

Bibliothèque de Philosophie scientifique

D^r GUSTAVE LE BON

L'Évolution des Forces

avec 42 figures

L'Anarchie scientifique actuelle.
Les nouveaux principes.
Transformation de la Matière en Lumière
et en Électricité.
La Lumière noire et la Photographie instantanée
à travers les corps opaques.
La force et la forme. La matière vivante, etc.

PARIS

ERNEST FLAMMARION, ÉDITEUR

26, RUE RACINE, 26

Dixième Mille. (Édition revue et augmentée.)

L'Évolution des Forces

PRINCIPALES PUBLICATIONS DU D^r GUSTAVE LE BON

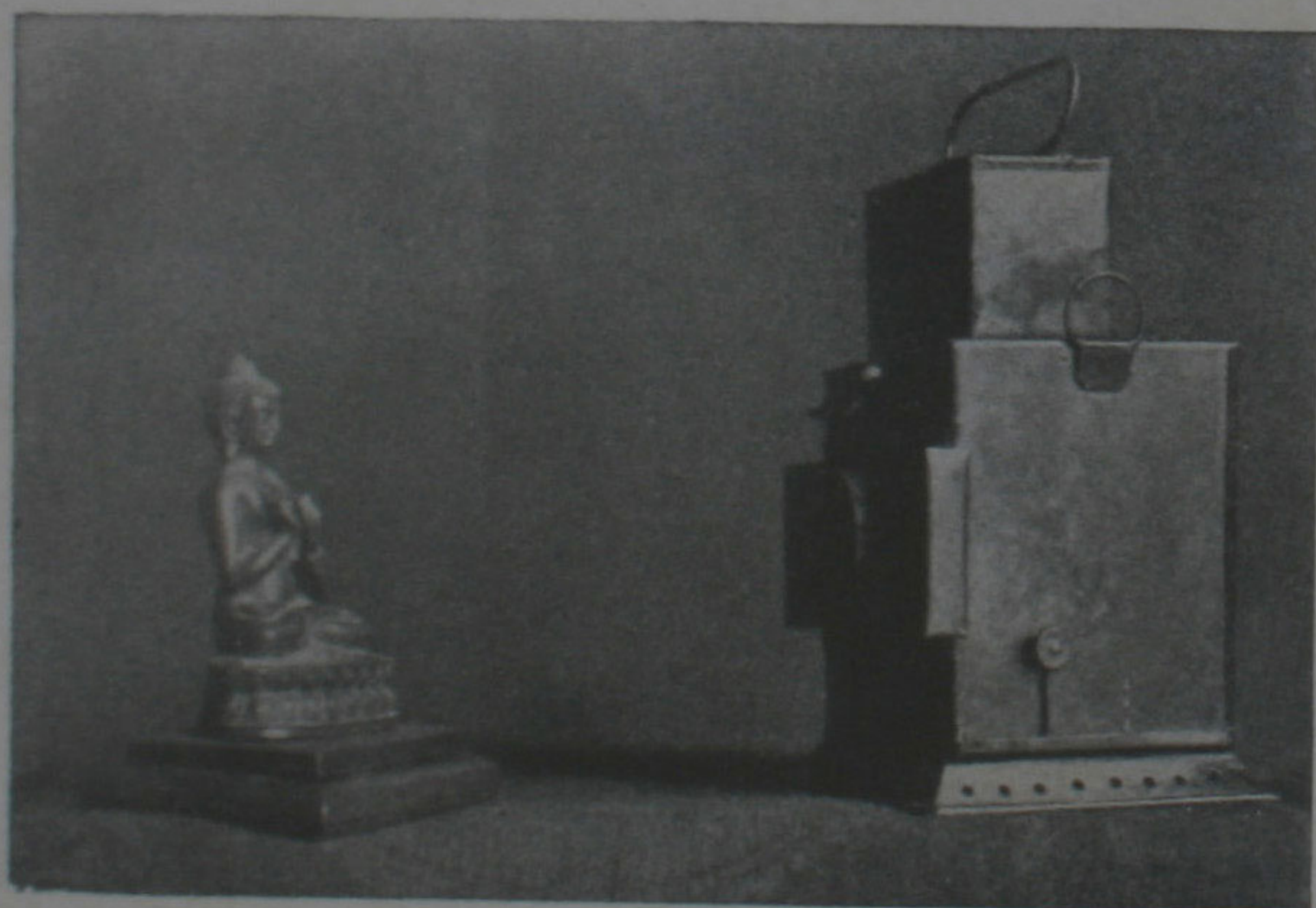
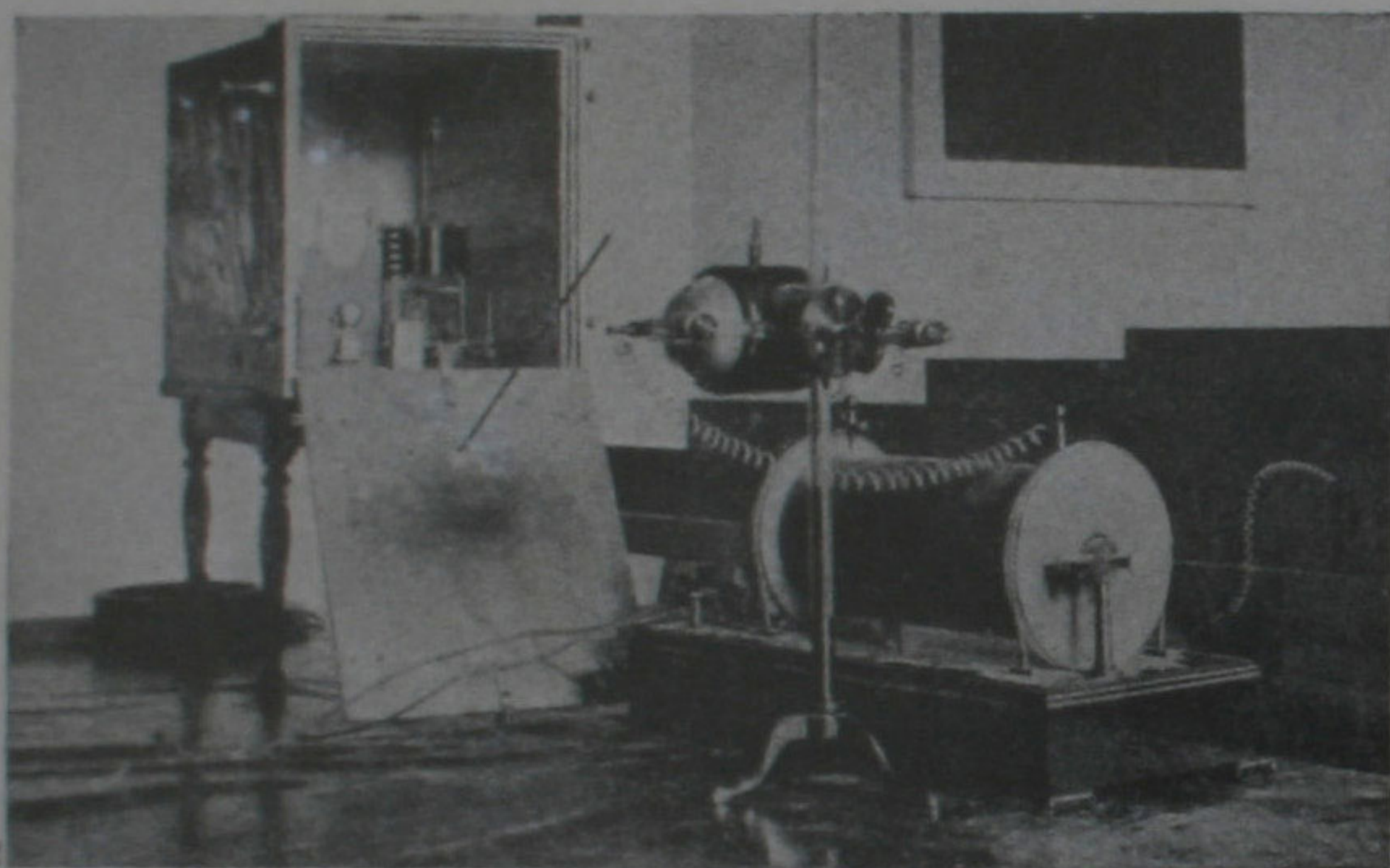
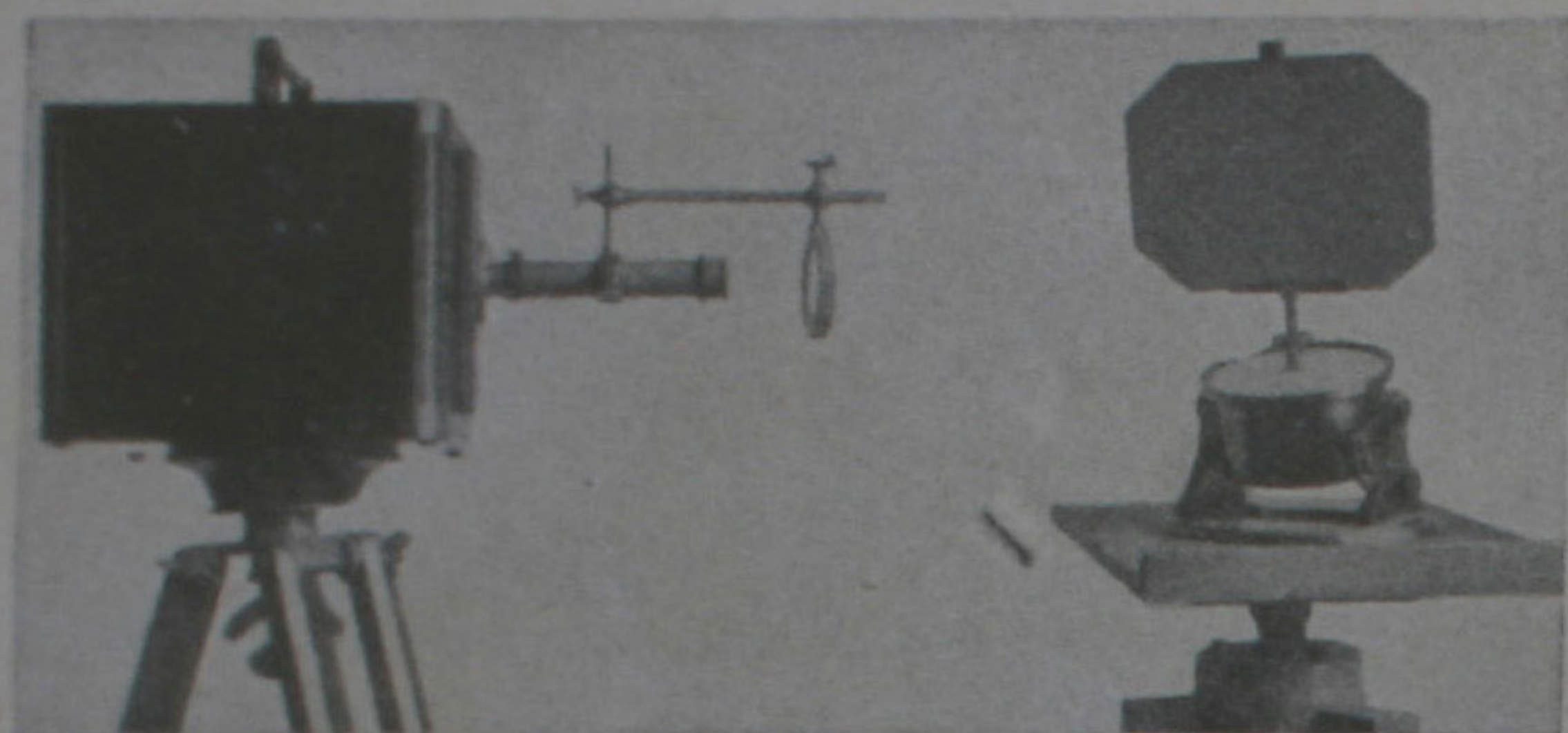
1^o RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

- La Fumée du Tabac.** 2^e édition augmentée de recherches nouvelles sur l'acide prussique, l'oxyde de carbone et divers alcaloïdes que la fumée du tabac contient. (*Épuisé.*)
- La Vie. — Traité de physiologie humaine.** — 1 volume in-8^o illustré de 300 gravures. (*Épuisé.*)
- Recherches expérimentales sur l'Asphyxie.** (Comptes rendus de l'Académie des sciences).
- Recherches anatomiques et mathématiques sur les lois des variations du volume du crâne.** (Mémoire couronné par l'Académie des sciences et par la Société d'Anthropologie de Paris.) In-8^o.
- La Méthode graphique et les Appareils Enregistreurs,** contenant la description de nouveaux instruments de l'auteur. 1 vol. in-8^o, avec 63 figures dessinées au laboratoire de l'auteur (*Épuisé.*)
- Les Levers photographiques.** Exposé des méthodes de levers de cartes et de plans employées par l'auteur pendant ses voyages. 2 vol. in-18. (Gauthier-Villars.)
- L'équitation actuelle et ses principes. — Recherches expérimentales.** 3^e édition. 1 vol. in-8^o, avec 73 figures et un atlas de 200 photographies instantanées. (Firmin-Didot.)
- Mémoires de Physique.** Lumière noire. Phosphorescence invisible. Ondes hertziennes. Dissociation de la matière, etc.
- L'Évolution de la Matière.** 1 vol. in-18, avec 62 figures photographiées au laboratoire de l'auteur. 15^e édition. (Flammarion.)
- L'Évolution des Forces.** — 1 vol. in-18, avec 42 figures. 9^e édition. (Flammarion.)

2^o VOYAGES, HISTOIRE, PHILOSOPHIE

- Voyage aux monts Tatras,** avec une carte et un panorama dressés par l'auteur (publié par la Société géographique de Paris).
- Voyage au Népal,** avec nombreuses illustrations, d'après les photographies et dessins exécutés par l'auteur pendant son exploration (publié par le *Tour du Monde*).
- L'Homme et les Sociétés. — Leurs origines et leur histoire.** Tome I^{er} : Développement physique et intellectuel de l'homme. — Tome II : Développement des sociétés (*Épuisé.*)
- Les Premières Civilisations de l'Orient** (Égypte, Assyrie, Judée, etc.). Grand in-4^o, illustré de 430 gravures, 2 cartes et 9 photographies. (Flammarion.)
- La Civilisation des Arabes.** Grand in-4^o, illustré de 366 gravures, 4 cartes et 11 planches en couleurs, d'après les photographies et aquarelles de l'auteur. (Firmin-Didot.) *Épuisé.*
- Les Civilisations de l'Inde.** Grand in-4^o, illustré de 352 photogravures et 2 cartes, d'après les photographies exécutées par l'auteur. 2^e édition. (Flammarion.)
- Les Monuments de l'Inde.** In-folio, illustré de 400 planches d'après les documents, photographies, plans et dessins de l'auteur (Firmin-Didot.) (*Épuisé.*)
- Les Lois psychologiques de l'évolution des peuples.** 1 vol. in-18. (F. Alcan.) 8^e édition.
- Psychologie des foules.** 1 vol. in-18. (F. Alcan.) 13^e édition.
- Psychologie du Socialisme.** 1 vol. in-8^o. (F. Alcan.) 5^e édition.
- Psychologie de l'Éducation.** 1 vol. in-18. (Flammarion.) 9^e édition.

Il existe des traductions en Anglais, Allemand, Espagnol, Italien, Danois, Russe, Polonais, Tchèque, Hindostani, etc., de quelques-uns des précédents ouvrages.



1. Appareil employé pour étudier la lumière noire. — 2. Appareil employé par Branly et Gustave Le Bon pour déterminer la transparence des corps pour les ondes électriques. — 3. Appareil employé pour transformer les radiations obscures émises par une statue en lumière visible.

Bibliothèque de Philosophie scientifique

D^r GUSTAVE LE BON

L'Évolution des Forces

Avec 42 figures
photographiées au laboratoire de l'auteur.

PARIS

ERNEST FLAMMARION, ÉDITEUR

26, RUE RACINE, 26

1908

Droits de traduction et de reproduction réservés pour tous les pays,
y compris la Suède et la Norvège.

L'ÉVOLUTION DES FORCES

PREMIÈRE PARTIE

LES NOUVEAUX PRINCIPES

LIVRE I

LES BASES NOUVELLES DE LA PHYSIQUE DE L'UNIVERS

CHAPITRE I

L'anarchie scientifique actuelle

I

Lorsqu'un philosophe adonné à l'étude de sujets aux contours un peu vagues, aux conclusions un peu incertaines, comme la psychologie, la politique ou l'histoire, parcourait, il y a quelques années à peine, un ouvrage consacré aux sciences physiques, il était frappé par la netteté des définitions, l'exactitude des démonstrations, la précision des expériences. Tout s'enchaînait et s'interprétait avec rigueur. A côté du phénomène le plus compliqué figurait toujours une explication.

Si le même philosophe avait la curiosité de recher-

cher les principes généraux de ces sciences si précises, il ne pouvait qu'admirer leur simplicité merveilleuse et leur imposante grandeur. A la base de la chimie, l'indestructible atome, à la base de la physique, l'indestructible énergie. Des équations savantes, filles de l'expérience ou de la raison pure, embrassaient en de rigides formules ces quatre éléments fondamentaux des choses : le temps, l'espace, la matière et la force. Tous les corps de l'univers, depuis l'astre gigantesque déroulant dans l'espace ses spires éternelles, jusqu'au grain de poussière infime que le vent semble agiter au hasard, obéissaient à leurs lois.

On était fier d'une telle science, résultat de plusieurs siècles d'efforts. Grâce à elle, l'unité et la simplicité régnaient partout. Quelques esprits amoureux de formules croyaient pouvoir simplifier encore en ne tenant compte que des relations mathématiques entre les phénomènes. Ces derniers leur apparaissaient comme les manifestations d'une grande entité : l'énergie. Quelques équations différentielles suffisaient à interpréter tous les faits que l'observation peut connaître. La principale recherche de la science consistait à découvrir de nouvelles formules considérées aussitôt comme des lois universelles auxquelles la nature devait obéir.

Devant ces imposants résultats, le philosophe s'inclinait, reconnaissant que si la certitude n'existe guère dans le milieu où il vit, on pouvait au moins la rencontrer dans le domaine de la science pure.

Et comment en aurait-il douté ? Ne constatait-il pas que la plupart des savants étaient assurés de leurs démonstrations au point de ne jamais subir le plus léger doute. Dominant le flux changeant des choses, le chaos des opinions mobiles et contradictoires, ils habitaient cette région sereine de l'absolu

où toutes les incertitudes s'évanouissent et où rayonne l'éblouissante lumière de la vérité pure.

II

Toutes nos grandes théories scientifiques ne sont pas bien vieilles puisque le cycle de la science expérimentale précise ne compte guère plus de trois siècles. Cette période, relativement si courte, montre deux phases d'évolution très différentes dans la pensée des savants.

La première fut la période de confiance et de certitude dont je parlais à l'instant. Devant les découvertes accumulées chaque jour, surtout pendant la première moitié du dernier siècle, les dogmes philosophiques et religieux, bases de notre ancienne conception de l'Univers, pâlissaient et s'évanouissaient lentement. On ne s'en plaignait pas. Aux incertitudes des anciennes croyances n'allait-on pas substituer des vérités absolues ? Les fondateurs de chaque science nouvelle croyaient lui avoir tracé des cadres définitifs qu'il n'y avait plus qu'à remplir. Dès que l'édifice scientifique serait achevé, il resterait seul debout sur les débris des chimères et des illusions du passé. La foi scientifique était complète. Elle montrait sans doute la nature indifférente à l'homme et les cieux vides, mais on espérait les repeupler bientôt et proposer à notre adoration de nouvelles idoles, un peu rigides, peut-être, mais qui, du moins, ne nous tromperaient jamais.

Cette confiance dans les grands dogmes de la science moderne subsista inaltérée jusqu'au jour récent où des découvertes très imprévues condamnèrent la pensée scientifique à subir des doutes dont elle se croyait affranchie pour toujours. L'édifice dont un petit nombre d'esprits supérieurs pouvaient seuls

distinguer les fissures a été brusquement et violemment ébranlé. Des contradictions et des impossibilités à peine entrevues apparurent éclatantes.

