

NOTICE
SUR LA VIE ET L'ŒUVRE

DE

HENDRIK ANTOON LORENTZ

Associé étranger de l'Académie

PAR

M. LOUIS DE BROGLIE

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

LECTURE FAITE EN LA SÉANCE ANNUELLE DES PRIX DU 10 DÉCEMBRE 1951.

MESSIEURS,

Bien qu'il soit un peu arbitraire d'introduire des divisions nettes dans la continuité des évolutions historiques, il est cependant possible de distinguer dans l'histoire d'une science des périodes plus ou moins longues pendant lesquelles, malgré les progrès incessants que cette science accomplit, les tendances générales qui l'animent, les

conceptions théoriques dont elle fait usage restent à peu près les mêmes. Ces ères de stabilité relative sont séparées par de courtes périodes de crise où l'on voit soudain les savants sous la pression de faits jusque-là inconnus ou méconnus, remettre en question tous les principes qui paraissaient les mieux assurés et s'engager en quelques années dans des voies entièrement nouvelles. Et ces convulsions inattendues marquent toujours des étapes décisives dans le progrès de nos connaissances.

Le début du XX^e siècle a été pour la Physique l'une de ces périodes de transition brusque. Le développement de la Physique atomique, l'apparition des idées nouvelles sur la Relativité et les Quanta ont profondément modifié les vues des physiciens sur l'évolution des phénomènes naturels. Depuis les origines de la science moderne aux XVI^e et XVII^e siècles jusqu'à la fin du siècle dernier, malgré un prodigieux enrichissement de nos connaissances, le cadre de nos explications des faits du monde physique était resté le même. Fidèle au précepte de Descartes qui voulait représenter tous les phénomènes « par figure et par mouvement », restant attachée aux idées intuitives et traditionnelles sur l'espace et sur le temps universel et absolu, toujours animée par l'impulsion que le grand essor de la Mécanique et du Calcul infinitésimal lui avait imprimée aux XVII^e et XVIII^e siècles, la Physique se développait rapidement, mais dans un cadre de conceptions qui paraissaient définitivement fixées. Elle cherchait à ramener l'ensemble des phénomènes naturels à des évolutions mécaniques s'opérant d'une façon continue suivant un déterminisme rigoureux traduit par des équations différentielles ou aux dérivées partielles. Depuis que l'investigation des phénomènes atomiques et les grandes révolutions conceptuelles liées aux noms d'Einstein et de Planck ont bouleversé les bases d'un édifice que l'on croyait inébranlable, nous donnons à ce stade dépassé de nos connaissances le nom de « Physique classique », voulant ainsi marquer à la fois notre respect pour une construction très belle et très harmonieuse et notre conviction qu'elle est aujourd'hui devenue insuffisante.

C'est certainement dans la théorie électromagnétique de Maxwell qu'il faut chercher la racine de toute la révolution d'idées à laquelle nous avons assisté depuis un demi-siècle. Dans un effort qui se place principalement de 1860 à 1875, Maxwell avait résumé dans des formes mathématiques devenues rapidement célèbres tout l'ensemble de nos connaissances déjà très étendues à cette époque sur les phénomènes électriques et magnétiques. Cette œuvre puissante appartenait certainement encore à la Physique classique par sa forme et ses tendances, mais elle conduisait à représenter le champ électromagnétique et son évolution d'une manière assez abstraite à l'aide de vecteurs et d'équations aux dérivées partielles dont on apercevait mal l'interprétation mécanique. Tout en restant fidèle au schéma général de la Physique classique, la théorie de Maxwell paraissait s'accorder assez peu avec l'idéal cartésien d'explication par figure et par mouvement: elle constituait un premier pas dans cette voie d'abstraction de plus en plus grande qui caractérise si fortement les théories de la Physique contemporaine.

L'œuvre de Maxwell devait être à l'origine de tout un mouvement d'idées dont l'influence sur les destinées de la Physique allait être décisive. A partir de 1875, une foule de jeunes chercheurs se précipitèrent dans la voie qu'il avait ouverte. Avec Henri Hertz qui repensa, pourrait-on dire, toute la théorie de Maxwell et qui eut l'honneur de confirmer ses vues géniales sur la nature électromagnétique de la lumière par la découverte des ondes hertziennes, le plus remarquable des disciples de Maxwell fut sans aucun doute le grand physicien hollandais Hendrik Antoon Lorentz dont l'œuvre essentielle fut d'introduire dans l'électromagnétisme maxwellien le concept de corpuscule d'électricité, d'électron. En un sens, on peut dire que Lorentz fut le dernier représentant des grands physiciens de la période classique, car, jusqu'à sa mort, il resta fidèle à l'idéal de la Physique classique et tous ses travaux en furent imprégnés. Mais, néanmoins on peut aussi le considérer comme le principal précurseur de la Physique contemporaine, car, en introduisant l'électron comme un corps étranger

dans la théorie continue de Maxwell, il y a installé la notion d'atomisme avec toutes les simplifications et aussi les difficultés que notre esprit, à la fois avide de la discontinuité arithmétique et incapable de se détacher complètement de la continuité, y aperçoit immédiatement. Et cette rencontre du corpuscule discret avec la conception maxwellienne du champ continu n'a pas tardé, comme l'ont montré notamment les travaux d'Henri Poincaré sur l'instabilité de l'électron, à nous amener dans des impasses dont la Physique contemporaine est bien loin d'être entièrement sortie. De plus, en approfondissant et en poussant dans toutes les directions l'application des conceptions de Maxwell mises sous la forme nouvelle qu'il leur avait donnée, Lorentz a beaucoup contribué à démontrer la nécessité d'une révision fondamentale de nos idées sur l'espace et sur le temps: très attaché aux modes classiques de pensée, il a laissé à Einstein la gloire d'opérer cette révision et, bien qu'en ayant très nettement aperçu l'importance, il n'y a jamais adhéré sans quelques réserves. Qui pourrait penser cependant que l'inventeur de la transformation de Lorentz et de la contraction de Lorentz-Fitzgerald n'a pas joué un rôle capital dans l'éclosion de la théorie de la Relativité? Et si, au cours du développement de la théorie des Quanta, l'illustre physicien néerlandais est surtout intervenu pour faire des critiques ou présenter des objections, on peut affirmer que, profondément conscient de l'échec subi dans l'étude du rayonnement noir par les méthodes dont il était l'auteur, il a aperçu nettement la nécessité des conceptions nouvelles introduites par Max Planck et qu'il n'a pas cessé d'y réfléchir et d'en suivre le développement.

L'œuvre de H. A. Lorentz a donc à la fois marqué l'ultime triomphe des méthodes classiques et, en introduisant le ver dans le fruit, puissamment contribué à ouvrir la grande crise dont sont sorties nos idées actuelles sur la Relativité et les Quanta. Cette œuvre reste donc d'un fascinant intérêt et, puisque Lorentz fut Associé étranger de notre Compagnie, de 1910 à sa mort en 1928, il est bien naturel de lui consacrer cette année une de ces notices qui cherchent à faire

revivre un instant sous vos yeux la physionomie et les travaux d'un grand Confrère disparu.

*
* *

Hendrik Antoon Lorentz naquit à Arnhem, le 18 juillet 1853. Sa famille était originaire de l'Allemagne rhénane et était installée en Hollande depuis trois générations. Les Lorentz étaient agriculteurs et avaient acquis par leur travail une certaine aisance. Gerrit Frederik Lorentz, père d'Hendrik Antoon, était un homme sans grande culture générale, mais fort intelligent et doué d'une remarquable mémoire dont son fils devait hériter.

Les grandes qualités intellectuelles dont le jeune Lorentz allait faire preuve ne furent pas isolées dans sa famille, car son cousin germain, Henny, fils d'une sœur de son père, fut un ingénieur très distingué qui acquit aux États-Unis une grande renommée et faillit même devenir ambassadeur de ce pays aux Pays-Bas.

La mère de Lorentz, de famille hollandaise, mourut jeune. Elle avait été mariée deux fois et avait eu un fils de son premier mariage: de son second mariage avec Gerrit Frederik Lorentz, elle eut deux fils dont l'aîné était notre futur Confrère et dont le second mourut jeune. Devenu veuf, alors que son fils aîné n'avait encore que 9 ans, le père de Lorentz se remaria et sa seconde épouse ne mérita pas le nom péjoratif de marâtre, car elle fut toujours très bonne pour les deux fils de son mari.

