

sées consécutives). Quand la longueur d'onde est supérieure à 812 millièmes de millimètre, il n'y a pas d'impression lumineuse produite sur la rétine, bien que l'action sur le thermomètre puisse être très sensible; quand la longueur d'onde atteint la valeur de 650 millièmes de millimètre, il se produit une sensation rouge accompagnée de beaucoup de chaleur. A 500 millièmes de millimètre, on voit un vert très brillant, mais beaucoup moins calorifique que le rouge. A partir de 400 millièmes de millimètre, l'impression colorée est une teinte lavande très faible, accompagnée de très peu de chaleur, tandis que l'action du rayon sur les substances chimiques qui servent à la photographie est très puissante. Enfin au-dessous de 200 millièmes de millimètre il n'y a plus ni impression calorifique, ni impression lumineuse, mais l'action chimique persiste encore. J'ai cité ces chiffres pour montrer à la fois et la précision des mesures de la physique moderne, et l'identité de la cause qui produit les effets définis par les mots *chaleur, lumière, action chimique*.

Au fond, tout cela se réduit à un mouvement des particules des corps qui, par le moyen des vibrations de l'éther, se communique aux éléments des autres corps et y produit des effets déterminés.

Mais ici plusieurs questions se posent.

D'abord quelles sont ces particules des corps; ensuite comment agissent-elles; enfin qu'est-ce que l'éther, et comment le mouvement peut-il se transmettre des corps à l'éther et réciproquement?

Nous avons vu plus haut que les corps pouvaient être considérés comme des assemblages de points matériels identiques, indivisibles, et, dans le sens qui a été défini, infiniment petits.

Dans toutes les spéculations, dans toutes les explications qui reposent sur les mouvements particuliers des corps et qu'on trouvera admirablement résumés par Clerk Maxwell (*Theory of the Heat*), il s'agit de molécules animées de mouvements de rotation ou de translation, douées d'élasticité, subissant et imprimant des chocs, etc.

Ces molécules ne peuvent être du même ordre de grandeur que les points matériels qui, par définition, sont indivisibles, inélastiques, et qui ne peuvent avoir de rotation.

Elles peuvent être définies des systèmes de points matériels formant, dans l'infiniment petit, des groupes analogues aux systèmes stellaires et planétaires de l'infiniment grand¹.

1. Dulong, dans une vue de génie, avait émis l'idée que les distances de molécule à molécule, par rapport aux dimen-

C'est le nombre, la disposition, la nature des points matériels, leurs mouvements autour du centre de gravité du système, qui formeraient la molécule constitutive de chacun des corps qu'il nous est donné de connaître. Une molécule pourrait donc être divisée, animée de mouvements de rotation, comprimée par une autre, etc., etc.

De ce point de vue (et toutes réserves faites sur le rôle de l'éther), tout s'explique d'une façon très plausible : la différence des états des corps, par exemple l'état solide où les molécules sont relativement serrées les unes contre les autres en équilibre stable; l'état liquide où elles jouent librement les unes contre les autres, en équilibre indifférent; l'état gazeux enfin où les molécules très éloignées les unes des autres peuvent faire beaucoup de chemin sans se rencontrer.

Les lois de la propagation de la chaleur, de la lumière, de la pression des gaz (lois de Mariotte et de Charles), des volumes (loi de Gay-Lussac), de la décomposition électrolytique (Faraday), de la dissociation (Sainte-Claire Deville), de l'état critique (Cagnard-Latour, Andrews), etc., trouvent dans cette belle théorie des explications d'un caractère très satisfaisant. Il suffit de supposer que les molécules peuvent être animées

sions de la molécule elle-même, étaient comparables aux distances astronomiques. La voie lactée, un caillou colossal!

de mouvements de translation et de rotation.

Quant à l'éther, on ne peut se passer de lui puisque la lumière et la chaleur des astres nous parviennent à travers le vide des espaces astronomiques, et que les corps qui nous entourent ne sont pas contigus; mais de quelle nature peut-on le concevoir?

Impondérable, sans masse? Pourquoi? D'après la théorie il est répandu partout comme on supposait l'air autrefois, jusqu'à l'invention de la machine pneumatique; il est tout naturel qu'il paraisse dénué de poids et de masse comme l'air semblait l'être à cette époque. On ne comprendrait pas des mouvements transmis par un fluide sans masse à la masse des molécules matérielles. Continu? c'est tout simplement incompréhensible.

Un mouvement vibratoire ne se conçoit pas sans ondes alternativement condensées et dilatées; la condensation ou la dilatation n'a pas de signification dans une substance continue et homogène.

