est sensible. L'introduction de la Dynamique relativiste dans la théorie atomique de Bohr a permis à Sommerfeld d'obtenir pour la première fois une théorie de la structure fine des raies spectrales qui, en son temps, a constitué un considérable progrès. L'auteur de la présente Notice ne saurait oublier le rôle que les considérations relativistes ont joué dans les raisonnements qui l'ont conduit aux idées de base de la Mécanique ondulatoire. Enfin la théorie de l'électron magnétique de Dirac a permis d'obtenir une théorie relativiste des particules à spin et montré qu'un lien étroit et assez caché existe entre les idées relativistes et la notion de spin.

On ne saurait faire aujourd'hui une analyse, même très sommaire, de la théorie de la Relativité restreinte sans parler de l'inertie de l'énergie. En Dynamique relativiste, l'expression de l'énergie d'un point matériel montre que dans chaque système de référence galiléen l'énergie est égale au produit du carré de la vitesse de la lumière dans le vide par la masse que possède, en vertu de son mouvement dans ce système de référence, le point matériel considéré. Partant de cette constatation et la généralisant hardiment, Albert Einstein en conclut qu'à toute masse correspond nécessairement une énergie égale au produit de cette masse par le carré de la vitesse de la lumière et il montra par d'ingénieux exemples comment on peut vérifier cette idée dans

des cas particuliers. Il en résultait d'un seul coup une grande simplification des conceptions jusqu'alors admises puisque les deux principes de la conservation de la masse et de la conservation de l'énergie, considérés jusqu'alors comme absolument distincts, venaient en quelque sorte se confondre. Le rayonnement transportant de l'énergie, il en résultait qu'un corps qui rayonne perd de la masse et qu'un corps qui absorbe du rayonnement acquiert de la masse. Ces idées nouvelles étaient d'ailleurs tout à fait en accord avec l'existence d'une quantité de mouvement de l'énergie radiante qu'avaient signalée les travaux d'Henri Poincaré et de Max Abraham.

Une des conséquences les plus importantes de ce principe de l'inertie de l'énergie est que le moindre fragment de matière contient du fait de sa masse une énorme quantité d'énergie. La matière apparaissait dès lors comme un immense réservoir d'énergie pour ainsi dire congelée sous forme de masse et rien n'interdisait plus de penser qu'un jour les hommes parviendraient à libérer et à utiliser une partie de ce trésor caché. On sait comment, exactement 40 ans après les premiers travaux d'Einstein sur la relativité, cette prévision a trouvé une éclatante et assez effrayante vérification.

Le principe de l'inertie de l'énergie permet aussi de comprendre pourquoi, lors de la formation exothermique d'un noyau d'atome à partir de ses constituants, la masse du noyau ainsi formé est inférieure à la somme des masses des constituants. Ainsi se trouvent expliqués, comme Paul Langevin l'a fait naguère remarquer, les « défauts de masse » présentés par les noyaux. L'inertie de l'énergie intervient ainsi d'une façon essentielle dans les bilans d'énergie relatifs aux réactions nucléaires. Le principe établi par Einstein joue aujourd'hui un rôle fondamental dans la Physique et la Chimie nucléaires et a trouvé dans ce domaine un immense champ d'application : il reste l'une des plus magnifiques conquêtes que nous devons au créateur de la théorie de la Relativité.

\*

\* \*



La théorie de la Relativité restreinte est un monument admirable, mais incomplet. Elle traite, en effet, seulement de la description des phénomènes dans les systèmes de référence Galiléens, c'est-à-dire dans les systèmes de référence qui sont en mouvement rectiligne et uniforme par rapport à l'ensemble des étoiles fixes. Donc, d'une part, elle ne s'occupe que des changements de variables correspondant à des mouvements relatifs rectilignes et uniformes, d'autre part, elle laisse une sorte de primauté aux systèmes de référence liés à l'ensemble des étoiles fixes. Il paraissait nécessaire de s'affranchir de ces restrictions en construisant une théorie plus générale étendant le principe de relativité au cas de mouvements accélérés quelconques et reliant le caractère en apparence absolu des accélérations à l'existence de l'ensemble des masses stellaires. Albert Einstein, très conscient dès le début de ses travaux de la nécessité d'une telle généralisation, parvint petit à petit à la solution cherchée : dans cette recherche, il fut guidé par les remarques de certains précurseurs, tels que Mach, et par sa grande connaissance du calcul tensoriel et du calcul différentiel absolu dont la théorie de la Relativité restreinte avait déjà fait quelque usage, mais ici encore c'est la géniale originalité de son esprit qui lui permit d'atteindre le but, ce qui fut définitivement acquis en 1916.