Gai et d'humeur égale, Hendrik Antoon fut un enfant tranquille et facile à élever, mais d'une constitution un peu délicate. Dès le début de ses études à l'école primaire, il se montra un très bon élève: il eut d'ailleurs la chance d'avoir un excellent instituteur qui lui donna une très bonne formation première et auquel il resta toute sa vie très reconnaissant de cette impulsion initiale. A 13 ans, il entre dans l'enseignement secondaire moderne qui venait d'être organisé en Hollande et il fut admis directement dans la troisième classe: tout de suite il y révéla ses dispositions pour l'étude des mathématiques et de la physique. En 1869, à 16 ans, il est dans la cinquième

et dernière classe de l'École secondaire. Ce genre d'école était alors peu fréquenté en Hollande et dans la classe de Lorentz, il n'y avait que trois élèves! L'un d'eux, de Jongh, devait plus tard partir pour les Indes néerlandaises, être administrateur à Java et y mourir jeune. L'autre condisciple de Lorentz, Haga, devait poursuivre à ses côtés des études supérieures de Physique, devenir professeur à l'Université de Groningue et obtenir une certaine renommée scientifique pour avoir le premier démontré la nature ondulatoire des Rayons X. Avec ses deux camarades et guidé par des maîtres compétents et à l'esprit ouvert (le professeur de chimie ne leur enseignait-il pas déjà la notation atomique alors encore si combattue!), Hendrik Antoon s'initiait aux éléments des sciences et aux langues étrangères, car les Écoles secondaires donnaient un enseignement moderne sans grec ni latin. Très intelligent, comprenant tout à demi-mot, Lorentz, souvent, servait de répétiteur à ses camarades et leur faisait comprendre ce que le professeur avait parfois insuffisamment expliqué. Ayant passé l'examen de sortie de leur École, Lorentz et Haga décidèrent d'entreprendre leurs études supérieures en préparant le concours d'entrée de l'Université de Leyde.

Mais pour passer ce concours d'entrée, il fallait subir des épreuves sur les langues anciennes. Lorentz dut donc consacrer huit mois à apprendre le Grec et le Latin et, malgré la brièveté de ces études classiques, la souplesse de son esprit lui permit d'acquérir dans le maniement de ces deux langues une telle maîtrise que, 40 ans plus tard, il écrivait encore avec aisance des poèmes en vers latins. Ayant donc subi sans difficulté l'épreuve d'entrée, il devint, à 17 ans, étudiant à l'Université de Leyde et dès 1871, après seulement une année d'études, ce qui était très exceptionnel, il obtint le diplôme de licencié ès sciences, « *magna cum laude* », comme on dit encore dans beaucoup d'universités étrangères. Pendant ses études universitaires, Lorentz vécut assez isolé, n'ayant que quelques camarades avec lesquels parfois il entreprenait des promenades accompagnées de longues conversations. Mais, rapidement, il fut pris du désir de revenir dans sa famille à Arnhem, poussé, semble-t-il, par

son peu de goût pour le travail en commun et sa propension à la méditation solitaire qu'il devait d'ailleurs garder toute sa vie.

Cependant, pour achever son instruction, il fit une deuxième année d'études à Leyde et, au cours de cette année, eut lieu un incident qui semble avoir eu une grande importance pour sa future orientation intellectuelle. La bibliothèque du laboratoire de physique de Leyde recevait les publications de Maxwell, mais ces publications, parce qu'elles introduisaient des idées nouvelles auxquelles on était alors peu habitué, peut-être aussi parce qu'elles mettaient en jeu des formalismes mathématiques difficiles et assez peu connus des physiciens, étaient fort peu lues et parfois même, paraît-il, les enveloppes dans lesquelles elles parvenaient n'étaient même pas ouvertes! Le jeune Lorentz se mit à les lire avec enthousiasme et, comme personne ne s'y intéressait, il les emportait chez lui à Arnhem: c'est ainsi qu'à 20 ans, son esprit encore dans toute la souplesse de l'adolescence reçut l'empreinte ineffaçable des idées du grand théoricien anglais.

Revenu dans sa famille à Arnhem, Lorentz obtint une place de professeur dans une école du soir que seuls fréquentaient des élèves déjà avancés dans leurs études. Cet enseignement était facile à donner pour un jeune homme aussi savant que lui et il lui laissait de nombreux loisirs qu'il employait à préparer ses derniers examens universitaires et à composer une importante thèse de Doctorat sur la réflexion et la réfraction de la lumière dans la théorie électromagnétique, travail sur lequel nous aurons l'occasion de revenir. En 1875, ayant soutenu sa thèse, il reçut le titre de Docteur ès sciences toujours avec la mention élogieuse «*magna cum laude*».

Alors les universités néerlandaises commencèrent à se disputer un jeune homme d'une si haute et précoce valeur et lui offrirent des chaires. Utrecht lui offrait d'enseigner les mathématiques, Leyde la Physique théorique. Il opta pour Leyde et la Physique théorique et c'est dans cette calme petite cité universitaire hollandaise qu'il devait passer dès lors la majeure partie de sa studieuse existence.

Tandis qu'il y poursuivait d'importants travaux dont nous parlerons tout à l'heure, il se liait avec le fils de l'astronome F. Kayser, jeune homme de son âge et déjà marié, et c'est au foyer de ce jeune ménage qu'il fit la connaissance d'une cousine de son ami, nièce de l'astronome, M^{lle} Messa Kayser, dont le père, professeur à l'Académie des Beaux-Arts et Directeur du Musée national de peinture, résidait à Amsterdam. En 1881, H. A. Lorentz épousait Messa Kayser et achetait une belle vieille maison de Leyde où il s'installa et où il poursuivit paisiblement ses travaux pendant de longues années.

Aimant beaucoup l'enseignement, Lorentz avait assumé à l'Université de Leyde de lourdes charges pédagogiques. Non seulement il faisait ses cours de Physique théorique, mais pour soulager son Collègue et ami Kamerlingh Onnes, il se chargea aussi d'une partie de l'enseignement de la Physique expérimentale et il en organisa avec peu de collaborateurs les exercices pratiques pour étudiants. Il alla même jusqu'à assurer pendant longtemps un enseignement de la Physique à l'usage des futurs médecins (quelque chose comme notre P. C. B.) et il rendit ainsi tant de services aux milieux médicaux que cela lui valut de recevoir à la fin de sa carrière, en 1925, à l'occasion du cinquantième anniversaire de son Doctorat, un hommage peu banal : il fut nommé Docteur en médecine *honoris causa*. Toutes ces tâches ne l'empêchaient pas de publier de nombreux livres d'enseignement et même un traité de calcul différentiel et intégral destiné aux physiciens et aux chimistes. Si l'on songe qu'il accomplissait en même temps de très nombreux travaux originaux sur les sujets les plus ardu de la Physique théorique de cette époque, on peut mesurer combien fut grande sa puissance de travail.

En 1905, Lorentz, devenu célèbre parmi les savants du monde entier, reçut une flatteuse proposition de l'Université de Munich qui lui offrait une chaire dans des conditions beaucoup plus avantageuses que celles dont il disposait à Leyde. Mais très attaché à la Hollande et à la vie calme et retirée qu'il y menait, il refusa l'offre tentante qui lui était faite. Touché de cette fidélité, le gouvernement

des Pays-Bas décida de le décharger d'une partie de ses obligations d'enseignement et, en 1906, on lui adjoignit un professeur supplémentaire, Kuenen, élève de Kamerlingh Onnes.

Quelques années plus tard, Lorentz quitta Leyde pour Haarlem où il devint curateur du Musée de Teyler, poste un peu analogue à celui de Président de la Société royale de Londres, mais il demeura professeur extraordinaire à l'Université de Leyde et, même quand il eut atteint, à 70 ans, l'âge légal de la retraite, on s'arrangea pour qu'il put continuer ses cours et il ne les interrompit que quelques semaines avant sa mort. C'est à Haarlem qu'il termina sa vie après une courte maladie, le 4 février 1928, entouré de l'estime et du respect de tous.

L'esquisse que nous venons de faire d'une vie de savant qui fut toujours tranquille et laborieuse ne suffirait pas à faire comprendre la grande notoriété scientifique dont son nom fut justement auréolé : c'est dans la profondeur et la portée de ses travaux de Physique théorique que nous allons en trouver la raison.

*

* *

Jusqu'à Maxwell, on avait, depuis Fresnel, cherché à ramener la propagation de la lumière, comme celle du son, à la propagation d'une vibration, c'est-à-dire d'un mouvement. Mais, pour la lumière, cette idée se heurtait à de beaucoup plus graves difficultés que pour le son. Non seulement il fallait invoquer l'existence d'un milieu hypothétique, l'éther, qui pénétrerait tous les corps et serait présent dans le vide (où la lumière se propage sans difficulté), mais il fallait de plus, comme Fresnel avait démontré la transversalité des ondes lumineuses, attribuer à cet éther les propriétés d'un milieu incompressible. L'éther apparaissait alors comme un milieu aux propriétés paradoxales, car, plus dur que l'acier, il ne devait cependant opposer aucune résistance aux corps qui se meuvent à travers lui, par exemple les planètes. Une difficulté particulière se présentait

dans la théorie de la réflexion et de la réfraction de la lumière quand on voulait la déduire de la Mécanique, car l'absence en ce cas d'ondes longitudinales ne permettait pas d'écrire correctement les six conditions de raccordement des mouvements mécaniques sur la surface de séparation entre deux milieux où se produit la réflexion ou la réfraction.

