LES RELATIONS ENTRE LA PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE ET LA PHYSIQUE MATHÉMATIQUE

I. — Rôle de l'expérience et de la généralisation.

L'expérience est la source unique de la vérité : elle seule peut nous apprendre quelque chose de nouveau; elle seule peut nous donner la certitude. Voilà deux points que nul ne peut contester.

Mais alors, si l'expérience est tout, quelle place restera-t-il pour la Physique mathématique? Qu'est-ce que la Physique expérimentale a à faire d'un tel auxiliaire qui semble inutile et peut-être même dangereux?

Et pourtant la Physique mathématique existe; elle a rendu des services indéniables; il y a là un fait qu'il est nécessaire d'expliquer.

C'est qu'il ne suffit pas d'observer : il faut se servir de ses observations, et pour cela il faut généraliser. C'est ce que l'on a fait de tout temps; seulement, comme le souvenir des erreurs passées a rendu l'homme de plus en plus circonspect, on a observé de plus en plus et généralisé de moins en moins.

Chaque siècle se moquait du précédent, l'accusant d'avoir généralisé trop vite et trop naïvement. Descartes avait pitié des Ioniens; Descartes à son tour nous fait sourire; sans aucun doute nos fils riront de nous quelque jour.

Mais alors ne pouvons-nous aller tout de suite jusqu'au bout? N'est-ce pas le moyen d'échapper à ces railleries que nous prévoyons? Ne pouvons-nous nous contenter de l'expérience toute nue?

Non, cela est impossible; ce serait méconnaître complètement le véritable caractère de la Science. Le savant doit ordonner; on fait la Science avec des faits comme une maison avec des pierres; mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison.

Et avant tout, le savant doit prévoir. Carlyle a écrit quelque part quelque chose comme ceci : « Le fait seul importe : Jean sans Terre a passé par ici, voilà ce qui est admirable, voilà une réalité pour laquelle je donnerais toutes les théories du monde ». Carlyle était un compatriote de Bacon; comme lui, il tenait à proclamer son culte *for the God of Things as they are*, mais Bacon n'aurait pas dit cela. C'est là le langage de l'historien. Le physicien dirait plutôt : « Jean sans Terre a passé par ici; cela m'est bien égal, puisqu'il n'y repassera plus ».

Nous savons tous qu'il y a de bonnes expériences et qu'il y en a de mauvaises. Celles-ci s'accumuleront en vain; qu'on en ait fait cent, qu'on en ait fait mille, un seul travail d'un vrai maître, d'un Pasteur par exemple, suffira pour les faire tomber dans l'oubli. Bacon aurait bien compris cela : c'est lui qui a inventé le mot *experimentum crucis*. Mais Carlyle ne devait pas le comprendre. Un fait est un fait; un écolier a lu tel nombre sur son thermomètre, il n'avait pris aucune précaution; n'importe, il l'a lu, et s'il n'y a que le fait qui compte, c'est là une réalité au même titre que les pérégrinations du roi Jean sans Terre. Qu'est-ce donc qu'une bonne expérience? C'est celle qui nous fait connaître autre chose qu'un fait isolé; c'est celle qui nous permet de prévoir, c'est-à-dire celle qui nous permet de généraliser.

Car sans généralisation, la prévision est impossible. Les circonstances où l'on a opéré ne se reproduiront jamais toutes à la fois. Le fait observé ne recommencera donc jamais; la seule chose que l'on puisse affirmer, c'est que, dans des circonstances analogues, un fait analogue se produira. Pour prévoir il faut donc au moins invoquer l'analogie, c'est-à-dire déjà généraliser.

Si timide que l'on soit, il faut bien que l'on interpole; l'expérience ne nous donne qu'un certain nombre de points isolés, il faut les réunir par un trait continu : c'est là une véritable généralisation. Mais on fait plus : la courbe que l'on tracera passera entre les points observés et près de ces points; elle ne passera pas par ces points eux-mêmes. Ainsi on ne se borne pas à généraliser l'expérience, on la corrige; et le physicien qui voudrait s'abstenir de ces corrections et se contenter vraiment de l'expérience toute nue serait forcé d'énoncer des lois bien extraordinaires.