L'éther est donc, comme les corps, composé *idéalement* de points matériels, et *réellement*, s'il est permis d'employer ici cet adverbe, de molécules définies comme plus haut.

Mais alors comment le mouvement peut-il à distance se transmettre d'une molécule d'éther à

l'autre? La réponse est bien simple : nous n'en savons rien; c'est un nouveau *mystère* à joindre à tant d'autres et que la postérité découvrira si elle peut.

Une dernière question pour terminer cette ébauche sommaire de cette grande et belle théorie mécanique du monde.

Pour que les molécules d'éther puissent être ébranlées par des molécules matérielles, et leur communiquer des mouvements, il faut, de toute nécessité philosophique, qu'elles soient de même nature. (Voir chap. II.)

S'appuyant sur la théorie des tourbillons de fumée établie mathématiquement par Helmholtz, sir William Thomson a émis l'idée très grandiose que voici. Tout le monde sait que certains mouvements de rotation communiquent aux corps une résistance souvent très grande à certains mouvements; une toupie, un vélocipède, animés d'une grande vitesse rotative, par exemple, résistent avec la plus grande énergie à tout effort qui tend à modifier la direction de l'axe de rotation. Dans les expériences sur les tourbillons de fumée, l'on peut constater que, malgré les déformations imposées par le milieu extérieur, ils conservent une individualité presque indestructible, tant que le tourbillonnement persiste.

Sir William Thomson suppose que les corps matériels, ou plutôt les molécules matérielles qui les composent, sont de simples tourbillons d'éther ne différant des portions voisines que par la nature du mouvement dont ils sont animés; de là l'origine de la forme, de la rigidité, de la solidité à ses degrés divers; de là la possibilité de la transmission des mouvements et des chocs.

C'est ainsi que notre siècle, mettant au point les idées de Descartes, a conçu l'unité de substance. De l'éther et du mouvement, voilà ce qu'est le monde, *in eo vivimus, movemur et sumus*. Il est bien entendu que ce monde est l'ensemble des choses qu'il nous est donné de percevoir et de concevoir, ce qui implique au moins une propriété commune à tous ses éléments, la propriété d'être intelligible et sensible, homogène à l'essence humaine. Que s'il est d'autres groupes ne jouissant pas de cette propriété, ce sont des mondes, des univers à jamais fermés pour nous. Dans le paragraphe qui suit, je m'efforcerai de montrer comment on peut *peut-être* faire rentrer dans la simplicité de ce cadre grandiose les phénomènes de la vie et de l'intelligence.

Je terminerai ce chapitre, à la fois trop long et trop écourté, par l'énumération des principales découvertes et du nom de leurs auteurs.

ASTRONOMIE. — Le siècle qui vient de s'écouler s'ouvre par l'exposé du *Système du Monde* de Laplace. Vers 1840, Le Verrier découvre par la puissance du calcul la planète Neptune, et confirme ainsi de la façon la plus éclatante la loi de Newton. Herschel, Struve, Secchi créent l'astronomie stellaire. Avec eux et au premier rang il faut citer Bunsen et Kirchhoff, déterminant en 1859 par la spectroscopie la constitution intime des planètes et des étoiles ¹. Chose à noter, eux et leurs successeurs ont retrouvé, jusque dans Sirius, des substances analogues à celles que nous avons autour de nous. Bien plus, quelques substances inconnues jusque-là sur la terre, le *gallium* de M. Lecoq de Bois-Baudran par exemple, ont été signalées pour la première fois par la spectroscopie stellaire à l'attention des chimistes qui ont fini par les découvrir sur notre globe. C'est une preuve de plus à ajouter à la théorie de l'unité de substance dans le monde sensible.

PHYSIQUE. — *Chaleur*. — En 1822, Fourier

1. Un mot d'explication sur leur méthode. On sait qu'un rayon blanc traversant un prisme se décompose en un spectre coloré. Dans ce spectre, les différentes teintes sont séparées par des lignes obscures appelées *raies*. Ces raies proviennent de l'absorption par la substance ambiante de certains rayons colorés variables d'une substance à l'autre, et changent de place par conséquent suivant la nature de cette substance.

publie sa grande *Théorie analytique de la chaleur*. C'est dans cet ouvrage qu'il a démontré que toute fonction périodique de forme quelconque peut toujours, et d'une seule manière, se décomposer en une somme de fonctions périodiques circulaires. La vibration constitue la fonction périodique par excellence.