C'est à ce dernier problème que s'attaqua Lorentz dans sa thèse de Doctorat en 1875. Il montra que dans la théorie de Maxwell, la question ne se pose pas de la même façon que dans l'ancienne théorie mécanique de la lumière. A la surface de séparation de deux milieux réfringents, tandis que la théorie mécanique imposait aux ondes lumineuses six conditions de raccordement impossibles à satisfaire sans l'intervention d'ondes longitudinales, la théorie de Maxwell impose seulement les quatre conditions de continuité des composantes tangentielles du champ électrique et du champ magnétique et ces quatre conditions peuvent être satisfaites en ne faisant intervenir que les ondes transversales. Assurément, le résultat de Lorentz ne permettait pas d'établir une théorie mécanique de la lumière, mais il ramenait ce problème à celui de la construction d'une théorie mécanique de l'Électricité et montrait les avantages du point de vue de Maxwell.

Cependant ce premier travail du jeune Lorentz ne suffisait pas pour faire connaître et apprécier l'œuvre de l'original physicien anglais et celle-ci restait peu connue ou peu appréciée. Ce furent, comme on le sait, les travaux d'Henrich Hertz qui attirèrent fortement l'attention des physiciens sur la théorie de Maxwell. Non seulement Hertz sut mettre la théorie de Maxwell sous une forme mathématique plus simple et plus cohérente que ne l'avait fait son promoteur, mais, par des expériences fameuses, il allait établir la production par des systèmes électriques oscillants d'ondes électromagnétiques de propriétés tout à fait analogues à celles des ondes lumineuses et donner ainsi une base expérimentale à la géniale intuition de

Maxwell suivant laquelle les ondes lumineuses ne seraient qu'une catégorie particulière d'ondes électromagnétiques correspondant à un certain intervalle de longueurs d'onde.

Mais malgré les beaux succès remportés par Hertz pour éclaircir et confirmer les idées de Maxwell, celles-ci, sur bien des points, restaient incomplètes ou peu satisfaisantes. C'est ainsi qu'elles introduisaient, sans donner aucune explication de leur origine, les constantes telles que constante diélectrique, perméabilité magnétique, conductibilité électrique, qui caractérisent les corps matériels. Elles permettaient bien de montrer que l'indice de réfraction d'un corps doit être égal au carré de sa constante diélectrique, mais cette intéressante conséquence ne pouvait évidemment être exacte et n'était effectivement vérifiée que si le corps considéré n'était pas dispersif, c'est-à-dire si son indice de réfraction était indépendant de la longueur d'onde de la lumière qui s'y propage. La théorie de Maxwell ne donnait aucune interprétation du phénomène de la dispersion et l'on avait l'impression qu'un vigoureux effort était encore à tenter pour relier l'ensemble des propriétés électromagnétiques et optiques des corps avec les particularités de leur structure matérielle. On pouvait d'ailleurs espérer qu'un tel effort pourrait donner la solution d'une énigme dont les travaux de Maxwell et de Hertz n'avaient apporté aucune solution, énigme qu'on pourrait résumer de la manière suivante: si l'on suppose, ce qui est très naturel, que l'éther est entraîné par le mouvement des corps, la lumière dans un corps en mouvement devrait être entraînée par le mouvement même du corps et cependant les célèbres expériences de Fizeau sur la propagation de la lumière dans les corps réfringents en mouvement avaient montré que, du moins dans les corps d'indice voisin de 1, la propagation s'effectue dans le corps en mouvement comme si l'éther restait immobile. Toutes ces difficultés et ces objections étaient certainement bien connues de Lorentz qui, admirateur passionné des idées de Maxwell, brûlait du désir de les justifier entièrement, au besoin en les complétant par l'introduction de conceptions nouvelles.

L'idée essentielle qui se présenta alors à son esprit fut d'introduire l'atomistique dans le cadre de la théorie de Maxwell. Convaincu que la matière a une structure atomique, Lorentz fut amené à penser que cette atomicité s'étend aussi à l'électricité et il admit qu'aux champs de la théorie de Maxwell conçus comme se propageant dans un éther homogène et immobile, il fallait juxtaposer des charges électriques à structure discontinue qui serviraient de sources aux champs et qui subiraient leur action. Ces idées étaient en parfait accord avec les découvertes qui s'effectuaient à la même époque au sujet des ions et des rayons cathodiques. Pour désigner les particules élémentaires, Lorentz employa le nom générique d'*électrons* qui plus tard fut réservé aux corpuscules cathodiques, c'est-à-dire aux grains d'électricité négative : il donna donc à la théorie de Maxwell, ainsi complétée par lui, le nom de « *Théorie des Électrons* ».

Il est évident qu'à un certain point de vue les idées de Lorentz marquaient un retour en arrière, une certaine renonciation aux idées qui avaient guidé Maxwell lui-même, car on renonçait ainsi à construire une théorie autonome du champ électromagnétique, puisqu'il introduisait dans ce champ l'électron comme un corps étranger. Lorentz le reconnaissait lui-même lorsqu'il écrivait en 1895 en développant la théorie des Électrons. « D'ailleurs, dans l'hypothèse que je propose, il y a en un certain sens un retour à l'ancienne théorie de l'Électricité. L'essentiel des conceptions de Maxwell, subsiste, mais on ne peut nier qu'en admettant l'existence des ions, on n'est pas très éloigné des particules électrisées sur lesquelles on raisonnait autrefois ».

Précisant ces conceptions, notre futur Confrère admettait que toute la matière a une structure atomique et qu'elle contient l'électricité sous forme de corpuscules discrets. Ces corpuscules sont susceptibles de s'attacher aux atomes ou molécules neutres de la matière pour donner naissance à des ions. Atomes, électrons et ions se déplacent librement dans l'éther et les propriétés de la matière doivent résulter d'une façon statistique de leurs interactions mutuelles.

et aussi de leurs interactions avec les rayonnements ambiants. Dans la théorie de Maxwell, les grandeurs essentielles pour la description des phénomènes électromagnétiques sont les champs et les inductions électriques et magnétiques, les charges et les courants électriques, tels qu'on peut les mesurer par des procédés bien connus dans les phénomènes qui se déroulent à notre échelle. Dans sa théorie des Électrons, Lorentz cherche à décrire les champs électromagnétiques d'une manière beaucoup plus fine en considérant les champs qui existent à l'intérieur de la matière dans les espaces vides qui séparent les particules électrisées et même à l'intérieur de ces particules. Lorentz a admis que, pour cette description fine des champs électromagnétiques, il est inutile de distinguer les champs des inductions: la distinction entre champ et induction provient en effet de la manière dont la matière est susceptible de réagir en se polarisant sous l'action d'un champ électrique ou magnétique qui lui est imposé, cette polarisation induite étant un phénomène global susceptible de se manifester par un effet moyen à l'échelle humaine, mais qui ne saurait intervenir quand on descend jusqu'à l'échelle des atomes et des électrons. Les champs définis par Maxwell à l'intérieur des corps matériels, champs qui sont en général assez lentement variables, du moins à petite échelle, ne sont plus aux yeux de Lorentz que des champs « moyens »: les champs véritables, ceux qui règnent entre les particules électrisées ou dans ces particules elles-mêmes, sont très rapidement variables à l'échelle atomique et les champs Maxwelliens ne représentent que leurs valeurs moyennes. Il en est de même pour les charges et pour les courants: tandis que pour Maxwell la densité de charge électrique d'un corps matériel chargé en volumes est une fonction continue, parfois même une constante, à l'intérieur du corps, au point de vue plus fin de Lorentz la véritable densité de charge varie énormément à l'intérieur du corps électrisé puisqu'elle est nulle dans les intervalles entre les particules électrisées contenues dans le corps matériel, mais possède une valeur différente de zéro et peut-être très

grande à l'intérieur de ces particules. Des remarques analogues s'appliquent à la densité de courant, car le courant électrique n'est plus l'écoulement continu d'un fluide électrique homogène, mais le mouvement d'ensemble d'une nuée de particules électrisées. Lorentz définit donc des grandeurs (champs, densités de charge et de courant) correspondant à ces conceptions, grandeurs « fines » ou « microscopiques » qui remplacent les grandeurs « macroscopiques » de la théorie de Maxwell. Par une extrapolation hardie, il admet que ces grandeurs fines obéissent à des équations de la même forme que celle de Maxwell, mais où, bien entendu, on a confondu champ et induction. Ce qui justifie cette extrapolation, c'est qu'en prenant des moyennes sur les grandeurs électromagnétiques fines dans une région étendue d'un corps matériel qui comprend nécessairement un nombre immense de corpuscules électrisés, on retombe automatiquement sur les équations macroscopiques de Maxwell, ce qui devait être, puisqu'on sait que celles-ci représentent exactement le comportement électromagnétique des corps matériels à notre échelle. Et dans ce remarquable passage du microscopique au macroscopique, l'effet moyen de la polarisation de la matière exige la distinction classique entre les champs et les inductions telle qu'elle se manifeste à notre échelle.