Il ne peut être question d'analyser ici la théorie de la Relativité générale qui exige pour sa présentation un large appel à des théories mathématiques difficiles. Disons seulement qu'elle repose essentiellement sur l'idée que toutes les lois de la Physique doivent pouvoir s'exprimer par des équations « covariantes », c'est-à-dire qui ont la même forme mathématique, quel que soit le système de référence employé, quelles que soient les variables d'espace-temps utilisées. Si l'on applique cette idée à un système de référence en rotation, on s'aperçoit que les forces centrifuges et centrifuges composées, qui interviennent dans le mouvement d'un mobile par rapport à ce système, peuvent être considérées comme résultant de la forme métrique de l'élément

d'espace-temps avec les variables utilisées par l'observateur en rotation.

Le nouvel éclair de génie d'Einstein au cours de cette étude fut d'apercevoir la possibilité d'obtenir une interprétation géométrique des forces de gravitation tout à fait analogue à celle des forces centrifuges. Les forces centrifuges sont proportionnelles à la masse du corps auxquelles elles s'appliquent et ceci paraît tout naturel. Mais, et voilà qui est bien plus extraordinaire, il en est de même des forces de gravitation puisque la force de gravitation subie par un corps est toujours aussi proportionnelle à sa masse. Cette proportionnalité de la masse « pesante » à la masse « inerte » a été vérifiée par les expériences très précises d'Eötvös et paraît rigoureuse : il en résulte que la trajectoire d'un point matériel sous l'action d'un champ de gravitation est indépendante de sa masse. Cette analogie entre les forces centrifuges et les forces de gravitation invite à interpréter celles-là comme celles-ci en les considérant comme résultant de l'expression de la forme métrique de l'espace-temps à l'aide des variables qu'utilise l'observateur plongé dans le champ de gravitation. Poursuivant dans cette voie, Einstein a montré « l'équivalence » de la force d'inertie et d'une force de gravitation et l'a illustrée par le célèbre exemple de l'ascenseur en chute libre : un observateur enfermé dans la cabine d'un ascenseur peut dire qu'il est maintenu en contact avec le sol de la cabine par son poids, mais il peut aussi bien dire qu'il n'a pas de poids et que l'ascenseur est animé d'un mouvement d'accélération égale à  $g$  dirigé vers le haut.

L'analogie entre les forces centrifuges et celles de gravitation n'est cependant pas complète. On peut, en effet, faire disparaître les forces centrifuges en se plaçant dans un système de coordonnées Galiléen et on retombe alors sur les formules de la Relativité restreinte, tandis qu'on ne peut pas, par un choix approprié du système de référence, éliminer les forces de gravitation. Einstein a découvert l'interprétation géométrique de ce fait. En l'absence de

gravitation, l'espace-temps est euclidien<sup>1</sup> et l'on peut choisir des systèmes de référence cartésiens où il n'y a pas de forces centrifuges : ces forces n'apparaissent que si l'on prend des coordonnées curvilignes, ce qui revient à se placer dans un système de référence accéléré, par exemple dans un système tournant. Par contre, en présence d'un champ de gravitation, l'espace-temps n'est pas euclidien et, tout comme sur une surface courbe, il est impossible de choisir des coordonnées cartésiennes. La gravitation se trouve ainsi ramenée à un effet de courbure de l'espace-temps et, comme elle dépend de l'existence des masses répandues dans l'univers, on en déduit que la structure de l'Univers, et, en particulier, sa courbure au sens géométrique, dépend des masses qu'il contient.

S'appuyant sur la théorie riemannienne des espaces courbes, la théorie de la Relativité généralisée développe, en utilisant toutes les ressources du calcul tensoriel, une interprétation des phénomènes de gravitation dont on ne peut contester l'élégance et la beauté. Elle restera un des plus beaux monuments de la Physique mathématique du XX<sup>e</sup> siècle.

