

QUATRIÈME CAHIER DE LA DIX-HUITIÈME SÉRIE

MARCEL COURTINES

Préparateur de physique au Collège de France
Maître de conférences à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

*La lumière,
principe du monde*

à propos de

JEAN PERRIN

prix Nobel de physique 1926

CAHIERS DE LA QUINZAINE

paraissant le dix et le vingt-cinq de chaque mois

PARIS

L'ARTISAN DU LIVRE, 2, RUE DE FLEURUS

*La lumière,
principe du monde*

Quatrième cahier de la dix-huitième série

N° **515**

QUATRIÈME CAHIER DE LA DIX-HUITIÈME SÉRIE

MARCEL COURTINES

Préparateur de physique au Collège de France
Maître de conférences à l'École centrale des Arts et Manufactures.

La lumière, principe du monde

Si l'on explore une caverne éclairée seulement par une torche fumeuse, est-ce la fumée de la torche ou sa flamme qui permet la marche en avant ? Qui poserait sérieusement cette question, même s'il arrivait qu'une lumière plus vive ne fit apercevoir aucun détail nouveau ? De même, quand une théorie est encore incohérente et confuse, elle peut être déjà féconde, mais c'est à cause de la clarté qui déjà est en elle, et non pour ses obscurités.

J. PERRIN. — (*Les Principes.*)

CAHIERS DE LA QUINZAINE
paraissant le dix et le vingt-cinq de chaque mois
PARIS
L'ARTISAN DU LIVRE, 2, RUE DE FLEURUS

Tous droits de traduction, de reproduction et
d'adaptation réservés pour tous pays.
Copyright 1927, by Choureau & Cie.

I

Refaire le passé au moyen d'hypothèses simples et claires, ou concevoir un avenir plus juste, c'est toujours la même fonction.

(Les Propos d'Alain.)

Je me trouvais, l'an passé, dans les couloirs de la Sorbonne. Hors des heures de cours, la galerie Dumas est déserte. Les pas éveillent des échos multiples, qui peuplent la solitude et font au visiteur une escorte sonore. Dans un coin sombre, qu'il faut connaître, une porte étroite et comme dérobée. Au détour d'un escalier tortueux, des portes, en enfilade, s'échelonnent. La dernière est close. Personne. Je doute s'il me faut pousser plus avant ou revenir sur mes pas. Je m'enhardis ; je frappe ; j'entre... et je me trouve dans la nuit. A l'autre extrémité d'une grande salle, une lumière voilée, autour de laquelle, fantômatiques, passent des ombres. Une main saisit la mienne et me guide vers la lueur. Une voix dit : « Superbe ! C'est l'une des mieux réussies ! »

Tel Newton, d'illustre mémoire, Jean Perrin, professeur de Chimie-Physique à la Sorbonne, faisait des bulles de savon.

Cette aventure a surgi de ma mémoire, l'autre matin, comme je lisais les gazettes. Elles annonçaient que le prix Nobel de physique venait d'être décerné, par l'aréopage suédois, à notre faiseur de bulles. Il m'a semblé qu'il y aurait quelque intérêt à montrer l'utilité de ces jeux enfantins.

*
* *

Il est deux sortes de physiciens. Ceux de la première espèce ont subi l'emprise de la culture latine. L'esprit critique est pour eux un départ, un moyen, une fin. Ils se gardent, avec un soin jaloux, de tout ce qui n'est pas la stricte expérimentation. Traduire, pour eux, est trahir. Ils n'accueillent une théorie que le jour où, perdant son caractère hasardeux, elle est devenue la simple transposition mathématique, dans un langage conventionnel, de l'ensemble des faits qu'elle prétend grouper. Ils avancent à pas prudents, mais assurés ; ils ont soin de ne lever un pied que si l'autre a trouvé le roc. Ils produisent peu, mais bien. Ils dominent, en France, par le nombre.

L'autre école a deux puissants ressorts, en apparence opposés : l'industrialisme et le mysticisme. Elle est disséminée par le monde. L'Amérique et l'Allemagne en sont les plus importants foyers. Nous y voyons la théorie prendre une place considérable : elle est le moteur, la source d'énergie qui met en branle une formidable « machine à chercher ». Sa doctrine est conforme à l'esprit industriel. Un chef d'industrie a l'habitude du risque. Entre diverses orientations possibles pour son entreprise,

il choisit celle qui lui semble la plus sûre ; mais, l'ayant choisie, il travaille avec foi pour atteindre le but qu'il s'est fixé. Cette « foi clairvoyante », qui meut les industries vivaces, est le mot d'ordre des savants d'Outre-Rhin comme de ceux d'Outre-Atlantique. Elle crée une sorte de « mystique scientifique », assignant à l'esprit critique une mission de contrôle, comparable aux bilans de fin d'année des entreprises industrielles. Les caractéristiques en sont : travail intense, production brute prodigieuse, déchet important, production nette considérable. Au total, gain pour la société.

Je ne prétends pas décider qu'une école est préférable à l'autre¹. Chaque race a son génie propre. Peut-être est-il désirable que subsiste ce frein qu'est l'école française ? L'équilibre entre la mystique et la critique, forces opposées, exige sans doute qu'un foyer de culture latine perpétue la semence modératrice ; les vestales du mysticisme ont besoin, semble-t-il, des climats nordiques pour assurer leur pérennité.

*
* *

Si j'ai fait le départ entre ces deux écoles de la physique actuelle, c'est afin de mieux situer l'œuvre de J. Perrin dans le cadre des sciences contemporaines.

1. Bouasse, représentant autorisé de l'école française, met quiconque au défi de lui citer un exemple de découverte scientifique importante, faite chez nous par un « mystique » de la science. Il n'est que trop vrai qu'une telle réponse est difficile. Mais il suffit de connaître la place occupée aujourd'hui par la science française pour avoir sujet de ne pas s'en réjouir.

Aux confins de ces deux disciplines, il en forme le trait d'union.

En 1891, année qui le vit franchir le seuil de l'École Normale, les portes de la vieille maison ne s'étaient pas encore ouvertes devant les premiers champions de la culture moderne, qui ont nom Langevin et Lebesgue. C'est dire que J. Perrin est tout imprégné de culture classique. Il n'est, pour s'en convaincre, que de lire les premières pages de son traité « les Atomes ». L'on y sent moins, pourtant, l'influence de la rigueur latine que de l'harmonie grecque. Ce livre eut pour objet d'exposer les preuves scientifiques de la réalité des atomes ; l'impression qui s'en dégage est d'un hymne à la gloire de l'atomisme.

Sans conteste, J. Perrin a l'esprit mystique. Pour s'en assurer, il ne faut que l'avoir contemplé, ne fût-ce qu'une minute, pendant une de ses conférences. Sous une chevelure vaporeuse, que l'on s'attendrait presque à voir monter en volutes, les yeux pointent vers le ciel. Et lorsque, dans un geste familier, les doigts se joignent, comme pour une prière, ou la main s'élève, en forme de coupe, il semble qu'une naïve figure du xiii^e siècle, descendue de sa stèle, vienne prêcher, sous l'extase, une science d'inspiration divine. Il « voit » les atomes, cela ne fait point de doute, comme saint Thomas voyait les séraphins. S'il vous dit qu'ils sont faits de telle ou telle façon, croyez bien qu'il en est ainsi, car il les a contemplés.

Comme il se doit, c'est un apôtre. On ne conçoit point saint Thomas inerte ; il faut répandre la parole entendue, et convaincre le menu peuple. Aussi J. Perrin ne né-

glige-t-il rien pour convaincre. Le souci de présentation de ses expériences est poussé fort loin. Sa double personnalité se révèle, en ce qu'il touche à la fois aux deux fibres qu'il peut atteindre : l'intelligence et la sensibilité. Il frappe aux deux portes de notre âme : l'esprit et le cœur. Il met son étude à rendre l'expérience probante et belle. Il faut que ses couches de savon¹ soient indubitablement discontinues et que leurs teintes soient plaisantes. Il recommence dix fois, vingt fois, cent fois, jusqu'au moment où l'irréprochable est obtenu.

*
* *

En 1901, J. Perrin fit paraître un important ouvrage, intitulé *les Principes*. C'est une remarquable mise au point des fondements de l'énergétique. Nous extrayons de la préface quelques citations qui montreront, mieux que tout ce que nous en pouvons dire, l'harmonieux mélange de mysticisme scientifique et de rectitude logique formant le fond de son œuvre.

« Et, s'il est amené à lutter contre ces fantômes, ennemis du bonheur humain, qu'Ibsen nous a montrés surgissant du passé comme une vapeur empoisonnée s'élève d'un sol empli de morts, peut-être saura-t il reconnaître que leur puissance est tout entière dans l'abdication de notre raison, et qu'on peut les faire évanouir en les fixant d'un regard clair et courageux.

« Si l'on songe que ces fantômes torturent parfois les

1. Voir page 39.

meilleurs d'entre nous, sans que ces tortures stériles produisent ailleurs aucune joie, si l'on admet qu'il est véritablement fou d'ajouter d'inutiles souffrances aux inévitables douleurs, si l'on voit un bien précieux dans la sérénité que donne seule une conscience sûre d'elle-même, on comprendra l'importance des méthodes qui font le jugement plus droit et plus lucide, et l'on accordera qu'il est bon d'avoir pris l'habitude, en des questions relativement faciles, d'une grande précision dans le langage et dans la pensée..... »

« A ceux-là je répondrai simplement que, malgré tout mon enthousiasme pour l'action, je pense qu'il vaut mieux comprendre avant d'agir. Je suis irréductiblement hostile à la méthode qui consiste à masquer les difficultés au lieu de les résoudre. Je sais bien que l'on met des œillères aux chevaux que la vue d'un fossé peut effrayer, mais précisément je ne veux pas d'œillères et n'écris que pour ceux qui ont même volonté..... »

« Il m'a paru mauvais que la Science prît le caractère d'un enseignement religieux, et, peu scrupuleux de l'Idole voilée qu'adorent les énergétistes, j'ai cherché quelle réalité physique lui servait de support, sans me contenter de l'affirmation par trop vague que « quelque chose demeure constant. »

*
* *

Cette double personnalité du savant explique l'œuvre. Son goût pour les théories condamnait J. Perrin à se passionner pour les idées nouvelles. Mais son tempéra-

ment de logicien lui faisait un devoir de leur donner un fondement sûr. L'œuvre fut donc, non pas de frayer la route, mais d'asseoir solidement les idées viables. C'est une série d'expériences, menées avec soin, destinées à rendre évidentes les affirmations de l'atomisme. Chacune porte sur le problème qui paraissait fondamental au moment où elle fut entreprise. Elles nous tiendront lieu de jalons, dans cet essai d'histoire scientifique.

II

Il y a quinze ans à peine, y avait-il rien^r de plus ridicule, de plus naïvement vieux jeu que les fluides de Coulomb ? Et pourtant, les voilà qui reparaissent sous le nom d'*électrons*.