Les faits tout nus ne sauraient donc nous suffire; c'est pourquoi il nous faut la Science ordonnée ou plutôt organisée.

On dit souvent qu'il faut expérimenter sans idée préconçue. Cela n'est pas possible; non seulement ce serait rendre toute expérience stérile, mais on le voudrait qu'on ne le pourrait pas. Chacun porte en soi sa conception du monde dont il ne peut se défaire si aisément. Il faut bien, par exemple, que nous nous servions du langage, et notre langage n'est pétri que d'idées préconçues et ne peut l'être

d'autre chose. Seulement ce sont des idées préconçues inconscientes, mille fois plus dangereuses que les autres.

Dirons-nous que si nous en faisons intervenir d'autres, dont nous aurons pleine conscience, nous ne ferons qu'aggraver le mal? Je ne le crois pas; j'estime plutôt qu'elles se serviront mutuellement de contrepoids, j'allais dire d'antidote; elles s'accorderont généralement mal entre elles; elles entreront en conflit les unes avec les autres et, par là, elles nous forceront à envisager les choses sous différents aspects. C'est assez pour nous affranchir; on n'est plus esclave quand on peut choisir son maître.

Ainsi, grâce à la généralisation, chaque fait observé nous en fait prévoir un grand nombre; seulement nous ne devons pas oublier que le premier seul est certain, que tous les autres ne sont que probables. Si solidement assise que puisse nous paraître une prévision, nous ne sommes jamais sûrs *absolument* que l'expérience ne la démentira pas, si nous entreprenons de la vérifier. Mais la probabilité est souvent assez grande pour que, pratiquement, nous puissions nous en contenter. Mieux vaut prévoir sans certitude que de ne pas prévoir du tout.

On ne doit donc jamais dédaigner de faire une vérification, quand l'occasion s'en présente. Mais toute expérience est longue et difficile; les travailleurs sont peu nombreux, et le nombre des faits que nous avons besoin de prévoir est immense; auprès de cette masse, le nombre des vérifications directes que nous pourrons faire ne sera jamais qu'une quantité négligeable.

De ce peu que nous pouvons directement atteindre, il faut tirer le meilleur parti; il faut que chaque expérience nous permette le plus grand nombre possible de prévisions et avec le plus haut degré de probabilité qu'il se pourra. Le problème est pour ainsi dire d'augmenter le rendement de la machine scientifique.

Qu'on me permette de comparer la Science à une bibliothèque qui doit s'accroître sans cesse; le bibliothécaire ne dispose pour ses achats que de crédits insuffisants; il doit s'efforcer de ne pas les gaspiller.

C'est la Physique expérimentale qui est chargée des achats; elle seule peut donc enrichir la bibliothèque.

Quant à la Physique mathématique, elle aura pour mission de dresser le catalogue. Si ce catalogue est bien fait, la bibliothèque n'en sera pas plus riche. Mais il pourra aider le lecteur à se servir de ses richesses.

Et même en montrant au bibliothécaire les lacunes de ses collections, il lui permettra de faire de ses crédits un emploi judicieux, ce qui est d'autant plus important que ces crédits sont tout à fait insuffisants.

Tel est donc le rôle de la Physique mathématique; elle doit guider la généralisation de façon à augmenter ce que j'appelais tout à l'heure le rendement de la Science. Par quels moyens y parvient-elle, et comment peut-elle le faire sans danger, c'est ce qu'il nous reste à examiner.

II. — L'unité de la Nature.

Observons d'abord que toute généralisation suppose, dans une certaine mesure, la croyance à l'unité et à la simplicité de la Nature. Pour l'unité, il ne peut pas y avoir de difficulté. Si les diverses parties de l'univers n'étaient pas comme les organes d'un même corps, elle n'agiraient pas les unes sur les autres, elle s'ignoreraient mutuellement; et nous, en particulier, nous n'en connaîtrions qu'une seule. Nous n'avons donc pas à nous demander si la Nature est une, mais comment elle est une.