Les vérifications de la théorie de la Relativité généralisée sont en petit nombre et encore assez imprécises. La rotation du périhélie de Mercure, dont la valeur exacte n'avait pu être prévue par la Mécanique céleste classique, paraît être conforme aux prévisions de la théorie relativiste de la Gravitation : mais il s'agit là d'un effet résiduel qui subsiste quand on a tenu compte des perturbations dues aux autres astres du système solaire, les calculs précis sont longs et difficiles et n'ont pas été vérifiés souvent, de sorte que cette vérification de la théorie relativiste demanderait encore à être soigneusement discutée. La déviation des rayons lumineux passant dans un champ intense de gravitation, telle qu'elle est prévue par la théorie d'Einstein, a été recherchée en étudiant les rayons lumineux venant d'une étoile éloignée qui passent près du bord du soleil lors d'une éclipse totale de celui-ci : les résultats ont été

---

<sup>1</sup> Ou plus exactement pseudo-euclidien.

encourageants, mais de nouvelles mesures seraient encore souhaitables. Quant au déplacement vers le rouge des raies émises par une source placée dans un champ de gravitation intense, il a fait l'objet de beaucoup de discussions : il semble qu'on l'ait observé à la surface du soleil, mais les déplacements observés qui sont ici assez petits pourraient peut-être être dus à d'autres causes (influence de la pression, des champs magnétiques, etc. ...). Un déplacement plus important était à prévoir dans le cas des « *naines blanches* », étoiles de très petites dimensions à très fortes densités, à la surface desquelles règne un champ de gravitation très intense : effectivement un très grand déplacement des raies a été observé dans le spectre du Compagnon de Sirius et ceci paraît constituer, bien qu'on puisse encore ici faire quelques objections, une des meilleures vérifications expérimentales de la théorie relativiste de la gravitation .

L'assimilation de l'espace-temps à une surface courbe (à 4 dimensions) conduit nécessairement à se demander si l'Univers est indéfini ou bien est partiellement ou totalement fermé sur lui-même comme un cylindre ou une sphère. On aboutit, en creusant cette question, à des théories cosmologiques, de caractère naturellement un peu conjectural, sur la structure d'ensemble de l'Univers. Einstein lui-même a marché le premier dans cette voie en introduisant dans la théorie de la gravitation une constante cosmologique reliée aux dimensions de l'Univers supposé fini et en développant l'hypothèse d'un Univers cylindrique, tandis que l'astronome hollandais de Sitter étudiait l'hypothèse d'un Univers sphérique. Ces théories audacieuses conduisaient à des prévisions que l'état actuel de l'Astronomie ne permettait pas de vérifier et elles seraient restées un peu stériles si, en les modifiant légèrement, l'abbé Lemaitre n'était pas arrivé à en tirer une explication du si curieux phénomène de la récession des nébuleuses lointaines et de la loi linéaire de Hubble. Lemaitre a imaginé que l'Univers, au lieu d'être une sphère statique, comme le supposait de Sitter, est une sphère dont les dimensions augmentent

(Univers en expansion) et montre que cette hypothèse peut logiquement être introduite dans le cadre de la théorie de la Relativité généralisée. On ne peut pas dire aujourd'hui avec certitude si l'explication ainsi obtenue de la récession apparente des nébuleuses est définitive, mais il ne semble pas qu'aucune autre explication valable ait été jusqu'ici proposée. Sans vouloir nous prononcer sur des questions que seule l'étude des profondeurs du ciel faite à l'aide des plus puissants instruments de l'astronomie contemporaine permettra peut-être de trancher, nous remarquerons combien la théorie d'Einstein a été féconde en conceptions nouvelles de toute sorte et comment, partie de la Physique pure, elle est venue exercer une influence stimulante sur les recherches les plus élevées de l'Astronomie.