II. POINCARÉ. — (*La Science et l'Hypothèse*, 1909.)

Le 22 juin 1633, sous le pontificat d'Urbain VIII, Galileo Galilei, pisan d'origine et florentin d'aventure, prononçait, devant le Sacré Tribunal de l'Inquisition, l'impérissable parole : « Et pourtant, Elle se meut ! » Prophète, il prêchait un évangile nouveau. Profonde ironie des choses ; seize siècles de foi chrétienne, détruisant toute pensée libre et tenant pour seule admissible une vérité révélée, avaient eu pour effet d'établir un monopole intellectuel au profit d'un philosophe païen : Aristote, apôtre de la Raison Pure, était le saint patron de l'obscurantisme. D'une ère lumineuse et sereine, qui fut celle des philosophes grecs, le moyen âge avait extrait le déplorable jargon scolastique, mis au service d'un despotisme doctrinaire. Alors se dressa, dans sa timide révolte, l'italien dont le génie, tranquille et doux, venait de créer la physique expérimentale.

Deux siècles et demi d'un labeur ininterrompu nous conduisent en l'année 1895. Les diverses branches de l'actuelle physique ont vu le jour. Nous savons appliquer la mécanique rationnelle aux mouvements des corps célestes ; nous connaissons les lois des fluides ; la thermodynamique est solidement assise sur ses deux principes fondamentaux. L'optique obéit à des lois que nous pouvons énoncer. L'électricité, qu'illustrent les noms, étroitement unis, d'Ampère et de Faraday, vient d'être codifiée d'admirable façon par l'œuvre de Maxwell, puissante et simple. Il semble qu'on touche au but assigné, qui est la description complète des phénomènes naturels. Quelques efforts de détail paraissent devoir mener à bien cette tâche, dans un délai rapproché. Pourtant une inquiétude subsiste, qui est d'origine philosophique.

Aux temps lointains de Thalès et de Démocrite, la physique était la « philosophie naturelle », et n'était rien autre. Aux xvii^e et xviii^e siècles, qui virent naître les « sciences de la nature », les savants les meilleurs étaient aussi les plus excellents philosophes. Pascal, Descartes, d'Alembert, savants illustres entre tous, vous n'avez pas restreint votre pensée au seul domaine scientifique. Mais le souci d' « expliquer » devait subir une éclipse, au cours du siècle dernier. C'est l'époque, non pas inféconde, mais terne, où la physique tenait entière dans les « chaudrons de Regnault » et dans le « manomètre à huile de ricin » d'Amagat. Époque de Joseph Prudhomme, de M. Poirier, de M. Perrichon, puis du roman naturaliste. Je ne sais quelle épouvante prenait les savants aux entrailles lorsqu'on faisait quelque allusion discrète à de

possibles interprétations. L'atomisme, alors, naissait. Mais il était gênant. Certains, plus faciles à circonvenir, permettaient, à la rigueur, qu'on parlât d'atomes et de molécules, mais à la condition formelle qu'on y vît un simple artifice de langage, et que nulle réalité tangible ne pût être cachée sous les mots.

Pourtant, quelques physiciens tenaient encore pour désirable d'élargir notre « connaissance », et d'attribuer au mot toute sa valeur. « Savoir », pour eux, n'était pas seulement posséder un catalogue « à jour » où fût conservée la nomenclature descriptive et chiffrée des faits expérimentaux ; c'était aussi *comprendre*. Ils furent peu nombreux. Mais, possédant la foi qui, dit-on, transporte les montagnes, ils furent les artisans d'une révolution prodigieuse. En une dizaine d'années, ils obtinrent ce résultat que le monde scientifique fut pris d'une intense fièvre créatrice, et qu'après moins de vingt-cinq années de cette fièvre nous considérons avec stupeur un bouleversement complet de nos connaissances et nous avons à notre service la plus grandiose, la plus harmonieuse et la plus sûre des synthèses que l'esprit humain pût jamais concevoir. Ces bons ouvriers de la première heure (de l'heure ingrate) furent surtout des étrangers, et ce que j'ai dit en montre la raison. Sous l'impulsion de J.-J. Thomson, le laboratoire Cavendish, de Cambridge, glorieux déjà d'une longue lignée d'éminents physiciens, acquit de nouveaux titres à l'admiration reconnaissante de l'humanité. En France, Jean Perrin, presque seul, entama cette lutte.

*
* *

Donc, à cette époque si proche de nous et pourtant si lointaine déjà pour notre esprit, les chimistes, après d'ardentes batailles, avaient adopté la « notation atomique ». Le « système des équivalents » avait pris sa retraite, épuisé. Tous les faits chimiques étaient admirablement groupés par une théorie vieille comme le monde pensant, puisqu'elle nous vient de Thalès et de Démocrite. « Le grand progrès que nous avons fait dans les temps modernes ne réside pas tellement dans les idées elles-mêmes que dans la découverte des bases sur lesquelles ces idées reposent. Les principes de Démocrite n'étaient pas autre chose que les opinions d'un homme ou d'une école. Il y avait à côté beaucoup d'opinions rivales, et personne ne pouvait dire laquelle était la meilleure ¹. » Il convient d'ajouter que, non contents d'asseoir les fondements de la vieille doctrine, les physiciens l'ont infiniment *précisée* dans ses détails et, pour dire vrai, rendue méconnaissable, transformant une ébauche en œuvre presque achevée.

Universellement adoptée en tant que langage, l'hypothèse atomique était repoussée en tant que doctrine naturelle. On n'y voulait pas voir la réalité profonde. L'œuvre de nos grands physiciens fut de rendre évidente cette

1. R.-A. MILLIKAN. *L'Electron*. Traduction A. Lepape, Alcan, édit. — Nous recommandons tout particulièrement cet excellent ouvrage aux lecteurs qu'intéresseraient de plus amples développements et des précisions sur le discontinu électrique.

réalité, d'accumuler les présomptions en sa faveur, d'accroître la probabilité pour qu'elle fût vraie, puis d'en fournir la preuve indéniable et rigoureuse. L'idée fondamentale est contenue dans une remarque d'Helmholtz. On sait généralement ce qu'est l'électrolyse. Une solution de sulfate de cuivre, traversée par un courant électrique, dépose du cuivre sur l'une des « électrodes », qui est reliée au pôle négatif de la source de courant et que nous appelons cathode. Il existe un rapport constant entre la quantité d'électricité qui traverse la cuve et la masse de cuivre déposée. Ce rapport, déterminé par les lois de Faraday¹, est lié à la nature chimique de la solution. Il conduit à associer l'atome d'un élément et une charge électrique définie, de telle façon que prouver l'existence d'un grain d'électricité revient à prouver l'existence du grain de matière, c'est-à-dire de l'atome. *La preuve expérimentale de la réalité des atomes nous est venue de la dé-*

1. Nous rappelons que l'on désigne sous ce nom la loi fondamentale que voici :

Il faut une « quantité d'électricité » définie (96.540 coulombs), toujours la même quelle que soit l'espèce chimique que traverse le courant, pour rompre une « valence-gramme », c'est-à-dire pour séparer de leurs combinaisons, $\frac{23}{1}$ grammes de sodium (élément monovalent dont la masse atomique est 23), $\frac{16}{2} = 8$ grammes d'oxygène (élément divalent dont la masse atomique est 16), $\frac{27}{3} = 9$ grammes d'aluminium (élément trivalent dont la masse atomique est 27). La notion de valence, définie par la voie chimique, traduit la tendance que possède un élément à donner des combinaisons plus ou moins complexes : atomiquement parlant, nous disons aujourd'hui qu'elle détermine le nombre d'atomes d'hydrogène qu'un atome de l'élément considéré appelle en combinaison.

couverte des charges électriques élémentaires, étudiées sous leurs apparences diverses, à l'état libre ou associé, en repos ou en mouvement.

Parmi les divers aspects que le grain d'électricité peut revêtir, le plus simple et, par suite, le plus fondamental de tous, est le grain à l'état libre, que nous appelons électron. C'est de l'électricité négative. On le trouve, sous forme relativement abondante et relativement immobile, dans les lampes de télégraphie sans fil ; si l'on chauffe le filament lumineux qu'elles contiennent, il en émane un gaz immatériel dont les molécules sont des électrons. On en connaît une seconde forme, rare et rapide en comparaison de la première, qui constitue les *rayons cathodiques*.

Tout le monde connaît ces enseignes lumineuses, dont les grandes villes ne sont que trop abondamment pourvues, et qui, formées d'un tube de verre aux contours variés, brillent sans discrétion ; leur teinte est blanche, bleue ou orangée. Elles contiennent du gaz carbonique, de la vapeur de mercure ou du néon. Pour une pression suffisamment basse et pour une tension électrique assez élevée, le gaz devient conducteur de l'électricité ; le passage du courant s'accompagne des phénomènes lumineux que l'on sait, et l'intense luminosité traduit la violence avec laquelle sont traitées les molécules du gaz. Nous savons aujourd'hui qu'il s'y trouve des électrons, auxquels la tension, de l'ordre de 10 kilovolts, communique une vitesse de 600 kilomètres à la seconde. Ces voisins turbulents causent aux molécules du gaz de profonds dommages ; ils en détachent d'autres électrons qui,

pris à leur tour par le champ électrique, en produisent d'autres, entretenant ainsi la conductibilité du gaz. Ces électrons, lancés à de si prodigieuses vitesses, constituent des rayons cathodiques. Nous savons aujourd'hui les produire en grande abondance : les lampes de télégraphie sans fil qui servent pour l'émission des ondes en sont le meilleur exemple.

On conçoit quel rôle de premier plan les rayons cathodiques ont pu jouer dans la découverte de l'électron. Elucider leur nature, c'était atteindre la particule électrique. C'est à ce problème que J. Perrin, tout frais émoulu de l'École Normale, consacra sa première activité scientifique. Nul mystère n'était alors plus étrange que celui-ci. Les uns pensaient que ces rayons, déviés par l'aimant, étaient des projectiles électriques. Les autres soutenaient que, traversant des feuilles minces de métal, ils ne pouvaient être que des ondes invisibles, mais pareilles dans leur essence aux ondes lumineuses. Il fallait une expérience nette, indispensable, décisive : elle fut faite par notre jeune physicien. A l'intérieur du tube, il mit un petit seau métallique, enfermé dans une boîte de métal qui portait un tout petit trou. Protégé par cette enveloppe, notre seau reste, en temps normal, indifférent à la décharge. Mais si, par le moyen d'un aimant progressivement approché, nous contraignons un pinceau de rayons cathodiques à tomber sur le trou de la boîte, il pénètre à son intérieur ; immédiatement, le seau, qui le recueille, se remplit d'électricité négative. La conclusion est nette, indubitable : les rayons cathodiques ne sont pas autre chose que de l'électricité négative. D'éminents témoins

d'un passé défunt haussent encore les épaules, et disent : « l'expérience de Perrin nous a appris ce qu'on savait. » Perrin nous a appris ce que, scientifiquement parlant, nous ne « savions » pas.

Il restait encore une question à trancher. De tels projectiles en mouvement, déviés par l'aimant, doivent aussi l'être par les corps électrisés. Là encore, les physiciens possédaient des expériences ; aucune d'elles n'était bien nette. J. Perrin refit ces expériences de telle sorte qu'il devint impossible de mettre en doute la déviation des corpuscules.