La désillusion fut rapide. On arriva très vite à se demander si les principes qui constituaient les assises les plus certaines de nos connaissances physiques n'étaient pas simplement des hypothèses fragiles abritant de leur voile une profonde ignorance. Il est alors advenu de certains dogmes scientifiques ce qu'il advint jadis des dogmes religieux dès qu'on se mit à les discuter. L'heure de la critique précéda de bien peu celle de la décadence, puis de la disparition et de l'oubli.

Sans doute, les grands principes dont la science était si fière n'ont pas encore péri tout entiers. Longtemps ils resteront pour la foule des vérités certaines, et les livres élémentaires continueront à les propager, mais ils n'ont déjà plus aucun prestige aux yeux des véritables savants.

Les découvertes auxquelles je faisais précédemment allusion ont simplement accentué des incertitudes que les ouvrages récents commençaient à trahir. Et c'est ainsi que la science, elle-même, est entrée dans une phase d'anarchie à laquelle on pouvait la croire pour toujours soustraite.

Des principes qui semblaient avoir une base mathématique sûre, sont contestés aujourd'hui par les savants dont la profession est de les enseigner et de les défendre. Des livres comme l'ouvrage si profond de Henri Poincaré : *La Science et l'Hypothèse*, en fournissent la preuve à chaque page. Jusque dans le domaine des mathématiques, l'illustre savant a montré que nous vivons d'hypothèses et de conventions.

Un de ses plus éminents collègues de l'Institut, le mathématicien Émile Picard, fait voir dans une de ses publications combien sont « incohérents » les principes actuels de la mécanique, cette science fon

damentale qui prétend formuler les lois générales de l'Univers. Voici comment il s'exprime : « A la fin du XVIII^e siècle, les principes de la Mécanique semblaient au-dessus de toute critique, et l'œuvre des fondateurs de la science du mouvement formait un bloc que l'on croyait devoir défier à jamais le temps. Depuis cette époque, une analyse pénétrante a examiné à la loupe les fondations de l'édifice. En fait, là où les Lagrange et les Laplace trouvaient toutes choses simples, nous rencontrons aujourd'hui les plus sérieuses difficultés. Tous ceux qui ont eu à enseigner les débuts de la Mécanique, pour peu qu'ils aient réfléchi par eux-mêmes, ont senti combien les expositions plus ou moins traditionnelles des principes sont incohérentes. »

Le professeur Mach exprime dans sa récente *Histoire de la mécanique* une opinion analogue. « Les principes mécaniques en apparence les plus simples, dit-il, sont d'une nature très compliquée. Ils reposent sur des expériences non réalisées et même non réalisables. Ils ne peuvent en aucune façon être considérés en eux-mêmes comme des vérités mathématiques démontrées. »

Aujourd'hui, nous possédons trois systèmes de mécanique dont chacun déclare les deux autres absurdes. Si aucun d'eux peut-être ne mérite ce qualificatif, ils peuvent au moins être considérés comme fort insuffisants et ne fournissant que bien peu d'explications acceptables des phénomènes.

« Il n'existe plus guère, écrit de son côté M. Lucien Poincaré, de ces grandes théories universellement admises autour desquelles d'un consentement unanime, tous les expérimentateurs venaient se ranger ; une certaine anarchie règne dans le domaine des sciences de la nature, toutes les hardiesses sont permises, aucune loi n'apparaît comme rigoureusement nécessaire... Nous assistons en ce moment peut-être

plus encore à un travail de démolition qu'à une œuvre définitive. Les idées qui semblaient à nos devanciers être le plus solidement établies, sont maintenant remises en cause. On renonce généralement aujourd'hui à la pensée que tous les phénomènes sont susceptibles d'explications mécaniques. Les principes de la mécanique eux-mêmes sont contestés, des faits récents ébranlent nos croyances relatives à la valeur absolue de lois considérées jusqu'ici comme fondamentales. »

Assurément les grandes théories scientifiques qui dominèrent la science de chaque époque et orientèrent les recherches ne restèrent pas toujours indiscutées. Après une existence, généralement assez longue, elles s'évanouissaient lentement, mais ne cédaient la place à de nouvelles doctrines que quand ces dernières étaient solidement constituées. Aujourd'hui les vieux principes sont morts ou vont mourir et ceux destinés à les remplacer ne sont qu'en voie de formation. L'homme moderne détruit plus vite qu'il ne bâtit. Les legs du passé ne sont que des ombres. Les dieux, les idées, les dogmes et les croyances s'évanouissent tour à tour. Avant que puissent s'élever de nouveaux édifices capables d'abriter nos pensées bien des ruines devront s'amonceler. Nous sommes encore dans un âge de destruction et par conséquent d'anarchie.

Rien heureusement n'est plus favorable au progrès scientifique que cette anarchie. Le monde est plein de choses que nous ne voyons pas et le bandeau qui nous les cache est bien souvent tissé avec les idées erronées ou insuffisantes imposées par les traditions de l'enseignement classique. L'histoire montre à quel point les théories scientifiques retardent le progrès dès qu'elles ont acquis une certaine fixité. Un nouveau pas en avant ne devient possible qu'après une suffisante dissociation des idées antérieures. Signaler

l'erreur et en suivre les conséquences est aussi utile parfois qu'une découverte. Ce qu'il y a de plus dangereux peut-être pour l'avancement de l'esprit humain c'est de présenter aux lecteurs — ainsi que le font les ouvrages d'enseignement — des incertitudes comme des vérités indiscutables, de prétendre tracer à la science des bornes, de marquer comme le voulait Auguste Comte des limites au connaissable. Le célèbre philosophe proposait même la création d'un aréopage de savants destiné à tracer les limites des recherches permises. De tels aréopages sont déjà trop nombreux et personne n'ignore combien a été funeste leur rôle.

Il ne faut donc pas hésiter à examiner de près les principes fondamentaux de la science par cela seul qu'ils sont révévés et semblent indestructibles. Nous créons trop facilement de l'indestructible verbal. Le grand mérite de Descartes a été de tenir pour douteux ce qui jusqu'à lui avait été considéré comme vérité incontestée. Les idoles scientifiques actuelles n'ont pas plus de droits à l'invulnérabilité que celles du passé.

III

Les deux dogmes les plus respectés de la science moderne étaient ceux de l'indestructibilité de la matière et de l'indestructibilité de l'énergie. Le premier avait déjà deux mille ans d'existence et toutes les découvertes n'avaient fait que le confirmer. Par une exception merveilleuse, et qui cependant ne frappait personne, alors que toutes les choses de l'univers étaient condamnées à périr, la matière ne s'anéantissait jamais. Les êtres formés par la combinaison des atomes n'avaient qu'une existence éphémère, mais ils étaient composés d'éléments immortels. Créés à l'ori-

gine des âges, ces éléments bravaient l'action des siècles, et comme les dieux des antiques légendes gardaient une jeunesse éternelle.

La matière ne possédait pas seule ce privilège de l'immortalité. Les forces, ou, comme on dit aujourd'hui, l'énergie, était également indestructible. Elle pouvait changer sans cesse de forme mais sa quantité dans le monde restait invariable. Une forme d'énergie ne disparaissait pas sans être remplacée par une autre équivalente.

J'ai consacré près de dix années de recherches expérimentales résumées dans mon livre *l'Évolution de la Matière* à prouver que le premier des dogmes énoncés plus haut ne saurait être maintenu et que la matière doit entrer elle aussi dans le cycle des choses condamnées à vieillir et finir.

Mais si la matière est périssable, pouvons-nous supposer que l'énergie resterait seule immortelle? Le dogme de sa conservation possède encore un tel prestige qu'aucune critique, semble-t-il, ne saurait l'ébranler. Nous aurons à discuter dans cet ouvrage sa valeur, et cette étude en nécessitera beaucoup d'autres.

Nos recherches expérimentales nous ont conduit à explorer des chapitres assez différents de la physique, sans nous préoccuper beaucoup de ce qui s'enseignait à leur sujet. Malgré leur caractère nécessairement fragmentaire, ces recherches intéresseront peut-être les lecteurs dont les croyances scientifiques ne sont pas immobilisées encore.

Ce qui a fini par donner à certains principes de la physique et de la mécanique une grande force c'est l'appareil mathématique très compliqué dont on les a enveloppés. Tout ce qui est présenté sous une forme algébrique acquiert du même coup un caractère d'indiscutable vérité pour certains esprits. Le sceptique le plus parfait attribue volontiers aux équations une

mystérieuse vertu et s'incline devant leur puissance. Elles tendent à se substituer dans l'enseignement au raisonnement et à l'expérience. Ces voiles dont on entoure aujourd'hui les plus simples principes ne servent trop souvent qu'à masquer des incertitudes. C'est en les soulevant que nous avons réussi plus d'une fois à montrer la fragilité de croyances scientifiques possédant pour beaucoup de savants l'autorité de dogmes révélés.

CHAPITRE II

Les nouvelles doctrines.

Newton, écrivait Lagrange, a été le plus grand génie et aussi le plus heureux, on ne trouve qu'une fois un système du monde à établir.

En traçant ces lignes l'illustre mathématicien considérait évidemment le système du monde comme définitivement fixé. Cette foi simpliste ne compte plus beaucoup de croyants. Il apparaît assez clairement maintenant que nous savons très peu de chose des lois générales de notre univers. Nous n'entrevoions que pour un lointain avenir leur connaissance. On pressent déjà cependant que le mécanisme réel du monde et celui construit par la science d'hier diffèrent beaucoup. Nous nous sentons entourés de forces gigantesques à peine entrevues, obéissant à des lois très ignorées.

Les idées ont un enchaînement nécessaire. Une théorie nouvelle ne saurait s'établir sans entraîner toute une série de conséquences également nouvelles. Lorsque j'eus prouvé que la dissociation des atomes était un phénomène universel et que la matière est un immense réservoir d'une énergie jadis insoupçonnée malgré sa colossale grandeur, je fus naturellement conduit à me demander si toutes les forces de l'univers, la chaleur solaire et l'électricité notam-

ment, ne proviendraient pas uniquement de ce réservoir d'énergie et par conséquent de la dissociation de la matière.

Pour la chaleur solaire, source de la plupart des énergies terrestres, cette dissociation suffisait à expliquer l'entretien de la température du soleil grâce à l'hypothèse suivante : les atomes des astres incandescents contiendraient plus d'énergie intra-atomique qu'ils n'en renferment une fois refroidis. En ce qui concerne l'électricité je rappelle ce résultat de mes expériences : les particules émises par une pointe électrisée sont identiques à celles qui sortent d'un corps radio-actif tel que le radium. Ce fait prouvait que l'électricité elle aussi est un produit de la dématérialisation de la matière.

Le phénomène de la dissociation des atomes présentait donc des conséquences d'une importance considérable puisqu'il était possible de le prendre comme origine des forces de l'univers. La matière devenait un simple réservoir de forces et pouvait être considérée elle-même comme une forme relativement stable de l'énergie.

Cette conception faisait disparaître les dualités classiques entre la matière et l'énergie et entre la matière et l'éther. Elle permettait donc de relier les deux mondes du pondérable et de l'impondérable considérés comme très distincts et que la science croyait avoir définitivement séparés. M. Berthelot assurait, à l'inauguration de la statue de Lavoisier, que « la distinction entre la matière pondérable et « les agents impondérables constituait une des plus « grandes découvertes qui aient été faites ».

Il semble cependant que les physiciens auraient dû voir depuis longtemps, c'est-à-dire bien avant les découvertes récentes, que la matière et l'éther intimement liés, échangent leurs énergies et ne constituent nullement deux mondes séparés. La

matière émet sans cesse des radiations lumineuses ou calorifiques et peut en absorber. Jusqu'au zéro absolu elle rayonne constamment, c'est-à-dire projette des vibrations éthérées. Les agitations de la matière se propagent à l'éther et celles de l'éther à la matière, il n'y aurait même ni lumière ni chaleur sans cette propagation. Éther et matière sont une même chose sous des formes différentes et on ne peut les séparer. Si on n'était pas parti de cette vue étroite que la lumière et la chaleur sont des agents impondérables parce qu'ils ne paraissent rien ajouter au poids des corps, la distinction entre la matière et l'éther à laquelle les savants attachent une si grande importance, se serait évanouie depuis longtemps.

Sans doute l'éther est un agent mystérieux que nous ne savons pas isoler, mais sa réalité s'impose puisque aucun phénomène ne pourrait s'expliquer sans lui. Son existence est aussi certaine que celle de la matière même. On ne peut l'isoler, mais il est impossible de dire qu'on ne puisse ni le voir ni le toucher. C'est au contraire la substance que nous voyons et touchons le plus souvent. Quand un corps rayonne de la chaleur qui nous échauffe et nous brûle; quand nous regardons sur le verre dépoli d'une chambre noire un paysage verdoyant, par quoi sont constituées cette chaleur et cette image, sinon par des vibrations de l'éther?

La théorie de la dissociation de la matière ne nous a pas servi seulement à faire disparaître les deux grandes dualités, force et matière, pondérable et impondérable, qui semblaient établies pour toujours. Son évanouissement par sa transformation en énergie comporte, au point de vue des idées qui ont cours actuellement, des conséquences importantes.

D'après les principes fondamentaux de la mécanique, lorsqu'on communique à un corps matériel

une quantité déterminée d'énergie, il pourra la transformer, mais n'en restituera jamais une quantité supérieure à celle qu'on lui a fournie. Ce principe était considéré comme trop évident par lui-même pour avoir jamais été contesté. Il l'était certainement, quand on admettait que la matière restitue simplement l'énergie qui lui a été transmise et ne saurait en créer. En montrant que la matière est un immense réservoir d'énergie, nous avons prouvé du même coup que la quantité qu'elle émet, sous l'influence d'une force étrangère agissant comme une sorte d'excitant, peut être fort supérieure à celle reçue.

Avec une excitation aussi faible que celle d'un mince faisceau de radiations ultra-violettes invisibles, ou même sans aucune excitation, comme cela s'observe dans l'émission des corps spontanément dissociables, tels que le radium, nous pouvons obtenir des quantités notables d'énergie. Cette énergie libérée, nous ne la créons pas, puisqu'elle existe dans la matière, mais nous l'obtenons dans des conditions que les anciennes lois de la mécanique n'auraient jamais laissé supposer. L'idée que l'on pourrait transformer de la matière en énergie eût semblé tout à fait absurde, il y a seulement quelques années.

Ce sera le rôle de la science de l'avenir de découvrir des moyens de libérer, sous forme utilisable, les forces considérables que la matière contient.

« L'énergie intra-atomique, mise en jeu scientifiquement, écrivait récemment M. l'ingénieur Ferrand, à propos de mes recherches, créera la science toute nouvelle de l'énergétique moderne; elle donnera la formule du potentiel thermodynamique de l'énergie libérée de la matière. Exploitée industriellement, elle est capable de bouleverser de fond en comble l'activité productive de notre vieux monde. »

Les recherches que nous avons exposées en de nombreux mémoires, depuis une dizaine d'années, se

sont rapidement répandues dans les laboratoires et ont été largement utilisées, surtout par les physiciens qui ne les citaient pas. Quelques-unes de nos propositions, considérées comme très révolutionnaires quand elles furent formulées pour la première fois, commencent à devenir presque banales aujourd'hui bien que très loin cependant d'avoir porté toutes leurs conséquences. Lorsque celles-ci se dérouleront, elles conduiront à renouveler un édifice scientifique dont la stabilité semblait éternelle.

Il n'était pas inutile de prouver que cette stabilité n'était qu'apparente et que les choses peuvent être considérées sous des points de vue fort différents de ceux auxquels notre éducation classique nous avait habitués. Une partie de cet ouvrage sera consacrée à cette démonstration (1).

Les principes fondamentaux qui nous guideront

(1) Je ne saurais trouver étonnant, bien entendu, que les défenseurs des doctrines classiques s'y cramponnent avec quelque force, et je conçois très bien que des professeurs distingués aient écrit plusieurs mémoires pour combattre mes doctrines; mais je n'aurais jamais soupçonné l'état de fureur dans lequel mes démonstrations devaient plonger certains physiciens. Un d'entre eux, qui enseigne très obscurément la physique dans un laboratoire de la Sorbonne, a voulu prendre la défense de la science classique en attaquant cet ouvrage. Les trois articles qu'il lui a consacrés, dans une revue mensuelle, n'ont effleuré aucune de mes expériences et de mes démonstrations. Ils ne contenaient guère, au surplus, que de violentes injures dont la Direction du journal a dû renoncer à continuer la publication. Je dois dire, d'ailleurs, que de très éminents savants, tels que l'illustre Ramsay, ont fort bien compris la valeur de mes expériences et, après les avoir répétées, ont consacré d'importants mémoires à les discuter.

Plus d'un lecteur m'a fait part de l'inquiétude qu'il éprouvait à voir ébranler des dogmes considérés comme sacrés. Cet état mental et ce qui s'ensuit quelquefois, quand le lecteur ne se laisse pas arrêter par les premières difficultés, est bien traduit dans une lettre que j'ai reçue d'un savant ingénieur, que je ne connaissais pas, M. Delègne, et dont voici un fragment :

« Comme beaucoup d'autres, j'avais d'abord pensé que vous portiez sur les
 « dogmes sacrés de la Science une main sacrilège. Après avoir été bouleversé
 « de l'audace avec laquelle vous jetez le pic aux bases mêmes du vieil édifice,
 « j'ai admiré l'ampleur des plans nouveaux et le magnifique terrain sur lequel
 « la science de demain va construire son œuvre. De ce point de vue élevé, nous
 « embrassons un horizon jusqu'alors inconnu : l'avenir nous réserve des éton-
 « nements jusqu'à vous insoupçonnés... »

sont ceux indiqués dans notre précédent volume. J'en rappelle l'énoncé :

1° La matière supposée jadis indestructible s'évanouit lentement par la dissociation continuelle des atomes qui la composent.

2° Les produits de la dématérialisation de la matière constituent des substances intermédiaires par leurs propriétés entre les corps pondérables et l'éther inpondérable, c'est-à-dire entre deux mondes que la science avait profondément séparés jusqu'ici.

3° La matière, jadis envisagée comme inerte et ne pouvant restituer que l'énergie qu'on lui a d'abord fournie, est, au contraire, un colossal réservoir d'énergie — l'énergie intra-atomique — qu'elle peut dépenser sans rien emprunter au dehors.

4° C'est de l'énergie intra-atomique libérée pendant la dissociation de la matière que résultent la plupart des forces de l'univers, l'électricité et la chaleur solaire notamment.

5° La force et la matière sont deux formes diverses d'une même chose. La matière représente une forme stable de l'énergie intra-atomique. La chaleur, la lumière, l'électricité, etc., représentent des formes instables de la même énergie.

6° En dissociant les atomes, c'est-à-dire en dématérialisant la matière, on ne fait que transformer la forme stable de l'énergie, nommée matière, en ces formes instables connues sous les noms d'électricité, de lumière, de chaleur, etc. La matière se transforme donc continuellement en énergie.

7° La loi d'évolution applicable aux êtres vivants l'est également aux corps simples, les espèces chimiques pas plus que les espèces vivantes, ne sont invariables.

8° L'énergie n'est pas plus indestructible que la matière dont elle émane.

LIVRE II

LES GRANDEURS IRRÉDUCTIBLES DE L'UNIVERS

CHAPITRE I

Le temps, l'espace, la matière et la force.

§ 1. — LA CONCEPTION DES GRANDEURS IRRÉDUCTIBLES DE L'UNIVERS.

Le temps, l'espace, la matière et la force forment les éléments des choses, les assises fondamentales de toutes nos connaissances.

Le temps et l'espace sont les deux grandeurs dans lesquelles nous enfermons l'univers. La force est la cause des phénomènes, la matière en est la trame.

Trois de ces éléments : le temps, l'espace et la force, sont tout à fait irréductibles. La matière peut être ramenée à la force, non seulement parce qu'elle n'est, comme je l'ai prouvé, qu'une forme particulière de l'énergie, mais encore parce qu'on ne la définit dans les équations de la mécanique, que par des symboles de force¹.

1. Dans le système C. G. S. généralement adopté aujourd'hui pour évaluer les grandeurs des quantités physiques, on considère : 1° *les quantités fondamen-*

Le temps, l'espace et la force étant irréductibles, ne peuvent être comparés à rien et ne sont pas définissables. Nous ne savons d'eux que ce qu'en dit le sens commun.