Lorentz avait donc ainsi obtenu une base mathématique satisfaisante pour sa théorie des Électrons. Il pouvait alors aisément faire voir que ses équations, comme celles de Maxwell, permettent de démontrer la conservation de l'électricité et de représenter, avec l'aide du vecteur radiant de Poynting, la conservation et le flux de l'énergie électromagnétique: mais, alors que Maxwell n'avait obtenu ces résultats qu'à l'approximation macroscopique grossière correspondant aux données directes de nos sens, Lorentz en montrait la validité jusque dans les interstices les plus fins des structures matérielles.

Parti en si bonne voie, le jeune savant hollandais se sentait capable d'aller beaucoup plus loin que ses prédécesseurs. Il possédait, en effet, maintenant, une image nette de ce qui se passait à très petite

échelle dans les entrailles mêmes de la matière et, ayant trouvé des équations qui semblaient représenter exactement l'évolution de ces phénomènes subtils, il pouvait avec leur aide étudier en détail la façon dont la matière réagissait au passage d'une onde électromagnétique ou à l'action de champs extérieurs et déterminer l'état de polarisation électrique ou magnétique qui en résulte. Il justifiait ainsi sans peine l'introduction dans la théorie macroscopique de la constante diélectrique et de la perméabilité magnétique, mais il allait bien plus loin. Il paraissait en effet bien naturel de supposer que les électrons contenus dans les atomes de la matière y ont des positions d'équilibre et que s'ils sont légèrement écartés de cette position, ils sont susceptibles d'osciller autour d'elle. Il était alors bien facile pour un mathématicien aussi expert que l'auteur de la *Théorie des Électrons* de calculer le mouvement pris par un électron sous l'influence d'une onde électromagnétique incidente. Ce calcul permit à Lorentz de retrouver la loi de dispersion des corps transparents avec ses fréquences critiques et ses régions de dispersion anormale telle que l'expérience nous la fait connaître. Certes, l'ancienne théorie de la lumière avait déjà permis à Helmholtz d'obtenir cette forme de loi, mais le raisonnement de Lorentz paraissait lui donner une base beaucoup plus conforme à la véritable nature du phénomène et fournissait en plus une interprétation électromagnétique très intéressante des constantes qui y figurent.

La formule de dispersion obtenue par Lorentz lui permettait d'obtenir immédiatement la formule dite de Gladstone-Dale qui relie l'indice de réfraction du corps considéré à sa densité, puis à titre d'approximation valable quand l'indice est voisin de l'unité une formule plus simple encore due à Laplace. Mais, pour mieux rendre compte des faits expérimentaux, Lorentz sentit la nécessité de traiter le problème de façon plus rigoureuse. Jusque-là il avait en effet seulement considéré l'action sur chaque électron de l'onde électromagnétique incidente, mais, comme la matière se polarise sous cette action, chaque électron est en réalité soumis non seulement au

champ électrique de l'onde, mais aussi aux champs électriques produits par tous les petits doublets qui résultent précisément de l'état de polarisation. Supposant réalisées certaines conditions d'isotropie dont l'exactitude paraît évidente dans le cas des corps amorphes, Lorentz montra que, si n désigne l'indice de réfraction du corps, c'est la quantité $\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$ qui doit être proportionnelle à la densité.

Cette formule, connue sous le nom de formule de Lorentz-Lorenz, est bien vérifiée quand les conditions sur lesquelles repose sa démonstration sont satisfaites.

Nous ouvrirons ici une petite parenthèse portant sur un point assez amusant de l'histoire de la Physique. Pourquoi la formule célèbre dont je viens de parler porte-t-elle le nom double de Lorentz-Lorenz? C'est qu'elle fut trouvée presque simultanément par le savant hollandais Hendrik Antoon Lorentz dont nous nous occupons ici et par un savant danois nommé Louis Valentin Lorenz (sans t). Cette coïncidence faisait toujours sourire H. A. Lorentz quand il en parlait: «la découverte d'une même formule à la même époque par deux savants portant presque le même nom est, disait-il, un cas bien curieux au point de vue du Calcul des Probabilités». Mais, quand on étudie la question de près, on s'aperçoit qu'il y eut entre l'œuvre du Lorentz hollandais et celle du Lorenz danois d'autres points de contact encore. Louis Lorenz, né en 1829 et mort en 1891, était de 24 ans l'aîné d'Hendrik Antoon et vers 1860-70, alors que son homonyme n'était encore qu'un adolescent, il avait effectué, parallèlement à l'œuvre de Maxwell, de très pénétrantes recherches sur la théorie électromagnétique. Au cours de l'une d'elles, en 1867, il avait montré comment on pouvait intégrer les équations de propagation du champ électromagnétique en faisant intervenir les grandeurs que l'on nomme les «potentiels retardés». Plus tard, en développant sa théorie des Électrons, H. A. Lorentz, s'appuyant sur une démonstration de Kirchhoff, fit aussi usage des potentiels retardés pour déduire de la présence et du mouvement des électrons le champ électromagnétique qui en résulte dans l'espace environnant. L'emploi que fit des

potentiels retardés le grand théoricien des électrons a eu pour conséquence que l'on a été souvent plus ou moins implicitement amené à lui attribuer la découverte, ou tout au moins l'application au champ électromagnétique, de ce puissant outil mathématique. Or c'est à Louis Lorenz que revient incontestablement cet honneur: ce n'est pas diminuer la gloire de Hendrik Antoon Lorentz, dont l'œuvre a été capitale pour la physique moderne, que de reconnaître l'antériorité des découvertes faites sur certains points par son homonyme danois dont les travaux, très remarquables et parfois méconnus, se sont trouvés par une curieuse coïncidence souvent entremêlés avec les siens.

C'est précisément en se servant des potentiels retardés que notre regretté Associé étranger parvint à une remarquable représentation de l'émission des radiations par la matière. Si l'un des électrons qui, suivant les vues de Lorentz, se trouvent dans les atomes de la matière est écarté de sa position d'équilibre et se met à vibrer harmoniquement autour de cette position, il en résulte, Lorentz le démontre, un rayonnement d'énergie électromagnétique sous forme d'une onde sphérique centrifuge et la fréquence de la radiation ainsi émise se trouve être précisément celle du mouvement périodique de l'électron émetteur. Naturellement, puisque l'électron émet de l'énergie radiante, la conservation de l'énergie exige que son mouvement aille en s'amortissant. Cet amortissement doit être dû à une force, une réaction, que le rayonnement exerce sur l'électron dont il émane et qui freine son mouvement. Lorentz parvenait bien à rendre compte de l'existence de cette « réaction de rayonnement », mais pour en préciser le calcul, il était obligé de faire des hypothèses assez arbitraires sur la structure de l'électron, ce qui donnait à cette partie de sa théorie un caractère quelque peu provisoire. Mais cela, au fond, importait peu: l'essentiel était d'avoir démontré, à partir des équations générales de la théorie des électrons, l'existence d'un mécanisme de rayonnement de l'énergie électromagnétique à partir du mouvement des particules électrisées contenues dans la matière, mécanisme qui paraissait parfaitement convenir pour expliquer l'émission

du rayonnement par la matière, en particulier l'émission de la lumière par une source incandescente. Nous savons aujourd'hui que l'image ainsi obtenue par Lorentz pour le rayonnement d'un électron est, à strictement parler, entièrement inexacte: l'émission d'une radiation par un électron n'a pas lieu, comme il le pensait, d'une manière continue et homogène, elle a lieu d'une façon discontinue, par quanta, lorsqu'un électron de la matière passe par une transition brusque d'un état stationnaire quantifié à un autre. La réalité paraît donc ici radicalement différente des vues de Lorentz. Et cependant, comme Bohr l'a montré plus tard en développant son principe de correspondance, les formules obtenues par Lorentz possèdent toujours un vaste champ d'application et, par suite, une grande utilité. C'est qu'en effet, si l'acte individuel de l'émission d'un rayonnement par un électron est un processus quantique tout à fait différent de celui qu'avait envisagé Lorentz, néanmoins, quand dans un morceau de matière s'accomplissent un nombre énorme de processus quantiques de rayonnement, les formules de Lorentz représentent souvent assez exactement, d'une façon statistique et globale, la répartition et la structure du rayonnement émis. C'est justement parce que la théorie électromagnétique classique (sous la forme électronique de Lorentz) conserve sa valeur dans le cas asymptotique des très nombreux processus quantiques qu'elle est apte, quand on fait des moyennes, à redonner les équations de Maxwell qui représentent les phénomènes électromagnétiques à grande échelle.

Il y a plus. Dans certains phénomènes quantiques d'émission individuelle qui, en principe, doivent être interprétés par la théorie des quanta, il se trouve que la constante des quanta, la constante de Planck, s'élimine du résultat final et que ce résultat se trouve être identique à celui que fournit la théorie non quantique de Lorentz. C'est à un heureux hasard de ce genre que H. A. Lorentz a dû le plus beau succès de sa carrière de théoricien, la prévision exacte de l'effet Zeeman normal, succès qui lui valut de recevoir avec Zeeman le prix Nobel de Physique en 1902.