Pour terminer ce travail, notre physicien mit au point une méthode de mesure de la vitesse de ces particules. Toute nouvelle alors, elle est encore aujourd'hui la meilleure et la plus communément employée. C'est la méthode des potentiels retardateurs. Il est difficile de connaître la force qui lance les particules ; mais une fois lancées, on peut mettre en œuvre des forces connues et bien définies qui freinent leur mouvement et les ramènent au repos ; de ces forces antagonistes, on déduit aisément la vitesse qu'avaient les particules.

Ainsi définitivement fixés au sujet de la nature corpusculaire des rayons cathodiques et mis en présence d'une méthode de mesure des vitesses, il suffisait aux physiciens d'observer les déviations magnétique et électrique d'un faisceau de vitesse connue pour en déduire la charge électrique portée par une masse connue de ces corpuscules. C'était un problème capital pour la science. On devine aisément que Perrin l'aborda. Mais il fut devancé par J.-J. Thomson. La nature commençait la

série de nos étonnements. Fidèles à notre mot d'ordre, nous affirmons qu'il existe un « grain d'électricité », le même que dans l'électrolyse. De fait, nos corpuscules cathodiques, à masse égale, ont bien tous la même charge. Mais, si nous assignons au corpuscule une charge égale au grain d'électricité que donne l'électrolyse, nous trouvons qu'il pèse 1800 fois moins que l'atome le plus léger, qui est l'atome d'hydrogène. Nos corpuscules cathodiques sont tous identiques entre eux, mais ils ne sont assimilables à nulle autre matière connue. Incomparablement plus ténus, ils atteignent des vitesses énormes, franchissent des espaces plus grands, traversent des feuilles métalliques minces. Ils constituent le « principe subtil » des philosophes grecs : l'*électricité pure*, qui est négative. Nos corpuscules cathodiques sont des *électrons*.

*
* *

Sous forme associée, le grain d'électricité s'appelle un *ion*. Dans l'électrolyse, chaque atome de cuivre transporte une charge d'électricité positive : il est, en quelque façon, le « convoyeur » de cette charge à travers la masse liquide. Cette sorte de courant s'appelle un courant de convection. Nous avons la certitude, aujourd'hui, que tout courant est de cette espèce, à moins qu'il ne soit une fiction mathématique (courant de déplacement). L'électricité chemine, si j'ose dire, à pied ou en voiture, mais elle chemine effectivement. L'électron libre progresse par ses moyens propres ; l'ion n'est qu'un

véhicule, d'importance variable, que l'électron peut emprunter. Il est des ions de toutes les tailles, depuis l'atome jusqu'aux poussières et jusqu'à la balle de sureau de l'ancienne physique, tout comme il est des bicyclettes ou des trains. Il y a des transports individuels et des transports en commun, dans l'infiniment petit, et le même véhicule peut recevoir un nombre quelconque de voyageurs. Nous verrons plus tard quels sont les décrets et arrêtés qui forment la législation de ces transports.

L'étude des ions remplit un second chapitre de l'histoire scientifique moderne. C'est elle qui nous a fourni la *preuve* décisive que nous attendions. C'est elle qui nous a donné les premiers aperçus concernant la structure de la matière.

La preuve dont nous parlons est due à Millikan. Il utilisa l'ion, très gros et pourtant microscopique, formé par de fines gouttelettes d'huile produites au moyen d'un vaporisateur. Il est assimilable à l'autobus, qui transporte un nombre de voyageurs moyennement élevé. Mais on conçoit qu'un autobus de cette grandeur soit facile à manier. Entre deux plateaux métalliques, il est le jouet de l'homme, qui le fait mouvoir à sa guise, en manœuvrant une source électrique. La taille de la gouttelette restant immuable, la force qui la sollicite est fonction de la charge électrique. Pendant des heures entières, on peut ainsi maintenir cet ion dans le champ du microscope, et voici le curieux résultat de cette expérience : on constate qu'il faut changer *par à-coups* le réglage du champ électrique. La charge électrique de l'ion varie donc par à-coups, parfaitement mesurables (avec

une précision de l'ordre du millième), et l'on trouve que ces variations *restent toujours très exactement des multiples simples d'une même charge élémentaire, celle-là même que l'on déduit des lois de l'électrolyse*. Il existe un grain d'électricité, que l'on retrouve dans toutes les manifestations de l'électricité, qui reste en toute occasion pareil à lui-même. Il est naturel de dire que ce grain d'électricité, c'est l'électron; que les électrons s'associent, en plus ou moins grand nombre, à des atomes plus ou moins nombreux, pour former les ions, et que, la matière à l'état neutre contenant des électrons, *l'électricité positive est la matière privée d'électrons*.

Cette dernière conception n'est pas nouvelle. Dans sa première communication à l'Académie des Sciences, le 30 décembre 1895, Perrin dit expressément: « Les rayons cathodiques étant chargés négativement, le principe de la conservation de l'électricité porte à rechercher quelque part les charges positives correspondantes. Je crois les avoir trouvées dans la région même où se forment les rayons cathodiques, et avoir constaté qu'elles cheminent en sens inverse, en se précipitant sur la cathode ». Un dispositif identique au précédent lui permet de vérifier cette hypothèse. Puis il conclut: « Au voisinage de la cathode, le champ électrique est assez intense pour briser en morceaux, *en ions*, certaines des molécules du gaz restant. Les ions négatifs partent vers la région où le potentiel croît, acquièrent une vitesse considérable et forment les rayons cathodiques; leur charge électrique et, par suite, leur masse (à raison d'une valence-gramme pour 100 000 coulombs) est facilement

mesurable. Les ions positifs se meuvent en sens inverse ; ils forment une houppe diffuse, sensible à l'aimant, et pas de rayonnement proprement dit. »

La préexistence de l'électricité dans les molécules d'un gaz fut ensuite retrouvée par Perrin, l'année suivante, au moyen des rayons X. C'est au milieu de janvier 1896 que la presse informa le public de la découverte de Röntgen. Notre savant n'eut rien de plus pressé que de vérifier les résultats annoncés par les journaux ; cela fait, il entreprit, avec le concours de Langevin, la recherche du mécanisme, grâce auquel ces étranges rayons parviennent à décharger un électroscope, lorsqu'ils passent à son voisinage et sans même le toucher. Ce mécanisme, il le trouva dans l'ionisation des molécules de l'air, attribuant aux rayons X le même pouvoir qu'ont les chocs violents dans les tubes à rayons cathodiques. Contenant des ions, l'air qui entoure l'électroscope devient conducteur, et celui-ci se décharge.

*
* *

Le travail considérable fait par l'école de Cambridge confirma les notions que nous venons d'exposer. Mais déjà des préoccupations nouvelles se faisaient jour. Le 7 novembre 1899 fut terminé le premier mémoire de Planck relatif aux lois du rayonnement. Sa publication marque une date capitale dans l'histoire de la science. Avec ce mémoire commence la fièvre dont nous avons parlé. C'est l'ère des bouleversements profonds qui s'ouvre.

III

Il serait bon que celui qui voudrait traiter cette matière poursuivit l'examen des *jeux de hasard* ; et généralement je souhaiterais qu'un habile mathématicien voulût faire un ample ouvrage bien circonstancié et bien raisonné sur toutes sortes de jeux, ce qui serait de grand usage pour perfectionner l'art d'inventer, l'esprit humain paraissant mieux dans les jeux que dans les matières plus sérieuses.

LEIBNITZ. — (*Nouveaux Essais*, 1703).

Analyser est bien. Construire est mieux. Sachant, de source incontestable, que les atomes et les molécules existent, il importait au physicien d'édifier le monde sur ces fondements expérimentaux. Les savants n'ont pas manqué de s'engager dans cette voie.

Ils avaient d'illustres devanciers. On trouve dans l'histoire une série de tentatives analogues. Au XIII^e siècle, Bacon. Au XVII^e, Boyle. Au XVIII^e, Euler et Daniel Bernoulli. Celui-ci, premier créateur, attribuant la pression d'un gaz aux chocs des molécules contre la paroi, retrouvait aisément la loi de Mariotte. Mais, si l'on voit bien d'où vient la pression, la chaleur est plus difficile à concevoir. Au XVII^e siècle, on considérait la chaleur comme un fluide particulier, le « calorique », imprégnant la

matière. L'idée de Daniel Bernoulli se heurtait à cet obstacle ; elle sombra dans l'oubli.

En 1808, le chimiste Dalton crée la théorie atomique, et dès lors une phase d'activité commence. Les connaissances évoluent. Vers 1830, en des notes qu'il écrivit peu de temps avant sa mort et qui restèrent ignorées jusqu'en 1871, Sadi Carnot considérait déjà la chaleur comme un mouvement des particules et donnait un énoncé du principe de conservation de l'énergie. Cette évolution d'idées, qui devint bientôt commune à ses contemporains, avait pour origines, d'une part, les expériences de Rumford et Davy sur le frottement et la chaleur qu'il dégage, d'autre part, la nature ondulatoire de la lumière, prouvée par Fresnel, et l'identité, récemment découverte, entre la lumière et la chaleur rayonnante. Laplace, Cauchy, Lamé, Poisson, Fourier entreprirent de soumettre au calcul cette agitation moléculaire, et leurs travaux mathématiques ont conduit Mayer, Joule et Colling à la découverte expérimentale du principe de l'équivalence, découverte réalisée simultanément par ces trois physiciens vers l'année 1878. Clausius, Maxwell, Boltzmann et Gibbs mirent au point les fondements mathématiques de la *théorie cinétique*, par l'application du *calcul des probabilités*, c'est-à-dire des lois des grands nombres. Toute une lignée de physiciens aborda l'interprétation, dans la théorie cinétique, des branches diverses de la physique.

On ne saurait contester que, dans ses grandes lignes, la théorie cinétique ait rendu des services. Les raisonnements simplistes de ses débuts, qui ne cherchaient que

l'explication qualitative, étaient vérifiés. Dans tous les domaines de la science, on déploya des efforts considérables pour l'élargir et la préciser. Or, paradoxe étrange, il se trouvait que tout perfectionnement à la théorie l'écartait de l'expérience. Toujours une rigueur accrue des raisonnements nous éloignait des faits. Plus particulièrement la théorie des métaux, celle des chaleurs spécifiques ne « rendaient » pas. Le conflit devint aigu le jour où Rayleigh calcula sa formule du rayonnement¹ : non seulement elle était infirmée par l'expérience, mais, fait plus grave, elle impliquait une énergie infinie pour le rayonnement total émané d'un corps. Je déclare ce fait plus grave que l'incorrection expérimentale, non point qu'il soit indifférent pour une théorie physique de s'adapter aux faits, mais parce que les conclusions décelaient une incompatibilité foncière entre la théorie et le bon sens. Née de l'expérience, logiquement inébranlable, elle se heurtait à l'expérience la plus courante : *l'énergie que rayonne un corps doit être finie*. Tant qu'il s'agit de chiffres incorrects, on peut espérer que des remaniements changeront le résultat. Quand il s'agit d'une incompatibilité, la catastrophe est irrémédiable.