La presque totalité des phénomènes physiques et chimiques étant aujourd'hui ramenés à des vibrations, ce beau théorème a pris une importance considérable. A ce chapitre se rattachent la théorie mécanique de la chaleur développée plus haut et dont les auteurs sont Sadi Carnot, Clapeyron, Joule, Mayer, Clausius; la vérification et la découverte des lois de l'élasticité des gaz, des changements d'état des corps. Les principaux physiciens qui ont marqué dans ces recherches sont Cagnard-Latour et, cinquante ans après, Andrews, qui ont découvert et étudié la température *critique* à laquelle la vapeur d'un liquide ne se condense plus et présente les mêmes apparences que le liquide lui-même; Faraday, Thilorier, Cailletet, qui ont réussi successivement à liquéfier par la pression tous les gaz connus. Les lois de la dilatation, de l'expansion des gaz, des chaleurs spécifiques, etc., ont été étudiées ou vérifiées par M. Regnault, dont le rôle est vraiment prisé trop haut en

France. Expérimentateur ingénieux et précis, M. Regnault a vérifié tous les coefficients, toutes les lois numériques; mais, dans son ardeur à poursuivre la cinquième décimale, il a passé à côté des plus grands résultats sans les trouver. Il a usé sa vie à expérimenter sur la chaleur spécifique, la chaleur latente, et il a complètement méconnu la portée de la théorie mécanique de la chaleur; il a vérifié les coefficients de l'élasticité des gaz et des vapeurs et il n'a ni liquéfié un seul gaz, ni soupçonné la température critique.

Bref, on ne trouverait pas attachée à son nom la découverte de la plus pauvre petite loi, du plus pauvre petit corps; l'utilité réelle de ses travaux a consisté uniquement à contrôler l'exactitude d'un grand nombre de coefficients. C'est quelque chose assurément, mais il serait regrettable que l'école française de physique, sous couleur de précision et d'horreur pour la théorie, se vouât à perpétuité à cette recherche de la trente-septième décimale, renonçant à toute vue d'ensemble et par suite à toute découverte de quelque importance.

Lumière. — Comme il a été dit plus haut, reprenant et précisant les idées de Thomas Young, Fresnel constitua la théorie de l'ondulation, expliqua les phénomènes connus et

put en prévoir de nouveaux. C'est par application des principes posés par lui qu'il inventa les phares lenticulaires. Arago découvrit la *polarisation colorée*.

Lagrange, Gauss, Listing, apportèrent des contributions importantes à la théorie de la réfraction des rayons lumineux par des systèmes de surfaces sphériques centrées.

Vers 1827, Niepce et Daguerre inventèrent simultanément le daguerréotype, puis la photographie et ses innombrables applications, parmi lesquelles il faut citer, comme une des plus curieuses et des plus récentes, la photographie des types et des races, imaginée par M. Galton.

Radiométrie et radiophonie. — Enfin sur la limite indécise qui sépare la chaleur de la lumière, on peut citer deux instruments très intéressants, le radiomètre de Crooks et le radiophone inventé presque simultanément par Bell et M. Mercadier.

Son. — L'acoustique a toujours été, je ne sais trop pourquoi, un peu dédaignée par les physiciens, bien que, comme il a été dit plus haut, elle ait été la première à fournir un schéma complet de la forme de mouvement vibratoire aujourd'hui considérée comme la forme la plus générale du mouvement dans la nature. Un corps sonore entre en vibration, le mouvement

se communique à l'air, milieu élastique, et de l'air aux organes auditifs. La lumière, la chaleur procèdent de la même façon, mais seulement à titre hypothétique ; pour le son il n'y a point de doute. Le phénomène des interférences, des battements sonores, éclaire d'un jour incontestable les phénomènes lumineux correspondants. Il y a même un phénomène lumineux et calorifique dont l'explication est restée obscure pour beaucoup de physiciens même illustres, et dont le phénomène acoustique correspondant a, grâce à Helmholtz, donné la clef. Je veux parler de la décomposition du rayon blanc en rayons colorés au passage d'un prisme. En acoustique nous comprenons aujourd'hui très bien la signification *réelle, objective*, qu'il faut attribuer à la décomposition d'une vibration complexe en vibrations élémentaires simples. Supposons une série de pendules tous situés dans un même plan et frappés perpendiculairement à ce plan suivant un rythme déterminé par une masse d'air en vibration. On conçoit aisément que, parmi tous ces pendules, ceux-là seuls entreront en mouvement durable dont la longueur correspond au rythme donné. Dans ce sens, on peut réellement dire que les vibrations de ces divers pendules représentent les composantes de la vibration de la masse d'air.