Lorentz, admettant que la lumière émise par une source lumineuse provient, suivant le mécanisme de type classique qu'il avait étudié, du mouvement des électrons à l'intérieur de la source, observa que, si la source est placée dans un champ magnétique uniforme, le mouvement de ses électrons se trouve perturbé et que les raies spectrales rayonnées par elle doivent être modifiées. Soumettant la question au calcul, il annonça que l'effet du champ magnétique, quand on observe la lumière transversalement, est de décomposer chaque raie spectrale en un triplet symétrique dans l'échelle des fréquences: la raie centrale a même fréquence qu'en l'absence du champ, les deux raies latérales ont leurs fréquences respectivement augmentée et diminuée par rapport à celle de la raie centrale d'une même quantité qui dépend linéairement du champ magnétique appliqué et qui dépend aussi des constantes de charge et de masse de l'électron. Cette remarquable prévision fut vérifiée en 1896 par les célèbres expériences d'un physicien compatriote et ami de Lorentz, Pieter Zeeman, qui fut lui aussi un de nos Associés étrangers. L'expérience de Zeeman, non seulement apporta une confirmation qui parut décisive des idées théoriques de Lorentz, mais elle permit d'identifier les électrons de Lorentz avec ceux des rayons cathodiques. L'électron, au sens que nous donnons actuellement à ce mot, était désormais bien identifié et il devenait certain qu'il jouait un rôle essentiel dans la structure des atomes et dans l'émission des rayonnements par la matière.

Il faut remarquer que, comme nous l'avons déjà dit plus haut, la véritable théorie de l'effet Zeeman doit se faire à l'aide des théories quantiques du rayonnement et c'est par un hasard heureux que, la constante de Planck s'éliminant du résultat, celui-ci se trouve coïncider avec le résultat fourni par la théorie classique de Lorentz. Un autre hasard heureux se produisit dans cette affaire lorsque Zeeman, entreprenant ses expériences, tomba du premier coup sur le triplet normal prévu par Lorentz. C'est en effet seulement dans des cas exceptionnels que l'effet Zeeman est normal, c'est-à-dire qu'il possède

l'aspect simple décrit par Lorentz. En général, l'action du champ magnétique provoque une décomposition des raies beaucoup plus compliqué que le triplet classique et les physiciens ont mis très longtemps pour débrouiller les apparences très complexes de ces effets Zeeman « anomaux » qui sont les plus fréquents et à en comprendre les lois. Comme on le voit notamment dans son livre sur la théorie des Électrons, Lorentz a fait de grands efforts pour expliquer les effets Zeeman anomaux quand il en a eu connaissance. Mais les complications qu'il a pour cela introduites dans sa théorie primitive ne l'ont conduit à aucun résultat vraiment satisfaisant et ce n'est que beaucoup plus tard que l'introduction dans la description de l'électron d'un élément nouveau, le spin, a permis de comprendre la véritable origine des anomalies de l'effet Zeeman.

Après le grand succès remporté par la théorie de Lorentz, quand elle permit la prévision de l'effet Zeeman normal, elle en remporta plusieurs autres en permettant de retrouver les formules de Fresnel pour la réflexion de la lumière à la surface des corps semi-transparents, de faire la théorie des milieux éteignants, celle du diamagnétisme, du paramagnétisme et du ferromagnétisme, d'interpréter le vaste ensemble des phénomènes électro-optiques et magnéto-optiques. Naturellement Lorentz contribua beaucoup lui-même aux progrès de sa théorie, mais d'autres chercheurs attirés par sa réussite se précipitèrent dans la même voie et firent sur ces sujets de très importants travaux : nous citerons en particulier le savant allemand Paul Drude et notre Confrère Paul Langevin dont nous avons déjà eu l'occasion d'analyser ici les admirables travaux exactement placés dans le prolongement de ceux de Lorentz.

L'interprétation à l'aide de la théorie électronique des propriétés de conduction électrique et calorifique des métaux a aussi beaucoup préoccupé Lorentz. Commencée par Drude, cette interprétation avait conduit à de très bons résultats et aussi à quelques difficultés. Lorentz a repris d'une façon plus rigoureuse les travaux de Drude, retrouvant et précisant ses résultats, mais sans parvenir à lever toutes les difficultés, notamment en ce qui concerne la valeur de la constante de la

loi de Wiedemann-Frantz. Là encore, il a fallu attendre l'avènement des théories quantiques, et, en particulier, le développement des nouvelles statistiques quantiques, pour que la théorie électronique des métaux puissent surmonter quelques-unes des difficultés qu'elle avait rencontrées.

H. A. Lorentz a travaillé dans toutes les branches de la Physique théorique de son temps et a publié sur une foule de questions diverses des mémoires originaux ou des ouvrages didactiques. Il s'est préoccupé de Cristallographie, il a étudié avec une grande attention la Thermodynamique et son interprétation statistique. Les belles conférences qu'il fit à Paris, au Collège de France, en novembre 1912, sur les théories statistiques de la Thermodynamique et qui furent publiées dans leur texte français qui sont aujourd'hui encore des plus instructives à relire, car Lorentz savait exposer avec une grande clarté les questions les plus difficiles. Nous n'insisterons pas sur ces petits côtés de l'œuvre de Lorentz et nous voulons maintenant examiner quelle fut son attitude en présence des deux grandes doctrines nouvelles qui, à partir des environs de 1900, amenèrent une transformation complète de la Physique théorique: la théorie de la Relativité et la théorie des Quanta.

L'œuvre de Lorentz sur la théorie électronique de la Matière est en effet une de celles qui a le plus préparé le terrain pour la germination des idées relativistes d'Albert Einstein. Un premier pas important dans cette direction fut fait quand on s'aperçut qu'il fallait attribuer au rayonnement non seulement une énergie, mais aussi une quantité de mouvement. Henri Poincaré, en analysant et en critiquant la théorie de Lorentz, avait reconnu, comme on peut le voir dans son livre « Électricité et Optique », que les calculs de Lorentz sur l'émission et l'absorption des radiations par les électrons ne satisfaisaient pas au principe de la conservation de la quantité de mouvement, car, au moment de l'émission, une certaine quantité de mouvement semblait disparaître pour ne reparaitre qu'ultérieurement au moment de l'absorption. Poincaré considéra d'abord ce

résultat comme une objection grave aux idées de Lorentz, mais ensuite il reconnut, conformément à une suggestion du physicien allemand Max Abraham, qu'on pouvait « sauver » la conservation de la quantité de mouvement en attribuant une impulsion au rayonnement qui transporte l'énergie radiante de l'électron qui émet à celui qui absorbe. Ce fut là une conception nouvelle d'un très grand intérêt qui a exercé certainement une grande influence sur les méditations d'Einstein et qui a beaucoup contribué à suggérer au génial auteur de la théorie de la Relativité ses magistrales conceptions sur l'inertie de l'énergie, sur les quanta de lumière et sur l'équilibre énergétique par échange de quanta entre la lumière et la matière.

Mais c'est surtout l'étude du problème de l'éther et les difficultés qu'elle soulève qui ont fait de Lorentz un précurseur, involontaire, pourrait-on dire, des idées relativistes. Le grand physicien de Leyde avait toujours admis l'existence d'un éther qui servirait de support aux champs électromagnétiques et à leur propagation. Cet éther est-il toujours immobile ou est-il plus ou moins complètement entraîné par le mouvement des corps matériels qui y sont immergés? L'expérience de Fizeau sur la propagation des ondes lumineuses dans les corps réfringents en mouvement et la formule due à Fresnel qui en exprime le résultat semblait au premier abord démontrer un entraînement partiel de l'éther par les corps réfringents. Mais Lorentz parvint à retrouver la formule de Fresnel comme traduction de la réaction des électrons contenus dans le corps réfringent mobile sur l'onde lumineuse qui le traverse et ceci lui permit d'admettre l'hypothèse simple que l'éther est toujours immobile. Mais s'il en est ainsi l'éther dans son ensemble doit définir un système de référence ayant un caractère absolu et l'on devrait pouvoir mesurer à l'aide de phénomènes optiques ou électromagnétiques le mouvement d'un corps matériel par rapport à l'éther. Or l'expérience se refuse complètement à laisser déceler un pareil mouvement. A l'époque où Lorentz commençait ses travaux, cette absence d'effets observables ne paraissait pas constituer une véritable difficulté: il résultait en

effet d'un élégant théorème dont le principe est dû à Stokes que si v et c désignent respectivement la vitesse d'un corps matériel et celle de la lumière par rapport à l'éther supposé immobile, les effets optiques du mouvement du corps par rapport à l'éther sont rigoureusement nuls si l'on s'en tient au premier ordre d'approximation, c'est-à-dire si l'on ne conserve que les termes de l'ordre de $\frac{v}{c}$, de sorte que les effets observables seraient seulement de l'ordre de $\frac{v^2}{c^2}$. Or les vitesses des corps matériels à notre échelle et même celles des planètes sur leur orbite sont toujours très petites par rapport à celle de la lumière dans le vide et la précision des expériences réalisées avant 1880 ne permettait pas d'espérer mettre en évidence des effets optiques de l'ordre de grandeur de $\frac{v^2}{c^2}$: il n'y avait donc aucune contradiction entre la théorie de l'éther immobile et l'expérience. Mais les progrès des méthodes très précises de l'interférométrie commencèrent ensuite à permettre d'atteindre les grandeurs de l'ordre de $\frac{v^2}{c^2}$. Le grand physicien américain Michelson, avec la collaboration de Morley, parvint de 1881 à 1887 à établir que, même à cet ordre de précision, il n'y avait aucun effet décelable du mouvement orbital de la Terre sur les phénomènes d'interférences qu'on observe en laboratoire. Cette fois, la contradiction était flagrante entre les prévisions théoriques et les faits. D'ailleurs d'autres expériences, de nature proprement électromagnétique celles-ci, comme celles du physicien russe Eichenwald, confirmèrent l'absence des effets de l'ordre de $\frac{v^2}{c^2}$.