Dès que, pour définir ces grandes entités, on cherche à sortir de ce que l'observation vulgaire révèle, on se heurte à des difficultés inextricables et on arrive à voir en elles, avec les philosophes, de simples conceptions de l'esprit, recouvrant des réalités inconnues.

Ces réalités ne peuvent être exactement interprétées, parce que nos sens restent toujours interposés entre la nature et nous. Nous percevons seulement de l'univers les impressions qu'il produit sur nos sens. La forme donnée aux choses est conditionnée par la nature de notre intelligence.

Le temps et l'espace sont donc des notions subjectives imposées par nos sens et notre cerveau à la représentation des phénomènes, et c'est pourquoi Kant les considérait comme des formes de la sensibilité. Pour une intelligence supérieure, capable d'envisager à la fois l'ordre de succession et l'ordre de coexistence des phénomènes, nos notions d'espace et de temps n'auraient aucun sens.

Ce n'est pas seulement l'espace et le temps, mais tous les phénomènes, depuis la matière que nous croyons connaître jusqu'aux divinités créées par nos rêves, qu'il faut considérer comme des créations de notre entendement. Le monde construit avec les impressions de nos sens est une traduction sommaire et nécessairement peu fidèle du monde réel que nous ne connaissons pas.

tates : longueur, masse et temps ; 2^o *les quantités dérivées*. Ces dernières, très nombreuses, comprennent notamment : *les quantités dérivées géométriques*, surface, volume et angle ; *les quantités dérivées mécaniques*, vitesse, accélération, force, énergie, travail, puissance, etc. ; *les quantités dérivées électromagnétiques*, résistance, intensité, différence de potentiel, etc.

Le temps n'est autre chose pour l'homme qu'une relation entre les événements, une succession de phénomènes en un point de l'espace. Il le mesure par le mouvement d'un mobile, c'est-à-dire par les changements de position d'un corps : astre ou aiguille d'une horloge.

Ce n'est que par le changement, c'est-à-dire par le mouvement, que la notion du temps nous est accessible. « Dans un monde privé de toute espèce de mouvement, dit Kant, on ne verrait pas la moindre succession dans l'état interne des substances. Donc, l'abolition du rapport des substances entraîne l'anéantissement de la succession et du temps ». S'il n'y a pas d'événements il n'y a pas évidemment de succession et par conséquent pas de temps.

Immobiliser le monde et les êtres qui l'habitent serait immobiliser le temps, c'est-à-dire le forcer à s'évanouir. Si cette fixité était absolue, la vie serait impossible puisqu'elle implique le changement, mais rien non plus ne pourrait vieillir. Les Dieux immortels qui, d'après les légendes, ne changent jamais, ne connaissent pas le temps. Pour eux l'horloge du ciel marque toujours la même heure.

Le changement est donc le véritable générateur du temps. Ce dernier n'est concevable, comme les forces et d'ailleurs tous les phénomènes, que sous forme de mouvement.

Ce concept fondamental du mouvement se retrouve donc à la base de tous les phénomènes. Il sert à définir les grandeurs de l'univers et ne peut être défini que par elles. Ce n'est pas un concept irréductible car il est formé par la combinaison des notions de force, de matière, d'espace et de temps. Il faut visiblement les faire toutes intervenir pour définir le déplacement d'un corps.

En physique la plupart des variations des quantités s'exprime par rapport aux variations du temps. Quand la courbe exprimant les relations d'un phénomène

avec le temps est connue, la science peut remonter du présent au passé et connaître le futur.

Si nous passons maintenant de la notion du temps à celle d'espace, nous devons reconnaître que la seconde n'est pas plus claire que la première. Leibniz définissait l'espace l'ordre de coexistence des phénomènes, alors que le temps était l'ordre de leur succession. L'espace et le temps sont peut-être deux formes d'une même chose.

L'espace ne paraît pas concevable en dehors de l'existence des corps. Un monde entièrement vide ne saurait faire naître l'idée d'espace, et c'est pourquoi certains philosophes refusent à l'espace une réalité objective. Pour eux, l'espace étant comme le temps une qualité, là où il n'y a ni phénomène ni substance, il n'y a ni espace ni temps.

Le bref exposé qui précède suffit à montrer combien sont imprécises et limitées les idées que l'homme peut se faire des éléments fondamentaux de l'Univers. Nos connaissances n'étant que des rapports, nous ne définissons les phénomènes inconnus qu'en les rattachant à un phénomène connu. Toute connaissance implique donc une comparaison; mais à quoi comparer les éléments irréductibles des choses? Ils conditionnent les phénomènes et restent cachés derrière eux.

Si les grandeurs irréductibles de l'Univers ne sont pas connues dans leur essence, elles produisent au moins des effets que nous pouvons mesurer. Nous sommes un peu à leur égard comme le facteur de chemin de fer qui sait peser exactement des colis dont il ignore le contenu.

C'est uniquement de ces mesures que la science est faite. Grâce à elles, s'établissent les relations numériques entre les phénomènes qui constituent la trame unique de nos connaissances, puisque les réalités qui les soutiennent nous échappent. Les pro-

priétés des choses ne sont bien définissables que par des mesures. Le qualitatif représente une appréciation subjective pouvant varier d'un individu à un autre. Le quantitatif représente une grandeur fixe qui peut être conservée et précise nos sensations. La substitution du quantitatif au qualitatif est la principale tâche du savant. « Je dis souvent, écrit lord Kelvin, que si vous pouvez mesurer ce dont vous parlez et l'exprimer par un nombre, vous savez quelque chose de votre sujet, mais si vous ne pouvez pas le mesurer vos connaissances sont d'une pauvre espèce et bien peu satisfaisantes ».

§ 2. — LA MESURE DES GRANDEURS IRRÉDUCTIBLES DE L'UNIVERS.

En mesurant et superposant les éléments hétérogènes qui forment la trame des choses, la science est arrivée à créer certains concepts tels que ceux de masse, d'énergie cinétique, etc. ; qu'il faut bien considérer comme des réalités en raison de notre incapacité à en imaginer d'autres.

Ces concepts varient suivant la façon dont nous associons les éléments irréductibles des choses. Associons la force et l'espace et nous créons la science de l'énergie. Associons l'espace et le temps et nous créons la science des vitesses, c'est-à-dire la cinématique. Associons la force, l'espace et le temps et nous créons la science de la puissance mécanique.

Il est visible qu'en agissant ainsi il faut associer des éléments très hétérogènes. La force ($F = M\gamma$) est un coefficient de résistance multipliée par une accélération. Le travail ($T = F \times E$) est une force, multipliée par une longueur. La vitesse ($v = \frac{L}{T}$) est un espace divisé par un temps. La masse ($M = \frac{P}{g}$) est un poids divisé par une accélération, etc.

Ce n'est que par la combinaison de ces grandeurs

si différentes qu'ont pu être précisés les concepts de la mécanique sur lesquels l'interprétation des phénomènes de l'Univers est encore fondée.

Pour définir complètement un phénomène, il faut associer les trois grandes coordonnées des choses : le temps, l'espace et la force. Si on ne connaît qu'une ou deux d'entre elles, le phénomène est incomplètement connu.

La formation des notions modernes d'énergie et de puissance en fournissent d'excellents exemples. Elles ne se sont précisées que lorsqu'à l'idée un peu vague de force considérée comme synonyme d'effort s'est ajoutée la notion d'espace puis celle de temps.

En mécanique la force est définie comme une cause de mouvement. Lorsqu'une force déplace son point d'application on dit qu'elle engendre du travail, ce qui signifie qu'elle peut surmonter une résistance. Le travail se mesure en multipliant la force par l'espace parcouru. On a choisi comme unité de travail le kilogrammètre. Il représente l'effort nécessaire pour soulever un kilogramme à une hauteur de un mètre.

Ainsi, par le fait seul que nous avons associé à la force l'espace, nous pouvons la mesurer et l'enfermer dans une formule. Cette dernière nous fait comprendre comment, avec une quantité de travail invariable, on peut produire des forces de grandeur variable. Si, en effet, on appelle F la force, E l'espace et T le travail, on a d'après les définitions précédentes, $T = F \times E$. Dans cette formule, on peut évidemment faire varier inversement la force F et l'espace E sans changer leur produit, c'est-à-dire le travail. Nous pourrions donc grandir considérablement la force à condition de réduire proportionnellement l'espace parcouru. C'est cette opération que réalisent certaines machines telles que le levier qui multiplie la force, mais non le travail. Avec une dépense de un kilogrammètre on pourra bien soulever des centaines

de kilogrammes, mais ce qu'on gagnera en force on le perdra en espace parcouru et le produit $F \times E$ ne dépassera jamais un kilogrammètre. La force peut donc être multipliée mais la grandeur du travail reste invariable.

Dans l'unité de travail interviennent seulement les éléments espace et force, mais non la troisième coordonnée des choses, c'est-à-dire l'élément temps. Notre kilogrammètre peut être dépensé en une seconde ou en cent ans, et dans ces deux cas les résultats seront nécessairement très différents. C'est ce qu'illustre très bien l'exemple du radium dont un gramme contient des milliards de kilogrammètres. Une telle quantité paraît immense, mais sa production est à chaque instant si faible qu'il faudra attendre un millier d'années pour la libérer entièrement. Tel un réservoir renfermant une quantité d'eau très grande, mais s'écoulant goutte à goutte.

Donc en nous bornant à associer la force et l'espace nous avons déjà créé une unité très précieuse puisqu'elle nous permet d'évaluer en kilogrammètres les effets d'une machine quelconque mue par un moteur également quelconque, mais elle ne nous dit pas si les kilogrammètres sont produits en une minute ou une année. Nous savons donc fort peu de chose de la puissance de cette machine.

Pour la connaître, il suffira de superposer aux deux éléments force et espace, qui nous ont fourni l'unité de travail, l'élément temps. Nous aurons alors ce qu'on nomme l'unité de puissance, quotient du travail par le temps. Elle nous fait connaître le travail produit dans un temps déterminé. Dire qu'une machine produit un kilogrammètre, c'est ne rien dire de sa puissance. Si on ajoute que ce kilogrammètre est produit en une seconde, on est fixé.

Le kilogrammètre par seconde étant au point de vue industriel une unité trop petite, on en a choisi

une 75 fois plus grande. C'est le cheval-vapeur qui représente 75 kilogrammes élevés à un mètre en une seconde ¹.

Dans cette dernière unité se trouvent fusionnés, comme on le voit, les trois éléments irréductibles des choses : le temps, l'espace et la force. La matière y figure indirectement aussi, car ce qu'on mesure c'est la force employée pour lutter contre son inertie et lui imprimer certains mouvements.

Nous venons de montrer comment en encadrant dans l'espace et le temps ce mystérieux Protée nommé la force, il est possible de le saisir et le retrouver sous ses décevantes apparences. En pénétrant davantage dans l'intimité des phénomènes, nous allons voir que l'espace et le temps ne servent pas seulement de mesure à la force, mais qu'ils conditionnent encore sa nature et sa grandeur.

1. En physique on se sert souvent d'autres unités mais qui ne changent rien à ce qui précède. Si au lieu d'être évaluée en kilogrammes la force est évaluée en *dynes* et si l'espace au lieu d'être évalué en mètres est mesuré en centimètres, le travail au lieu d'être exprimé en kilogrammètres est exprimé en *ergs*.

CHAPITRE II

Les grandes constantes de l'univers. La résistance et le mouvement.

§ 1. — L'INERTIE OU RÉSISTANCE AU CHANGEMENT.

Les forces ne nous sont connues que par les mouvements qu'elles engendrent. La mécanique, qui prétend être le fondement des autres sciences et expliquer l'Univers, est consacrée à l'étude de ces mouvements.

La notion de mouvement implique celle de choses à mouvoir. L'observation démontre que ces choses à mouvoir présentent une certaine résistance. La résistance de la matière au mouvement ou au changement de mouvement est ce qu'on appelle son inertie. C'est de cette propriété que dérive la notion de masse.

Nous nous trouvons donc immédiatement en présence de deux éléments, non pas irréductibles, comme ceux étudiés précédemment, mais fondamentaux : le mouvement et la résistance au mouvement, ou, en d'autres termes, le changement et la résistance au changement. Voyons en quoi ils consistent.

L'inertie c'est-à-dire l'aptitude de la matière à résister au mouvement ou au changement de mouvement est la plus importante de ses propriétés, la

seule même qui permette de la suivre à travers ses modifications. Alors que ses autres caractères, solidité, couleur, etc., dépendent de plusieurs facteurs et peuvent par conséquent changer, l'inertie ne dépend d'aucun facteur et ne peut changer. Liquide, solide ou gazeux, isolé ou engagé dans une combinaison, un même corps possède une quantité invariable d'inertie. Mesurée indirectement par la balance, elle permet de le suivre à travers tous ses changements.

Sur cette notion de l'invariabilité de l'inertie, ou, en d'autres termes, de la masse, reposent les édifices de la chimie et de la mécanique.

Le rôle prépondérant de l'inertie dans les phénomènes est d'une observation journalière. C'est en vertu de l'inertie que les mondes continuent à circuler dans l'espace et qu'un boulet chassé du canon par l'explosion de la poudre parcourt plusieurs milliers de mètres. L'inertie s'opposant au changement de mouvement, les corps continueraient indéfiniment leur course si des forces antagonistes diverses, telles que la résistance de l'air, ne finissaient par les arrêter. Un train de chemin de fer continuerait ainsi d'avancer avec la même vitesse, sans l'assistance d'aucun moteur si l'inertie ne tendait pas à être annulée sans cesse par des résistances diverses, frottements, etc., que la locomotive sert uniquement à surmonter. La même inertie de la matière s'oppose à ce que le train puisse s'arrêter brusquement. Pour y arriver, il est besoin de freins puissants alors même que la locomotive ne fonctionne plus. L'inertie s'opposant au mouvement comme au changement de mouvement, il faut une force très grande pour sortir le train du repos et aussi pour l'arrêter.

Il résulte de ce qui précède que lorsqu'un mobile tend à être ralenti par une cause quelconque, l'inertie tend au contraire à maintenir sa vitesse puisque par définition elle s'oppose au changement de

mouvement. Inversement, quand la vitesse du même mobile augmente, l'inertie intervient pour ralentir son accélération, toujours pour la même raison qu'elle s'oppose au changement de mouvement.

L'électricité possédant, ou tout au moins paraissant posséder, de l'inertie se conduit comme la matière en mouvement. Cette inertie agit dans les phénomènes d'induction exactement comme nous l'avons dit plus haut, en s'opposant au changement du mouvement, c'est-à-dire en sens inverse de la cause qui tend à produire son ralentissement ou son accélération. C'est ce qu'exprime la loi de Lenz qui régit les phénomènes d'induction. Il serait d'ailleurs peut-être possible de les expliquer sans faire intervenir l'inertie au moyen du principe d'égalité de l'action et de la réaction.

Mesurer l'inertie de la matière est facile, constater ses effets est également facile, expliquer sa nature est encore impossible.

Newton, qui le premier l'étudia scientifiquement, la considérait comme une force. « La force qui réside dans la matière, dit-il, est le pouvoir qu'elle a de résister; c'est par cette force que tout corps persévère de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement en ligne droite ».

Aujourd'hui on tend à admettre que la matière est reliée à l'éther par des lignes de force et que toute l'inertie de la première serait celle de l'éther agrippé par ces lignes de force. Mais que l'on attribue l'inertie à la matière ou au milieu dans lequel elle est plongée, cela ne facilite pas son explication.

Ce que l'on peut dire peut-être de moins improbable de l'inertie, c'est que l'agrégat immense de forces constituant la matière, possède certaines relations d'équilibre avec l'éther qui l'entoure. Le mouvement d'un corps romprait cet équilibre et en créerait d'autres d'où résulterait la continuation du mouvement et sa résistance au changement de vitesse. Dans

les équilibres internes d'un corps en mouvement quelque chose est sûrement changé.

Dans notre hypothèse, il existerait donc toujours certaines relations d'équilibre entre les forces extérieures à un corps : la pesanteur, par exemple, et les forces intérieures dérivées de l'énergie intraatomique que ce corps contient.

Bien que contenant des quantités énormes d'énergie, la matière ne saurait entrer d'elle-même en mouvement, parce qu'une force intérieure à un corps, et n'ayant pas de point d'appui au dehors, ne saurait mouvoir ce corps. Mais, dès qu'on met ce dernier en mouvement, certaines relations ignorées s'établissent entre les forces intérieures et les forces extérieures. Ce sont elles qui permettraient au mouvement de durer indéfiniment si des causes étrangères, telles que le frottement, ne finissaient par l'arrêter.

A la notion d'inertie il faut rattacher sans doute le principe de l'égalité de l'action et de la réaction. Bien que fondamental en mécanique, il est également peu explicable. Newton l'a formulé de la façon suivante :

« Un corps qui exerce sur un autre une pression ou une traction, reçoit de celui-ci une traction ou une pression égale ou opposée ». Cela signifie que si vous exercez une traction de 100 kilogr. sur un mur rigide, il exercera la même traction sur vous. Le mur devient ainsi, comme le fait remarquer M. Wickersheimer, un personnage métaphysique en antagonisme avec vous. Au fond, le mécanisme qui semble la science la plus précise et la plus étrangère à la métaphysique, est celle contenant le plus de notions métaphysiques visibles ou cachées. Elles recouvrent évidemment des causes profondes, mais tout à fait ignorées.

Peut-être expliquerait-on le principe de la réaction égale et de sens contraire à l'action en considérant certaines forces comme doubles, c'est-à-dire agissant comme un ressort tendu entre deux points. Il est évi-

demment impossible alors d'agir sur l'un sans que l'autre réagisse aussitôt. La pesanteur et l'électricité seraient dans ce cas.

§ 2. — LA MASSE.

La masse qui sert à caractériser la matière n'est que la mesure de son inertie, c'est-à-dire de sa résistance au mouvement ou au changement de mouvement.

L'expérience prouve que les corps ne peuvent modifier d'eux-mêmes leur état de repos ou de mouvement. Elle prouve également qu'ils n'opposent pas la même résistance au mouvement. Un rocher est évidemment plus difficile à déplacer qu'un caillou.

Tous les corps ne possèdent donc pas le même degré d'inertie. Ce qu'on appelle la masse est simplement la mesure de leur degré d'inertie; c'est le coefficient de leur résistance au mouvement.

Plusieurs procédés permettent de mesurer la masse des corps. En mécanique, on se base sur ce que des forces diverses, appliquées à un même corps, lui impriment des accélérations proportionnelles à ces forces et on prend pour mesure de la masse le rapport $\frac{P}{\gamma}$ de la force à l'accélération. Si la force choisie est la pesanteur P , c'est-à-dire la force d'attraction de la terre et si G est l'accélération produite sur un corps par son poids, on a $M = \frac{P}{G}$.

Si la pesanteur avait été identique sur toute la surface du globe, la masse aurait pu être mesurée directement par son poids ¹, comme cela se fait en

1. La distinction entre le poids et la masse considérés jadis comme synonymes ne devint manifeste que quand l'observation du pendule révéla qu'un même corps peut recevoir une accélération différente de la pesanteur en divers points du globe. C'est en 1671 qu'on constata pour la première fois, par des observations astronomiques, qu'une horloge donnant le temps exact à Paris ne le donnait plus à la Goyane. Pour rendre sa marche régulière il fallut raccourcir la longueur du pendule qui la réglait.

chimie; mais elle varie avec l'altitude ¹. L'accélération g varie également, mais de la même façon; en sorte que le rapport $\frac{P}{G}$ reste invariable sur tous les points du globe.

Ce rapport $\frac{P}{G}$, représentant la masse, ne figure que dans les équations de la mécanique. Les masses étant proportionnelles aux poids, on peut les évaluer — et, en pratique, on ne les évalue pas autrement — au moyen de la balance. Rien n'est plus facile, d'ailleurs, que de convertir le poids en masse, en le divisant par le chiffre exprimant l'accélération g de la pesanteur ($M = \frac{P}{g}$). Étant donnée la valeur de g (0.981), il s'en suit que le nombre représentant la masse est environ 10 fois moindre que celui représentant le poids.