Quand je dis « catastrophe », il convient que l'on m'entende. Un cataclysme de ce genre ne fait jamais table

1. Lorsqu'on étudie la « composition spectrale » de la lumière émise par une source, on trace une courbe qui représente l'énergie lumineuse prise comme fonction de la longueur d'onde. On sait que trois formules nettement distinctes ont été proposées, que nous ne reproduirons pas ici. Toutes trois proviennent d'études théoriques et s'appellent : formule de Rayleigh, formule de Wien, formule de Planck. Cette dernière, seule, est conforme à l'expérience.

rase. Ce que l'expérience a donné, l'expérience ne le reprend pas. C'est une mode commode (dit la chanson), une attitude fort bien portée de montrer l'évolution profonde de la science et de déclarer nos acquisitions périssables. Oui, les interprétations évoluent, mais dans une certaine limite. Rien de ce qu'ont affirmé¹ des hommes de valeur n'a disparu tout entier. Nous en montrerons bien des exemples. Il arrive même que l'expérience paraît se contredire : ce n'est qu'une apparence. Les savants sont trop portés vers un contrôle mutuel pour que les expériences erronées ne soient pas très rares. Ce qui change presque toujours, c'est la précision. L'expérience reste valable au millième, qui n'est plus exacte au millionième. La « relativité » peut être vraie sans que notre physique ancienne en souffre ; bien au contraire, elle en reçoit une vie nouvelle. Par catastrophe, il faut entendre une impasse d'où l'on ne peut sortir que par une analyse extrêmement minutieuse, révélant une fissure dans la voie que l'on a suivie.

Lorsqu'une telle impasse se présente dans l'histoire scientifique, lorsqu'un fait nouveau se trouve en désaccord avec des théories qui, jusqu'à ce moment, avaient fait leurs preuves, un retour en arrière est nécessaire : on examine à nouveau :

1° la rigueur logique des calculs ;

1. Ce fait expérimental est facilement explicable. Un homme de sciences n'affirme qu'en justifiant. S'il est un cerveau puissant, ses raisons sont justes. Quand la science évolue, les dites raisons subsistent. Il s'y greffe quelques autres points de vue, mais la part de vérité qui leur était propre est impérissable et se loge aisément dans les cadres nouveaux.

2° l'hypothèse originelle.

Il sembla légitime, au premier abord, de porter l'attention sur les calculs, c'est-à-dire sur la statistique moléculaire, les hypothèses semblant au-dessus de toute critique.

Cette analyse fut longue. Cent fois, les théoriciens du monde entier reprirent l'échafaudage des raisonnements. On piétinait. Les hommes au cœur peu solide quittèrent la partie. Un grand revirement se fit, et les partisans du « réalisme » scientifique l'emportèrent. Ils n'avaient jamais perdu pied, bien au contraire. Depuis Regnault, les « idéalistes » étaient mal vus. Ils opéraient « en marge ». Duhem en France, Ostwald en Allemagne, avaient déclaré l'atomisme en faillite. Il fut admis, dès lors, que cette faillite était sans remède, et l'opinion, comme toujours en pareil cas, sans bien savoir de quoi le débat était fait, vit dans cette aventure la confirmation expérimentale des vues de Brunetière sur la faillite de la Science.

*
* *

Alors, dirait Victor Hugo, dans un ciel chargé d'orage, éclata le tonnerre des *Quanta*.

Au début de 1900 parut le mémoire de Planck, et de ce mémoire il résultait que la fissure dans l'édifice était la notion de continuité de l'énergie. Tant qu'elle reste admise, nulle issue n'est possible. Mais, si, dans une audacieuse affirmation, nous faisons l'hypothèse que l'énergie ne peut être émise ou absorbée par la matière

que par fractions discrètes, par « quanta » proportionnels à la fréquence des vibrations émises ou absorbées, la voie se trouve libérée; nous obtenons une énergie totale finie, et, mieux encore, une loi de répartition de l'énergie entre les fréquences qui se trouve merveilleusement vérifiée par l'observation.

La stupeur fut complète, parmi les physiciens. On avouera qu'ils avaient quelques raisons d'être surpris. C'est donc sans aucun enthousiasme qu'ils s'engagèrent sur les traces de Planck. Ils le suivirent pourtant, car, pour folle que parût la conception, sa fécondité fut prodigieuse : *nous lui devons tout*. Jusqu'au milieu de l'année dernière, les quanta restèrent pour nous tout à la fois le plus profond des mystères et le plus sûr des guides. Nous les avons rencontrés à chaque pas, à tous les carrefours de la physique. Ils sont aujourd'hui plus qu'une nécessité de théorie, un fait expérimental.

Dès sa naissance, la théorie des quanta reçut les plus belles confirmations. La « formule de Planck » sur le rayonnement était devenue la « loi expérimentale » du rayonnement. Partant alors de cette loi, considérée comme un fait d'expérience, on retrouvait les quanta comme inéluctable nécessité de calcul. En 1905, Einstein déduisit de la conception de Planck sa formule de « l'équivalent photochimique¹ », vérifiée par l'expérience. Puis, en 1907, le même Einstein, appliquant aux corps

1. Cette notion repose sur le fait expérimental suivant : une « lumière » (définie par la fréquence de ses vibrations) est capable d'arracher aux surfaces métalliques des électrons pourvu que cette fréquence soit assez élevée. Il y a alors « équivalence » entre l'énergie

solides la théorie des quanta, calcula des chaleurs spécifiques, et, pour la première fois, elles se trouvaient en accord avec l'expérience. Tous ces faits étaient dignes d'inspirer confiance; mais les préventions étaient incoercibles et respectables. On fit des efforts désespérés pour éviter ces incompréhensibles quanta. La damnée théorie de Maxwell¹, fondement des théories statistiques, participait-elle à l'immunité de la femme de César? L'équipartition de l'énergie, conséquence *directe* de la théorie de Maxwell, devait-elle être considérée comme un postulat ou comme un théorème? Tout pouvait être sauvé si, pour la centième fois, ces fondements mathématiques étaient remis en question. Pourtant de quelque façon, plus minutieuse encore que les précédentes, que l'on refit

lumineuse définie par le quantum et l'énergie absorbée par l'électron sous la forme : 1^o du travail d'arrachement; 2^o de son énergie cinétique.

1. La théorie de Maxwell dont nous parlons ici ne doit pas être confondue avec les « équations de Maxwell » relatives à la théorie électromagnétique de la lumière. Nous avons en vue l'application qu'a faite Maxwell du calcul des probabilités à l'étude de la répartition d'équilibre des molécules d'un gaz, lorsqu'on suppose réalisée l'hypothèse du « chaos moléculaire ». Cette théorie conduit à l'important théorème que voici : « l'énergie cinétique moyenne que prend une molécule est la même suivant les divers degrés de liberté », ce qui veut dire que l'énergie d'agitation sera la même pour les mouvements observés en hauteur, en longueur, en largeur, voire même pour les rotations que subit la molécule ou encore pour la vibration de ses atomes si la molécule est complexe. Cette énergie « par degré de liberté » ne dépend que de la température, si bien qu'une molécule 4 fois plus lourde qu'une autre aura une vitesse moyenne deux fois plus faible, afin que l'énergie cinétique des deux molécules soit identique. Ce théorème s'appelle *théorème d'équipartition de l'énergie cinétique*.

les calculs, on retombait toujours sur les mêmes conclusions, et, dès lors, il semblait nécessaire d'abandonner la théorie de Maxwell ou de remanier les hypothèses en admettant les quanta.

Il fallait en sortir. En 1908, J. Perrin eut l'idée de soumettre *la théorie de Maxwell elle-même* au contrôle expérimental, et, puisqu'il est impossible d'observer dans ses détails le mouvement des molécules réelles, de le rendre visible en opérant sur des molécules de fantaisie visibles au microscope, nous verrons qu'il réussit à prouver la validité du théorème d'équipartition, partant à justifier la nécessité des quanta.

Toutes les conséquences de la théorie incriminée s'appliquent aussi bien quelles que soient les particules observées, pourvu qu'elles soient en grand nombre. Il nous est indifférent d'observer les molécules de notre atmosphère (ce qui nous est proprement impossible) ou de suivre au microscope les molécules artificielles d'une suspension colloïdale. Cette atmosphère fictive a pour nous la même valeur éducative.

En guise de molécules, J. Perrin prit donc des corpuscules microscopiques, obtenus en versant dans une grande masse d'eau quelques gouttes d'une teinture de résine, de gomme-gutte ou de mastic. Une très longue et très minutieuse centrifugation fractionnée permet d'obtenir des grains bien égaux, comme doivent être égales les molécules d'un gaz simple. Il est facile de les compter, de mesurer leur taille, de connaître leur poids apparent, au sein de l'eau qui les supporte. La cuve qui les contient est placée devant l'objectif d'un microscope. Mettons l'œil

à l'oculaire, et regardons. Un violent et perpétuel frémissement parcourt la masse liquide. Sans arrêt, pendant les minutes, les heures ou les jours que durera notre observation, chaque grain, poussé par une fièvre vagabonde, ira de çà, de là, sans but apparent. Il monte, puis change de chemin, va vers la droite, vers la gauche, heurte un grain voisin, rebondit vers un autre grain. Tous ces corpuscules, animés de mouvements sans lien réciproque sinon le hasard des rencontres, donnent l'impression d'un fourmillement d'une prodigieuse intensité. C'est le *mouvement brownien*, témoignage visible de l'activité moléculaire.

Prions une société sportive de répartir ses adhérents autour d'une montagne, puis engageons-les à la cribler de coups de pied. J'ai de fortes raisons de croire que, pour nombreuse que soit notre association, la montagne restera comme devant immuablement assise au même endroit. Le seul accident à craindre, je présume, sera la production de nombreuses entorses. Répartissons, au contraire, nos jeunes sportifs, de façon capricieuse, *au hasard*, sur la surface d'un terrain de foot-ball. Commandons-leur de se déplacer *sans but défini*; jetons-leur un ballon, sur lequel ils frapperont *à leur guise*, lorsqu'il passera près d'eux. Le ballon volera, d'un point à l'autre du terrain, au hasard, suivant d'assez longues trajectoires. Nous sommes fort éloignés de l'immobilité qu'observait la montagne. Livrons enfin, aux coups irréguliers des joueurs, l'enveloppe gonflée d'air d'un ballon sphérique de 20 mètres de diamètre, ce granule monumental sera frappé simultanément par de nombreux joueurs; il

aura des mouvements d'assez faible amplitude, entièrement désordonnés.

De la même façon, les molécules d'eau qui peuplent notre cuve frappent sans arrêt la surface du granule de résine. La « force moyenne » qu'elles exercent est la force de pression : la poussée d'Archimède. Mais cette pression n'est définie qu'en moyenne ; il y a, de part et d'autre de cette moyenne, des *fluctuations*, dont l'effet est d'autant plus marqué que le granule est plus petit. Le mouvement est soumis aux seules « lois du hasard », qu'il s'agisse des granules ou des molécules d'eau. Les mêmes lois expérimentales devront être observées.