Pour le second point, cela ne va pas si aisément. Il n'est pas sûr que la Nature soit simple. Pouvons-nous sans danger faire comme si elle l'était?

Il fut un temps où la simplicité de la loi de Mariotte était un argument invoqué en faveur de son exactitude; où Fresnel lui-même, après avoir dit, dans une conversation avec Laplace, que la Nature ne se soucie pas des difficultés analytiques, se croyait obligé de donner des explications pour ne pas trop heurter l'opinion régnante.

Aujourd'hui les idées ont bien changé; et cependant ceux qui ne croient pas que les lois naturelles doivent être simples sont encore obligés souvent de faire comme s'ils le croyaient. Ils ne pourraient se soustraire entièrement à cette nécessité sans rendre impossible toute généralisation et par conséquent toute science.

Il est clair qu'un fait quelconque peut se généraliser d'une infinité de manières, et il s'agit de choisir; le choix ne peut être guidé que par des considérations de simplicité. Prenons le cas le plus banal, celui de l'interpolation. Nous faisons passer un trait continu, aussi régulier que possible, entre les points donnés par l'observation. Pourquoi évitons-nous les points anguleux, les inflexions trop brusques? pourquoi ne faisons-nous pas décrire à notre courbe les zigzags les plus capricieux? C'est parce que nous savons d'avance, ou que nous croyons savoir, que la loi à exprimer ne peut pas être si compliquée que cela.

On peut déduire la masse de Jupiter, soit des mouvements de ses satellites, soit des perturbations des grosses planètes, soit de celles des petites planètes. Si l'on prend la moyenne des détermina-

tions obtenues par ces trois méthodes, on trouve trois nombres très voisins, mais différents. On pourrait interpréter ce résultat en supposant que le coefficient de la gravitation n'est pas le même dans les trois cas : les observations seraient certainement beaucoup mieux représentées. Pourquoi rejetons-nous cette interprétation? Ce n'est pas qu'elle soit absurde, c'est qu'elle est inutilement compliquée. On ne l'acceptera que le jour où elle s'imposera, et elle ne s'impose pas encore.

En résumé, le plus souvent, toute loi est réputée simple jusqu'à preuve du contraire.

Cette habitude est imposée aux physiciens par les raisons que je viens d'expliquer; mais comment la justifier en présence des découvertes qui nous montrent chaque jour de nouveaux détails plus riches et plus complexes? Comment même la concilier avec le sentiment de l'unité de la Nature? car si tout dépend de tout, des rapports où interviennent tant d'objets divers ne peuvent plus être simples.

Si nous étudions l'histoire de la Science, nous voyons se produire deux phénomènes pour ainsi dire inverses : tantôt c'est la simplicité qui se cache sous des apparences complexes, tantôt c'est au contraire la simplicité qui est apparente et qui dissimule des réalités extrêmement compliquées.

Quoi de plus compliqué que les mouvements troublés des planètes, quoi de plus simple que la loi de Newton? Là, la Nature, se jouant, comme disait Fresnel, des difficultés analytiques, n'emploie que des moyens simples et engendre, par leur combinaison, je ne sais quel écheveau inextricable. C'est là la simplicité cachée, celle qu'il faut découvrir.

Les exemples du contraire abondent. Dans la théorie cinétique des gaz, on envisage des molécules animées de grandes vitesses, dont les trajectoires, déformées par des chocs incessants, ont les formes les plus capricieuses, et sillonnent l'espace dans tous les sens. Le résultat observable est la loi simple de Mariotte; chaque fait individuel était compliqué; la loi des grands nombres a rétabli la simplicité dans la moyenne. Ici, la simplicité n'est qu'apparente, et la grossièreté de nos sens nous empêche seule d'apercevoir la complexité.