Ce qu'on mesure toujours en définitive, par toutes les méthodes, d'ailleurs variées², qui permettent d'évaluer la masse, c'est la grandeur de l'inertie de la matière, bien que cela n'apparaisse pas immédiatement à l'esprit.

On a considéré la masse comme une grandeur invariable pour chaque corps jusqu'aux recherches récentes dont j'ai parlé dans mon dernier livre. D'après leurs résultats, les produits de la dissociation des atomes auraient une masse variable avec leur vitesse. Cette masse pourrait même grandir au point de

1. Variation très petite évidemment, mais appréciable pourtant. On trouvera dans *Text book of Physics*, de Pointing, un bon résumé de recherches délicates destinées à montrer les variations de poids d'un corps aux divers étages d'un édifice.

2. « On peut, dit Lodge, évaluer l'inertie de trois manières différentes : la première, comme le rapport de la force à l'accélération; la seconde, comme le rapport de la quantité de mouvement à la vitesse; la troisième, comme celui de son énergie cinétique à la moitié du carré de sa vitesse. »

Les chiffres obtenus par ces trois opérations sont visiblement identiques et représentent la masse. J'ai été obligé d'insister un peu sur des notions que je croyais élémentaires, m'étant convaincu, par plusieurs entretiens avec divers savants, qu'ils n'avaient pas toujours sur l'inertie des idées bien nettes. C'est ce qui résulte, par exemple, de la lecture de deux mémoires que le savant professeur D. Dery a consacrés à la critique de mes idées sur l'inertie et les principes de la mécanique. On ne saurait trop méditer sur la notion d'inertie. Le Dantec a parfaitement raison de dire qu'elle est « la base de toute la mécanique et de toutes les philosophies ».

devenir infinie, c'est-à-dire s'opposer à tout changement de mouvement pour une vitesse voisine de celle de la lumière.

Non seulement la masse varie avec la vitesse, mais on se demande depuis quelque temps si elle ne varierait pas aussi avec la température. La question n'est pas élucidée encore.

Quoi qu'il en soit, la masse n'est pas du tout cette grandeur invariable supposée jadis par la chimie et la mécanique. L'élément considéré par la science comme l'immuable pivot des phénomènes, le repère auquel elle essayait de rattacher toutes les choses, est devenu une grandeur variable dont la fixité apparente n'était due qu'à l'imperfection de nos moyens d'observation.

L'inertie de la matière est toujours cependant ce qu'il y a de plus stable dans l'océan changeant des phénomènes. Cette stabilité n'est pas absolue, mais à l'égard de nos besoins usuels on peut considérer l'inertie de la matière comme une des grandes constantes de l'univers.

§ 3. — LE MOUVEMENT ET LA FORCE

La mécanique classique dérive du principe d'inertie d'après lequel un corps ne peut modifier de lui-même son état de repos ou de mouvement. Pour vaincre la résistance de la matière au changement, c'est-à-dire pour la sortir de son état de repos ou modifier son mouvement, il faut une intervention étrangère. Une telle intervention a reçu le nom de force. L'ancien dualisme entre la force et la matière fut basé sur la nécessité de cette intervention.

Cette définition de la force, d'une insuffisance évidente, est cependant la seule que la mécanique classique propose. On appelle force, dit-elle, la cause d'un mouvement.

D'après les définitions précédentes, l'existence d'une force se reconnaît lorsqu'un corps passe du repos au mouvement ou lorsque son mouvement s'accélère.

C'est par la mesure de l'accélération produite qu'on évalue la grandeur des forces. Un corps en mouvement, et dont le mouvement ne serait entretenu que par sa seule inertie, ne pourrait posséder qu'un mouvement uniforme et rectiligne. Si ce mouvement s'accélère, c'est qu'une force est intervenue. Sa valeur est exprimée par l'équation $F = m \gamma$.

On voit que le principe d'inertie, qui sert à définir le point matériel, sert aussi à définir la force.

La force n'est donc connue par la mécanique qu'à travers le mouvement. Le mouvement n'est pas une grandeur irréductible puisqu'il dépend des quatre éléments de l'univers : le temps, l'espace, la matière et la force qui permettent, seuls, de le définir.

Nous avons vu précédemment comment, en associant la force et l'espace, avait été constituée l'unité d'énergie mécanique, le travail; nous verrons dans un autre chapitre les transformations que la notion moderne de conservation de l'énergie a introduite dans l'ancienne conception des forces.

Ce qui précède nous montre comment des notions de mouvement et de résistance, dérivent celles de force et de masse sur lesquelles furent édifiés les principes de la mécanique.

En résumé, mouvement c'est-à-dire changement, et inertie c'est-à-dire résistance au changement, constituent les éléments fondamentaux accessibles à la mécanique. Nous allons voir comment, en les associant, elle a cherché à interpréter les phénomènes de l'univers.

CHAPITRE III

L'édification des forces et les explications mécaniques de l'univers.

§ I. — LE CYCLE DES FORCES

Nous venons de voir qu'en réduisant à leurs éléments essentiels les forces de l'univers on y retrouve toujours la résistance et le mouvement. La résistance est constituée par l'inertie de la matière ou de l'éther et le mouvement par un déplacement de ces substances dans l'espace et le temps.

La grandeur des forces est déterminée par celle de masses qu'elles déplacent et la vitesse des mouvements qu'elles leur impriment. Leur espèce dépend de la nature de ces mouvements (vibrations, rotations, etc.).

Les mouvements de la matière nous sont connus seulement lorsqu'elle entre en conflit avec un facteur antagoniste qui supprime ou ralentit sa vitesse. La terre, par suite de ses mouvements de rotation et de translation dans l'espace, possède une énergie cinétique immense, mais on ne s'en aperçoit pas parce que notre globe ne rencontre aucun obstacle sur sa route. Cette énergie cinétique serait pourtant suffisante pour réduire en vapeur la planète que notre globe viendrait heurter. Tous les êtres qui vivent à sa surface sont entraînés par son mouvement et possèdent par suite une énergie cinétique

considérable. Elle se manifesterait si on les transportait instantanément entre deux points animés de vitesses très différentes, par exemple du pôle à l'équateur. En arrivant à l'équateur ils seraient lancés dans l'espace avec une vitesse plus de dix fois supérieure à celle d'un train de chemin de fer.

Indépendamment des mouvements de translation en ligne droite, comme celui d'un boulet de canon ou de rotation comme celui des astres, la matière et l'éther peuvent présenter des formes de mouvement fort diverses. Il en résulte des forces d'aspects très différents. On observe notamment des mouvements vibratoires tels que ceux d'un diapason, des ondes circulaires analogues à celles produites en jetant une pierre dans l'eau, etc. La lumière et la chaleur rayonnante présentent précisément ces dernières formes de mouvement.

Ce n'est pas seulement l'espèce des mouvements mais aussi les variations de leur vitesse qui conditionnent la nature des forces. Les théories récentes sur l'électricité mettent bien en évidence ce dernier point. On y voit en effet des phénomènes aussi différents que le magnétisme, le courant électrique, la lumière, naître de simples variations de mouvement des particules électriques et de leur action sur le milieu où elles se meuvent.

Un corps électrisé au repos produit seulement des effets d'attraction et de répulsion et ne jouit d'aucune propriété magnétique. Mettons-le en mouvement, il s'entoure aussitôt de lignes de force magnétiques et produit tous les effets d'un courant semblable à ceux parcourant les fils télégraphiques. Faisons varier par une accélération brusque la vitesse des particules, et elles rayonnent aussitôt dans l'éther des ondes hertziennes, des ondes calorifiques et enfin de la lumière. Ces formes d'énergie si différentes apparaissent donc comme la conséquence de simples changements de mouvement.

Les forces de la nature contiennent probablement d'autres éléments que le mouvement. Mais ces éléments n'impressionnant pas nos réactifs, nous ne les connaissons pas. Dans l'océan des phénomènes, la science ne peut trier que ce qui lui est accessible.

§ 2. — LES EXPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'UNIVERS.

Ce qui précède laisse facilement pressentir combien doit être fragmentaire et par conséquent insuffisante l'explication dernière des phénomènes que la mécanique nous propose.

Ils ne sont pas naturellement arrivés à une telle conclusion les défenseurs de la doctrine qui prétend tout expliquer au moyen des équations du mouvement. Nullement arrêtés par le simplisme de leurs concepts, persuadés que les lois des phénomènes étaient enfermées dans leurs formules, ils n'ont connu ni la défiance, ni les incertitudes et crurent avoir bâti pour l'éternité un édifice d'une imposante grandeur.

Pour la majorité des savants cette belle confiance dure encore. Le professeur Cornu s'exprimait au *Congrès de Physique* de 1900 de la façon suivante :

« L'esprit de Descartes plane sur la physique moderne. Que dis-je, il en est le flambeau; plus nous pénétrons dans la connaissance des phénomènes naturels, plus se développe et se précise l'audacieuse conception cartésienne relative au mécanisme de l'univers. Il n'y a dans le monde physique que de la matière et du mouvement ».

Au moment même où furent prononcées ces paroles, l'édifice classique se sillonnait de crevasses profondes. Pendant que les mathématiciens établissaient des formules, les physiciens faisaient des expériences et ces expériences cadraient de moins en

moins avec les formules. Ces discordances ne gênaient pas beaucoup d'ailleurs les premiers. Dès que les équations ne correspondaient plus aux expériences ils les rectifiaient en supposant l'intervention de « mouvements cachés » échappant complètement à l'observation. Le procédé était évidemment ingénieux mais évidemment aussi un peu enfantin. « Puisque, dit M. Duhem, on n'impose aux mouvements cachés aucune condition, aucune restriction, sur quoi se fonderait-on pour prouver qu'un écart déterminé ne peut trouver en eux sa raison d'être? »

Malgré de tels subterfuges l'insuffisance de la mécanique classique s'est montrée chaque jour plus manifeste à mesure que la physique a progressé. « Il existe, écrit l'auteur que je citais à l'instant, une incompatibilité radicale entre la mécanique de Lagrange et les lois de la physique; cette incompatibilité n'atteint pas seulement les lois des phénomènes dont la réduction au mouvement est l'objet d'hypothèses, mais encore les lois qui régissent les mouvements sensibles ».

Ce n'est pas uniquement dans les grandes questions relatives à la synthèse de l'univers que la mécanique classique s'est montrée fort insuffisante, mais encore dans des problèmes d'apparence plus modeste comme la théorie des gaz. C'est en invoquant le calcul des probabilités, en imaginant une sorte de statistique qu'elle arrive à établir des équations très compliquées et très incertaines aussi puisqu'elles échappent à toute vérification.

Les professeurs qui continuent à enseigner les formules de la mécanique renoncent de plus en plus à y croire. Cet univers fictif, réduit à des points auxquels sont appliquées des forces, leur semble assez chimérique. « Il n'y a pas un seul des principes de la mécanique rationnelle qui soit appli-

cable à des réalités », m'écrivait récemment un des savants qui ont le plus approfondi les problèmes de la mécanique.

Et c'est pourquoi cette science fondamentale est tombée aujourd'hui dans un état d'anarchie dont elle ne semble pas près de sortir malgré de nombreuses tentatives visant à la transformer. Actuellement, il existe trois systèmes de mécanique différents :

1° La mécanique classique bâtie sur les concepts de masse, de force, d'espace et de temps.

2° La mécanique de Hertz qui rejette la notion de force et la remplace par des liaisons cachées, supposées exister entre les corps.

3° La mécanique énergétique fondée sur le principe de la conservation de l'énergie, que nous aurons à étudier bientôt. Pour elle la matière et la force disparaissent. Il n'y aurait dans l'univers d'autre élément fondamental que l'énergie. Cet élément serait indestructible tout en changeant sans cesse d'aspect. Les divers phénomènes ne représenteraient que des mutations d'énergie.

On varierait d'ailleurs à l'infini les systèmes mécaniques en remplaçant les concepts de temps, d'espace et de masse par des grandeurs arbitraires liées d'une certaine manière aux concepts en question et en exprimant les phénomènes en fonction de ces nouvelles grandeurs. C'est ce qu'on fait quelquefois en introduisant dans les équations, à la place des coordonnées de la mécanique classique, des grandeurs physiques : pression, volume, température, charge électrique, etc., qui déterminent l'état d'un corps. Des principes dérivés de l'étude de la dissociation de la matière exposés dans notre dernier ouvrage, on pourrait déduire une mécanique nouvelle dans laquelle la matière figurerait comme la source

des diverses forces de l'univers. On écrirait dans les équations que telle ou telle force est simplement de la matière moins quelque chose, que l'inertie est une conséquence des relations d'équilibre entre l'énergie intra-atomique et l'éther, etc. On lierait ainsi la force à la matière et on exprimerait la première en fonction de la seconde conformément aux données de l'expérience.

Mais le moment n'est pas venu de traduire en équations des grandeurs dont les relations sont indéterminées.

Le fait de ne percevoir dans l'univers que de la matière et du mouvement ne nous autorise pas à soutenir qu'il ne se compose pas d'autre chose.

Les phénomènes très imprévus, révélés par l'étude de la dissociation de la matière, ont prouvé que l'univers était plein de choses jadis insoupçonnées, et révélé l'existence d'immenses territoires complètement inexplorés. L'édifice bâti par la science et qui abrita si longtemps nos incertitudes, apparaît maintenant comme un abri fragile dont les fondations devront être refaites entièrement.

La mécanique classique sépare nettement la matière du mouvement alors qu'en réalité la matière n'est, comme nous l'avons montré, qu'une forme du mouvement. Ses particules sont animées de mouvements incessants et si ces derniers étaient anéantis, elle cesserait aussitôt d'exister. Les éléments de la matière ont, avec le milieu éthéré qui les entoure, des relations que l'on commence seulement à soupçonner. C'est probablement sur la connaissance de ces influences de milieu que s'édifiera la mécanique de l'avenir. Dans le futur concept de masse interviendra sûrement la considération de vitesse.

LIVRE III

LE DOGME DE L'INDESTRUCTIBILITE DE L'ÉNERGIE

CHAPITRE I

La conception unitaire des forces et la théorie
de la conservation de l'énergie.

§ 1. — LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE.

Les forces diverses de l'univers étaient considérées par les anciens physiciens comme très différentes et ne présentant entre elles aucune relation. La chaleur, l'électricité, la lumière, etc., semblaient des phénomènes sans parenté.

Les idées qui ont pris naissance pendant la seconde moitié du dernier siècle sont très différentes. Après avoir constaté que la disparition d'une force était toujours suivie de l'apparition d'une nouvelle force, on admit bientôt qu'elles dépendaient toutes des transformations d'une entité indestructible, l'énergie. Comme la matière, elle pourrait changer de forme, mais sa quantité dans l'univers serait invariable.

L'électricité, la lumière, la chaleur, etc., seraient des manifestations diverses de l'énergie.

L'énergie est inconnue dans son essence, mais ses manifestations sont d'observation journalière. Les sources de l'énergie : chaleur solaire, chutes d'eau, vent, etc., sont nombreuses.

L'énergie ne nous est accessible que par les changements, c'est-à-dire les déplacements qu'elle produit. Ils représentent un certain travail, et c'est pourquoi, pour le physicien, le mot énergie est devenu synonyme de capacité de travail ; on mesure ce travail en le comparant à un autre pris pour unité, par exemple, l'effort fait pour soulever un corps contre l'attraction de la terre. Nous avons vu déjà que l'unité de travail représente l'effort nécessaire pour soulever, à une hauteur de 1 mètre, un poids de 1 kilogramme.

On considère comme équivalentes toutes les formes d'énergie capables d'accomplir le même travail. Énergie est ainsi devenue synonyme de capacité de travail. Grâce à cet artifice, on peut additionner des choses aussi dissemblables que des quantités de travail mécanique, d'électricité, de chaleur, etc.

Nous verrons que l'énergie peut facilement se concentrer. Dans une capacité déterminée, on peut accumuler des quantités très variables d'énergie. C'est ce qui arrive quand on comprime de plus en plus un gaz dans un réservoir. Les explosifs, tels que la poudre à canon, la dynamite, etc., représentent de grandes concentrations d'énergie. Comme le fait justement remarquer Ramsay, « le progrès humain dépend de l'habileté à concentrer et à diriger l'énergie ». J'ajouterai aussi que le progrès réside dans l'art de savoir libérer facilement l'énergie. La matière, comme je l'ai montré, est un réservoir colossal d'énergie, mais nous ne savons pas encore la libérer assez rapidement pour l'utiliser. L'émanation du radium peut

produire 3 millions de fois plus d'énergie que les plus explosives des combinaisons chimiques, mais nous ne savons la produire que trop lentement pour pouvoir l'utiliser. Il importe peu que les rochers d'une montagne contiennent des millions de tonnes d'or, si les procédés d'extraction ne permettent pas d'en retirer pour plus de quelques centimes par jour.

L'idée que l'énergie pourrait être indestructible est d'origine assez récente. Le dogme de sa conservation ne compte guère, en effet, qu'un demi-siècle d'existence.

Jusqu'à l'époque de sa découverte, la science ne connaissait qu'un seul élément permanent, la matière. Depuis soixante ans elle en possède, ou croit en posséder, un second, l'énergie.

Le principe de la conservation de l'énergie se présente sous une forme si imposante et si simple, il répond tellement à certaines tendances de notre esprit que l'on supposerait volontiers qu'il attira vivement l'attention le jour même où on l'énonça. Toute autre fut sa destinée. Pendant dix ans il ne se rencontra pas dans l'univers un seul savant acceptant de le discuter.

En vain son immortel auteur, le docteur Mayer, d'Heilbronn, multipliait ses mémoires¹ et ses expériences. Elles ne trouvèrent aucun écho. Mayer mourut de désespoir et ignoré à ce point que, lorsque Helmholtz refit, quelques années plus tard, la même découverte, en se basant uniquement d'ailleurs sur des considérations mathématiques, il ne soupçonnait même pas l'existence de son prédécesseur. L'esprit critique est une faculté si rare que les idées les plus profondes, les expériences les plus convaincantes, n'exercent aucune influence tant qu'elles ne sont pas

1. Le premier mémoire de Mayer : *Bemerkungen über die Kraefte der unbedingten natur* a été publié en 1842. Son dernier *Bemerkungen über das Mechanische Aequivalent der Waerme*. (Remarques sur l'équivalent mécanique de la chaleur), a été publié en 1851.

adoptées par des savants jouissant du prestige d'une autorité officielle.

Il arrive néanmoins à la longue qu'une idée nouvelle finit par avoir pour défenseur un savant possédant ce prestige, et alors elle fait rapidement son chemin. Dès que la grandeur de l'idée de la conservation de l'énergie fut comprise par l'un d'eux, elle eut un immense succès.

Ce furent surtout les discussions de W. Thomson et les expériences de Joule, confirmant les résultats de Mayer sur l'équivalence de la chaleur et du travail, qui attirèrent l'attention des spécialistes. Toute l'armée des ouvriers de la science s'abattit sur ce sujet et, en peu d'années on arriva à proclamer, sur des bases d'ailleurs assez étroites, l'unité et l'équivalence des forces physiques.

Cette généralisation dérivait d'expériences qui, en réalité, ne la contenaient pas. On la déduisit d'abord, des recherches faites pour déterminer l'élévation de température produite dans un liquide par la chute d'un poids tombant d'une hauteur donnée. On constata que pour élever de 1 degré la température de 1 kilogramme d'eau et produire ce qu'on appelle aujourd'hui une grande calorie, il fallait faire tomber d'une hauteur de 1 mètre un poids de 425 kilogrammes. Ce chiffre de 425 fut qualifié d'équivalent mécanique de la chaleur.

On constatait simplement, dans cette expérience et celles du même ordre, que les diverses formes d'énergie peuvent se transformer en travail mécanique; mais cela n'indiquait nullement de parenté entre elles. On peut, en faisant tourner une machine par le bras de l'homme, par la vapeur, le vent, l'électricité, etc., produire le même travail, bien que les causes en soient visiblement fort différentes. En réalité la chaleur ou une forme quelconque d'énergie équivaut au travail à peu près comme une pièce de vingt sous équivaut à la livre de bœuf qu'elle permet d'acheter.