Dans le champ de la pesanteur, les molécules de notre atmosphère sont tirées vers le sol, tandis que leur agitation tend à les rejeter dans les espaces interstellaires. Un compromis, — un *équilibre* —, s'établit entre les deux causes : l'air est plus dense près du sol et plus rare à forte altitude. De même nos granules de résine seront tassés près du fond de la cuve et rares à quelque distance de ce fond. La loi de raréfaction restera la même pour l'atmosphère naturelle et pour l'artificielle, à cela près que, le poids du granule important seul et notre granule étant considérablement plus lourd que la molécule d'un gaz, une ascension de 30 millièmes de millimètres au sein de la suspension équivaut à celle d'une dizaine de kilomètres dans notre atmosphère. L'expérience montre que l'atmosphère artificielle se comporte exactement comme nous l'avons dit. Il suffit alors d'examiner l'énergie cinétique du mouvement brownien, tant en translation qu'en rotation, pour vérifier l'exactitude

du théorème de Maxwell relatif à l'équipartition de l'énergie. On en peut déduire également le nombre d'Avogadro¹, c'est-à-dire le nombre de molécules qui forment ce que les chimistes appellent une « molécule-gramme », et par suite la masse absolue des molécules de la chimie ; les valeurs obtenues de la sorte sont en bon accord avec les nombres fournis par les autres méthodes (la mesure directe du grain d'électricité, par exemple). La validité de la théorie cinétique est donc vérifiée par l'expérience, *dans la forme même* où l'utilisaient Maxwell et Boltzmann, et grâce aux calculs faits par Einstein sur le mouvement brownien.

Il ressort de tout cela que les hypothèses anciennes ne peuvent donner que l'ancienne théorie cinétique. Il faut, pour rendre compte des faits expérimentaux, des hypothèses nouvelles concernant les échanges d'énergie entre la matière et le rayonnement. Il faut admettre les quanta.

Ce travail achevé, J. Perrin groupa, dans un ouvrage qui n'a guère perdu de sa fraîcheur, le faisceau des preuves connues en 1913 et composa le magnifique plaidoyer pour l'atomisme intitulé : *Les Atomes*².

1. Nous rappelons qu'une loi fondamentale de la chimie est la suivante :

Si l'on sépare d'une quelconque espèce chimique une masse égale à la molécule-gramme (définie par voie chimique), chaque fois qu'il est possible de l'amener à l'état de gaz parfait dans les conditions normales de température et de pression, cette masse occupe un volume déterminé, égal à 22^l,30, volume que l'on appelle *volume moléculaire*.

Dans l'hypothèse atomique, nous disons que la molécule-gramme renferme un nombre de molécules toujours le même, et nous appelons ce nombre *nombre d'Avogadro*.

2. Alcan, édit.

IV

J'ai trouvé des savants chez la candeur des enfants, et l'on voit tous les jours des ignorants qui se croient l'axe du monde.

A. FRANCE. — (*Le Jardin d'Épicure*).

Pour comprendre les quanta, les physiciens étaient conduits, de façon toute naturelle, à l'étude approfondie des relations entre la matière et l'énergie rayonnante. L'école allemande porta ses efforts sur les lois spectrales qui régissent l'émission et l'absorption de la lumière (visible ou non) par les gaz. Cette voie s'est montrée d'une extrême fécondité. J. Perrin, partant dans une autre direction, entama, dès 1913, des recherches sur la fluorescence¹

1. Tout le monde connaît les magnifiques phénomènes de luminosité provoquée qu'offrent certaines substances, comme l'esculine, le sulfate de quinine, etc. Lorsqu'on dirige un rayon de soleil sur une cuve contenant une solution de sulfate de quinine, celui-ci émet une douce lumière bleutée dans toutes les directions. Cette lumière est dite lumière de *fluorescence*. Elle diffère spectralement de la lumière incidente, et ne dépend que de la substance employée, si bien qu'on ne peut la confondre avec la lumière normalement diffusée par toute substance. Rappelons en outre que si la luminosité persiste un temps appréciable après l'irradiation, la substance est dite *phosphorescente*. La luminosité spontanée du phosphore, observable dans une pièce sombre, a donné son nom à la phosphorescence, malgré que ce phénomène soit autre : il est provoqué par une réaction chimique (oxyda-

Une telle étude est d'une grande importance. Elle sera, tout porte à le croire, le trait d'union entre la physique et la chimie, le point de départ d'une chimie nouvelle. Jusqu'ici, pourtant, les résultats ne sont qu'à l'état d'ébauche.

Tout d'abord, J. Perrin découvrit que la fluorescence est accompagnée d'une destruction chimique de la matière. Par une hâtive généralisation, il en déduisit que « l'émission de la fluorescence implique la destruction du corps fluorescent ». Cela n'est pas acquis. La lumière peut fort bien produire l'« excitation » de certaines molécules et la destruction d'autres molécules voisines ; le second phénomène accompagnerait nécessairement le premier, dans les conditions où se fait ordinairement l'expérience, mais pourrait en être séparé par une disposition judicieuse. Pourtant, comme nous allons le montrer, même si l'on fait cette restriction, il faut voir en ces résultats de fort belles confirmations de nos théories actuelles ; les « sauts quantifiés », dont nous parlerons par la suite, interprètent à merveille le phénomène. Il y a deux ans, ces études ont conduit leur auteur à formuler une théorie des réactions chimiques ; elle est audacieuse, et par cela même séduisante. Elle fait jouer à la lumière un rôle capital, puisque, d'après elle, toute réaction chimique absorbe un certain rayonnement pour en émettre un autre. L'avenir dira ce qu'on en doit conserver.

Si j'ai parlé de ces travaux, malgré leur forme encore imparfaite, c'est qu'ils ont conduit leur auteur à la plus

tion) et s'appelle *chimiluminescence*. Tous ces phénomènes et bien d'autres que nous ne pouvons énumérer rentrent dans la catégorie plus générale de la *luminescence*.

belle des expériences relatives au « discontinu ». Quand je dis la plus belle, j'entends parler aussi bien d'esthétique usuelle et de beauté logique.

Chacun sait les teintes splendides qu'offre une bulle de savon. Le physicien les appelle « couleurs des lames minces » ; elles sont définies par l'épaisseur et peuvent la mesurer. Ces colorations disparaissent et font place à du noir lorsque l'épaisseur devient petite vis à vis des longueurs d'onde de la lumière employée. Le grand Newton en fit le premier l'étude ; au sein de la tache noire qui apparaît avant la rupture de la bulle, il signala d'autres taches, à bords nets, d'obscurité croissante. Les phénomènes deviennent plus beaux encore lorsqu'on ajoute au liquide savonneux quelques traces d'une substance fluorescente (uranine par exemple). Ils peuvent être plus commodément étudiés lorsqu'on observe au microscope auto-collimateur une lame formée sur le trou du diaphragme-iris dont sont munis ces appareils.

« Dès le premier aspect, — dit J. Perrin —, l'observation au microscope d'une lame d'eau de savon contenant 5 à 10 pour 100 d'uranine montre dans cette lame un très grand nombre de plages que l'on peut rapprocher des taches noires à cause de leur épaisseur uniforme et de la netteté de leur contour. Les plus minces ne diffèrent pas des taches noires déjà caractérisées. Mais on en découvre dans le champ beaucoup d'autres, qu'on ne peut plus appeler *noires*, en raison de leur éclat, et bientôt de leur couleur (éclat ou couleur expliqués par l'épaisseur plus grande de ces plages).

« On observe ainsi successivement des gris, des blancs,

des jaunes, des rouges, des bleus, puis des contours d'ordre supérieur. Chaque plage a une couleur parfaitement uniforme, tranchant de façon discontinue sur les plages contiguës. Les contours sont formés d'arcs de cercle.

« Bref, *l'aspect général pourrait être obtenu par superposition de feuilletts transparents exessivement minces, à faces rigoureusement parallèles, découpées à l'emporte-pièce.*

« L'évolution se poursuit en même temps en tous les points du champ : on voit d'abord une lame mince ordinaire, dont la couleur est généralement un blanc d'ordre supérieur, accusant une épaisseur de quelques microns. L'amincissement se produisant, on voit un instant apparaître les colorations à gradations continues des bulles de savon ; puis il semble que la lame frissonne ; du liquide se ramasse en divers points de la lame sous forme de globules qui ont couramment de 20 à 50 microns de diamètre ; en même temps, par une sorte de réarrangement paisible, mais général, les plages à teintes plates apparaissent dans toute la lame. Une cinématographie du phénomène serait précieuse. La richesse des colorations est extrême. »

J. Perrin a compté de la sorte 120 plages nettement séparées, d'épaisseur successivement croissante, dans certaines lames bien venues : *les épaisseurs varient toujours de la même quantité, 5,2 millionnièmes de millimètre, grandeur de la molécule d'oléate.*

Est-il concevable que l'on puisse montrer jamais la discontinuité de la matière de façon plus nette et plus tangible ?

V

Il y a trop de tintamarre, là-dedans, trop de
brouillamini,
MOLIÈRE. — (*Le Bourgeois gentilhomme*).

J'ai dit quelle fièvre avait envahi le monde savant depuis l'année 1900. J'ai signalé que cette fièvre avait produit un remaniement profond de nos connaissances. Il me reste à donner un aperçu des résultats définitivement acquis, sans que je puisse avoir l'ambition de les démontrer, en ces pages restreintes, ni même d'en esquisser les raisons¹.

Définitions. — On dit qu'une grandeur G subit en un point une « vibration périodique » lorsqu'ayant subi, dans un certain intervalle de temps T , des variations arbitraires, elle répète ensuite périodiquement toutes ces variations; si g désigne sa valeur à un instant quelconque, elle reprend cette valeur g toutes les fois que le temps s'est accru d'un multiple entier de T . T s'appelle *période*. Son inverse $1 : T$ désigne le

1. Nous renverrons, dans ce but, à notre ouvrage : *Où en est la Physique*. — Collection des Mises au point. — Gauthier-Villars, édit.

nombre de fois que se répète le phénomène en une seconde. Cet inverse est pour nous le nombre important. Nous l'appelons *fréquence* et le désignons par la lettre ν .

La plus simple de toutes les vibrations est celle du pendule. Lorsqu'une grandeur G subit les mêmes variations qui régissent la position d'un pendule, nous disons qu'il est animé d'une *vibration pendulaire*.

On dit qu'une vibration se propage, avec une vitesse V , dans une certaine direction, lorsque deux points quelconques, séparés par une longueur L dans cette direction, possèdent le même mouvement vibratoire, avec un écart de temps égal au temps que l'on met à franchir la distance L avec la vitesse V .

Si la distance L est choisie de façon que le temps T soit précisément égal à la période, L est appelée *longueur d'onde*.

On dit qu'en un certain point de l'espace il y a *champ électrique* si, mettant en ce point un ion (balle de sureau de l'ancienne physique ou toute autre portion de matière chargée, ou mieux encore un électron), nous observons que le corpuscule subit une force attribuable à son électrisation. Cette force définit aussi bien la charge électrique de l'ion, si le champ est connu, la direction et l'intensité du champ, si la charge est connue.