Bien des phénomènes obéissent à une loi de proportionnalité; mais pourquoi? Parce que dans ces phénomènes il y a quelque chose qui est très petit. La loi simple observée n'est alors qu'une traduction de cette règle analytique générale, d'après laquelle l'accroissement infiniment petit d'une fonction est proportionnel à l'accroissement de la variable. Comme en réalité nos accroissements ne sont pas infiniment petits, mais très petits, la loi de proportionnalité n'est qu'apparente. Ce que je viens de dire s'applique à la règle de la superposition des petits mouvements, dont l'emploi est si fécond et qui est le fondement de l'Optique.

Et la loi de Newton elle-même? Sa simplicité, si longtemps cachée, n'est peut-être qu'apparente. Qui sait si elle n'est pas due à quelque mécanisme compliqué, au choc de quelque matière subtile animée de mouvements irréguliers, et si elle n'est devenue simple que par le jeu des moyennes et des grands nombres? En tout cas, il est difficile de ne pas supposer que la loi véritable contient des termes complémentaires, qui deviendraient sensibles aux petites distances. Si, en Astronomie, ils sont négligeables devant celui de Newton et si la loi retrouve ainsi sa simplicité, ce serait uniquement à cause de l'énormité des distances célestes.

Sans doute, si nos moyens d'investigation devenaient de plus en plus pénétrants, nous découvririons le simple sous le complexe, puis le complexe sous le simple, puis de nouveau le simple sous le complexe, et ainsi de suite, sans que nous puissions prévoir quel sera le dernier terme.

Il faut bien s'arrêter quelque part, et, pour que la Science soit possible, il faut s'arrêter quand on a trouvé la simplicité. C'est là le seul terrain sur lequel nous pourrons élever l'édifice de nos généralisations. Mais, cette simplicité n'étant qu'apparente, ce terrain sera-t-il assez solide? C'est ce qu'il convient de rechercher.

Pour cela, voyons quel rôle joue dans nos généralisations la croyance à la simplicité. Nous avons vérifié une loi simple dans un assez grand nombre de cas particuliers; nous nous refusons à admettre que cette rencontre, si souvent répétée, soit un simple effet du hasard et nous en concluons que la loi doit être vraie dans le cas général.

Képler remarque que les positions d'une planète observées par Tycho sont toutes sur une même ellipse. Il n'a pas un seul instant la pensée que, par un jeu singulier du hasard, Tycho n'a jamais regardé le ciel qu'au moment où la trajectoire véritable de la planète venait couper cette ellipse.

Qu'importe alors que la simplicité soit réelle, ou qu'elle recouvre une vérité complexe? Qu'elle soit due à l'influence des grands nombres, qui nivelle les différences individuelles, qu'elle soit due à la grandeur ou à la petitesse de certaines quantités, qui permet de négliger certains termes, dans tous les cas, elle n'est pas due au hasard. Cette simplicité, réelle ou apparente, a toujours une cause. Nous pourrons donc toujours faire le même raisonnement, et si une loi simple a été observée dans plusieurs cas particuliers, nous pourrons légitimement supposer qu'elle sera encore vraie dans les cas analogues. Nous y refuser serait attribuer au hasard un rôle inadmissible.

Cependant il y a une différence. Si la simplicité était réelle et profonde, elle résisterait à la précision croissante de nos moyens de mesure; si donc nous croyons la nature profondément simple, nous devrions conclure d'une simplicité approchée à une simplicité rigoureuse. C'est ce qu'on faisait autrefois; c'est ce que nous n'avons plus le droit de faire.

La simplicité des lois de Képler, par exemple, n'est qu'apparente. Cela n'empêche pas qu'elles s'appliqueront, à fort peu près, à tous les systèmes analogues au système solaire, mais cela empêche qu'elles soient rigoureusement exactes.

III. — Role de l'hypothèse.

Toute généralisation est une hypothèse; l'hypothèse a donc un rôle nécessaire que personne n'a jamais contesté. Seulement elle doit toujours être, le plus tôt possible et le plus souvent possible, soumise à la vérification. Il va sans dire que, si elle ne supporte pas cette épreuve, on doit l'abandonner sans arrière-pensée. C'est bien ce qu'on fait en général, mais quelquefois avec une certaine mauvaise humeur.