La théorie de la Relativité généralisée tend à donner une interprétation géométrique de la notion de « force ». Elle y parvient d'une manière satisfaisante en ce qui concerne les forces de gravitation. Son but serait donc entièrement atteint si elle parvenait à interpréter aussi les forces électromagnétiques, car on pouvait penser, à cet époque où l'on ignorait encore l'existence des forces nucléaires, que toutes les forces existant dans la nature étaient soit du type gravifique, soit du type électromagnétique. Mais les forces électromagnétiques sont proportionnelles à la charge du corps sur lequel elles agissent et non pas à sa masse : il en résulte que la trajectoire d'un point matériel électrisé dans un champ électromagnétique dépend du rapport de sa charge à sa masse et varie suivant la nature du point matériel. Il y a là, entre le champ gravifique et le champ électromagnétique, une différence fondamentale qui ne permettait pas d'étendre au second l'interprétation géométrique qui avait réussi pour le premier. D'innombrables tentatives ont été faites depuis 30 ans pour compléter sur ce point la théorie de la Relativité générale et la transformer en une « théorie unitaire » capable d'interpréter à la fois l'existence des forces gravifiques et des forces électromagnétiques. Les théories de Weyl, Eddington, Kaluza etc. ... sont bien connues, mais aucune

ne paraît avoir remporté un succès complet. Naturellement, Einstein s'est aussi attaché à la solution de ce problème et, depuis une vingtaine d'années, a publié, soit seul, soit avec des collaborateurs, d'assez nombreux mémoires sur de nouvelles formes de théories unitaires. Les tentatives d'Einstein en ce sens toujours marquées par la forte originalité de sa pensée ne seront point étudiées ici. Malgré leur indiscutable intérêt, elles n'ont pas, à notre connaissance, abouti à un succès décisif et forment plutôt des jalons posés sur une route qui n'est pas encore déblayée. D'ailleurs la nature du champ électromagnétique est si intimement liée à l'existence des phénomènes de Quanta que toute théorie unitaire non quantique est nécessairement incomplète. Il y a des problèmes d'une redoutable complexité dont la solution est encore « sur les genoux des dieux ».

\*

\* \*

L'œuvre d'Albert Einstein relative aux fluctuations, au mouvement Brownien, à la thermodynamique statistique, a sans doute une moins grande portée générale que ses fulgurantes recherches sur la théorie de la Relativité. Elle suffirait cependant à elle seule à faire la renommée d'un grand physicien. Accomplie dans la période 1905-1912, se développant parallèlement aux remarquables travaux théoriques de M. Smoluchovski sur le même sujet, elle venait à son heure, car, à cette époque, de toute part on cherchait à obtenir des preuves directes ou indirectes de la réalité des molécules. Un grand nombre d'expérimentateurs, au premier rang desquels se trouvaient Jean Perrin et M. The Svedberg, ont alors, par l'observation de l'équilibre des émulsions, du mouvement Brownien, des fluctuations de densité, de l'opalescence critique, etc. ..., apporté les preuves décisives que l'on souhaitait de l'existence des molécules. Tous ces travaux ont été guidés et éclairés par les calculs d'Einstein. Et les conceptions ou les méthodes qu'Einstein, avec sa profondeur habituelle, a introduites au cours de ses recherches théoriques ont aussi projeté un jour nouveau sur certains aspects de l'interprétation statistique de la

Thermodynamique.

Si, pour abréger, je dois passer rapidement sur cette partie, pourtant importante, de l'œuvre d'Albert Einstein, il me faut, par contre insister plus longuement sur les contributions capitales qu'il a apportées au développement de la théorie des Quanta. On ne doit pas oublier que c'est en particulier pour ces travaux sur l'effet photoélectrique qu'Einstein a reçu en 1921 le prix Nobel de Physique.