On dit qu'en un point de l'espace il règne un *champ magnétique* si, mettant en ce point un petit aimant (qui peut être une aiguille aimantée, un petit courant fermé ou mieux encore un atome d'hydrogène) nous observons un couple qui tend à orienter l'aimant. Ce couple définit aussi bien l'aimantation, si le champ est connu, la direction et l'intensité du champ, si l'aimantation est connue.

Champ électrique et champ magnétique sont des grandeurs : ils peuvent subir, en chaque point, des vibrations périodiques, et former des ondes, comme toute grandeur.

La lumière. — Toute variation du champ électrique produit un champ magnétique (Ampère). Toute variation du champ magnétique produit un champ électrique (Faraday). Une onde ne peut donc être purement électrique ni purement magnétique, mais les deux à la fois : on l'appelle *onde électromagnétique*. Le champ électrique et le champ magnétique vibrent synchroniquement, en chaque point ; ils restent perpendiculaires entre eux et se trouvent dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation. L'amplitude de leurs vibrations respectives est telle que l'énergie électrique et l'énergie magnétique soient égales et que leur somme, c'est-à-dire l'énergie totale transportée par l'onde, soit proportionnelle à la fréquence. Les vibrations sont localisées dans une zone infiniment étroite autour de la direction de propagation. On dit qu'elle transporte un *quantum*¹, c'est-à-dire une quantité d'énergie dirigée (association d'une énergie et d'une quantité de mouvement). Ce quantum est le produit de la fréquence ν par une constante universelle h , appelée *constante de Planck*, égale à $6,55 \cdot 10^{-27}$ ergs \times seconde.

L'onde électromagnétique se propage avec une vitesse

1. J. Perrin, pour rappeler cette structure, en quelque sorte granulaire, de l'énergie rayonnante, a proposé de nommer *photon* ce que nous appelons ici quantum. Ce terme a l'avantage d'éviter une confusion possible entre le quantum d'énergie rayonnante et les nombres quantiques de l'atome. Par contre, il assimile aux grains d'électricité, tous identiques, une grandeur qui, pour être définie, n'en est pas moins variable avec la fréquence. Quoi qu'il en soit, le mot photon n'est pas encore passé dans la langue scientifique.

constante, que nous appellerons c . Cette vitesse est la même pour tous les observateurs, quelle que soit leur vitesse propre (supposée pourtant constante) par rapport aux étoiles fixes. Aucune *cause* ne peut se propager avec une vitesse dépassant c . Cette vitesse c est de 300 000 kilomètres par seconde.

Toute énergie est douée d'inertie (Einstein-Langevin). L'onde électromagnétique a donc une *masse*, égale au quotient du quantum d'énergie par c^2 ¹.

L'onde électromagnétique est, par suite, entièrement définie par sa fréquence et la direction de sa propagation, c'est-à-dire par son quantum. Elle a bien des caractères communs avec un projectile dont la vitesse est c , la masse $\frac{hv}{c^2}$, la quantité de mouvement $\frac{hv}{c}$.

Toute lumière, invisible ou non, toute *radiation*, disent les physiciens, est une onde électromagnétique. Depuis les ondes indécélables, parce que trop faibles, qui s'échappent de nos usines électriques, et dont la longueur d'onde est grande comme la Terre, jusqu'aux rayons γ du radium, qui logent 140 millions de sinuosités dans un espace de 1 millimètre, la série des « lumières » est ininterrompue. Nous en connaissons 65 *octaves* : une

1. Ce point de vue n'est pas *essentiellement* relativiste : il revient à dire, simplement, que l'énergie est, par essence et sous toutes ses formes, *électromagnétique*. L'onde qui se propage fournit un « courant de déplacement », comme l'électron ou le proton fournissent un « courant de conduction ». Les courants ont une inertie, que caractérise leur *self-induction*. Il faut du travail pour modifier leur grandeur et leur direction : ils ont donc une « masse », variable avec l'énergie du « quantum » ou la vitesse de l'électron ; cette masse dépend en outre de la direction.

seule d'entre elles impressionne notre œil. Successivement, et par ordre de fréquence croissante, nous les appelons ondes hertziennes, ondes infrarouges, ondes visibles, ondes ultraviolettes, rayons X, rayons γ . Toutes ces ondes sont identiques, à la fréquence près.

La matière. — Toute substance est formée de deux principes, savoir :

1° L'*électron*, qui est le grain d'électricité négative. Son diamètre¹ est de $3,70 \cdot 10^{-13}$ centimètres ; il pèse $0,899 \cdot 10^{-27}$ grammes (lorsqu'il est au repos) ; il vaut $1,591 \cdot 10^{-19}$ coulombs,

2° Le *proton*, qui est le grain d'électricité positive. Il est 1848 fois plus ténu que l'électron, mais 1848 fois plus lourd ; il a la même charge électrique, en valeur absolue. La masse de l'électron, vis-à-vis de la sienne, étant négligeable, il constitue la « matière » au sens usuel du mot, tant qu'elle reste définie par ses propriétés pesantes.

Un *atome* est formé par l'union d'un nombre quelconque A de protons avec un égal nombre d'électrons. Ces 2 A corpuscules sont associés en deux groupes, savoir :

1° Un groupe compact, comprenant la totalité des protons et une partie des électrons ; un nombre Z de ces der-

1. Rappelons que : $3,70 \cdot 10^{-13}$ équivaut à 0,000 000 000 000 37 ; en d'autres termes, il faut écrire, devant 3,70, un nombre considérable de zéros. qui reporte le chiffre 3 au 13^e rang après la virgule. Comme il nous faut écrire des chiffres « astronomiques », nous évitons de traîner à notre remorque des zéros encombrants.

niers lui échappe, en sorte que cette masse possède la quasi-totalité de la masse de l'atome (soit A fois la masse du proton) et une charge électrique positive égale à Z fois la charge élémentaire (grain d'électricité). On l'appelle *noyau*. Ses dimensions varient, suivant la complexité de l'édifice, mais restent toujours petites vis-à-vis de celles de l'atome, définies plus loin.

Les $A-Z$ électrons qu'il renferme sont dits *électrons nucléaires*.

2° Une atmosphère constituée par les Z électrons restants. Ils décrivent, autour du noyau, des orbites de formes diverses, dont les dimensions restent de l'ordre de 10^{-8} centimètres quand l'atome est à l'état normal. Ces dimensions varient avec l'atome, et fournissent le « diamètre atomique ». Ainsi l'atome est comparable au système solaire, formé d'un soleil central et de planètes gravitantes. Les Z électrons de ce système sont appelés *électrons planétaires*.

L'énergie étant pesante, des électrons et des protons qui s'unissent pour former un atome perdent une masse égale au quotient par c^2 de l'énergie dissipée. Ce phénomène n'est sensible que pour l'hélium : la formation du noyau d'hélium à partir de quatre protons et deux électrons dégage une énergie telle que la masse totale est nettement inférieure à quatre fois la masse du proton. L'atome d'hydrogène, formé d'un unique proton et d'un électron, a la masse du proton. Le quart de la masse de l'atome d'hélium est à la masse de l'atome d'hydrogène comme 1 à 1,008.

L'hydrogène mis à part, les masses des atomes sont

des multiples entiers d'une même masse, qui est le quart de la masse de l'atome d'hélium, ou le seizième de la masse de l'atome d'oxygène. Les nombres A et Z ont ainsi chacun leur signification physique. A fournit (sauf pour l'hydrogène) la « masse atomique » de l'élément. Z, appelé *nombre atomique*, caractérise l' « élément chimique ». On voit ainsi qu'un même élément chimique, défini par Z, peut avoir des masses atomiques diverses, propriété qui s'appelle *isotopie*. Deux éléments identiques au point de vue chimique et de masses atomiques différentes sont dits isotopes. Si la masse atomique d'un élément n'est pas un nombre entier, nous sommes assurés qu'il est un mélange d'isotopes.

Les orbites que peut décrire un électron planétaire ne sont pas quelconques : elles forment une suite discontinue. Par exemple, dans l'atome d'hydrogène, formé d'un noyau réduit à un proton, l'unique électron planétaire décrit, à l'état normal, un cercle de $1,07 \cdot 10^{-8}$ centimètres de diamètre ; mais, pour des raisons accidentelles, il peut décrire des cercles dont le diamètre est, par rapport au précédent, multiplié par 4, par 9, par 16, ou par le carré de tout autre nombre entier. Là se trouve l'origine des quanta mécaniques : ces orbites stables sont appelées *orbites quantifiées*. L'énergie correspondant à chacune de ces orbites constitue un *niveau d'énergie* de l'atome.

Sous l'influence d'un choc violent, chaque électron planétaire, qui chemine sur son orbite normale, peut être amené sur une autre orbite, ou même être séparé complètement de l'atome. On dit qu'il en est séparé quand son orbite se change en une quelconque trajec-

toire non fermée sur elle-même : la planète est devenue comète. Alors, mais alors seulement, l'électron suit les lois de la mécanique classique, échappant aux quanta. L'atome, qui possédait un nombre égal d'électrons et de protons, et qui par suite était électriquement neutre, possède maintenant une charge positive : on l'appelle un *ion positif*. Il peut encore perdre successivement des électrons, en nombre croissant, et prendre une charge positive croissante.

Si l'électron change simplement d'orbite et reste lié à l'atome, ce dernier est dit *excité*.

Si, par suite du hasard des rencontres, un électron cométaire est capté par un atome, celui-ci devient un *ion négatif* ; il prend une charge négative plus importante encore s'il capte ensuite de nouveaux électrons.

Nous donnons ci-contre la liste des éléments connus, accompagnés de leur nombre atomique Z et de leur masse atomique A .