Eh bien, cette mauvaise humeur même n'est pas justifiée; le physicien qui vient de renoncer à une de ses hypothèses devrait être, au contraire, plein de joie, car il vient de trouver une occasion inespérée de découverte. Son hypothèse, j'imagine, n'avait pas été adoptée à la légère: elle tenait compte de tous les facteurs connus qui semblaient pouvoir intervenir dans le phénomène. Si la vérification ne se fait pas, c'est qu'il y a quelque chose d'inattendu, d'extraordinaire: c'est qu'on va trouver de l'inconnu et du nouveau.

L'hypothèse ainsi renversée a-t-elle donc été stérile? Loin de là: on peut dire qu'elle a rendu plus de services qu'une hypothèse vraie; non seulement elle a été l'occasion de l'expérience décisive, mais on aurait fait cette expérience par hasard, sans avoir fait l'hypothèse, qu'on n'en aurait rien tiré; on n'y aurait rien vu d'extraordinaire; on n'aurait catalogué qu'un fait de plus sans en déduire la moindre conséquence.

Maintenant à quelle condition l'usage de l'hypothèse est-il sans danger?

Le ferme propos de se soumettre à l'expérience ne suffit pas: il y a encore des hypothèses dangereuses; ce sont d'abord, ce sont surtout celles qui sont tacites et inconscientes. Puisque nous les faisons sans le savoir, nous sommes impuissants à les abandonner. C'est donc là encore un service que peut nous rendre la Physique mathématique. Par la précision qui lui est propre, elle nous oblige à formuler toutes les hypothèses que nous ferions sans elle, mais sans nous en douter.

Remarquons, d'autre part, qu'il importe de ne pas multiplier les hypothèses outre mesure et de ne les faire que l'une après l'autre. Si nous construisons une théorie fondée sur des hypothèses multiples, et, si l'expérience la condamne, quelle est parmi nos prémisses celle qu'il est nécessaire de changer? Il sera impossible de le savoir. Et inversement, si l'expérience réussit, croira-t-on avoir vérifié toutes ces hypothèses à la fois? Croira-t-on avec une seule équation avoir déterminé plusieurs inconnues?

Il faut également avoir soin de distinguer entre les différentes sortes d'hypothèses. Il y a d'abord celles qui sont toutes naturelles et auxquelles on ne peut guère se soustraire. Il est difficile de ne pas supposer que l'influence des corps très éloignés est tout à fait négligeable, que les petits mouvements obéissent à une loi linéaire, que l'effet est une fonction continue de sa cause. J'en dirai autant des conditions imposées par la symétrie. Toutes ces hypothèses forment pour ainsi dire le fonds commun de toutes les théories de la Physique mathématique. Ce sont les dernières que l'on doit abandonner.

Il y a une seconde catégorie d'hypothèses que je qualifierai d'indifférentes. Dans la plupart des questions, l'analyste suppose, au début de son calcul, soit que la matière est continue, soit, inversement, qu'elle est formée d'atomes. Il aurait fait le contraire que ses résultats n'en auraient pas été changés; il aurait eu plus de peine à les obtenir, voilà tout. Si alors l'expérience confirme ses conclusions, pense-t-il avoir démontré, par exemple, l'existence réelle des atomes?

Dans les théories optiques s'introduisent deux vecteurs que l'on regarde, l'un comme une vitesse, l'autre comme un tourbillon. C'est là encore une hypothèse indifférente, puisqu'on serait arrivé aux mêmes conclusions en faisant précisément le contraire; le succès de l'expérience ne peut donc prouver que le premier vecteur est bien une vitesse; il ne prouve qu'une chose, c'est que c'est un vecteur; c'est là la seule hypothèse qu'on ait réellement introduite dans les prémisses. Pour lui donner cette apparence concrète qu'exige la faiblesse de notre esprit, il a bien fallu le considérer, soit comme une vitesse, soit comme un tourbillon; de même qu'il a fallu le représenter par une lettre, soit par x, soit par y; mais le résultat, quel qu'il soit, ne prouvera pas que l'on a eu raison ou tort de le regarder comme une vitesse; pas plus qu'il ne prouvera que l'on a eu raison ou tort de l'appeler x et non pas y.