Lorentz fut naturellement très ému par un pareil échec des conceptions qu'il défendait. Il n'était pas facile d'imaginer une échappatoire : on aurait pu évidemment incriminer le caractère linéaire des équations de Lorentz et chercher, comme l'a fait, il y a quelques années, M. Max Born, à construire un « électromagnétisme non linéaire » dont l'électromagnétisme linéaire de Maxwell et de Lorentz

donnerait seulement une première approximation dans le cas des champs faibles. Mais la route paraissait fermée de ce côté puisque, dans les phénomènes optiques où se manifestait l'absence des effets attendus, les champs électromagnétiques sont toujours très faibles. Ne parvenant d'aucune façon à interpréter le résultat négatif de Michelson, Lorentz finit par se rallier à une hypothèse singulière énoncée par l'anglais Fitz-Gerald et suivant laquelle tout corps en mouvement dans l'éther subirait une contraction longitudinale, qui, par une merveilleuse harmonie préétablie, aurait exactement la valeur nécessaire pour compenser les effets du mouvement. Cette mystérieuse « contraction de Lorentz-Fitz-Gerald », notre Confrère, toujours convaincu de l'existence de l'éther, la considérait comme un effet réel dû à un changement de l'équilibre des tensions internes dans le corps provoqué par le mouvement même de ce corps par rapport à l'éther. Analysant avec beaucoup de profondeur et d'habileté suivant son habitude ce difficile problème, Lorentz fut amené à définir en chaque point du corps en mouvement « un temps local » dont l'emploi simplifiait beaucoup l'aspect des formules, mais la commodité d'emploi de ce temps local, qui lui apparaissait seulement comme un artifice mathématique, n'ébranlait aucunement sa foi dans l'existence du temps absolu admise depuis Newton par tous les savants. Poussant toujours plus loin ces investigations, il montra que les hypothèses de la contraction de Fitz-Gerald et du temps local conduisaient à admettre que, quand on passe d'un observateur à un autre qui est en mouvement rectiligne uniforme par rapport au premier, les équations régissant les phénomènes électromagnétiques (et en particulier les phénomènes optiques) pour le deuxième observateur s'obtiennent à partir de celles qui sont valables pour le premier par une certaine transformation linéaire des coordonnées d'espace et de temps: cette transformation est devenue aujourd'hui classique sous le nom de « transformation de Lorentz ».

Mais l'auteur de tous ces résultats dont l'avenir allait montrer l'importance capitale continuait à les interpréter d'une manière classique et conforme aux conceptions dont il avait l'habitude. Tandis

qu'il attribuait à la contraction de Fitz-Gerald le sens physique d'un phénomène dû au mouvement du corps par rapport à l'éther, il continuait à croire à l'existence d'un éther immobile définissant un système de référence et par suite des coordonnées spatiales ayant un sens privilégié et à admettre la réalité du temps absolu. Le temps local et les systèmes de coordonnées que le groupe de transformation dont il était l'inventeur l'amenaient à envisager ne lui paraissaient que des artifices de calcul permettant de mettre sous une forme plus élégante et plus commode les équations de la théorie. Il restait un pas essentiel à faire : abandonner la notion de temps absolu, rejeter la conception de l'éther devenue inutile et même gênante, admettre dans toute sa généralité comme s'appliquant à tous les phénomènes physiques le principe de Relativité valable en Mécanique qui rend équivalents tous les systèmes de références non accélérés en mouvement rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres, enfin considérer tous les systèmes de coordonnées introduits par Lorentz dans sa transformation comme devant être traités sur un parfait pied d'égalité et définissant pour tout observateur, et aussi légitimement pour chacun d'eux, les notions d'espace et de temps tels qu'il les utilise pour repérer les phénomènes physiques. Henri Poincaré, dont l'esprit puissamment critique se méfiait des idées *a priori* telles que celle de l'éther, fut plus d'une fois sur le point de parvenir à ce décisif changement de point de vue ainsi qu'en apportent la preuve maints passages de ses œuvres, où, confirmant et parfois rectifiant les résultats de Lorentz, il en montrait toute la portée; mais lui aussi appartenait à une génération trop imbue des idées de la Physique classique pour oser se risquer à un semblable rétablissement intellectuel. Ce fut un jeune homme de 25 ans qui, en 1905, en eut le courage : il se nommait Albert Einstein.

Avec sa prodigieuse faculté d'assimilation, Lorentz eut tôt fait de comprendre l'intérêt des idées et des calculs d'Einstein. Il y retrouvait d'ailleurs des résultats qu'il connaissait bien puisqu'ils provenaient de ses propres travaux, tels que la transformation des coordonnées d'espace-temps dont nous avons parlé et cette formule de

variation de la masse de l'électron avec la vitesse caractéristique d'une Dynamique nouvelle, dont ses recherches et celles de Poincaré avaient déjà dégagé les principes. Avec sa clarté coutumière, Lorentz fit d'admirables exposés de la doctrine d'Einstein en précisant de nombreux points : aujourd'hui encore où nous disposons de tant d'exposés très bien faits par des savants éminents des idées relativistes, la lecture des conférences que Lorentz a consacrées à la Relativité restreinte et qui furent rédigées par son élève M. Fokker et publiées en anglais et en allemand, reste très instructive, en particulier en raison de la manière très détaillée et très proche de l'expérience dont sont analysées de nombreuses questions, fort délicates et souvent controversées, soulevées par des conceptions aussi éloignées de nos intuitions usuelles. Mais, si Lorentz sut admirablement approfondir et propager les idées relativistes, il resta sans doute toujours un peu réticent quant à l'interprétation qu'il convenait de leur donner. Sans aucun doute, il reconnaissait entièrement la puissance et l'utilité pratique du formalisme einsteinien et il reconnaissait l'exactitude de toutes ses conséquences, mais il conservait, semble-t-il, l'espoir qu'on en viendrait un jour de quelque manière à retrouver comme substructure de ce formalisme des notions plus conformes que celles d'Einstein à celles qu'enseignait la Physique classique et qui avaient orienté les travaux de sa jeunesse. Attitude fréquemment observée chez ceux qui, ayant grandement fait progresser la science par leurs recherches, les sentent un peu dépassés par celles de savants plus jeunes ! C'est là une conséquence presque inéluctable de la façon dont se transmet de générations en générations le flambeau de la science.

Mais, si l'accueil fait par notre Confrère aux idées relativistes, bien que très enthousiaste, comporta cependant quelques réserves, il en fut bien plus encore de même quand des idées qui s'éloignaient bien davantage de celles de la Physique classique firent, à partir de 1900, leur entrée dans la Science grâce aux mémorables travaux de Max Planck sur le rayonnement noir et sur les Quanta. Lorentz

connaissait bien ce redoutable problème du rayonnement noir. Par un raisonnement qui se trouve reproduit dans les Comptes rendus du Conseil de physique Solvay de 1911, il avait démontré que dans une enceinte maintenue à température constante et uniforme (le Hohlraum des auteurs allemands) chaque onde stationnaire est équivalente au point de vue statistique à un oscillateur harmonique et il savait que par cette méthode on retrouvait pour la répartition de l'énergie entre les fréquences dans le rayonnement d'équilibre la fameuse formule de Rayleigh déjà trouvée par d'autres auteurs à l'aide d'autres méthodes. Il avait également montré que les fluctuations d'énergie dans le rayonnement noir telles qu'elles résultent de la loi de Rayleigh s'interprètent entièrement comme résultant de l'interférence fortuite des ondes qui se croisent dans le Hohlraum, résultat tout à fait satisfaisant. Mais il n'ignorait pas non plus que la loi de Rayleigh est en grossière contradiction avec les faits expérimentaux. Il en avait donné lui-même un exemple simple et frappant en remarquant que, si la loi de Rayleigh linéaire par rapport à la température absolue était exacte, une lame d'argent qui est incandescente à 1200 degrés centigrades devrait être encore visible dans l'obscurité à la température ordinaire, ce qui est, bien entendu, tout à fait faux.