La complexité de l'édifice atomique va croissant avec A . L'atome d'hydrogène a 1 proton et 1 électron. L'un des atomes d'uranium, celui qui est le plus compliqué, possède 238 protons, 146 électrons nucléaires, 92 électrons planétaires. Un tel édifice devient instable ; à partir du polonium, tous les éléments sont radioactifs. Par moments, un noyau se libère d'un électron qui le gêne. Cet électron s'échappe avec une vitesse énorme, qui peut ne différer de la vitesse de la lumière que de 1 pour 100. Il forme un *rayon β* . La masse A de l'atome ne change pas, mais, l'électron se trouvant chassé du noyau, le nombre atomique Z augmente d'une unité : pour se re-

NOMBRES ATOMIQUES	ÉLÉMENTS	MASSES ATOMIQUES GLOBALES	NOMBRE D'ISOTOPES	MASSES ATOMIQUES INDIVIDUELLES	NOMBRES ATOMIQUES	ÉLÉMENTS	MASSES ATOMIQUES GLOBALES	NOMBRE D'ISOTOPES	MASSES ATOMIQUES INDIVIDUELLES
1	Hydrogène.	1,008	1	1,008	47	Argent.	107,88	2	107-109
2	Hélium.	4,00	1	4	48	Cadmium.	112,40	6	110 à 116
3	Lithium.	6,94	2	6-7	49	Indium.	114,8	1	115
4	Glucinium.	9,1	1	9	50	Étain.	118,7	8	116 à 124
5	Bore.	10,9	2	10-11	51	Antimoine.	121,77	2	121-123
6	Carbone.	12,00	1	12	52	Tellure.	127,5	3	126-128-130
7	Azote.	14,008	1	14	53	Iode.	126,92	1	127
8	Oxygène.	16,00	1	16	54	Xénon.	130,2	9	124-136
9	Fluor.	19,00	1	19	55	Césium.	132,81	1	133
10	Néon.	20,20	2	20-22	56	Baryum.	137,37	1	138
11	Sodium.	23,00	1	23	57	Lanthane.	139,0	1	139
12	Magnésium.	24,32	3	24-25-26	58	Cérium.	140,25	2	140-142
13	Aluminium.	26,96	1	27	59	Praséodyme.	140,6	1	141
14	Silicium.	28,3	3	28-29-30	60	Néodyme.	144,3	4	142 à 146
15	Phosphore.	31,04	1	31	61	Florentium.			
16	Soufre.	32,06	1	32	62	Samarium.	150,4		
17	Chlore.	35,46	2	35-37	63	Europium.	152,0		
18	Argon.	39,9	2	36-40	64	Gadolinium.	157,3		
19	Potassium.	39,10	2	39-41	65	Terbium.	159,2		
20	Calcium.	40,07	2	40-44	66	Dysprosium.	162,5		
21	Scandium.	45,1	1	45	67	Holmium.	163,5		
22	Titane.	48,1	1	48	68	Erbium.	167,7		
23	Vanadium.	51,0	1	51	69	Thulium.	168,5		
24	Chrome.	52,0	1	52	70	Ytterbium.	173,5		
25	Manganèse.	54,93	1	55	71	Lutecium.	175		
26	Fer.	55,84	2	56-54	72	Celtium.			
27	Cobalt.	58,97	1	59	73	Tantale.	181,5		
28	Nickel.	58,68	2	58-60	74	Tungstène.	184,0		
29	Cuivre.	63,57	2	63-65	75	Rhenium.			
30	Zinc.	65,37	4	64 à 70	76	Osmium.	196,9		
31	Gallium.	70,10	2	69-71	77	Iridium.	193,1		
32	Germanium.	72,5	3	70-72-74	78	Platine.	195,2		
33	Arsenic.	74,96	1	75	79	Or.	197,2		
34	Sélénium.	79,2	6	74 à 82	80	Mercure.	200,6	6	197 à 204
35	Brome.	79,92	2	79-81	81	Thallium.	204,0	4	
36	Krypton.	82,92	6	78 à 86	82	Plomb.	207,2	11	
37	Rubidium.	85,45	2	85-87	83	Bismuth.	209,0	5	
38	Strontium.	87,63	2	86-88	84	Polonium.		7	
39	Yttrium.	88,9	1	89	85				
40	Zirconium.	90,6			86	Émanations.		3	
41	Colombium.	93,1			87				
42	Molybdène.	96,0			88	Radium.	226,0	4	
43	Mazurium.				89	Actinium.		2	
44	Ruthénium.	101,7			90	Thorium.	232,15	6	
45	Rhodium.	102,9			91	Protactinium.		3	
46	Palladium.	106,7			92	Uranium.	238,2	2	

trouver à l'état neutre, l'atome aura besoin d'un nouvel électron planétaire.

Pour d'autres atomes, c'est un noyau d'hélium qui, pour des raisons de stabilité interne, s'échappe du noyau atomique. La vitesse de ce noyau d'hélium, formé de 4 protons et 2 électrons, est de l'ordre de 20000 kilomètres par seconde. Il constitue un *rayon α* . Le poids atomique diminue de 4, le nombre atomique diminue de 2. L'atome s'est *transmué* dans un autre atome, l'élément dans un autre élément. Le nouvel atome pourra, par la suite, perdre un premier rayon β , puis un second rayon β ; la série des trois transformations lui restituera son nombre atomique, mais sa masse atomique aura diminué de 4 : l'élément primitif sera changé en un élément isotope.

Les éléments radioactifs se déduisent ainsi les uns des autres par transmutation, formant des *familles* dont les ancêtres sont l'uranium et le thorium ; elles aboutissent au plomb.

Actions réciproques de la lumière et de la matière. — Un quantum de rayonnement, tombant sur un atome, produit trois effets distincts.

1° Il peut rebondir, à la façon d'une balle élastique. Ce phénomène est du même ordre que la déviation de la lumière par la matière ; il résulte de la relativité ; c'est un fait expérimental, vérifié par les astronomes lors des éclipses solaires. La conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement de l'ensemble atome + quantum

permet le calcul de la variation subie par le quantum lui-même ; il change de fréquence (*effet Compton*).

2° L'un des électrons planétaires, fixé sur un niveau d'énergie normal, gravit quelques échelons. Il passe en un niveau supérieur, absorbant l'énergie qui correspond à la différence des niveaux. Le rayonnement repart avec une fréquence moindre, emportant un quantum qui est la différence entre le quantum primitif et l'énergie prélevée par l'électron. On obtient des *raies d'absorption*. Le quantum peut d'ailleurs être complètement absorbé, s'il est précisément égal à la différence des deux niveaux d'énergie.

3° Le quantum est supérieur au niveau d'énergie de l'un des électrons planétaires de l'atome ; il est absorbé totalement, l'électron s'échappe, et l'atome est ionisé. C'est le *phénomène photoélectrique*. Il conduit à des *bandes d'absorption*.

Sous l'influence d'un choc, l'atome excité peut changer de structure. Un de ses électrons planétaires, fixé sur un niveau d'énergie supérieur à celui qui reste libre, retombe sur ce dernier niveau ; l'atome prend un état de moindre excitation ; un quantum, égal à la différence de niveau, se trouve rayonné. Ce phénomène produit une *raie d'émission*. Si le quantum en question n'est pas émis, l'énergie se reporte sur la particule dont le choc a troublé l'atome : cette particule reçoit un supplément d'énergie cinétique.

Le magnétisme et l'électricité. — Le courant électrique est un ion qui se déplace. Dans les liquides et

dans les gaz, des portions de matière plus ou moins complexes servent de véhicule aux charges électriques. Dans les métaux, les ions se réduisent à des électrons. Gravitant, à l'état normal, autour d'un atome, un électron se trouve brusquement libéré par des chocs ; comète fugitive, il prend de la vitesse, poussé par le champ électrique, puis, entrant dans la zone d'action d'un second atome, il est capté par lui, parcourt, pendant un certain temps, une orbite d'énergie définie, après avoir rayonné la différence entre l'énergie qu'il possédait et l'énergie qu'il est contraint d'avoir ; puis il repart vers un autre atome, et, de proche en proche, gagne l'anode, après des velléités successives d'obéissance et de rébellion envers le champ électrique.

L'électron qui se déplace, étant un courant, est, par suite, un aimant (Ampère). L'atome, étant formé d'orbites électroniques, est un aimant minuscule (à moins qu'il n'y ait compensation entre les différents électrons qu'il possède). Un champ magnétique l'oriente.

L'électron lui-même pivote autour d'un axe (qui est la direction du champ magnétique) ; il est donc un aimant, même lorsqu'il ne se déplace pas. Son moment magnétique, appelé *magnéton*, est comme une sorte de « grain de magnétisme » ; les orbites que peut parcourir un électron, dans un atome, sont telles que leur moment magnétique soit un multiple entier du magnéton. Les orbites des divers électrons d'un atome s'associent de façon que le moment magnétique de l'ensemble soit encore un multiple entier du magnéton.

VI

Ah ! Pythagore, j'ai vu beaucoup d'or, oui,
beaucoup d'or. Peux-tu t'imaginer combien il
était beau, de quel éclat il brillait !

LUCIEN. — (*Le songe ou le coq.*)

Tels sont, rapidement esquissés, les résultats obtenus par les physiciens. On m'accordera peut-être que les théories des philosophes grecs ont reçu quelque précision. Le résultat, pris en lui-même, est peu. Seuls importent le « pourquoi » et le « comment ». Nous avons pu « décrire » les trois principes du monde, savoir le quantum, l'électron, le proton, puisque nous avons donné les chiffres qui les définissent. Nous savons les « raisons » pour lesquelles il convient d'affirmer qu'ils existent et sont ainsi faits.

Une question, je le sais, est sur les lèvres de bien des lecteurs : à quoi tout cela sert-il ? Certes, il serait facile de répondre que les travaux de l'intelligence ont leur fruit en eux-mêmes. On trouvera, dans l'œuvre de H. Poincaré¹, de si belles pages à ce sujet qu'il serait vain d'y revenir. J'aurais aussi quelque raison d'affirmer que

1. Cf., en particulier, *La Valeur de la Science*. Flammarion édit.

nul ne peut prévoir tout ce qu'on peut tirer, dans le domaine pratique, d'une connaissance approfondie des phénomènes. L'électricité porte, en chacune de ses applications, la marque d'un homme de science, qui pourtant n'en reçut point un profit personnel. Nos tramways fonctionnent parce qu'Ampère exista ; nos postes de radio-phonie n'émettraient pas leurs ondes, si quelque Hertz n'avait pâli sur les équations de Maxwell ; nos lampes de réception viennent de Lie de Forest ; les rayons X sont dus à Röntgen ; le bienfaisant radium fut découvert par P. et M^{me} Curie. Que d'exemples on pourrait encore invoquer !

Aujourd'hui, J. Perrin, grâce aux fonds de la « Journée Pasteur », dispose d'une formidable installation à tension constante. Cette source d'énergie va lui servir à commencer l'étude expérimentale de la *transmutation des éléments*. Nous connaissons les moyens qu'il faut mettre en œuvre pour y parvenir, c'est-à-dire pour expulser, par exemple, un proton du noyau d'un atome de thallium et faire ainsi de l'or. Un atome de plomb, privé d'un proton, donnerait du mercure ; dans les mêmes conditions, le mercure se changerait en platine. La platine lui-même, par transformation β , fournirait de l'or. Il suffit, pour obtenir ces résultats, d'une tension suffisante. Tout physicien français, en ces années d'après-guerre, dans ses rêves incontrôlés s'est vu, génie providentiel, sauvant un jour sa patrie de l'angoisse financière, et déversant, sur la créancière Amérique, les floz d'or qu'il avait fabriqués dans le mystère. Hélas ! Le réveil rappelait les réalités : cet or coûterait cher à fabriquer, bien plus cher qu'il ne vaut. Ce

n'est pas J. Perrin, nouvel alchimiste, qui entraînera la déchéance, par surproduction, de notre étalon monétaire.

Mais les conséquences pratiques seront considérables. Connaître la matière, c'est la dominer. Tout ce qui rend plus nettes nos connaissances touchant au mécanisme de la nature fait croître notre puissance. Grâce à la physique récente, il est certain qu'une chimie nouvelle naîtra, qui pourra « prévoir ». La vertu créatrice de notre chimie actuelle, déjà considérable, ne peut manquer d'en être accrue. Le trésor intellectuel dont la physique, au cours de ces vingt-cinq années de « fièvre », a pu nous enrichir est pour nous plus précieux que l'or dont, peut-être, elle va réaliser la synthèse.