Ces hypothèses indifférentes ne sont jamais dangereuses, pourvu qu'on n'en méconnaisse pas le caractère. Elles peuvent être utiles, soit comme ar-

tifices de calcul, soit pour soutenir notre entendement par des images concrètes, pour fixer les idées, comme on dit. Il n'y a donc pas lieu de les proscrire.

Les hypothèses de la troisième catégorie sont les véritables généralisations. Ce sont elles que l'expérience doit confirmer ou infirmer. Vérifiées ou condamnées, elles seront toujours fécondes. Mais, pour les raisons que j'ai exposées, elles ne le seront que si on ne les multiplie pas.

IV. — Origine de la Physique mathématique.

Pénétrons plus avant et étudions de plus près les conditions qui ont permis le développement de la Physique mathématique. Nous reconnaissons du premier coup que les efforts des savants ont toujours tendu à résoudre le phénomène complexe donné directement par l'expérience en un nombre très grand de phénomènes élémentaires.

Et cela de trois manières différentes : d'abord dans le temps. Au lieu d'embrasser dans son ensemble le développement progressif d'un phénomène, on cherche simplement à relier chaque instant à l'instant immédiatement antérieur ; on admet que l'état actuel du monde ne dépend que du passé le plus proche, sans être directement influencé pour ainsi dire par le souvenir d'un passé lointain. Grâce à ce postulat, au lieu d'étudier directement toute la succession des phénomènes, on peut se borner à en écrire « l'équation différentielle » ; aux lois de Képler, on substitue celle de Newton.

Ensuite, on cherche à décomposer le phénomène dans l'espace. Ce que l'expérience nous donne, c'est un ensemble confus de faits se produisant sur un théâtre d'une certaine étendue ; il faut tâcher de discerner le phénomène élémentaire qui sera, au contraire, localisé dans une région très petite de l'espace.

Quelques exemples feront peut-être mieux comprendre ma pensée. Si l'on voulait étudier dans toute sa complexité la distribution de la température dans un solide qui se refroidit, on n'y pourrait jamais parvenir. Tout devient simple si l'on réfléchit qu'un point du solide ne peut directement céder de chaleur à un point éloigné ; il n'en cédera immédiatement qu'aux points les plus voisins, et c'est de proche en proche que le flux de chaleur pourra atteindre d'autres portions du solide. Le phénomène élémentaire, c'est l'échange de chaleur entre deux points contigus ; il est strictement localisé, et il est relativement simple, si l'on admet, comme il est naturel, qu'il n'est pas influencé par la température des molécules dont la distance est sensible.

Je ploie une verge ; elle va prendre une forme très compliquée dont l'étude directe serait impossible ; mais je pourrai l'aborder cependant, si j'observe que sa flexion n'est que la résultante de la déformation des éléments très petits de la verge, et que la déformation de chacun de ces éléments ne dépend que des forces qui lui sont directement appliquées et nullement de celles qui peuvent agir sur les autres éléments.

Dans tous ces exemples, que je pourrais multiplier sans peine, on admet qu'il n'y a pas d'action à distance ou du moins à grande distance. C'est là une hypothèse ; elle n'est pas toujours vraie, la loi de la gravitation nous le prouve ; il faut donc la soumettre à la vérification ; si elle est confirmée, même approximativement, elle est précieuse, car elle va nous permettre de faire de la Physique mathématique au moins par approximations successives.

Si elle ne résiste pas à l'épreuve, il faut chercher autre chose d'analogue, car il y a encore d'autres moyens d'arriver au phénomène élémentaire. Si plusieurs corps agissent simultanément, il peut arriver que leurs actions soient indépendantes et s'ajoutent simplement les unes aux autres, soit à la façon des vecteurs, soit à la façon des quantités scalaires. Le phénomène élémentaire est alors l'action d'un corps isolé. Ou bien encore on a affaire à de petits mouvements, ou plus généralement à de petites variations, qui obéissent à la loi bien connue de la superposition. Le mouvement observé sera alors décomposé en mouvements simples, par exemple le son en ses harmoniques, la lumière blanche en ses composantes monochromatiques.