Lorsque Max Planck, par une géniale intuition, eut introduit dans la Physique l'idée de quantum d'action et eut montré qu'elle permettait d'éviter la loi de Rayleigh et d'aboutir pour la loi de répartition spectrale du rayonnement noir à une formule en accord avec l'expérience, H. A. Lorentz se rendit parfaitement compte de l'importance de cette découverte et il envisagea tous les aspects de l'idée nouvelle. Il voyait clairement, mais avec regret, que l'apparition des quanta dans la science portait aux conceptions de la Physique classique un coup très dur, mais il ne voulait pas renoncer à l'espoir d'arriver à les incorporer dans le cadre des conceptions anciennes plus ou moins assouplies.

C'est, semble-t-il, avec un certain scepticisme qu'il vit le concept

de quantum d'action s'étendre à diverses branches de la Physique. Lorsqu'en 1905 Einstein développa ses idées sur les quanta de lumière, Lorentz ne cacha guère sa réprobation, car il sentait bien qu'une telle hypothèse était inconciliable avec la théorie classique du rayonnement et il ne pouvait se résoudre à abandonner les conquêtes faites dans ce domaine par Fresnel et par Maxwell. Il n'eut pas de peine à démontrer que l'existence des quanta de lumière, des photons, semble dès l'abord inconciliable avec les phénomènes de diffraction et notamment (c'est un point sur lequel Lorentz a insisté) avec l'apparition des franges de diffraction d'Airy dans les lunettes astronomiques qui reçoivent le très faible flux de lumière envoyé par une étoile lointaine.

L'auteur de la théorie des électrons n'avait pas tort d'apercevoir une grosse difficulté dans la conciliation des vérifications de la théorie ondulatoire de la lumière avec le concept de corpuscule de lumière remis en honneur par Einstein et il rendait service en la signalant avec force. Mais il avait tort s'il croyait ainsi pouvoir éviter l'indispensable introduction d'une quantification, d'un aspect corpusculaire, dans la théorie du rayonnement. Il a fallu les idées très nouvelles et très subtiles de la Mécanique ondulatoire et de la Physique quantique contemporaine pour nous permettre de comprendre comment on pouvait trancher ce nœud gordien.

Lorentz n'a vu que le début de cette orientation nouvelle de la Physique quantique si étrangement différente de celle de la Physique classique. Néanmoins, il suivit ce début avec un intérêt auquel se mêlait une certaine inquiétude et ce fut sous sa présidence que le cinquième Conseil de Physique Solvay, réuni à Bruxelles en octobre 1927, examina l'ensemble des points de vue nouveaux qui venaient de se faire jour. Il était très choqué de voir que les nouvelles théories impliquaient un certain renoncement au déterminisme des phénomènes, à la localisation exacte dans l'espace à tout instant des corpuscules de l'échelle atomique et à l'attribution d'une individualité à ces corpuscules. Résumant son opinion sur les discussions du Conseil,

il disait notamment: « L'image que je veux me former des phénomènes doit être absolument nette et définie et il me semble que nous ne pouvons nous former une pareille image que dans le système de l'espace et du temps. Pour moi, un électron est un corpuscule qui, à un instant donné, se trouve en un point déterminé de l'espace, et si j'ai eu l'idée qu'à un moment suivant le corpuscule se trouve ailleurs, je dois songer à sa trajectoire qui est une ligne de l'espace. Et si cet électron rencontre un atome et y pénètre et, qu'après plusieurs aventures, il quitte cet atome, je me forge une théorie dans laquelle cet électron conserve son individualité, c'est-à-dire que j'imagine une ligne suivant laquelle cet électron a passé à travers cet atome » et, fidèle à l'idéal des savants de sa génération, il terminait en proclamant sa foi dans le déterminisme de tous les phénomènes. Il était impossible de condamner plus nettement toute l'interprétation des phénomènes quantiques à laquelle, suivant M. Bohr et M. Heisenberg, presque tous les physiciens allaient peu à peu se rallier.

L'évolution de la science depuis vingt-cinq ans paraît avoir condamné le point de vue de Lorentz et montré que, du moins pour l'explication des faits de l'échelle atomique, toutes les idées de base de la Physique classique doivent être profondément modifiées. Néanmoins, quand Lorentz mourut, trois mois seulement après le Conseil Solvay de l'automne 1927, il laissait derrière lui une œuvre capitale, véritable couronnement de la Physique classique qui, grâce à l'idée générale de correspondance au sens de Bohr, n'a pas cessé de guider les recherches des physiciens, même dans le domaine quantique.

*
* *

Nous allons consacrer un assez bref paragraphe à des travaux de Lorentz qui se rapportent à un sujet bien différent de ceux qui lui étaient familiers: les travaux qu'il a consacrés à la fin de sa vie à la question de l'assèchement du Zuydersee.

En 1918, le gouvernement néerlandais avait décidé d'étudier la question d'un assèchement partiel du Zuydersee ayant pour objet de rendre à la culture une partie de la superficie de cette petite mer intérieure. Pour cela, de grands travaux étaient nécessaires et, pour orienter ces travaux, les ingénieurs devaient effectuer de longs calculs préliminaires. Il apparut aux pouvoirs publics hollandais que pour diriger l'accomplissement de cette tâche, il était utile de faire appel à un savant connu pour son habileté dans le maniement des calculs, et ils demandèrent à Lorentz d'assumer la présidence du Comité qui fut chargé de préparer cette grande œuvre d'intérêt national. C'était pour le grand physicien une charge nouvelle qui risquait d'absorber une partie considérable de son temps et de nuire à son activité proprement scientifique: il en était parfaitement conscient, mais, très dévoué à sa patrie et convaincu du grand intérêt national et économique du projet mis à l'étude, il accepta cependant.

Le rôle de Lorentz dans ses nouvelles fonctions fut très important. Les ingénieurs qui formaient le Comité dont il était Président ne parvinrent pas à mettre sur pied les calculs nécessaires pour la prévision des effets qui seraient produits par le déplacement de l'énorme masse des eaux du Zuydersee. Mettant en œuvre toutes les connaissances qu'il possédait en Hydrodynamique comme dans toutes les branches de la Physique théorique, Lorentz vint à leur secours et développa des méthodes originales pour effectuer les calculs. Les problèmes qui se posaient étaient très difficiles, car on ne pouvait rester dans l'abstrait et il fallait tenir compte de toutes les circonstances physiques et géographiques. C'est ainsi que Lorentz dut rechercher l'influence du vent pendant l'hiver quand le Zuydersee est entièrement gelé. Il fallait aussi tenir compte du mouvement des marées qui pénètrent dans le Zuydersee et y provoquent des phénomènes d'interférences d'autant plus difficiles à prévoir que les obstacles géographiques sur lesquels elles viennent se briser ont des dimensions du même ordre que la longueur d'onde de leurs mouvements.

Pour résoudre ces difficiles problèmes, Lorentz mit au point des méthodes mathématiques nouvelles. Il dirigea lui-même l'exécution des calculs numériques, aidé dans cette tâche ardue par une vingtaine de jeunes ingénieurs qu'il dut former à ce genre de travail. L'on conçoit aisément à quel point ces occupations étrangères à ses travaux de physicien et de professeur lui imposaient un surcroît d'efforts, et constituaient de sa part un véritable sacrifice.

Les résultats obtenus furent imposants. La variation de hauteur des marées le long de la côte nord du Zuydersee à la suite des travaux d'endiguement fut calculée et elle le fut si bien qu'après l'accomplissement du travail, les résultats se trouvèrent exacts à quelques pour cent près. Une prévision précise fut effectuée de l'intensité du courant à l'heure de la marée descendante dans le canal nommé Amsteldiep qui est l'une des principales sorties sur la mer du lac dit Yselmeer qui est aujourd'hui ce qui reste du Zuydersee. Tout le monde s'attendait à une diminution de cette intensité après le dessèchement puisque le lac résiduel ne contiendrait plus qu'une masse d'eau très inférieure à celle de l'ancien Zuydersee. Or les calculs de Lorentz indiquèrent pour la valeur de ce courant non pas une diminution, mais une augmentation de 25 % qui serait le résultat de l'interférence des ondes qui entreraient dans le lac résiduel avec celles qui en ressortiraient après réflexion sur les côtes de la Frise. Le résultat inattendu de Lorentz fut, après l'exécution des travaux, entièrement confirmé par l'observation et ce succès des méthodes de l'illustre savant causa une vive sensation dans le monde des ingénieurs. L'assèchement du Zuydersee n'était pas achevé quand Lorentz mourut. Néanmoins la digue qui unit la province de Hollande du nord à l'île de Wieringen était déjà construite et Lorentz put avoir la satisfaction de constater que les déplacements d'eau résultant des marées et des vents se trouvaient déjà modifiés par ce barrage partiel en accord avec ses calculs. L'achèvement du gigantesque travail d'assèchement devait après sa mort apporter une vérification encore plus complète de l'exactitude de ses prévisions.

Le rôle de Lorentz dans ce travail d'intérêt national montre à quel point l'intervention d'un grand théoricien peut parfois être utile dans le domaine de la pure technique. On a calculé que, grâce aux résultats de Lorentz, le gouvernement hollandais a pu économiser 15 millions de florins, soit environ 1.500 millions de francs, lors de l'exécution des travaux d'assèchement. Les méthodes mises au point par Lorentz sont encore couramment employées par le service des Eaux de la Hollande, et ont aussi été utilisées dans d'autres pays.