*
* *

Une difficulté subsiste : elle est de taille. C'est le point névralgique de tout notre édifice. C'est la dernière en date d'une série de crises qui débuta par la formule de Rayleigh ; cette première difficulté, nous l'avons dit, fut levée par les quanta. La seconde, qui fut l'incompatibilité de l'électrodynamique et de la mécanique, prit fin lorsqu'apparut la Relativité. Celle dont nous voulons parler maintenant va probablement disparaître à brève échéance, effacée par les travaux que le physicien suisse Schrödinger poursuit depuis quelques mois, comme suite à une étude de L. de Broglie. Nous avons le très ferme espoir qu'elle mettra le point final au long travail d'analyse, et que les physiciens n'auront plus à faire qu'un travail de synthèse.

Nous avons revu, sous une forme précisée, la doctrine philosophique des « atomes ». La théorie de l' « unité de la matière » nous revient. Le rêve des alchimistes, la « transmutation », apparaît aujourd'hui, non plus comme une chimère, mais comme un fait, quand la nature la produit elle-même (radioactivité), comme une expérience difficile, dans le cas des transmutations provoquées. La théorie des « réseaux cristallins » est maintenant un fait expérimental. Celle des « aimants particuliers », celle de la « polarisation diélectrique », celle des « ions », celle encore du « fluide électrique » (effet Edison), bien d'autres qui m'échappent, sont conformes, avec les retouches nécessaires, à nos idées actuelles. On peut dire qu'il est sans exemple qu'une théorie conçue par un cerveau puissant soit restée stérile. Chacune a pu souffrir un long temps d'oubli, mais rentre, victorieusement, dans nos schémas actuels.

Telle est, en particulier, la théorie de Newton relative à la lumière, la « théorie de l'émission ». Pour Newton, un corps lumineux projette des particules. On sait qu'après un temps de gloire, puis de lutte ardente contre la « théorie des ondes », la théorie de l'émission fut terrassée par Fresnel. Les phénomènes d'interférence, péniblement explicables par l'émission, sont d'une extrême simplicité dans la théorie des ondes. En outre, et ceci devint décisif, l' « indice de réfraction » varie avec la vitesse de la lumière¹ suivant des lois opposées dans les deux théo-

1. Constante dans le vide, la vitesse de la lumière diminue dans la matière. Il n'y a donc pas contradiction entre nos affirmations précédentes et ce que nous disons ici.

ries, et l'expérience donne raison à Fresnel contre Newton. Enfin, dernier point qui n'est venu que plus tard, nous considérons aujourd'hui que la vitesse de la lumière ne dépend pas du mouvement de la source, fait expérimental incompréhensible dans l'hypothèse d'une « émission ».

La dernière objection ne vaut plus, depuis Einstein. Si les corpuscules émis par la source ont la vitesse c , vitesse limite pour toute « causalité », le mouvement de la source n'a plus de répercussion. Restent les deux autres. Elles semblent fatales à la théorie de Newton. Et pourtant, je vous prie de me le dire : quelle différence voyez-vous entre ladite hypothèse des « corpuscules de lumière » et l'envoi, par une source lumineuse, de ces étranges « quanta de lumière », doués d'une vitesse, d'une énergie, d'une masse, et localisés dans un espace infiniment restreint autour du rayon lumineux ? Newton avait-il tort ? Non certes. *Fresnel non plus*. Le quantum n'est pas strictement un corpuscule : il est allongé suivant le rayon ; c'est plutôt un « dard », et, le long de ce dard, il y a des ondes. L'objection capitale de Fresnel, sa preuve décisive, est satisfaite. Il reste la difficulté relative aux interférences. Nous comprenons difficilement que des quanta discrets et localisés puissent interférer. Tant que l'explication n'en vient pas, il subsiste une crise dans la physique. Mais, précisément, l'hypothèse de L. de Broglie et la théorie de Schrödinger nous en donneront probablement la clef, comme elles nous donnent celle des quanta.

L. de Broglie a pris le problème dans le sens opposé. Non content de voir, dans le quantum, un corpuscule, il

voit dans le corpuscule une lumière. Un électron, *c'est un système d'ondes stationnaires*. Chaque mobile en mouvement est remplacé par son « onde associée », qui porte l'énergie du mobile suivant un rayon qui en est la trajectoire. L'onde associée peut être libre, si l'électron n'est pas lié à un atome ; si le corpuscule, par contre, décrit une « orbite », l'onde se ferme sur elle-même ; *elle se stabilise en devenant stationnaire* ; les nombres entiers s'introduisent alors, de la même façon, toute naturelle, qu'ils apparaissent en acoustique pour régler la vibration des tuyaux ou des cordes. Quant aux interférences, leur existence est l'indice d'une liaison entre ces divers systèmes d'ondes. Il reste à connaître le mécanisme de cette liaison. Cette idée de L. de Broglie est le départ de très nombreux travaux, en cours de développement, dont Schrödinger est le guide.

Tout récemment, Langevin a soumis au calcul les conditions grâce auxquelles de la Matière se forme aux dépens des Ondes ou se détruit pour donner du rayonnement. Il a montré que les étoiles chaudes, dont la température, suivant Eddington, est de plusieurs centaines de millions de degrés, sont le siège d'une telle « condensation de la lumière ». Inversement, dans notre planète refroidie, la matière se décompose lentement, et chacune de ces « morts » que subissent les particules matérielles produit un rayonnement, beaucoup plus « dur » encore que les rayons γ les plus pénétrants. Là, semble-t-il, se retrouve la clef de la *radiation pénétrante*, inventée par Jean Perrin, décelée par Millikan.

*
* *

La théorie de L. de Broglie et Schrödinger, nous le répétons, ne possède encore que quelques mois d'existence. Mais les premiers résultats apportent plus que des promesses. Les milieux scientifiques du monde entier lui font confiance. Elle est séduisante. Elle rend rêveur.

Séduisante, certes, elle peut l'être par son charme interne, mais aussi par le calme qu'elle introduit dans le jugement. Elle plaît au sceptique. Elle chasse les « doctrines » ; elle concilie les contraires. Quoi de plus opposé que les thèses de Newton et de Fresnel ? Toutes deux sont vraies ; aucune d'elles ne vaut absolument. Continu ? Discontinu ? Les deux aussi bien, suivant les cas. C'est là, d'ailleurs, une conception dont Einstein a prouvé la nécessité.

N'est-il pas amusant de retrouver, sous forme scientifique, le vieux problème du « nombre des principes ». Un, deux ou trois ? Les plus naïfs et les plus charmants des poètes, ces hommes simples qui, par un travail long et discret, reçurent les mythes élaborés par leurs ancêtres et les transmirent, déformés, aux générations successives, ont admis des nombres divers. En général, ils en concevaient deux, le Bien et le Mal, l'Ombre et la Lumière, Ogygès et Tethys, Ouranos et Gaia. Le plus ancien de tous est aussi le plus proche de nous ; la trinité de Brahm, n'est-ce point la Lumière, le Proton et l'Electron ? Le Père, le Fils et l'Esprit ont maintenant des noms

scientifiques. Trois principes en un seul, ou bien encore une infinité : les diverses lumières de toutes fréquences. Tout serait lumière. Vous êtes lumière, Madame ; vous vous nourrissez de lumière et c'est aussi, ne vous déplaise, de la lumière que la nature vous reprend chaque jour.

Songeons alors à ce qu'est le rayonnement. Disons-nous que, s'il est possible d'en *voir* une octave, parmi les 65 que nous connaissons, il est plus malaisé de le définir. Nous voyons en lui, nous physiciens, du champ électrique et du champ magnétique, décrits par des notions purement électriques, savoir les forces que subit un électron. Si l'électron lui-même n'est que lumière, notre synthèse se termine en tautologie ; nous définissons une grandeur par la même grandeur ; nous obtenons un NOMBRE, et, physiquement parlant, rien autre qu'un nombre. Certes, je n'ignore pas que tout, par principe, est nombre dans la science : l'objet immédiat de la physique est la recherche de relations numériques. Il y a pourtant autre chose que la « quantité » ; c'est la notion de « qualité », qui trouve son expression mathématique dans les « équations aux dimensions », et qui se rattache à la notion de « principe ». Le « principe unique » fait disparaître toute différence de qualité ; la seule grandeur qui subsiste n'a plus aucune autre signification que celle d'un nombre. Elle ne peut être « décrite » que par le « nombre » et non plus par le « mot » : elle est ineffable. On nous disait : « les atomes sont faits d'électrons et de protons. Mais qu'y a-t-il *dans* les électrons ? Qu'y a-t-il *dans* les protons ? Vous nous le montrerez peut-être un jour. Mais alors il faudra nous dire ce qu'il y a dans les

parties constitutives de l'électron, dans celles du proton. Vous reculerez indéfiniment le « pourquoi », mais ne le supprimerez pas. » Nous l'avons supprimé, semble-t-il, puisque *le* principe dernier est ineffable : au delà, ce n'est plus que de l'inconnaissable.

Einstein, au-dessus de la géométrie, avait mis la physique. Au-dessus de la physique, il y a l'algèbre, et puis il n'y a plus rien qu'il soit utile d'invoquer pour expliquer le monde. Au début, disent les Écritures, était le Verbe. Le Verbe, pour le physicien, s'est fait Nombre.

Qu'on ne voie point, dans tout cela, quelque retour à la philosophie pythagoricienne. Nous n'invoquons pas le Nombre-Dieu. Nous faisons tout à la fois un aveu d'impuissance et un acte d'orgueil. Nous tenons pour impossible, partant des seules données de nos sens, de trouver autre chose que du nombre et nous traduisons ce résultat en disant que toute la réalité concrète se réduit, en dernière analyse, à cette abstraction : le nombre. Il nous est interdit d'aller au-delà sans faire appel au subjectif. En contre-partie, nous avons dégagé les principes du monde et nous pourrions le construire à nouveau, non plus en temps que monde pensé, mais en tant que monde sensible. L'analyse touche au terme : la synthèse, déjà fort ample, deviendra plus facile et s'élargira chaque jour. La physique n'est pas une statue de marbre ; science du monde vécu, c'est une créature de vie, toute imprégnée d'une sève ardente. Fille d'Antée, elle puise des forces nouvelles dans un contact incessant avec l'expérience.

Le présent cahier, quatrième de la dix-huitième série des Cahiers de la Quinzaine, a été tiré à 1760 exemplaires. A savoir : 110 exemplaires sur papier vergé d'Arches dont 100 exemplaires numérotés de 1 à 100 et 10 exemplaires hors commerce marqués H. C. 1500 exemplaires sur papier alfa des Papeteries Naves de 101 à 1600, vendus uniquement aux abonnés à la dix-huitième série complète et 150 exemplaires réservés à la publicité marqués S. P. Il a été achevé d'imprimer le 25 mai 1927, par l'imprimerie Durand de Chartres pour l'Artisan du livre, 2, rue de Fleurus, Paris VI^e.



Le gérant : MARCEL PÉGUY.