Le rôle de la science consistant beaucoup plus à mesurer les choses qu'à les définir, l'acquisition d'une unité de mesure réalise toujours pour elle un immense progrès. Grâce à la création d'une unité mécanique d'énergie, le travail, on est arrivé à préciser clairement des notions autrefois très vagues. Quand, au moyen d'une forme quelconque d'énergie, on peut produire un nombre déterminé de calories ou de kilogrammètres, on est fixé sur sa grandeur. Pratiquement, c'est toujours en mesurant l'élévation de la température de l'eau d'un calorimètre, c'est-à-dire des calories, que la plupart des énergies, chimiques, électriques, etc., s'évaluent.

Au principe de la conservation de l'énergie on en a successivement annexé d'autres qui ont permis d'établir nettement les lois de sa distribution. Appliqués d'abord uniquement à la chaleur, c'est-à-dire à la branche de la physique appelée thermodynamique, ils ont bientôt été étendus à toutes les formes d'énergie. Ainsi s'est fondée une science particulière, la mécanique énergétique, que nous examinerons bientôt.

§ 2. — LES PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE.

La thermodynamique et la mécanique énergétique, qui n'en est que l'extension, reposent sur les trois principes : 1° de la conservation de l'énergie ; 2° de sa distribution ou principe de Carnot ; et, 3° de la moindre action.

Le premier, déjà indiqué plus haut, s'est formulé d'abord de la façon suivante : *La quantité d'énergie contenue dans l'univers est invariable.* Généralisant, un peu moins aujourd'hui, on se borne à dire que dans un système isolé la somme de l'énergie visible et de l'énergie potentielle est constante. Sous cette forme le principe reste évidemment inattaquable parce

que l'énergie potentielle n'étant pas mesurable, dans tous les cas, on peut toujours lui attribuer la valeur nécessaire pour que la relation soit satisfaite.

Le second principe de la thermodynamique, ou principe de Carnot, est devenu fort compliqué, parce qu'on y fait entrer des choses très diverses sous une forme purement mathématique.

Dégagé des formules, il est, en réalité, très simple. En étudiant les machines à vapeur, Sadi Carnot constata qu'elles ne peuvent produire de travail qu'à la condition que la chaleur tombe à une température plus basse que celle possédée d'abord. Pour obtenir du travail, il ne faut donc pas seulement de la chaleur, mais encore du froid, afin qu'il puisse se produire un abaissement de température. Cette chute de chaleur, ce transport de caloriques ne peut se faire que d'un corps chaud à un corps froid. C'est là précisément ce que constate le principe de Carnot. Il fut énoncé plus tard, par Clausius, sous la forme suivante :

De la chaleur ne saurait passer sans travail d'un corps froid sur un corps chaud.

Généralisant, on dit maintenant : *Le transport de l'énergie ne peut se faire que par une chute de tension.* L'énergie se dirige toujours du point où sa tension est la plus élevée vers celui où elle est la plus basse.

L'importance du principe de Carnot réside justement dans cette généralisation. Il ne s'applique pas seulement à la chaleur, mais à tous les modes connus d'énergie : calorifique, thermique, électrique ou autres.

Ce passage de l'énergie du point où sa tension est la plus élevée à celui où elle est la plus basse, peut se comparer à l'écoulement d'un liquide contenu dans un vase communiquant par un tube avec un autre situé à un niveau inférieur. Il est également comparable à l'écoulement de l'eau d'un fleuve vers la mer.

La chaleur va d'un corps chaud à un corps froid, et

jamais d'un corps froid à un corps chaud, par une loi analogue à celle qui oblige les fleuves à descendre vers la mer et les empêche de remonter leur cours. Dire que les fleuves s'écoulent vers la mer, sans pouvoir remonter à leur source, est une simple traduction du principe de Carnot.

Exprimé de cette façon, il apparaît comme évident. Carnot l'avait formulé presque aussi simplement, et cependant les physiciens ont mis plus de vingt-cinq ans à en soupçonner la portée. Son idée géniale fut justement de comparer une chute de chaleur à une chute d'eau, et tous les progrès postérieurs ont consisté à reconnaître que les diverses formes de l'énergie obéissaient dans leur distribution aux lois qui régissent l'écoulement des liquides. Il faut qu'il y ait inégalité entre les niveaux des réservoirs contenant un liquide pour qu'il y ait écoulement du liquide de l'un à l'autre. Il en est de même pour la chaleur, elle ne peut passer d'un corps à un autre que s'il y a inégalité de température entre les deux corps. Voici d'ailleurs exactement ce qu'écrivait Carnot :

« La production de la puissance motrice est due, dans les machines à vapeur, non à une consommation réelle du calorique, mais à son transport d'un corps chaud à un corps froid, c'est-à-dire à son rétablissement d'équilibre, équilibre supposé rompu par quelque cause que ce soit, par une action chimique telle que la combustion ou par toute autre.

« . . . On peut comparer la puissance motrice de la chaleur à celle d'une chute d'eau : toutes deux ont un maximum que l'on ne peut pas dépasser quelle que soit d'une part la machine employée à recevoir l'action de l'eau et quelle que soit de l'autre la substance employée à recevoir l'action de la chaleur ; la puissance motrice d'une chute d'eau dépend de la hauteur et de la quantité du liquide ; la puissance motrice de la chaleur dépend aussi de la quantité de calorique employé, et de ce que nous appellerons la hauteur de sa chute, c'est-à-dire de la différence de température des corps entre lesquels se fait l'échange du calorique ¹. »

1. Sadi CARNOT. *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, 1824, pp. 6 et 15.

Carnot ne fut pas un expérimentateur. Son bref mémoire est basé sur de simples raisonnements, et il se ramène dans son essence au court passage que je viens de citer.

Et pourtant, par le fait seul que son principe fut compris, la science théorique et pratique du dernier siècle fut entièrement bouleversée. Un physicien ou un chimiste n'énonce plus une proposition nouvelle sans vérifier d'abord si elle n'est pas en contradiction avec le principe de Carnot. On peut dire que jamais théorie si simple n'eut des conséquences si profondes. Elle servira toujours à montrer le rôle prépondérant des idées directrices dans l'évolution scientifique et à quel point est lente l'acquisition des généralisations les plus élémentaires.

Le second principe de la thermodynamique a, en réalité, plus d'importance que le premier, dont il est d'ailleurs fort indépendant. Alors même que l'énergie ne se conserverait pas, sa distribution se ferait toujours, au moins dans la très immense majorité des cas, suivant le principe de Carnot.

La généralité de ce principe permet de l'étendre à tous les phénomènes de l'univers. Il règle leur marche et les empêche d'être réversibles, c'est-à-dire les condamne à se faire toujours dans le même sens et à ne pouvoir, par conséquent, remonter le cours du temps. Si une puissance magique plus grande encore que celle des démons du mathématicien Maxwell, obligerait les édifices moléculaires à repasser par leurs états antérieurs, elle ramènerait lentement le monde en arrière, l'obligerait à remonter le cours des âges, et forcerait ainsi les habitants à revêtir successivement toutes les formes antérieures sous lesquelles ils se manifestèrent pendant la succession des temps géologiques.

Le principe de Carnot fut complété par celui dit de la moindre action, ou principe de Hamilton, qui fait

connaître le chemin que suivent les molécules sollicitées par une force pour se rendre d'un point à un autre. Il nous dit que ces molécules peuvent prendre une seule direction, celle qui demande le moindre effort. C'est encore là un de ces principes d'une simplicité très grande et dont la portée fut cependant immense. Reprenant la forme donnée plus haut par nous au principe de Carnot que les fleuves descendent vers la mer et ne remontent pas leur cours, nous pouvons y ajouter qu'en vertu du principe de la moindre action, les fleuves se dirigent vers la mer par le chemin qui demande à l'écoulement de l'eau le moindre effort, c'est-à-dire celui de la plus grande pente.

CHAPITRE II

L'explication énergétique des phénomènes.

§ 1. — LES PRINCIPES DE LA MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE.

C'est sur les principes de la thermodynamique qui viennent d'être sommairement exposés que fut fondée la mécanique énergétique, qui prétend se substituer à la mécanique classique.

Elle se préoccupe uniquement de la mesure des phénomènes et jamais de leur interprétation. Tout ce qui n'est pas accessible au calcul n'existe pas. Éliminant la matière et la force, elle n'étudie que les transformations de l'énergie et ne connaît les phénomènes que par leurs actions énergétiques. Elle mesure des quantités de chaleur, des champs magnétiques, des différences de potentiel, etc., et se borne à établir des relations mathématiques entre ces grandeurs.

La théorie énergétique est plutôt une méthode qu'une doctrine. Elle a cependant introduit dans la science certaines conceptions importantes que je vais indiquer sommairement.

L'énergie y est considérée sous deux formes : la forme cinétique et la forme potentielle. La première représente l'énergie en mouvement, la seconde l'énergie en repos, mais susceptible d'agir quand cessera le repos. Telle est, par exemple, la force d'un ressort bandé, celle d'un poids d'horloge remonté, etc.

L'énergie potentielle et l'énergie cinétique d'un système peuvent varier inversement, mais leur somme reste constante à l'intérieur de ce système.

L'énergie cinétique dépend de la position des molécules et de leurs vitesses, elle est proportionnelle au carré de ces vitesses. L'énergie potentielle dépend seulement de la position des molécules.

Le principe de la moindre action précédemment expliqué permet d'établir les équations du mouvement quand l'énergie cinétique et l'énergie potentielle sont connues.

§ 2. — LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE ET SA TENSION.

Précisant certaines notions un peu confuses dans l'ancienne mécanique, la théorie énergétique montre que l'énergie, à quelque force naturelle qu'elle se rapporte, est le produit de deux facteurs : la tension ou intensité et la quantité. La tension règle le sens du transport de l'énergie. Suivant les formes d'énergie, elle est représentée par une vitesse, une pression, une température, une hauteur, une force électromotrice, etc.

En reprenant la comparaison avec l'écoulement d'un liquide, qui servit à Carnot à expliquer son principe, on comprend facilement le rôle de ces deux facteurs : quantité et tension. Dans un réservoir, la quantité est représentée par la masse du liquide, la tension par sa hauteur au-dessus de l'orifice d'écoulement.

Toutes les formes d'énergie n'étant mesurées que par le travail qu'elles produisent, et rien ne différenciant le travail des diverses forces, électriques, mécaniques, thermiques, etc., il s'en suit qu'on peut les exprimer toutes dans la même unité de travail : le kilogrammètre. Pour la commodité, on en emploie parfois d'autres, mais elles peuvent toujours se ramener au kilogrammètre. C'est ainsi, par exemple, que le *Joule* usité en électricité comme unité de travail représente environ le 1/10 du kilogrammètre.

Les deux facteurs quantité et tension sont des grandeurs dont on ne peut donner d'autres définitions que leur mesure. Pour la pesanteur, la quantité est représentée par des kilogrammes, la tension par le nombre de mètres de hauteur de chute, leur produit représente l'énergie gravifique. Pour l'électricité, la quantité est représentée par le débit de la source en coulombs, la tension par la pression électrique mesurée en volts. Pour l'énergie cinétique, la quantité est représentée par la masse et la tension par la vitesse, etc.

D'une façon générale, si on désigne par E l'énergie exprimée en unités de travail, par Q la quantité et par T la tension, on a $E = Q \times T^1$.

1. Pour l'énergie thermique on donne généralement le nom d'entropie au quotient $\frac{Q}{T}$ dans lequel Q représente l'énergie thermique, T la température abso.

On retrouve bien dans les formes diverses d'énergie des choses qui semblent analogues, mais ces analogies sont souvent assez superficielles. En électricité, l'élément résistance correspond à peu près à la masse dans l'énergie cinétique, mais à quoi correspond-il dans l'énergie thermique? Est-ce à la chaleur nécessaire pour faire changer d'état un corps sans modifier sa température et vaincre simplement la résistance de ses molécules au changement? Sur ces points importants les livres sont muets.

Quoi qu'il en soit, dans toutes les formes d'énergie apparaissent toujours ces deux éléments : la quantité

lue et qu'on exprime d'une façon plus générale par l'intégrale : $\int \frac{dQ}{T}$

Quand une certaine quantité d'énergie thermique passe d'un corps chaud à un corps froid son entropie diminue et celle du corps froid augmente. On peut faire varier l'entropie sans changer la température. C'est donc une variable qui dans certaines conditions peut changer d'une manière indépendante.

De cette notion d'entropie divers physiciens semblent vouloir faire une grandeur physique spéciale pouvant être généralisée aux diverses formes d'énergie. Nous avons vu que par un artifice consistant à exprimer les formes les plus diverses d'énergie en travail mesuré par des kilogrammètres, on rend toutes les énergies équivalentes, ce qui permet de les additionner arithmétiquement. Mais il n'y a pas de bases d'équivalence pour les facteurs dont elles se composent. On ne peut donc faire la somme des entropies des diverses énergies d'un corps pour obtenir son entropie totale. Il est visible que les facteurs des diverses énergies expriment des choses en réalité fort différentes. Dans l'énergie thermique, par exemple, le facteur tension est représenté par une température; dans l'énergie cinétique par une vitesse, dans l'énergie gravifique par une hauteur, etc.

On est sûr de l'obscurité d'une notion quand elle est comprise différemment par les savants qui en font usage. Poincaré considère l'entropie comme un « concept prodigieusement abstrait », et il faut qu'il le soit singulièrement pour que les physiciens les plus célèbres l'entendent de façons très diverses. On en pourra juger par une longue discussion publiée par les journaux anglais. *Nature*, *Electrical Review* et *Electrician*, en 1903 et 1904. Des physiciens éminents y ont énoncé des opinions contradictoires en paraissant s'étonner d'ailleurs de leur ignorance réciproque. Pour les ingénieurs, le concept d'entropie est chose très simple, calculable en chiffres, parce qu'ils ne l'ont appliqué qu'au cas de la machine à vapeur. Pour eux, l'entropie d'un corps représente simplement la variation (évaluable en calories) de son énergie thermique utilisable en travail extérieur par degré de température et par kilogramme de matière.

et la tension dont le produit représente le travail. Sans tension il ne saurait y avoir de transmission d'énergie.

C'est en électricité surtout que la différence entre les deux facteurs, quantité et tension, s'aperçoit nettement. Les machines statiques de nos laboratoires débitent de l'électricité sous une tension très élevée puisqu'elle peut atteindre 50.000 volts; mais leur débit est insignifiant et ne s'élève jamais à plus de quelques dix millièmes d'ampère. Une pile, au contraire, a un débit en ampères élevé alors que l'électricité en sort avec une tension très faible ne dépassant guère 2 volts.

Les anciens électriciens, ne connaissant pas ces distinctions, croyaient très à tort que les machines statiques de nos laboratoires constituaient, en raison de leurs bruyantes étincelles, des générateurs puissants d'électricité. La tension y est énorme, mais le débit infime, en sorte que le produit de ces deux grandeurs représente une puissance insignifiante, et c'est pour cette raison que leurs étincelles produisent de faibles effets, alors que dans les appareils industriels dont la tension ne dépasse guère une centaine de volts, mais qui possèdent un débit élevé, les actions caloriques et lumineuses sont considérables.

Dans l'étude de la chaleur, la différence entre les deux grandeurs, tension et quantité, peut également être mise en évidence. Faisons brûler une allumette de sapin ou une forêt entière du même bois, le thermomètre plongé dans la flamme de l'allumette, ou dans celle de la forêt, indiquera une température identique. Il est évident, cependant, que la quantité de chaleur engendrée dans les deux cas sera fort différente.

§ 3. — TRANSFORMATION DE LA QUANTITÉ EN TENSION
ET INVERSEMENT.

Le produit de la quantité par la tension représente le travail. On peut, sans changer ce produit, augmenter un des facteurs en diminuant l'autre. L'industrie a journellement recours à ces opérations.

Les comparaisons hydrauliques données plus haut — et auxquelles il faut toujours revenir quand on veut bien comprendre la distribution de l'énergie — permettent de concevoir comment la quantité peut se transformer en tension ou inversement, sans que leur produit total varie. Il est visible, par exemple, que sans modifier la quantité du liquide d'un réservoir et simplement en changeant la hauteur et la largeur de ce dernier, on peut obtenir à volonté un débit très grand avec une pression très faible ou, au contraire, un débit très faible avec une pression très grande.

La transformation de la quantité en tension ou inversement est d'un usage constant en électricité. Avec une pile dont la tension est de quelques volts seulement, mais le débit en ampères assez grand, il est possible, en faisant passer le courant dans une bobine d'induction, d'amener l'électricité à une tension de 20.000 volts, ce qui, naturellement, réduit beaucoup son débit. L'opération inverse peut se faire également. Dans certaines installations industrielles on arrive à produire l'électricité sous une tension de 100.000 volts, puis cette tension, beaucoup trop grande pour la pratique, est transformée de façon à obtenir un grand débit sous un faible voltage. Dans toutes ces opérations le produit de la quantité par la tension, c'est-à-dire des coulombs par les volts, reste invariable.

En les jugeant par leurs effets, on pourrait croire que *la quantité et la tension* constituent deux élé-

ments très différents. Ils ne sont en réalité que deux formes d'une même chose.

La transformation de la quantité en tension résulte simplement du mode de distribution de la même énergie. On réalise cette transformation en concentrant l'énergie sur un faible espace, ce qui revient à élever son niveau au-dessus du zéro énergétique. L'opération inverse transformera au contraire la tension en quantité.

Un coulomb réparti sur une sphère de 10.000 kilomètres de rayon, ne déterminera sur elle qu'une pression de 1 volt. Répartissons la même quantité d'électricité sur une sphère d'un diamètre 100.000 fois moindre, c'est-à-dire de 100 mètres, et cette même quantité d'électricité produira un potentiel 100.000 fois plus fort, c'est-à-dire une pression de 100.000 volts.

Il en serait de même pour toute autre forme d'énergie, la lumière par exemple. Si, possédant un faisceau lumineux éclairant faiblement une surface de grandeur déterminée, nous voulons accroître l'éclat d'une partie de cette surface, nous n'aurons qu'à concentrer le faisceau sur un petit espace au moyen d'une lentille. L'intensité de la partie éclairée sera considérablement accrue, mais la surface illuminée sera notablement réduite. Par la même opération, nous aurions pu accroître la température produite par un faisceau de chaleur rayonnante au point de déterminer la fusion d'un métal. Par une opération inverse, c'est-à-dire en dispersant un faisceau de radiations au moyen d'un prisme ou d'une lentille divergente, on augmente la surface éclairée ou chauffée, mais en réduisant l'intensité par unité de surface.

Aucune des opérations précédentes n'a fait varier la quantité d'énergie dépensée, sa répartition seule a changé.

§ 4. — LE RÔLE DE LA MATIÈRE DANS LA MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE.

Les principes de la mécanique énergétique doivent être considérés comme d'excellentes méthodes de calcul, mais il ne faut pas leur demander une tentative d'explication des phénomènes. Ces explications, la théorie énergétique les rejette d'ailleurs entièrement. Limitant son rôle à mesurer des grandeurs reliées ensuite par des équations, elle nie la force, ignore la matière et les remplace par une entité, l'énergie, dont on se borne à mesurer les variations.

« Mais alors, dira-t-on, écrit un des défenseurs de cette doctrine, le professeur Ostwald, s'il faut renoncer aux atomes, à la mécanique, quelle image de la réalité nous restera-t-il ? Mais on n'a besoin d'aucune image, d'aucun symbole. Établir des rapports entre des réalités, c'est-à-dire des grandeurs tangibles mesurables, de telle sorte que les unes étant données, les autres s'en déduisent, voilà la tâche de la science.

... Point n'est besoin désormais de nous inquiéter de forces dont nous ne pouvons démontrer l'existence, agissant entre des atomes que nous ne connaissons pas, mais des quantités d'énergie mises en jeu dans le phénomène étudié. Celles-là nous pouvons les mesurer... Toutes les équations qui lient l'un à l'autre deux ou plusieurs phénomènes d'espèces différentes sont forcément des équations entre des quantités d'énergie; il ne saurait y en avoir d'autres, car, en dehors du temps et de l'espace, l'énergie est la seule grandeur qui soit commune à tous les ordres de phénomènes. »

La mécanique classique ne faisait pas non plus intervenir la matière dans ses équations et ne s'occupait que de ses effets, mais elle ne la niait pas. La mécanique énergétique trouvant plus simple de l'ignorer que de chercher à l'expliquer ne conduira jamais à une conception philosophique très haute. La science n'aurait guère progressé si elle s'était refusée à tâcher de comprendre ce qui lui semblait d'abord inaccessible. Des tendances du même ordre ont régné jadis en zoologie à l'époque où, étant purement descriptive,

elle refusait de s'occuper de l'origine des êtres et de leurs transformations. Tant que de telles idées l'ont dominée, elle n'a réalisé que de faibles progrès ; mais si cette conception étroite n'avait pas régné pendant un temps suffisamment long, des esprits philosophiques, comme Lamarck et Darwin, n'auraient pas trouvé les matériaux de leurs synthèses. On ne saurait trop multiplier le nombre des spécialistes dont toute la vie se passe à peser ou mesurer quelque chose. De temps à autre apparaît un architecte qui élève un édifice avec les matériaux patiemment réunis par de vigilants ouvriers.