Si l'on suppose les molécules constitutives du prisme vibrant autour de leur position moyenne dans un rythme déterminé par leur distance ou leur masse, on conçoit de même que le mouvement vibratoire de l'éther arrivant sur le prisme puisse faire entrer en vibrations certains groupes de molécules plutôt que d'autres, et que ces groupes vibrant dans leur rythme particulier donnent naissance à leur tour aux vibrations correspondant aux différentes couleurs.

Parmi les acousticiens justement célèbres de notre temps, je citerai Chaldni, Seebeck, Wallis et bien au-dessous Savart; à une époque plus rapprochée, vers 1854, Lissajous qui trouva le moyen de représenter à l'aide de rayons lumineux et de miroirs les vibrations composées, et enfin et surtout Helmholtz dont le livre célèbre la *Théorie physiologique de la musique* a fait époque. C'est Helmholtz qui a démontré pour la première fois que la cause du timbre devait être cherchée dans le nombre et l'intensité des sons élémentaires. C'est lui également qui, s'appuyant sur des raisons physiologiques certaines, a trouvé la clef du mystère de la nécessité du rapport simple des vibrations de deux sons formant une consonance. La solution de ce problème posé par Pythagore avait été vainement cherchée jusqu'à présent.

R. Kœnig, indépendamment de son mérite transcendant comme constructeur, doit être également cité pour des travaux acoustiques de premier ordre. A côté de lui on pourrait placer aussi lord Rayleigh.

Les deux plus récentes et plus merveilleuses applications de l'acoustique, le téléphone, le phonographe, ont été directement suggérées à leurs inventeurs Bell, Edison et Gray par les théories de Helmholtz.

Électricité. — Tandis que le son, la lumière et jusqu'à un certain point la chaleur tombent en qualité et en quantité sous des sens spéciaux, l'électricité ne se révèle à nous que par des effets *médiats*. C'est pour cette raison qu'elle est arrivée la dernière à son développement normal.

Cette science appartient presque tout entière à l'époque comprise entre 1789 et 1889. Volta et Galvani découvrent l'électricité dynamique, Volta invente la pile. Coulomb trouve la loi des attractions et répulsions électriques. OErstedt remarque l'action d'un courant sur l'aiguille aimantée; en quelques semaines Ampère, le Newton de l'électricité, en déduit les lois des attractions et des répulsions mutuelles des courants, identifie le magnétisme à l'électricité. Ohm, Kirchhoff, Weber, Joule donnent les lois mathématiques qui régissent la produc-

tion des courants. Seebeck, Becquerel, Melloni étudient les courants thermo-électriques. Arago découvre les phénomènes de l'induction. Faraday, sir William Thomson, Clerk Maxwell, Helmholtz rattachent les effets calorifiques et chimiques de l'électricité à la théorie mécanique de la chaleur et de la lumière. M. G. Lippmann fait la théorie de la conservation de l'électricité, et imagine l'électromètre capillaire. Enfin le champ des applications est immense. La télégraphie électrique de Wheatstone, la galvanoplastie de Faraday et Ruolz, la bobine de Rhumkorff, la machine magnéto-électrique de Clarke, l'anneau de Pacinotti, la machine dynamo-électrique de Gramme et Siémen, les lampes à arc et à incandescence d'Edison, Gramme, Cance, etc., le téléphone de Bell, le microphone d'Hugues, les innombrables perfectionnements réalisés dans tous ces merveilleux appareils par les Ader, les Mayer, les Baudôt, enfin l'accumulateur de Planté et Faure, pour ne parler que des choses les plus connues, donnent à peine l'idée de l'incroyable activité déployée par notre siècle dans la création de cette science nouvelle.

Ce qu'il y a peut-être de plus admirable que tout cela, c'est la précision de la concordance des lois de la mécanique avec celles de l'électricité.

Vous fournissez à une machine dynamo-électrique un travail parfaitement déterminé en chevaux au moyen d'une machine à vapeur. Cette machine dynamo-électrique envoie à travers des fils métalliques un courant destiné à décomposer un sel, ou à produire de la lumière par incandescence, ou à transporter du travail à distance. Vous pouvez calculer avec la plus grande exactitude la quantité de chaleur qui restera dans le fil conducteur, le poids du sel décomposé, la chaleur transformée en lumière, le nombre de kilogrammètres transportés.