Au moment où Einstein entreprenait ses premières recherches, Planck venait, dans des travaux mémorables d'introduire en Physique la surprenante hypothèse des quanta et de montrer qu'elle permettait de retrouver les lois expérimentales de la répartition spectrale du rayonnement d'équilibre thermique dont les théories classiques n'étaient pas parvenues à rendre compte. Planck avait admis, troublante supposition tout à fait en désaccord avec les conceptions les plus invétérées de l'ancienne Physique, que les oscillateurs électroniques qui à l'intérieur de la matière sont responsables de l'émission et de l'absorption des rayonnements, ne peuvent émettre l'énergie radiante que par quantités finies, par quanta, de valeur proportionnelle à la fréquence émise. Il avait ainsi été amené à introduire comme facteur de proportionnalité cette fameuse constante de Planck dont l'importance pour les phénomènes de l'échelle atomique n'a pas cessé depuis lors de s'affirmer chaque jour davantage. Planck obtenait ainsi la loi correcte du rayonnement noir et, en comparant sa formule avec les résultats expérimentaux, il en tirait la valeur de la constante  $h$ . D'ailleurs, l'introduction de l'hypothèse des quanta se montrait nécessaire pour obtenir une représentation correcte des propriétés du rayonnement noir. Les travaux de lord Rayleigh, de Jeans, de Planck lui-même, un peu plus tard ceux d'Henri Poincaré, prouvaient que les conceptions anciennes conduisaient inéluctablement à des lois inexactes et que l'introduction de l'élément de discontinuité représenté par le quantum d'Action était inévitable .

Dans ses premiers travaux sur ce sujet, Planck avait admis que le rayonnement était émis *et absorbé* par quanta : ce fut la première version de la théorie des quanta. Mais, si le rayonnement est toujours absorbé par quanta, il paraît nécessaire d'admettre que l'énergie radiante arrive par quanta, c'est-à-dire que les ondes électromagnétiques, au lieu d'être homogènes, comme on le supposait toujours jusque-là, comporteraient des concentrations locales d'énergie, des grains d'énergie. Une telle constitution des ondes électromagnétiques, et, en particulier, des ondes lumineuses, paraissait par ailleurs bien difficile à concilier avec les propriétés connues du rayonnement, notamment avec les phénomènes d'interférences et de diffraction dont la théorie des ondes homogènes de Fresnel et de Maxwell donnait une description si exacte. Comme on pourrait à la rigueur admettre que l'émission du rayonnement se fasse par quanta sans pour cela postuler une structure granulaire du rayonnement, Planck, esprit prudent, accoutumé aux méthodes de la Physique classique, préféra reprendre sa théorie du rayonnement noir en faisant l'hypothèse que l'émission, mais non l'absorption, avait lieu par quanta : ce fut la deuxième version, un peu bâtarde, de la théorie des quanta.

Le jeune Einstein se livrait à de profondes réflexions sur ce difficile sujet et, en 1905, à 26 ans, au moment où il jetait les bases de la théorie de la Relativité, il proposait de se placer franchement au point de vue le plus radical, en admettant l'hypothèse d'une structure granulaire du rayonnement, et il en tirait l'interprétation des lois mystérieuses de l'effet photoélectrique. Ainsi, des deux grandes théories qui règnent aujourd'hui en maîtresses sur toute la Physique contemporaine, celle de la Relativité et celle des Quanta, dans une même année, avec la vigueur géniale d'un esprit exceptionnel, Einstein fondait l'une et faisait faire à l'autre un progrès capital.

L'effet photoélectrique, découvert par Hertz en 1887, suit des lois qui ont longtemps paru incompréhensibles. Un métal soumis à une irradiation émet des électrons si la fréquence du rayonnement incident est supérieure à un



certain seuil : l'énergie cinétique des électrons émis croît linéairement en fonction de la différence entre la fréquence excitatrice et la fréquence seuil. Le phénomène élémentaire d'éjection d'un électron par le métal dépend ainsi uniquement de la fréquence de la radiation incidente et aucunement de son amplitude : seul le nombre de ces phénomènes élémentaires croît avec l'intensité du rayonnement excitateur. Les théories classiques sur la constitution de la lumière ne peuvent rien prévoir de semblable et les lois de l'effet photoélectrique restaient inexplicables. Einstein, abandonnant l'attitude prudente de Planck, aperçoit dans ces lois la preuve que le rayonnement a une structure granulaire, l'énergie dans une onde de fréquence  $\nu$  étant concentrée en corpuscule de contenu énergétique égal à  $h\nu$ . Il en tire avec une admirable simplicité l'interprétation des lois photoélectriques. Si, pour sortir de la matière, l'électron doit dépenser une énergie  $w_0$ , il ne pourra, après avoir absorbé un quantum  $h\nu$ , être éjecté au dehors que si  $h\nu > w_0$  d'où l'existence à une fréquence seuil : si  $h\nu > w_0$ , il sortira de la matière avec l'énergie cinétique  $h\nu - w_0$ , d'où la croissance linéaire de cette énergie en fonction de  $\nu$ . Cette théorie, d'une si grande simplicité, a été vérifiée depuis par Millikan pour la lumière ordinaire, par M. Maurice de Broglie pour les Rayons X, par MM. Jean Thibaud et Ellis pour les rayons  $\gamma$  : leurs expériences ont fourni un nouveau moyen de mesurer la valeur de la constante  $h$ . Ainsi s'est trouvé directement appuyée par des expériences précises la nécessité de revenir en quelque manière à une conception corpusculaire de la lumière déjà prônée par Newton et beaucoup d'autres savants avant que le succès de la théorie des ondes à la suite de l'œuvre admirable de Fresnel n'ait amené tous les physiciens à l'abandonner. Cette nouvelle théorie granulaire de la lumière, Einstein, pour en marquer l'origine quantique, l'appelait « théorie des quanta de lumière (lichtquanten) » : nous la nommons aujourd'hui « théorie des photons ».