Les disciples de la mécanique énergétique accumulent aujourd'hui des documents de cette sorte, en attendant qu'apparaissent les esprits supérieurs qui en tireront parti.

En considérant la matière comme négligeable, la mécanique énergétique n'a fait que prendre à son compte un héritage métaphysique plusieurs fois séculaire. Ce fut pendant longtemps une des distractions classiques des philosophes de prouver que la matière et même l'univers n'existent pas et de disserter sur ces négations. Ces spéculations perdent tout intérêt dès qu'on pénètre dans un laboratoire. Nous sommes bien obligés alors de nous y conduire comme si la matière était une chose très réelle avec laquelle est bâti l'univers et qui est, par conséquent, le substratum des phénomènes. Nous y devons distinguer nettement aussi la matière qui se pèse, des formes diverses d'énergie : lumière, chaleur, etc., qui ne se pesent pas et s'ajoutent par conséquent aux corps sans augmenter leur poids.

Malgré toutes les équations énergétiques, la grande dualité entre la matière et l'énergie subsistait donc toujours. La matière pouvait bien être éliminée des calculs, mais cette élimination ne la faisait pas disparaître de la réalité.

Les lecteurs de notre dernier ouvrage savent comment nous avons essayé de faire évanouir ce dualisme classique, en montrant que la matière n'était autre chose que de l'énergie ayant acquis de la fixité. Sans lui ôter aucune des propriétés spéciales permettant d'affirmer son existence comme matière, nous avons simplement montré qu'elle constitue une forme d'énergie capable de se transmuier en d'autres formes et est, par sa dissociation, l'origine de la plupart des forces de l'univers. Loin de conclure à sa non-existence, nous avons été conduit à la considérer comme le principal élément des choses.

CHAPITRE III

La dégradation de l'énergie et l'énergie potentielle.

§ 1. — LA THÉORIE DE LA DÉGRADATION DE L'ÉNERGIE

Le dogme de l'indestructibilité de l'énergie ne s'appuie pas toujours sur des raisons très sûres, mais il est soutenu par des croyances très fortes qui le mettent à l'abri de la discussion. Très rares sont les savants qui, à l'exemple de l'illustre mathématicien Poincaré, en ont pénétré les faiblesses et signalé les incertitudes.

Dès les premières recherches sur les rapports de la chaleur et du travail, on reconnut que s'il est possible de transformer une quantité donnée de travail en chaleur, on ne possède aucun moyen d'effectuer sans perte l'opération inverse. Les meilleures machines à vapeur ne transforment pas en travail beaucoup plus du dixième de la chaleur dépensée.

L'observation démontre bien que la disparition d'une forme quelconque d'énergie est toujours suivie de l'apparition d'une énergie différente ; mais cette évolution s'accompagne d'une sorte de dégradation de l'énergie primitive, qui devient moins utilisable. Seule, peut-être, l'énergie gravifique ferait exception.

L'indestructibilité de l'énergie ne s'accompagnerait donc pas d'inaltérabilité. Il y aurait plusieurs qualités d'énergie. La chaleur serait la plus inférieure.

Cette sorte d'hierarchie entre les diverses formes

d'énergie et le terme de dégradation appliqué à une chose considérée comme indestructible, s'expliquent assez mal. Ils résultent de ce que les diverses énergies ayant une tendance invincible à se transformer en chaleur, il s'ensuivrait que toutes celles de l'univers finiraient par subir une telle transformation. Les différences de température s'égalisant rapidement par diffusion, et la chaleur n'étant utilisable comme énergie qu'à la condition de pouvoir agir sur des corps à une température moindre, il s'ensuivrait que, quand toutes les particules de matière seraient à la même température, c'est-à-dire contiendraient de l'énergie à la même tension, aucun échange ne se ferait entre elles. Ce serait la fin de notre univers. D'un état très différencié, il aurait passé graduellement à un état non différencié. Son énergie ne serait pas détruite, puisque par définition on la suppose immortelle; elle deviendrait simplement inutilisable et resterait inutilisée jusqu'au jour où notre monde en rencontrerait un autre à un niveau énergétique inférieur, avec lequel il pourrait par conséquent échanger quelque chose. Dans la théorie que nous déduirons bientôt de nos recherches, les choses se passeraient un peu différemment.

§ 2. — L'ÉNERGIE POTENTIELLE.

Le concept de l'énergie potentielle n'est que l'extension de faits d'observation élémentaire. Nous avons déjà dit que dans la théorie de la conservation de l'énergie, cette dernière se présente sous deux formes : l'énergie cinétique ou de mouvement et l'énergie potentielle. Dans un système isolé ces formes peuvent varier en sens inverse, mais leur somme reste constante. Si donc on désigne par C l'énergie cinétique, et par P l'énergie potentielle d'un système, on a : $C + P = \text{constante}$.

Rien n'est évidemment plus simple et l'exemple

classique du poids d'horloge remonté, illustre très bien cette apparente simplicité. Tant que ce poids n'agit pas, l'énergie cinétique employée pour le remonter y reste emmagasinée à l'état potentiel. Dès que le poids commence à descendre, cette énergie potentielle passe à l'état cinétique et à un moment quelconque de sa course la somme de l'énergie cinétique dépensée et celle de l'énergie potentielle non encore utilisée est égale à l'énergie totale primitivement employée pour remonter le poids.

Dans les cas aussi élémentaires il n'y a aucune difficulté à distinguer l'énergie cinétique de l'énergie potentielle; mais dès qu'on s'écarte un peu de tels cas, il est impossible, comme l'a montré Poincaré, de séparer les deux formes et, par conséquent, de connaître l'énergie totale (chimique, électrique, etc.) d'un système. Les formules finissent par embrasser des choses tellement hétérogènes qu'on ne peut plus définir l'énergie.

« Si on veut, dit-il, énoncer le principe de la conservation de l'énergie dans toute sa rigueur et en l'appliquant à l'univers, on le voit pour ainsi dire s'évanouir et il ne reste plus que ceci : il y a quelque chose qui demeure constant, mais cela même a-t-il un sens¹ ? »

Très heureusement pour les progrès de la science, lorsque les conséquences du principe de la conservation de l'énergie furent développées, ses défenseurs n'ont pas regardé les choses de si près. Dédaignant les objections, ils ont établi un principe qui a rendu d'immenses services par les recherches dont il fut l'origine.

Il a montré surtout qu'un travail dépensé pour produire un certain effet, un nouvel équilibre chimique par exemple, n'est pas perdu et se retrouve quand le

1. *La Science et l'hypothèse*, p. 158.

corps retourne à son état primitif. C'est à peu près, d'ailleurs, de cette façon qu'on envisage aujourd'hui le principe de la conservation de l'énergie. Il se ramène alors à dire que le travail restitué par un ressort en se débandant est égal au travail absorbé pour le bander. Et, encore une fois, nous retombons ainsi sur une de ces vérités d'évidence banale qui forment souvent la trame des plus grands principes scientifiques.

Quoi qu'il en soit, la faculté, que se sont arrogé les physiciens, de considérer comme passée à l'état potentiel l'énergie qui semble se perdre, permettra toujours, ainsi que je l'ai fait observer déjà, de soustraire le principe de la conservation de l'énergie aux critiques expérimentales. L'énergie potentielle latente joue le rôle de ces « forces cachées », par l'intervention desquelles l'ancienne mécanique avait réussi à faire cadrer avec les équations les expériences qui s'en écartaient. Du moment qu'on admet comme un postulat la conservation de l'énergie, il faut bien supposer que celle qui paraît perdue se retrouve quelque part et le gouffre de l'énergie potentielle lui constitue un inviolable abri. Mais si l'on partait du postulat contraire, que l'énergie peut s'user et se perdre, le second aurait peut-être autant de faits en sa faveur que le premier.

Ce sont là, au surplus, des discussions stériles puisque l'expérience est incapable d'éclairer la question. Il faut donc garder le principe de la conservation de l'énergie jusqu'à ce qu'ayant pénétré davantage dans les univers intra-atomiques, on ait mis nettement en évidence comment l'énergie peut se perdre. C'est un point dont il est possible d'entrevoir la solution, et que j'examinerai bientôt.

Il serait également inutile d'insister sur les faits qui s'accordent très mal ou même pas du tout avec le principe de la permanence de l'énergie, puisqu'il suffit d'imaginer une hypothèse quelconque pour les

faire cadrer avec le principe. On trouvera certainement le moyen d'expliquer comment la masse d'un corps peut grandir immensément avec sa vitesse, ainsi que l'ont prouvé les expériences sur les particules radio-actives. On a bien expliqué comment un aimant permanent peut être indéfiniment parcouru par des courants sans s'échauffer par le frottement, ce qui amènerait la perte de son aimantation. Il suffisait de supposer l'éther privé de résistance, c'est-à-dire lui conférer une propriété que la non-instantanéité de la propagation de la lumière prouve ne pas exister.

Ces hypothèses invérifiables ont toujours permis de sauver une théorie, tant qu'elle a été féconde. Bien des hypothèses physiques, comme celle de la théorie cinétique des gaz, s'évanouiraient probablement si l'expérience pouvait les éclairer. Ces molécules se choquant sans cesse avec la vitesse d'un boulet de canon, sans s'échauffer, grâce à une élasticité qu'il faut supposer infinie, n'ont peut-être qu'une très lointaine parenté avec la réalité. On conserve avec raison la théorie, parce qu'elle est féconde et qu'aucune expérience possible ne saurait en prouver l'inexactitude.

Nous avons vu comment la théorie de l'énergie potentielle inaccessible permet de soustraire aux critiques de l'expérience le principe de la conservation de l'énergie. Ce principe a satisfait la très immense majorité des physiciens, mais non pas tous. On sait ce qu'en pense M. Poincaré. Il n'a pas été seul à formuler des doutes. M. Sabatier, doyen de la Faculté des Sciences de Montpellier, se demandait, dans une intéressante leçon d'ouverture : « *L'Univers matériel est-il éternel?* », s'il était bien certain qu'il n'y eut pas une perte réelle et progressive d'énergie dans le monde, et tout récemment, dans un mémoire sur la dégradation de l'énergie, un pénétrant physicien,

M. Bernard Brunhes, s'exprimait de la façon suivante :

« Qui nous garantit que l'univers soit un système limité? Et s'il ne l'est pas, que signifient ces expressions : *L'énergie totale de l'univers?* ou l'énergie utilisable de l'univers? Dire que l'énergie totale se conserve, mais que l'énergie utilisable diminue, n'est-ce pas formuler des propositions vides de sens?.....

« Il ne serait pas absurde d'imaginer un univers où, à l'exemple de notre système solaire, l'énergie intérieure totale irait diminuant en même temps que la fraction conservée passerait constamment sous forme inutilisable, où l'énergie se perdrait et se dégraderait à la fois.

Le principe de la dégradation de l'énergie aurait donc une portée plus étendue que celui de sa conservation. Il garderait tout son sens même si on disait avec certains critiques :

« La loi de la conservation de l'énergie n'est qu'une définition : la preuve en est que lorsqu'un phénomène nouveau vient accuser un désaccord dans l'équation de l'énergie, on imagine pour lui une forme d'énergie nouvelle définie par la condition de rétablir l'inégalité compromise. »

Et, en réponse à une lettre où je lui exposais mes idées sur ce point, le même physicien m'écrivait :

« On devrait rayer le *rien ne se perd* de l'exposition des lois physiques, la science actuelle nous apprend que quelque chose se perd. C'est certainement dans le sens de la déperdition, de l'usure des mondes et non dans le sens d'une plus grande stabilité que la science de demain modifiera les idées régnantes. »

Nous avons exposé dans ce chapitre et les précédents les théories qui dominent la science actuelle. Nos critiques n'ont pas nui à la fidélité de notre

exposé. Elles avaient simplement pour but de montrer que les idées régnantes contiennent des points très faibles et, par conséquent, qu'il était permis de les remplacer, ou tout au moins de préparer leur remplacement. N'étant plus entravé par le poids de principes antérieurs suffisamment ébranlés, nous pourrions rechercher si, au lieu d'être indestructible, l'énergie ne s'évanouirait pas, elle aussi, sans retour comme la matière dont elle n'est qu'une transformation.

LIVRE IV

LA CONCEPTION NOUVELLE DES FORCES

CHAPITRE I

L'individualisation des forces et les transformations supposées de l'énergie.

I. — LES TRANSFORMATIONS DE L'ÉNERGIE.

Personne n'ignore aujourd'hui — et les premiers sauvages qui réussirent à obtenir du feu en frottant l'un contre l'autre deux morceaux de bois pouvaient le soupçonner — qu'avec une force donnée on peut en produire d'autres. La théorie de l'équivalence des divers modes d'énergie et de leurs transformations ne fut cependant formulée nettement qu'à une époque relativement récente.

Les livres les plus élémentaires enseignent maintenant que toutes les forces de la nature peuvent se transformer les unes dans les autres, et ne seraient que des manifestations d'une même entité, l'énergie.

Dans son ouvrage, *l'Évolution de la Physique*, M. Lu-

cien Poincaré a résumé de la façon suivante les idées actuelles :

« Les physiciens de la fin du XIX^e siècle furent amenés à considérer que dans tous les phénomènes physiques il intervient des apparitions et des disparitions qui se compensent d'énergies diverses. Il est naturel d'ailleurs de supposer que ces apparitions et ces disparitions équivalentes correspondent à des transformations et non à des créations et des destructions simultanées, l'on se représente ainsi que l'énergie prend des formes différentes, mécaniques, électriques, calorifiques, chimiques, capables de se changer les unes dans les autres, mais de façon que la valeur quantitative en reste toujours la même. »

Il est facile de comprendre l'origine de cette théorie, mais quand on la creuse un peu on n'en découvre ni la nécessité, ni la justesse. Tout ce qu'on peut dire de mieux en sa faveur, c'est qu'elle échappe aux données de l'expérience. Il est certain que les diverses formes d'énergie semblent se transformer ou, pour mieux dire, qu'avec une énergie quelconque il est possible d'en produire d'autres ; mais ce sont des transformations apparentes, analogues à celle de la monnaie en marchandise. Avec une pièce de 5 francs, on obtient un mètre d'étoffe de soie, mais personne ne suppose que l'argent dont se compose la pièce de monnaie s'est transformé en soie. Une transformation du même ordre est cependant admise, lorsqu'on assure que le frottement d'un bâton de résine avec un morceau de laine s'est changé en chaleur et en électricité.

La théorie moderne de l'équivalence et de la transformation des diverses formes d'énergie semble bien n'être qu'une illusion résultant de ce que, pour les mesurer, on a choisi une même unité, le travail, évalué en kilogrammètres ou calories.

Sous ses formes les plus différentes, l'énergie se définit simplement comme équivalent à un certain

travail mécanique, et, pour beaucoup de physiciens, énergie et capacité de travail ont fini par devenir synonymes, bien qu'ils soient en réalité des choses fort distinctes. On aurait une idée assez médiocre de la valeur comparative d'un cheval, d'un nègre et d'un blanc, en se bornant à mesurer le nombre de kilogrammètres qu'ils peuvent produire. Les choses sont fort peu connues quand on mesure seulement un de leurs éléments quantitatifs. Il faut bien se contenter de telles indications lorsqu'on ne peut en obtenir d'autres, mais se résigner aussi à reconnaître l'insuffisance de nos connaissances.

Le mouvement, l'électricité, la chaleur, etc., étant fort différents les uns des autres, il semble naturel de dire que les diverses formes d'énergie sont trop dissemblables pour pouvoir se transformer; mais qu'un même effet peut provenir de causes diverses. Un moteur est mis en mouvement par des actions variées, vapeur, électricité, bras de l'homme, force du vent, sans aucune parenté, bien que produisant des effets identiques. Quand du mouvement ou de l'électricité produisent de la chaleur, cela ne signifie-t-il pas simplement qu'avec des moyens dissemblables on arrive à obtenir les variations d'équilibre moléculaires, d'où la chaleur résulte? Les produits de la nature sont comparables à des marchandises échangeables suivant un certain barème; elles ont leur équivalent en monnaie ou en d'autres marchandises, mais ne se transforment pas. Les forces de la nature ne se transforment pas davantage.

Je n'insisterai pas sur cette théorie peu conforme à ce qui s'enseigne aujourd'hui. J'aurais même jugé inutile de la formuler, si le hasard ne m'avait fait tomber sur un mémoire du professeur Ostwald, qui aboutit par d'autres voies aux mêmes conclusions que les miennes. Voici comment il s'exprime :

« Comme on le sait, on distingue, depuis Hamilton,

deux espèces de grandeurs physiques; les *scalaires* et les *vecteurs*. Ces deux espèces de grandeurs sont de nature essentiellement différente, et l'on ne peut jamais représenter l'une par l'autre. Je suis persuadé qu'il existe un plus grand nombre de grandeurs d'essence différente; et je me crois fondé à admettre que les diverses formes de l'énergie sont caractérisées toutes par des grandeurs possédant une telle individualité. Que cela soit confirmé, et le fait que jusqu'à présent la mécanique n'a pu donner une image complète de la nature, apparaîtra comme une *nécessité*. Une telle notion serait aussi précieuse pour la science que l'a été, en son temps, la notion de l'individualité des éléments chimiques, et les modernes adeptes des théories mécaniques, en prétendant ramener toutes les formes de l'énergie à l'énergie mécanique, ne feraient pas œuvre utile plus que les alchimistes cherchant à transmuter le plomb en or. Que, dans un pareil labeur, on ait fait toutes sortes de trouvailles intéressantes autant qu'inattendues, ce n'est qu'une ressemblance de plus avec l'activité, souvent féconde, de ces chercheurs opiniâtres. »

§ 2. — SOUS QUELLES FORMES PEUT EXISTER L'ÉNERGIE
DANS LA MATIÈRE.

Nous avons déjà examiné cette question dans notre dernier livre et conclu que les énergies manifestées par la matière sont les conséquences des mouvements de ses éléments. Ce serait grâce à leur rapidité que la matière contient une quantité d'énergie très grande sous un volume très faible. On sait que la libération de 1 gramme d'hydrogène dans la décomposition de l'eau correspond à une production d'électricité égale à 96.600 coulombs, soit un débit de près de 27 ampères pendant une heure.

Il ne semble pas que les chimistes considèrent de

cette façon les manifestations d'énergie, dont la matière est le siège. Tout en prenant bien soin d'affirmer que l'énergie n'est pas du tout quelque chose de matériel, ils la traitent exactement comme si elle était un fluide absorbé et restitué par les corps de la même façon qu'une éponge s'imbibe d'un liquide et le rend quand elle est pressée. Ils nous parlent constamment, en effet, de chaleur absorbée ou dégagée par une combinaison et toute la thermochimie est fondée sur la mesure de ces absorptions et dégagements.

En réalité, les corps dans leurs transformations n'absorbent rien du tout. Dire qu'un corps absorbe de la chaleur pour se transformer, cela signifie uniquement que, pour obliger ses éléments à modifier leurs équilibres, il a fallu dépenser de l'énergie. Elle sera restituée par le retour aux équilibres primitifs, tout comme le ressort produit en se débandant un travail égal à celui dépensé pour le tendre.

Cette image du ressort, si grossière soit-elle, fait bien comprendre que les absorptions ou dégagements de chaleur des composés chimiques pendant leurs transformations ne sont que des déplacements d'énergie consécutifs à des changements d'équilibre. On admet sans difficulté qu'un ressort, en se détendant, produit un travail égal à celui exigé pour le tendre. C'est à cette donnée élémentaire que peut se ramener toute la thermochimie et aussi le principe de la conservation de l'énergie.