Au congrès de 1881, une commission formée des plus illustres électriciens du monde a constitué, sur les données fournies par l'Association britannique, un système d'unités dites *unités absolues*.

Quelques détails sont nécessaires pour faire comprendre l'importance de cette entreprise de haute portée.

Gauss et Weber avaient les premiers proposé de créer un système d'unités se déduisant toutes les unes des autres, comme les unités de surface, de volume, de poids, de monnaie se déduisent du mètre dans notre système métrique, et s'appliquant à l'ensemble des quantités physiques susceptibles de mesure. Reprenant ces idées en 1861, l'Association britannique, sur les sugges-

tions de sir William Thomson, imagina le système dit C. G. S. (centimètre, gramme, seconde). Les trois unités d'où dérivent toutes les autres sont, pour l'unité de longueur le centimètre, pour l'unité de temps la seconde, pour l'unité de masse, la masse d'un gramme ou le quotient de la division du poids d'un gramme par l'intensité de la pesanteur. Les principales unités dérivées sont, en mécanique, pour l'unité de force, la *dyne* capable d'imprimer en une seconde à la masse d'un gramme la vitesse d'un centimètre, pour l'unité de travail ou d'énergie, l'*erg* représentant le travail fourni par la dyne quand son point d'application se déplace d'un centimètre dans sa propre direction, etc.

L'unité de chaleur sera la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° centigrade la température d'une masse d'un gramme d'eau à la température de 4°. En vertu du premier principe de la thermo-dynamique, cette unité peut s'exprimer en *ergs*.

Pour rattacher les grandeurs électriques au système C. G. S. on a pris pour unité de quantité électrique celle qui repousse une quantité égale avec l'unité de force à l'unité de distance (système électro-statique), ou bien (système électro-magnétique) pour unité de courant, le courant qui produit l'unité de force magnétique à

l'unité de distance, etc. Les autres grandeurs électriques étant toutes rattachées par des lois connues, soit à la quantité électrique, soit à la quantité de courant, on conçoit qu'elles puissent être toutes exprimées en unités C. G. S. ¹.

Ce système de mesures est donc la consécration du principe de l'identité essentielle de la force, de la chaleur, de l'électricité.

On aurait pu prendre pour unité de lumière, pour unité de son, la longueur d'une onde lumineuse ou sonore déterminée. Mais, dans la pratique ordinaire, la lumière et le son sont considérés plutôt en tant que sensations qu'en tant que mouvements vibratoires.

Quant aux actions chimiques, Faraday et Becquerel ont montré qu'une même quantité de courant électrolysait les différentes combinaisons, en séparant de chaque corps un poids égal à son équivalent chimique.

En cherchant la relation qui rattache les unités électro-statiques, aux unités électro-magnétiques, on a trouvé qu'une unité électro-magnétique était égale au produit d'une unité

1. Dans la pratique, les unités C. G. S. trop petites donneraient pour la plupart des cas des nombres trop grands et peu maniables. Le congrès de 1881 en a choisi d'autres dont le rapport exact avec les unités C. G. S. a été déterminé et qui sont l'ohm, le volt, l'ampère, le coulomb, le farad, en souvenir des grands hommes qui ont trouvé les lois électriques.

électro-statique par un nombre exactement égal à la vitesse de la lumière, telle que l'ont déterminée Fizeau, Foucault et M. Cornu. On crut d'abord à un hasard, mais Clerk Maxwell produisit une théorie fort ingénieuse d'après laquelle il a montré que les perturbations électro-magnétiques se propageaient dans tous les corps avec une vitesse égale à celle de la lumière, d'où il résulte à la fois la confirmation de l'existence de l'éther et de l'identité mécanique des phénomènes électriques et lumineux à titre de propriétés de cet éther. (Voir un résumé de cette théorie dans l'ouvrage de MM. Mascart et Joubert.)

Chimie.

La chimie est née de l'alchimie à partir du moment où Lavoisier s'avisait d'opérer la balance à la main et qu'en vertu du principe de la conservation de la matière, il retrouva dans le composé la somme exacte des poids des composants ¹. Son *Traité de chimie* date justement de

1. Chose curieuse et peu connue, par l'application du même principe Voltaire faillit découvrir l'oxygène; dans ses expériences d'amateur, il avait remarqué qu'un corps chauffé à l'air augmente de poids, et il en avait fort justement conclu qu'une partie de l'air devait se combiner au corps. Il soumit timidement cette conjecture à un chimiste du temps, à un Rouelle quelconque, qui le prit de très haut et renvoya tout penaud le pauvre philosophe à ses moutons.