Dans les années qui suivirent, Einstein n'a pas cessé de réfléchir à cette

nouvelle conception de la lumière. A l'aide d'arguments tirés de la théorie de la Relativité et de l'étude de l'équilibre entre rayonnement et matière, ainsi que des fluctuations d'énergie dans le rayonnement noir, il a montré que les photons doivent avoir non seulement une énergie  $h\nu$ , mais une quantité de mouvement  $\frac{h\nu}{c}$ , conclusion qui se trouva plus tard vérifiée par la découverte et l'étude de l'effet Compton. Bien entendu, les conceptions d'Einstein se heurtèrent tout de suite à de fortes oppositions. De grands maîtres de la Science comme Lorentz et Planck n'eurent pas de peine à montrer qu'une théorie purement corpusculaire de la lumière ne peut rendre compte des phénomènes de diffraction et de cohérence des trains d'ondes dont la théorie ondulatoire offre une interprétation aisée. Einstein ne niait pas ces difficultés, mais il affirmait la nécessité d'introduire dans les ondes lumineuses un élément de discontinuité, étayant ses affirmations par de pénétrantes remarques. Il penchait vers une « théorie mixte » qui admettrait l'existence des grains d'énergie radiante, mais qui lierait leur mouvement et leur localisation à la propagation d'une onde homogène du type Maxwell-Fresnel. Plus tard, l'auteur de la présente Notice devait, au début du développement de la Mécanique ondulatoire, tenter de développer une idée analogue pour interpréter la relation générale entre les corpuscules et leurs ondes associées. Ces tentatives ont échoué et il a fallu en arriver à une interprétation très différente liée aux relations d'incertitude de Heisenberg : nous en reparlerons plus loin. Mais il est certain que les idées d'Einstein sur la constitution de la lumière ont joué un rôle décisif dans l'évolution de la théorie des quanta et l'éclosion de la Mécanique ondulatoire.

Poursuivant l'étude des applications de l'hypothèse de Planck, Albert Einstein a montré qu'elle fournit une nouvelle théorie des chaleurs spécifiques et permet de lever des difficultés qui s'étaient présentées dans ce domaine. La formule d'Einstein pour les chaleurs spécifiques, bien que fondée sur des hypothèses trop simples pour être véritablement applicables aux cas réels, a

clairement montré le rôle joué par le quantum d'action dans ces phénomènes et elle a servi de modèle pour les recherches plus détaillées effectuées ensuite par Lindemann, Debye, Born et Karman...

Cependant la théorie des Quanta faisait par ailleurs d'énormes progrès. En 1913, Bohr publiait sa théorie quantique de l'atome dont on connaît l'immense répercussion sur toute la Physique : en 1916, Sommerfeld perfectionnait la théorie de Bohr en y introduisant les corrections de relativité et rendait compte, au moins partiellement, des structures fines observées dans les spectres. Einstein suivait avec un grand intérêt tous ces travaux : il précisa dans un mémoire la méthode de quantification employée par Sommerfeld et, lorsque Bohr eut énoncé son « principe de correspondance », il publia un célèbre travail où, étudiant l'équilibre thermodynamique entre un gaz et le rayonnement noir, il montrait le lien existant entre la formule de Planck et la loi des fréquences de Bohr et, en accord avec le principe de correspondance, donnait l'expression de la probabilité des transitions quantiques que peut subir un atome plongé dans le rayonnement ambiant. Et, une fois de plus, il apportait ainsi une contribution capitale au développement de la théorie des quanta.