Le charbon dont la combustion, c'est-à-dire la combinaison avec l'oxygène, engendre beaucoup de chaleur, offre le type de ces corps supposés pouvoir absorber de l'énergie et la retenir ensuite. Les chimistes nous disent, à propos de la houille, que « la chaleur de combustion représente de l'énergie solaire emmagasinée ». Il semblerait ainsi que le charbon a emmagasiné de la chaleur, comme de l'eau dans un réservoir. En réalité, il n'a rien emmagasiné pendant

sa formation ; mais, comme c'est un corps possédant une puissante affinité pour l'oxygène de l'air et produisant par sa combinaison avec lui, des variations d'équilibre accompagnées d'un grand dégagement de chaleur, on utilise cette dernière pour obtenir de la vapeur d'eau dont la force élastique fait marcher les pistons de nos locomotives. Si l'air, au lieu d'oxygène, contenait seulement de l'azote, le charbon n'aurait jamais été considéré comme un emmagasinateur d'énergie. Il n'en contient pas davantage qu'une foule d'autres corps plus abondants dans la nature, tels que l'aluminium et le magnésium. Ces métaux, s'ils n'étaient déjà engagés dans certaines combinaisons, produiraient, en s'unissant avec l'oxygène, de la chaleur aussi utilisable que celle engendrée par l'oxydation du charbon.

Le lecteur, ayant présente à l'esprit notre théorie de l'énergie intra-atomique d'après laquelle tous les atomes sont un réservoir colossal d'énergie, objectera sans doute que, en dehors de toute combinaison, un corps quelconque est un réservoir de forces. Mais ces dernières n'ont pas été utilisées jusqu'ici. La chimie et l'industrie utilisent seulement des réactions moléculaires, et non intra-atomiques ; c'étaient donc les seules dont nous avons à nous occuper dans ce qui précède.

CHAPITRE II

Les changements d'équilibre de la matière et de l'éther comme origine des forces.

§ 1. — LES DÉNIVELLATIONS GÉNÉRATRICES DE L'ÉNERGIE.

Les physiciens mesurent les forces et l'énergie, mais ne les définissent pas. Pour eux, la force est simplement la cause d'un mouvement et ils en évaluent la grandeur par l'accélération qu'elle produit. Quand une force déplace son point d'application sur une certaine longueur, elle fournit un travail déterminé. Ce travail mécanique étant l'unité avec laquelle se mesurent toutes les formes d'énergie, l'effet a fini par se confondre avec la cause et, pour beaucoup de physiciens, capacité de travail et énergie sont devenues synonymes, comme nous l'avons indiqué déjà.

Les forces font partie des éléments irréductibles de l'univers. N'étant comme le temps et l'espace comparables à rien, on ne peut les définir. Nous essaierons seulement ici de mettre en évidence une condition générale de leurs manifestations.

Toutes les forces de la nature sont engendrées par des perturbations d'équilibre de l'éther ou de la matière et disparaissent quand les équilibres troublés sont rétablis. La lumière, par exemple, prend naissance avec les vibrations de l'éther et cesse dès que ce dernier retourne au repos.

Deux corps en relation, chargés de chaleur, d'électricité, de mouvement, etc., ne peuvent, quelle que

soit la différence de grandeur de ces corps, agir l'un sur l'autre pour produire de l'énergie et, par conséquent du travail, que quand les éléments dont ils sont chargés ne sont pas à la même tension — ou en d'autres termes au même potentiel — et, par conséquent, ont cessé d'être en équilibre. Pour la chaleur, la tension est représentée par l'élévation de la température; pour l'électricité, par la force électromotrice; pour l'énergie de mouvement, par la vitesse; pour la pesanteur, par la hauteur de chute, etc.

Cette rupture d'équilibre provoque une sorte d'écoulement d'énergie. Il se fait du point où la tension est la plus haute vers celui où elle est la plus basse, et continue jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il y ait égalité de niveau énergétique entre les corps en relation.

On peut donc considérer comme des générateurs d'énergie : un liquide passant d'un niveau supérieur à un autre inférieur; de la chaleur passant d'un corps chaud à un corps froid; de l'électricité qui s'écoule d'un corps à haut potentiel vers un corps à bas potentiel; du mouvement transmis d'un corps animé de vitesse à un autre animé d'une vitesse moindre, etc.

La production d'énergie est liée, comme on le voit, à l'état des corps en présence. Il n'y a, je le répète, d'échange entre eux que s'ils ne sont pas en équilibre, c'est-à-dire possèdent des tensions différentes. Un des corps mis en présence perd alors quelque chose qu'il cède à l'autre, jusqu'à égalisation de leurs tensions. Pour qu'ils puissent engendrer ensuite une nouvelle quantité d'énergie, il faudra les mettre en présence d'un troisième corps qui ne soit pas en équilibre avec eux.

D'une façon générale, ce que les substances se cèdent ainsi pendant ces échanges, ce sont des formes du mouvement. Tous les modes d'énergie sont connus et mesurés par ces mouvements. Le mot énergie est,

comme je l'ai dit, synonyme de capacité de faire du travail et le travail produit ne se constate que par des déplacements.

Suivant les milieux où se manifestent les perturbations d'équilibre, et suivant leur forme, ils prennent les noms de chaleur, électricité, lumière, etc.

Les perturbations d'équilibre génératrices des forces sont elles-mêmes la conséquence d'autres perturbations. Elles se succèdent en se substituant, et c'est pourquoi une forme quelconque d'énergie n'apparaît qu'aux dépens d'une autre qui s'annule en même temps.

En prenant ces données comme point de départ, on pourrait formuler de la façon suivante le principe de la conservation de l'énergie : dans un système clos, un équilibre ne peut être détruit sans être remplacé par une autre forme d'équilibre équivalente. Les choses se passent comme si tous les éléments de l'univers étaient en relation, de façon à constituer une sorte de système articulé. Il en résulte qu'un changement ne peut se produire sans qu'apparaisse un changement inverse quelque part. Nous ne pouvons que déplacer les choses sans en changer, et c'est pourquoi la somme algébrique des variations d'énergie dans un système isolé est nulle.

Cette notion essentielle de perturbation d'équilibre, comme origine des manifestations de l'énergie, peut être mise en évidence par quelques exemples.

Plaçons au même niveau deux réservoirs pleins d'eau reliés par un tube. Étant en équilibre, ils ne pourront produire aucune énergie. Élevons un des réservoirs au-dessus de l'autre, l'équilibre de leur contenu est aussitôt troublé, une partie du liquide s'écoule du réservoir le plus élevé dans l'autre, jusqu'à ce que l'équilibre soit de nouveau rétabli. Pendant la durée de cette rupture, et seulement pendant sa durée, l'eau pourra effectuer un travail, soulever un

piston, par exemple. L'énergie utilisable dépendra évidemment de la différence de niveau entre les deux réservoirs.

Il en est de même pour la chaleur, l'électricité ou toute autre énergie. Deux corps chauds à la même température représentent deux réservoirs au même niveau, ou deux poids égaux sur les plateaux d'une balance, et il n'en résulte aucune manifestation d'énergie. Si, au contraire, la température de l'un des corps est moins élevée que celle de l'autre, il y aura perturbation d'équilibre et production d'énergie jusqu'à ce que les deux corps soient au même niveau calorifique. Comme dans le cas des deux réservoirs de liquide, l'énergie thermique utilisable dépendra de la différence de température entre les deux corps.

De même encore pour l'électricité. Il ne peut y avoir production d'énergie électrique que par une rupture d'équilibre. Quelle que soit la quantité d'électricité dont on charge un corps, il ne produira pas d'énergie s'il est en relation avec un autre au même potentiel, c'est-à-dire au même niveau électrique.

Nos instruments de mesure, thermomètres, galvanomètres, manomètres, etc., indiquent simplement des différences de niveau énergétiques, auxquelles on donne les noms de température, pression, voltage, etc., existant entre une source d'énergie et un zéro arbitraire pris comme repère. Si le réservoir d'un thermomètre était à la température de la source à mesurer, c'est-à-dire en équilibre avec elle, il est évident que sa colonne resterait immobile. Ce qu'un voltmètre mesure, c'est également une différence de niveau entre une source d'électricité et lui; nos instruments, comme nos sens, ne sont sensibles qu'à des différences.

Ainsi donc, sans une dénivellation, il n'y a aucune manifestation possible d'énergie. On ne peut tirer d'énergie que de corps n'étant pas au même niveau, et

on n'en tire que jusqu'au moment où ils sont au même niveau. Si le soleil possède dans toute sa masse une température uniforme de 6.000 degrés et qu'il puisse y exister des êtres capables de supporter cette chaleur, elle ne représenterait pour eux aucune énergie utilisable. N'ayant pas de corps froids à leur disposition, ils ne pourraient obtenir aucune chute de chaleur, condition indispensable de la production d'énergie thermique.

Admettons maintenant qu'au lieu de se trouver à une température uniforme de 6.000 degrés, ces êtres imaginaires vivent dans un monde de glace à la température uniforme de zéro, mais possèdent dans des puits profonds une provision illimitée d'air liquide. Contrairement à ceux plongés dans un milieu à 6.000 degrés, ils trouveraient dans les blocs de glace une source considérable d'énergie. En plongeant, en effet, ces derniers dans l'air liquide à -180° , ils obtiendraient une dénivellation de température considérable. Au contact de la glace, qui est pour l'air liquide un corps très chaud, ce dernier entrerait aussitôt en ébullition, et sa vapeur pourrait être employée à faire fonctionner des moteurs. Les habitants de ce monde remplaceraient donc le charbon de nos machines à vapeur par des blocs de glace qu'ils considéreraient, avec raison, comme des réservoirs d'énergie.

Avec cette glace et cet air liquide, il leur serait très facile de produire les températures les plus élevées. La tension de la vapeur obtenue pourrait, en effet, faire fonctionner des dynamos avec lesquelles on obtient des courants électriques capables de fondre et volatiliser tous les métaux.

Ce qui vient d'être dit des ruptures d'équilibre, comme condition de production d'énergie, s'applique à toutes ses formes, y compris celle possédée par les corps en mouvement. Elle ne peut naître que par la

rencontre de corps n'ayant pas la même vitesse, ce qui constitue une différence d'équilibre. Si la balle du chasseur tue l'animal qui fuit devant lui, c'est, évidemment, parce que leurs deux vitesses sont différentes. Si elles étaient égales, la balle serait forcément sans effet. La locomotive, malgré sa masse, ne peut rien sur le moucheron qui voltige devant elle avec la même rapidité.

Les effets des masses douées d'énergie cinétique sur les corps qu'elles rencontrent, résultent uniquement de l'inertie de la matière qui l'empêche de prendre instantanément la vitesse des éléments agissant sur elle. Des corps privés d'inertie, c'est-à-dire de résistance au mouvement, prendraient simplement la vitesse des masses qui les frappent et ne seraient pas détruits par elles.

L'énergie cinétique représente donc en dernière analyse du mouvement qui passe ou tend à passer d'un corps à un autre. Il en est de même d'ailleurs pour l'énergie thermique. Elle se manifeste par des mouvements moléculaires transmis d'un corps chaud aux éléments d'un corps froid dont les mouvements ont moins de vitesse. C'est toujours du mouvement qui se transmet pour s'égaliser avec un autre mouvement et se mettre en équilibre avec lui.

Dans les perturbations d'équilibre que nous avons invoquées afin d'interpréter l'origine de l'énergie, la notion de quantité n'est pas intervenue encore. Peu importe la quantité de chaleur, d'électricité, de mouvement ou de pesanteur que les corps mis en présence possèdent. Ils n'agiront les uns sur les autres que si le mouvement, l'électricité, la chaleur dont ils sont chargés ont des tensions différentes. Qu'on mette 1 kilogramme ou 100 kilogrammes sur chacun des plateaux d'une balance, elle restera immobile tant qu'il n'y aura pas une différence entre les deux poids. Toutes les manifestations énergétiques subissent,

nous l'avons vu déjà, la même loi. Les corps mis en présence ne peuvent, je le répète, se céder quelque chose que si les énergies dont ils sont chargés sont à des tensions différentes.

Des différences de tension, et par conséquent d'équilibre, sont donc la condition première de toute manifestation d'énergie; mais la grandeur de cette énergie résulte des masses mises en jeu par les différences de tension. Il est évident qu'un poids de 100 kilogrammes, tombant de 100 mètres, possédera plus d'énergie qu'un poids de 1 kilogramme tombant de la même hauteur. La grandeur de l'énergie est toujours, comme nous l'avons expliqué, le produit de deux facteurs : la quantité et la tension, cette dernière représentant simplement une différence de niveau.

On voit, en définitive, que toutes les formes d'énergie sont des effets transitoires résultant de ruptures d'équilibre entre plusieurs grandeurs, qu'il s'agisse de poids, de chaleur, d'électricité, de vitesse, etc. C'est donc bien à tort qu'on parle de l'énergie comme d'une sorte d'entité ayant une existence réelle analogue à celle de la matière.

Les considérations que je viens d'exposer permettent d'imaginer un monde dont les physiciens accepteraient le second principe de la thermodynamique, mais rejetteraient le premier, c'est-à-dire celui de la conservation de l'énergie.

Supposons un univers à température invariable où la seule source connue d'énergie soit celle des chutes d'eau provenant de lacs immenses situés au sommet des montagnes, comme on en rencontre d'ailleurs dans diverses régions terrestres. Les savants de ce monde auraient sans doute découvert assez vite la possibilité de convertir en chaleur, lumière, électricité, etc., l'énergie de ces chutes d'eau; mais ils auraient constaté expérimentalement aussi qu'on ne pourrait, sans perte énorme, remonter l'eau à son niveau primitif, avec

les forces produites par son écoulement. Ils seraient amenés ainsi à croire que l'énergie est une chose qui s'use et se perd, et que celle de leur monde se trouvera épuisée quand toute l'eau des lacs sera descendue dans les plaines.

§ 2. — DE QUELS ÉLÉMENTS SE COMPOSE L'ENTITÉ
NOMMÉE ÉNERGIE.

On peut objecter à tout ce qui précède que ce n'est pas parce qu'une chose ne produit aucun effet qu'elle cesse d'exister. Un poids retenu par un fil est toujours un poids; de la chaleur n'agissant pas est néanmoins de la chaleur; une force annulée par l'action d'une autre n'en perd pas pour cela son existence. Mais, en réfléchissant aux phénomènes appelés chaleur, pesanteur, électricité, etc., on reconnaîtra qu'ils sont uniquement connus et mesurés comme perturbations d'équilibre et n'ont, en dehors de ces perturbations, aucune existence constatable par nos sens ou nos instruments. De la chaleur produit de l'énergie calorifique quand elle tombe d'une certaine hauteur, comme la tuile du toit d'une maison engendre de l'énergie cinétique par sa chute; mais la chaleur, qui ne change pas de niveau, n'est pas plus de l'énergie que la tuile fixée sur un toit. Sans doute, le soleil nous chauffe, et voilà une énergie qui semble bien indépendante et exister par elle-même. Et cependant, toute cette énergie résulte simplement d'une différence de température, c'est-à-dire d'équilibre entre les effets calorifiques des rayons envoyés par l'astre qui nous chauffe et les corps qui les reçoivent. Approchons aussi près que l'on voudra du soleil un corps ayant la même température que la sienne, et il n'y aura aucun échange possible de ce que nous appelons l'énergie calorifique.

Les physiciens raisonnent d'ailleurs exactement comme s'ils admettaient tout ce qui précède. Ils savent fort bien qu'il faut des dénivellations pour effectuer du travail, et qu'aucun travail ne peut se manifester, quand cette dénivellation a disparu ; mais comme il serait possible de produire un écoulement d'énergie avec une nouvelle dénivellation, ils disent alors que l'énergie qui ne se manifeste pas existe à l'état potentiel.

Toutes ces conceptions d'énergie potentielle, d'énergie inutilisable, d'énergie dégradée, etc., sont des conséquences d'une notion confuse d'après laquelle l'énergie serait une sorte de substance dont l'existence est aussi réelle que celle de la matière. Cette entité invisible, secret mobile des choses, circulerait sans cesse dans l'univers en se transformant constamment. Cette hypothèse était d'ailleurs nécessaire, quand on croyait la matière un agrégat d'éléments inertes, pouvant seulement restituer l'énergie reçue et incapable d'en créer. Il fallait donc bien quelque chose pour l'animer. C'est ce quelque chose qui constituait l'énergie.

Si cette entité mystérieuse était nécessaire à l'époque où il fallait imaginer une cause supérieure pour animer l'inerte matière, son existence est aujourd'hui sans objet. Au lieu de supposer une puissance inexplicquée circulant toujours à travers le monde sans s'épuiser jamais, nous disons :

A l'origine des choses s'est condensée dans la matière, sous forme de rotation de ses éléments, une quantité énorme, mais limitée cependant, de mouvement. Cette phase de concentration fut suivie d'une période de dépense des énergies accumulées sous forme de mouvement. C'est dans cette phase que le soleil et les astres analogues sont entrés maintenant. La désintégration de leurs atomes est l'origine de toutes les forces naturelles utilisées aujourd'hui.

Ces atomes forment un réservoir immense, mais qui s'épuisera fatalement. Alors ce que nous appelons l'énergie aura, comme la matière, disparu pour toujours.

En raisonnant ainsi, nous faisons seulement appel à des phénomènes concevables. Nous supposons simplement une provision limitée de mouvement emmagasiné dans la matière au moment de sa formation et produisant, quand cette dernière se désagrège, des énergies diverses n'ayant d'existence que pendant un instant.

Pour justifier cette hypothèse, nous allons entrer dans quelques détails sur les origines possibles de la matière et sur l'évolution de notre univers.

CHAPITRE III

L'évolution cosmique. Origines de la matière et des forces de l'univers.

§ I. — LES ORIGINES DE LA MATIÈRE

L'origine des choses et leur fin font partie des grands mystères de l'univers qui firent dépenser aux religions, aux philosophies et à la science le plus de méditations et d'efforts. Ces mystères paraissant insondables, beaucoup de penseurs se détournent d'eux ; mais l'esprit humain ne s'est jamais résigné à ignorer, il invente des chimères quand on lui refuse des explications et ces chimères deviennent bientôt ses maîtres.

La science n'a pas encore allumé les flambeaux capables d'illuminer les ténèbres qui enveloppent notre passé et voilent l'avenir. Elle peut cependant projeter quelques lueurs dans cette nuit profonde.

Si tout dérive de l'éther et y retourne ensuite, on doit se demander d'abord comment une substance aussi immatérielle se transforme en corps lourds et rigides, tels qu'un rocher ou un bloc de métal.

Les idées que nous avons exposées sur la structure de la matière permettent de le comprendre un peu et d'en déduire la théorie suivante :

Les corps sont constitués par une réunion d'atomes composés chacun d'un agrégat de particules en rotation, probablement formées de tourbillons d'éther. Par suite de leur vitesse, ces particules possèdent une énergie cinétique énorme. Suivant la façon dont leurs équilibres sont troublés, elles engendrent des forces diverses : lumière, chaleur, électricité, etc.

Il est probable que la matière doit uniquement sa rigidité à la rapidité du mouvement de rotation

de ses éléments et que, si ce mouvement s'arrêtait, elle s'évanouirait instantanément dans l'éther, sans rien laisser derrière elle. Des tourbillons gazeux, animés d'une vitesse de rotation de l'ordre de celle des rayons cathodiques, deviendraient vraisemblablement aussi durs que l'acier. Cette expérience n'est pas réalisable, mais nous pouvons pressentir ses résultats en constatant la rigidité apparente considérable acquise par un fluide animé d'une grande vitesse.

Des expériences faites dans des usines hydro-électriques ont montré qu'une colonne liquide de 2 centimètres seulement de diamètre, tombant à travers un tube d'une hauteur de 500 mètres, ne peut être entamée par un coup de sabre lancé avec violence. L'arme est arrêtée, à la surface du liquide, comme elle le serait par un mur. Il est probable que si la vitesse de la colonne liquide était suffisante, un boulet de canon ne la traverserait pas. Une lame d'eau de quelques centimètres d'épaisseur, animée d'une vitesse assez grande, resterait aussi impénétrable aux obus que le mur d'acier d'un cuirassé.