*
* *

Revenons maintenant, pour terminer cet hommage rendu à l'œuvre et à la personne d'un très grand savant, sur ce qui caractérisait l'homme lui-même.

Lorentz était de taille moyenne avec un regard extrêmement vif et pénétrant. Tous ceux qui l'ont connu se souviennent de sa courtoisie, de son extrême affabilité, de son sourire bienveillant. Sa mémoire était prodigieuse, sa connaissance des langues étrangères très étendue: il parlait l'anglais, le français et l'allemand d'une façon parfaite, comme sa langue maternelle.

Il avait passé la plus grande partie de sa vie dans les petites villes hollandaises de Arnhem, de Leyde, puis de Haarlem. Il avait toujours aimé mener une existence tranquille et familiale, favorable au travail continu de sa pensée. Il eut d'ailleurs la satisfaction de trouver autour de lui de précieuses collaborations. Sa fille, M^{me} de Haas-Lorentz, après avoir été son élève, devint une excellente mathématicienne qui participa à ses travaux et lui apporta une aide incessante. Son gendre, M. de Haas, qui est aujourd'hui notre Associé étranger, a été, après Kamerlingh Onnes, le directeur du laboratoire cryogène de Leyde et est l'auteur de remarquables travaux connus de tous les physiciens. Lorentz avait toujours suivi avec un grand intérêt les travaux accomplis dans le laboratoire cryogène, car il connaissait toute l'importance pour la science du domaine des très basses températures.

Pendant toute sa vie, notre regretté Confrère a eu un très grand amour du travail solitaire accompli dans le silence, loin des agitations et des réunions humaines. Il le considérait comme le plus fécond de tous. Ouvrant en octobre 1911 le premier Conseil de Physique Solvay où furent discutés tous les aspects de la nouvelle et encore mystérieuse théorie des Quanta, il disait: « Quel sera le résultat de cette assemblée? Je n'oserais le prédire, ne sachant pas quelles surprises nous sont réservées. Mais, comme il est prudent de ne pas compter sur ces surprises, j'accepterai comme très probable que nous ne contribuerons que peu au progrès immédiat. En effet, le progrès de la science se fait plutôt par l'effort individuel que par les réflexions faites par un congrès ou par un conseil, et même il est très possible que, pendant que nous discutons un problème, un savant solitaire en un autre endroit du monde en trouve la solution. » C'était là des paroles très sages et très profondes qu'il est utile de méditer à une époque comme la nôtre où l'on a peut-être une certaine tendance à fonder des espérances exagérées sur l'efficacité des réunions internationales et du travail en équipe. Le travail collectif, devenu indispensable dans beaucoup de recherches, ne remplacera sans doute jamais le vigoureux effort d'un esprit méditant dans la solitude. C'est à ce genre d'efforts qu'ont toujours été dus, et que seront sans doute toujours dus, les plus grands progrès de la science. Peu de temps après la réunion du Conseil Solvay de 1911, un jeune homme de 25 ans, que personne n'avait songé à inviter à cette réunion, car il était encore tout à fait inconnu, Niels Bohr, faisait faire à la Physique un pas décisif en montrant comment on peut comprendre la structure de l'atome en y introduisant les idées de la théorie des Quanta. Et ce fut là une remarquable illustration des profondes réflexions de Lorentz.

Pendant toute la première partie de sa vie, Lorentz avait vécu en Hollande, ne connaissant guère comme physiciens que ses compatriotes. Plus tard, parvenu à la célébrité, il fit quelques tournées de conférences à l'étranger et participa à des réunions internationales.

Son amabilité, sa connaissance approfondie de plusieurs langues européennes, un certain don de diplomatie qu'il possédait à un haut degré le désignaient, en plus de son âge et de sa notoriété, pour présider des assemblées de ce genre. Quand l'industriel belge Ernest Solvay eut l'idée d'organiser régulièrement des Conseils de Physique et de Chimie pour étudier des questions à l'ordre du jour, H. A. Lorentz fut tout naturellement désigné pour préparer et présider les Conseils de Physique, mission dont il s'acquitta avec zèle et autorité. C'est ainsi qu'il dirigea les discussions des Conseils Solvay de 1911, 1913, 1921, 1924 et 1927 dont les plus importants furent, semble-t-il, celui de 1911 consacré à l'étude des idées de Planck et de leurs prolongements et celui de 1927 où furent confrontées les idées des fondateurs des nouvelles mécaniques quantiques et ondulatoires. Peu de temps avant le Conseil de 1927 qui eut lieu en octobre, s'était réuni à Côme un Congrès qui avait célébré le centenaire de la mort de Volta et où furent également agitées les questions qui à ce moment préoccupaient tous les physiciens: ce fut aussi Lorentz qui le présida.

Notre Confrère, malgré la primauté qu'il reconnaissait au travail individuel, n'était pas insensible à l'importance des relations internationales, notamment en matière scientifique. C'est ce qui l'amena à prendre part aux travaux du Comité de Coopération intellectuelle de la Société des Nations: il en devint même président, quelque temps avant sa mort, quand Bergson abandonna ce poste pour raisons de santé.

Lorentz aimait beaucoup la France et les Français. Il vint souvent à Paris pour participer à des réunions ou faire des conférences. Nous avons déjà mentionné son remarquable exposé des théories statistiques de la Thermodynamique fait au Collège de France en 1912. Il vint pour la dernière fois dans notre capitale à la fin d'octobre 1927 à l'issue du cinquième Conseil de Physique Solvay (il devait mourir, rappelons-le, au début de Février de l'année suivante). Nous célébrions alors le centenaire de la mort d'un de nos plus

grands savants, Augustin Fresnel. Lorentz avait pour Fresnel la plus grande admiration : il savait mieux que quiconque que Fresnel, par une œuvre de génie, avait continué et achevé la construction de cette admirable théorie ondulatoire de la Lumière dont la première idée revient à Huygens, un compatriote de Lorentz dont celui-ci était justement fier. Apportant à la mémoire de Fresnel l'hommage des savants étrangers et du Conseil Solvay, H. A. Lorentz dans son discours au grand amphithéâtre de la Sorbonne évoquait un émouvant souvenir personnel : « Pour ma part, disait-il, je puis dire que Fresnel a été un des maîtres auxquels je dois le plus et je me rappelle encore que, lorsqu'il y a plus d'un demi-siècle, mes ressources me permirent d'acheter un livre de Physique un peu plus étendu que les manuels ordinaires, je me suis procuré la publication par Émile Verdet des « Œuvres complètes » d'Augustin Fresnel. Lorsque j'eus lu l'introduction de Verdet, mon admiration et mon respect pour Fresnel s'étaient mêlés d'amour et d'affection : et quelles n'ont pas été les jouissances que j'ai eues lorsque j'ai pu lire Fresnel lui-même et étudier ses beaux travaux admirables par leur simplicité ! » Splendide hommage rendu par le Maître de l'Électron au Maître de la Lumière et, dans sa pensée sans aucun doute, à la science française tout entière !

Messieurs, j'ai essayé de faire revivre devant vous pendant quelques minutes la haute figure d'un grand physicien de l'époque contemporaine et d'analyser dans ses grandes lignes l'œuvre capitale qu'il nous a léguée. Cette œuvre marque en quelque sorte l'aboutissement et le couronnement de cette période de l'histoire de la Physique qui s'étend du dix-septième siècle au début du vingtième et que nous nommons « la Physique classique ». Elle a marqué le début d'un grand tournant dans l'histoire de la science et elle a ouvert aux jeunes générations de chercheurs des voies nouvelles qui n'ont pas toujours été celles que Lorentz lui-même avait prévues ou souhaitées. En un sens, on peut dire que l'image du monde atomique, que sa théorie des Électrons nous avait donnée, s'est révélée

radicalement fausse, mais en un autre sens la subtile et certainement exacte idée de correspondance introduite par M. Bohr permet de dire aussi qu'elle a conservé toute sa valeur en tant que fil directeur et représentation asymptotique des phénomènes à grand nombre de quanta. Ainsi arrive-t-il souvent dans l'histoire de la science que les idées émises par un esprit génial doivent ensuite être interprétées différemment qu'il ne l'avait fait lui-même sans que, pour cela, elles perdent leur signification profonde et leur rôle décisif pour le progrès des connaissances humaines.

Qui pourrait d'ailleurs affirmer avec une absolue certitude que la Physique quantique ne reviendra pas un jour par quelque biais aux idées de déterminisme et d'objectivité dont Lorentz resta jusqu'à sa mort le champion et qu'il avait si bien résumées dans un texte que j'ai cité plus haut? L'histoire des sciences ne nous offre-t-elle pas de nombreux exemples de telles fluctuations des théories scientifiques?

Aussi est-il juste que la très haute et très noble figure d'Hendrik Antoon Lorentz, Associé étranger de notre Compagnie, fut évoquée et mise à l'honneur dans l'une de nos séances publiques annuelles.