Lorsqu'en 1924 l'auteur de la présente Notice exposa dans sa thèse de Doctorat les idées qui sont restées à la base de la Mécanique ondulatoire, Einstein en eut connaissance par l'intermédiaire de Paul Langevin et, en appréciant l'intérêt, il publia, en janvier 1925, aux Comptes Rendus de l'Académie de Berlin, une note où, s'appuyant sur ces idées nouvelles et sur un travail récent du physicien Hindou Bose, il précisait la statistique applicable à une assemblée de particules indiscernables les unes des autres. Cette statistique, qui est applicable aux photons, aux particules **a** et plus généralement à toute particule complexe contenant un nombre pair de corpuscules élémentaires, porte aujourd'hui le nom de « statistique de Bose-Einstein ». Comme on le sait maintenant, les électrons, les protons, les

neutrons et les particules complexes formées d'un nombre impair de corpuscules élémentaires sont soumis au principe d'exclusion de Pauli et leurs ensembles obéissent à une statistique différente, celle de Fermi-Dirac. En attirant l'attention sur les idées nouvelles de la Mécanique ondulatoire, le mémoire de M. Einstein a certainement beaucoup contribué à hâter son développement.

Entre 1924 et 1928, les nouvelles théories quantiques, Mécanique ondulatoire et Mécanique quantique, prirent rapidement un grand essor grâce surtout aux travaux de MM. Heisenberg, Born, Schrödinger et Dirac. En 1927, Heisenberg fit connaître ses relations d'incertitude : son travail, joint aux pénétrantes analyses de Bohr, a conduit alors à une interprétation physique de la nouvelle Mécanique où la notion de probabilité joue un rôle primordial et qui, abandonnant les idées les plus chères à la Physique classique, cesse d'attribuer constamment une position et une vitesse aux particules à l'échelle atomique et renonce à imposer un déterminisme rigoureux à la succession de leurs manifestations observables. Einstein, comme certains des physiciens de sa génération ou des générations antérieures (Langevin, Planck), n'a jamais admis entièrement, semble-t-il, les idées nouvelles de Bohr et Heisenberg. Déjà, au Conseil Solvay d'octobre 1927, il leur opposait de sérieuses objections. Quelques années plus tard, dans un mémoire écrit avec MM. Podolsky et Rosen, il exposait les difficultés que l'interprétation actuelle de la Mécanique quantique lui paraissait soulever. Aux objections d'Einstein, divers physiciens, et notamment M. Bohr, ont fait de subtiles réponses et il me semble bien qu'aujourd'hui la presque unanimité des physiciens de la jeune génération soit d'accord pour admettre l'interprétation de Bohr-Heisenberg qui paraît la seule compatible avec l'ensemble des faits connus. Néanmoins, les objections d'Einstein, qui portent la marque de son esprit toujours profond, auront de toute façon été utiles parce qu'elles ont forcé les défenseurs des nouvelles conceptions à préciser des points délicats. Même si

l'on juge possible de les écarter, il est utile de les avoir étudiées et d'y avoir longuement réfléchi.

\*

\* \*

La première moitié du XX<sup>e</sup> siècle a été marquée par un extraordinaire essor de la Physique qui restera un des plus brillants chapitres de l'histoire de la Science. Dans ces quelques années, la science humaine a élevé deux monuments qui subsisteront dans les siècles futurs : la théorie de la Relativité et la théorie des Quanta. Le premier est sorti tout entier du cerveau créateur d'Albert Einstein : le second dont Planck a posé les premières pierres doit à la pensée d'Einstein quelques-uns de ses plus admirables prolongements.

On ne saurait sans étonnement et sans admiration contempler une œuvre à la fois si profonde et si puissamment originale, accomplie en quelques années. Le nom d'Albert Einstein restera toujours attaché à deux des plus magnifiques réussites dont l'esprit humain puisse s'enorgueillir.