La rigidité croissant avec la vitesse, il suffit de donner au corps le plus mou une vitesse suffisante pour qu'il pénètre dans le corps le plus dur. Un disque de fer mou coupe très facilement des barres d'acier très dur si on lui donne une vitesse de rotation suffisante. Cette propriété est utilisée aujourd'hui dans beaucoup d'usines.

Ce qui précède permet de comprendre que des tourbillons d'éther puissent acquérir une rigidité extrême par le fait seul de leur vitesse. Des tourbillons gazeux pourraient acquérir ainsi la rigidité du diamant.

Ceci nous explique comment l'éther immatériel, transformé en petits tourbillons animés d'une vitesse suffisante, devient très matériel. On comprend aussi que, si ces mouvements tourbillonnaires étaient arrêtés, la matière s'évanouirait instantanément en

retournant à l'éther. L'immatériel, c'est-à-dire ce qui ne se pèse pas, peut donc engendrer le matériel, c'est-à-dire ce qui se pèse, par le fait seul qu'intervient la vitesse. Dès qu'elle disparaît, le matériel retourne à l'immatériel.

La matière, qui semble nous donner l'image de la stabilité et du repos, n'existe donc que grâce à la rapidité des mouvements de rotation de ses particules. La matière, c'est de la vitesse, et comme une substance animée de vitesse est aussi de l'énergie, il faut considérer la matière comme une forme particulière de l'énergie.

La vitesse étant une des conditions fondamentales de l'existence de la matière, on peut dire que cette dernière est née le jour où les tourbillons d'éther ont acquis, par suite de leur condensation croissante, une rapidité suffisante pour posséder de la rigidité. Elle vieillit lorsque la vitesse de ses éléments se ralentit. Elle cessera d'exister dès que ses particules perdront leurs mouvements.

Nous sommes amenés ainsi à cette première notion essentielle : Des particules d'une substance quelconque, si ténues qu'on les suppose, prennent, par le seul fait de leur vitesse, une rigidité très grande et se transforment en matière. Recherchons maintenant comment, avec ces deux éléments : particules d'éther et vitesse, il est possible d'interpréter la genèse d'un univers.

§ 2. — LA FORMATION D'UN SYSTÈME SOLAIRE

La première théorie scientifique sur l'origine du monde fut, comme on le sait, formulée par Kant et développée par Laplace. Suivant ce dernier, notre système solaire, avec son cortège de planètes, dériverait d'une nébuleuse primitive analogue à celles observées dans l'espace. Agglomérée sous l'influence de la gravitation, qui serait ainsi la force primitive, elle a formé un globe central animé d'un mouvement

de rotation dont les particules, s'attirant constamment, se sont de plus en plus rapprochées.

En raison de sa rapidité croissante de rotation, consécutive à la condensation, ce premier noyau du soleil s'est aplati et, à un certain moment, se détachèrent de lui, par suite de la force centrifuge, des anneaux analogues à ceux existant autour de Saturne.

Continuant leur mouvement de rotation, ces anneaux finirent, toujours sous l'influence de la force centrifuge, par se rompre en fragments. De ces fragments projetés dans l'espace, naquirent les planètes tournant autour du soleil. Incandescentes d'abord, comme ce dernier, mais refroidies plus vite en raison de leur faible volume, elles sont enfin devenues habitables pour des êtres vivants.

Laplace arrêta ses investigations à la planète refroidie et ne s'occupa ni des éléments qui la formaient ni de ceux pouvant entrer dans la constitution des autres systèmes solaires.

Il est possible aujourd'hui d'aller plus loin et d'appliquer aux atomes les lois qui semblent avoir présidé à la naissance et à la formation de notre univers.

On admet maintenant que les atomes sont formés de nombreuses particules tournant autour d'une ou plusieurs masses centrales avec une vitesse de l'ordre de celle de la lumière. L'atome peut donc être comparé à un soleil entouré de son cortège de planètes. Sa petitesse ne saurait empêcher une telle comparaison. Pour une immensité sans limites, l'extrême petitesse ne diffère pas beaucoup de l'extrême grandeur. Des êtres suffisamment petits considéreraient le système planétaire formé par les éléments d'un atome comme aussi important que le sont pour nous les astres gigantesques dont l'astronomie observe la marche.

Dans l'étude de l'évolution des mondes, il est facile d'aller, comme nous le disions à l'instant, beaucoup plus loin que ne le faisait Laplace.

Personne ne pouvait soupçonner à son époque que l'analyse spectrale ferait connaître la composition du soleil et y révélerait des éléments identiques à ceux de notre globe, preuve évidente que le second dérivait du premier.

Cette analyse permet, en outre, de suivre la genèse des éléments dont se composent les divers univers. La variation des spectres stellaires dans le rouge et l'ultra-violet indiqua la température des étoiles, par conséquent leur âge relatif, et les raies spectrales firent connaître leur composition. On a ainsi déterminé les corps apparaissant dans les astres avec les variations de température correspondant à des phases diverses d'évolution. Dans les étoiles les moins anciennes, c'est-à-dire les plus chaudes, n'existent guère que des gaz peu nombreux, l'hydrogène principalement; puis, à mesure que ces astres se refroidissent, apparaissent successivement les corps simples que nous connaissons, en commençant par ceux dont le poids atomique est le moins élevé.

Depuis que l'astronomie sait fixer par la photographie l'image des étoiles, elle en a découvert un nombre beaucoup plus grand qu'on le croyait. Elle évalue aujourd'hui à plus de 400 millions, sans parler naturellement de ceux invisibles et par conséquent inconnus, le nombre d'astres : étoiles, planètes, nébuleuses existant au firmament. L'analyse spectrale les montre à des âges très divers d'évolution. Leur passé doit être d'une effrayante longueur. Les géologues évaluent à plusieurs centaines de millions d'années l'existence de notre planète.

Pendant ces entassements de siècles ignorés par l'histoire, les millions d'astres dont l'espace est peuplé ont dû commencer ou terminer des cycles d'évolution analogues à celui parcouru par notre globe aujourd'hui. Des mondes peuplés comme le nôtre, couverts de cités florissantes remplies des merveilles de la science

et des arts, ont dû sortir de la nuit éternelle et y rentrer sans rien laisser derrière eux. Les pâles nébuleuses aux formes incertaines représentent peut-être les derniers vestiges de mondes qui vont s'évanouir dans le néant ou devenir les noyaux d'un nouvel univers.

Comment les mondes peuvent-ils subir la phase d'évolution descendante succédant à la phase d'évolution ascendante sommairement indiquée dans ce chapitre ? C'est ce que nous étudierons bientôt.

Nous retiendrons surtout de ce qui précède que les transformations révélées par l'observation des astres indiquent la marche générale de l'évolution des mondes. Elle est toujours enfermée dans ce cycle fatal des choses : naître, grandir, décliner et mourir.

Qu'il s'agisse de la transformation des mondes ou de celle des êtres vivant à leur surface, la lenteur est toujours la loi de l'évolution. Pour arriver à former des êtres doués de la petite dose d'intelligence possédée par l'homme, la nature a fait évoluer pendant des milliers de siècles les formes animales qui l'ont précédé. Ses transformations ne se réalisent qu'au prix de très lents efforts. Elle ne saurait pas créer un monde en sept jours, comme les dieux des anciennes légendes. Si des divinités puissantes règnent quelque part, ce ne sont pas des divinités souveraines, puisque le temps les domine et qu'elles ne peuvent rien sans lui.

§ 3. — LES ÉNERGIES MOLÉCULAIRES ET INTRA-ATOMIQUES.

Il faut, pour éviter toute confusion dans ce qui va suivre, séparer nettement d'abord les énergies moléculaires des énergies intra-atomiques, bien qu'il y ait probablement d'étroites relations entre elles.

Les énergies moléculaires sont les seules connues

de la science jusqu'ici. Elles engendrent la cohésion, l'affinité, les combinaisons et les décompositions chimiques. Les manifestations de l'énergie intra-atomique les accompagnent parfois, comme dans les phénomènes d'incandescence; mais elles échappaient jadis aux investigations.

C'est uniquement aux énergies moléculaires qu'ont été appliquées les lois de la thermodynamique et de la thermochimie. Elles se ramènent toujours à ceci : un corps matériel ne peut émettre d'autre énergie que celle qu'il a reçue d'abord.

Les forces se manifestant au cours des opérations chimiques et industrielles représentent simplement des restitutions ou des déplacements d'énergie, et l'on conçoit que, dans de telles conditions, la quantité de cette dernière reste invariable. Ces opérations sont identiques à celle effectuée par l'introduction dans des réservoirs de formes variées d'une certaine quantité d'eau que contenait un autre réservoir. Cette substitution ne change naturellement pas le poids du liquide.

La science avait donc uniquement examiné ces énergies intra-moléculaires, dont on peut charger les corps. Leur étude conduisait à considérer la matière comme très distincte de l'énergie et lui servant simplement de support. La matière chauffée ou électrisée pouvait bien absorber de l'énergie, mais elle restituait ensuite cette énergie d'emprunt comme une éponge restitue l'eau qu'elle a absorbée, sans jamais en accroître la quantité.

La matière n'étant que le support de l'énergie, on semblait parfaitement fondé à établir une différence profonde et supposée, à jamais irréductible, entre la matière et l'énergie.

4. — L'ÉNERGIE INTRA-ATOMIQUE COMME SOURCE DES FORCES DE L'UNIVERS.

Les lecteurs de notre dernier ouvrage savent comment nous avons cherché à faire disparaître la grande dualité qui précède en montrant que la matière, loin de ne pouvoir restituer que l'énergie empruntée au dehors, est, au contraire, un colossal réservoir de forces. Elle n'est même qu'une forme particulière d'énergie, caractérisée par sa fixité relative et sa concentration, en quantité immense sous un faible volume. L'énergie accumulée dans 1 gramme de métal en représente autant que pourrait en produire la combustion de 3 millions environ de kilogrammes de charbon, d'une valeur marchande de près de 70.000 francs. Nous avons enfin montré que cette énergie intra-atomique était la source de la chaleur solaire, de l'électricité et de la plupart des forces de l'univers.

L'énergie intra-atomique est d'ailleurs très stable, autrement le monde se serait évanoui depuis longtemps. Elle est même si stable que les chimistes avaient considéré l'agrégat d'énergie nommé matière comme absolument indestructible.

Nous avons appris aujourd'hui à dissocier la matière, mais seulement en quantité extrêmement faible. Il est cependant permis d'espérer que la science de l'avenir trouvera le moyen de la désagréger plus complètement. Elle aura alors à sa disposition une source immense de forces. J'ai montré dans mon précédent ouvrage que, par des moyens fort simples, on pouvait obliger des corps très stables à devenir, à surface égale, quarante fois plus radio-actifs que des substances spontanément dissociables, telles que l'uranium.

L'étude de l'énergie intra-atomique, encore à ses

débuts, nous a fait pénétrer dans un monde entièrement nouveau, où ne sont plus applicables les anciennes lois de la chimie et de la physique. Une des différences importantes est la suivante.

Dans le maniement des énergies intra-moléculaires, on ne peut retirer d'un système matériel isolé qu'une quantité d'énergie tout au plus égale et jamais supérieure à celle d'abord fournie. Dans les manifestations de l'énergie intra-atomique, le contraire s'observe. La matière libère spontanément de grandes quantités d'énergie, soit sans aucun apport du dehors, comme on l'observe avec les corps très radio-actifs, tels que l'uranium et le radium, soit par des influences aussi faibles qu'un rayon de lumière. Avec une quantité d'énergie très minime, on peut donc en produire une quantité considérable, contrairement à des principes considérés comme indestructibles.

En recherchant dans notre précédent ouvrage les causes de la chaleur solaire et de l'incandescence des astres qui rayonnent dans la nuit, j'ai montré qu'une énergie intra-atomique plus grande qu'elle ne l'est sur les globes refroidis devait suffire à l'entretien de leur température.

Etudiant ensuite les propriétés des émissions qui se dégagent des pôles isolés d'une machine électrique, j'ai montré leur identité avec les produits de la dissociation des corps radio-actifs. L'électricité pouvait donc être considérée comme une des manifestations de l'énergie intra-atomique.

Et c'est ainsi que son rôle, si insoupçonné il y a quelques années dans les phénomènes naturels, m'est apparu comme tout à fait prépondérant.

Notre soleil, dans la phase du monde où il est entré, ne fait que dépenser les énergies accumulées par ses atomes pendant une phase de concentration antérieure.

Cette dissociation de la provision d'énergie intra-

atomique concentrée dans la matière dès le commencement des choses, explique l'origine des forces de l'univers. Aux époques lointaines du chaos de notre système solaire, dont les nébuleuses montrent une confuse image, l'éther s'est lentement condensé. Ses tourbillons localisés, formant probablement les éléments primitifs de la matière, ont accumulé par la vitesse croissante de leur rotation l'énergie intra-atomique dont nous constatons l'existence. A la phase de condensation a succédé plus tard une phase de dissociation. Notre univers est entré dans un nouveau cycle, l'énergie lentement accumulée dans l'atome a commencé de se dégager par suite de sa dissociation. La chaleur solaire, d'où dérivent la plupart des énergies que nous utilisons, représente une des plus importantes manifestations de cette dissociation.

Bien que la provision d'énergie intra-atomique de la matière soit immense, elle n'est pas infinie, et, par conséquent, son émission ne pourra continuer toujours. Les planètes entourant les astres incandescents se sont refroidies parce qu'elle s'est réduite. Le soleil, lui aussi, subira la même loi. Quand son énergie intra-atomique aura été dissipée, il cessera d'éclairer les planètes et la terre deviendra inhabitable, à moins que la science ne trouve le moyen de libérer facilement la quantité immense d'énergie intra-atomique encore contenue dans la matière.

Mais alors même qu'elle y réussirait, l'anéantissement final n'en serait pas moins inévitable, puisque la provision d'énergie intra-atomique est limitée.

Ainsi donc le soleil, générateur de la plupart des énergies terrestres, ne fait que dépenser les forces lentement accumulées par la matière à l'époque où, dans les nuages primitifs d'éther, les atomes emma-

gasinèrent les énergies qu'ils devaient restituer un jour.

Comment l'énergie intra-atomique, source de la chaleur solaire, de l'électricité et de la plupart des forces de l'univers, peut-elle se dissocier et se perdre ? Nous allons le rechercher maintenant.

CHAPITRE IV

L'évanouissement de l'énergie et la fin de notre univers.

§ I. — LA VIEILLESSE DES ATOMES ET L'ÉVANOUISSEMENT DES FORCES.

Nous venons de voir que l'énergie intra-atomique était une grandeur limitée qui se réduit chaque jour. Comment peut-elle se perdre ?

Ayant déjà traité cette question dans notre dernier ouvrage, nous résumerons simplement ce que nous y avons expliqué.

Dire comment s'évanouit la matière, c'était montrer comment disparaissent les forces, puisque la matière est une forme d'énergie spéciale différant seulement des autres par sa fixité relative et sa concentration très grande sous un faible volume.

Un des produits les plus constants de la dissociation de la matière est la particule dite électrique, dépourvue, d'après les dernières recherches, de tout support matériel, et considérée comme constituée uniquement par un tourbillon d'éther.

Les expériences précédemment relatées prouvent que ces particules émettent des lignes de force et s'accompagnent toujours dans leurs diverses manifestations de ces vibrations de l'éther dites ondes hert-

ziennes, chaleur rayonnante, lumière visible, lumière ultra-violette invisible, etc.

Ces vibrations représentent pour nous la phase d'évanouissement des éléments de l'atome et des énergies dont ils sont le siège.

Comment les tourbillons d'éther et les énergies engendrées par eux perdent-ils leur individualité pour s'évanouir dans l'éther? La question se ramène à celle-ci : Comment un tourbillon formé au sein d'un fluide peut-il disparaître dans ce fluide en y produisant des vibrations?

Sous cet aspect, la solution du problème est assez simple. On voit facilement, en effet, comment un tourbillon engendré aux dépens d'un liquide peut, lorsque son équilibre est troublé, s'évanouir, malgré sa rigidité théorique, en rayonnant son énergie sous forme de vibrations du milieu où il est plongé. C'est de cette façon, par exemple, qu'une trombe marine formée d'un tourbillon liquide perd son existence et disparaît dans l'Océan.

De la même manière, sans doute, les tourbillons d'éther constituant les éléments des atomes peuvent se transformer en vibrations de l'éther. Celles-ci représentent le terme ultime de la dématérialisation de la matière et de sa transformation en énergie avant son anéantissement final.

Ainsi donc lorsque les atomes ont rayonné toute leur énergie sous forme de vibrations lumineuses, calorifiques ou autres, ils retournent, par le fait même des rayonnements consécutifs à leur dissociation, à l'éther primitif d'où ils dérivent. La matière et l'énergie sont alors rentrées dans le néant des choses, comme la vague dans l'Océan.

Les défenseurs du postulat de la conservation de l'énergie répondront évidemment à ce qui précède que l'énergie étant par définition supposée indestructible, n'est pas perdue en s'évanouissant dans l'éther et

reste à l'état potentiel, noyée dans son immensité. Ainsi envisagée, la théorie de la conservation de l'énergie représente visiblement une conception invérifiable, créée surtout par notre besoin de croire qu'il existe dans l'univers quelque chose d'immortel. Ne voulant pas consentir à n'être qu'un éclair dans l'infini, nous rêvons d'un mouvement qui durerait toujours.

Mais, alors même que, suivant cette dernière hypothèse, l'énergie continuerait à circuler sous une forme quelconque dans l'espace, elle se trouverait rejetée hors de la sphère de notre univers et n'en ferait plus partie. L'énergie de ce dernier serait donc évanouie. C'est à ce point, d'ailleurs fondamental, que se limite notre démonstration.

Il ne semble pas très compréhensible au premier abord que les mondes qui paraissent de plus en plus stables à mesure qu'ils se refroidissent puissent devenir instables au point de se dissocier ensuite entièrement. Pour expliquer ce phénomène, nous allons rechercher si des observations astronomiques ne permettent pas d'être témoins d'une telle dissociation.

On sait que la stabilité d'un corps en mouvement, tel qu'une toupie ou une bicyclette, cesse d'être possible quand sa vitesse de rotation descend au-dessous d'une certaine limite. Aussitôt cette limite atteinte, il perd sa stabilité et tombe sur le sol. J.-J. Thomson interprète même de cette façon la radio-activité et fait remarquer que quand la vitesse de rotation des éléments composant les atomes descend au-dessous d'une certaine limite, ils deviennent instables et tendent à perdre leur équilibre. Il en résulterait un commencement de dissociation, avec diminution de leur énergie potentielle et accroissement correspondant de leur énergie cinétique suffisant pour lancer dans l'espace les produits de la désagrégation intra-atomique.

Il ne faut pas oublier que l'atome, réservoir énorme d'énergie, est, par ce fait même, comparable aux corps explosifs. Ces derniers restent inertes tant que leurs équilibres intérieurs ne sont pas troublés. Dès qu'une cause quelconque les modifie, ils font explosion et brisent tout ce qui les entoure, après s'être brisés eux-mêmes.

Donc, les atomes qui vieillissent par suite de la diminution d'une partie de leur énergie intra-atomique perdent graduellement leur stabilité. Un moment arrive alors où cette stabilité est si faible que la matière disparaît par une sorte d'explosion plus ou moins rapide. Les corps de la famille du radium offrent une image de ce phénomène, image d'ailleurs très affaiblie parce que les atomes de ces corps sont seulement arrivés à une période d'instabilité où la dissociation est assez lente. Elle en précède probablement une autre, plus rapide, capable de produire leur explosion finale. Des corps tels que le radium, le thorium, etc., représentent sans doute un état de vieillesse auquel tous les corps arriveront un jour et qu'ils commencent déjà à manifester dans notre univers, puisque toute matière est légèrement radio-active. Il suffirait que la dissociation fût assez générale et assez rapide pour produire l'explosion du monde ou elle se manifesterait.

Ces considérations théoriques trouvent un solide appui dans les apparitions et disparitions brusques d'étoiles. Les explosions d'un monde qui les produit nous révèlent peut-être comment périssent les univers quand ils viennent à vieillir.

Les observations astronomiques montrant la fréquence relative de ces destructions, on peut se demander si la fin des univers par explosion, après une longue phase de vieillesse, ne serait pas leur terminaison la plus générale. Ces brusques anéantissemments