Quand on a discerné de quel côté il convient de chercher le phénomène élémentaire, par quels moyens peut-on l'atteindre ?

D'abord, il arrivera souvent que, pour le deviner, ou plutôt pour en deviner ce qui nous est utile, il ne sera pas nécessaire d'en pénétrer le mécanisme ; la loi des grands nombres suffira. Reprenons l'exemple de la propagation de la chaleur : Chaque molécule rayonne vers chaque molécule voisine ; suivant quelle loi ? Nous n'avons pas besoin de le savoir. Si nous supposions quelque chose à cet égard, ce serait une hypothèse indifférente et par conséquent inutile et invérifiable. Et, en effet, par l'action des moyennes, et grâce à la symétrie du milieu, toutes les différences se nivellent et, quelle que soit l'hypothèse faite, le résultat est toujours le même.

La même circonstance se présente dans la théorie de l'élasticité, dans celle de la capillarité ; les molécules voisines s'attirent et se repoussent ; nous n'avons pas besoin de savoir d'après quelle loi ; il nous suffit que cette attraction ne soit sensible qu'aux petites distances, que les molécules soient

très nombreuses, que le milieu soit symétrique, et nous n'aurons plus qu'à laisser agir la loi des grands nombres.

Ici encore la simplicité du phénomène élémentaire se cachait sous la complication du phénomène résultant observable; mais, à son tour, cette simplicité n'était qu'apparente et dissimulait un mécanisme très complexe.

Le meilleur moyen d'arriver au phénomène élémentaire serait évidemment l'expérience. Il faudrait, par des artifices expérimentaux, dissocier le faisceau complexe que la Nature offre à nos recherches et en étudier avec soin les éléments aussi purifiés que possible; par exemple, on décomposera la lumière blanche naturelle en lumières monochromatiques à l'aide du prisme et en lumières polarisées à l'aide du polariseur.

Malheureusement, cela n'est ni toujours possible, ni toujours suffisant, et il faut quelquefois que l'esprit devance l'expérience. Je n'en citerai qu'un exemple qui m'a toujours vivement frappé :

Si je décompose la lumière blanche, je pourrai isoler une petite portion du spectre, mais, si petite qu'elle soit, elle conservera une certaine largeur. De même, les lumières naturelles dites *monochromatiques* nous donnent une raie très fine, mais qui n'est pas cependant infiniment fine. On pourrait supposer qu'en étudiant expérimentalement les propriétés de ces lumières naturelles, en opérant avec des raies spectrales de plus en plus fines, et en passant enfin à la limite, pour ainsi dire, on arrivera à connaître les propriétés d'une lumière rigoureusement monochromatique.

Cela ne serait pas exact. Je suppose que deux rayons émanent d'une même source, qu'on les polarise d'abord dans deux plans rectangulaires, qu'on les ramène ensuite au même plan de polarisation et qu'on cherche à les faire interférer. Si la lumière était *rigoureusement* monochromatique ils interféreraient; mais, avec nos lumières à peu près monochromatiques, il n'y aura pas d'interférence, et cela si étroite que soit la raie; il faudrait, pour qu'il en fût autrement, qu'elle fût plusieurs millions de fois plus étroite que les plus fines raies connues.

Ici donc, le passage à la limite nous aurait trompés; il a fallu que l'esprit devançât l'expérience et, s'il l'a fait avec succès, c'est qu'il s'est laissé guider par l'instinct de la simplicité.

La connaissance du fait élémentaire nous permet de mettre le problème en équation; il ne reste plus qu'à en déduire par combinaison le fait complexe observable et vérifiable. C'est ce qu'on appelle l'*intégration;* c'est là l'affaire du mathématicien.

On peut se demander pourquoi, dans les Sciences physiques, la généralisation prend volontiers la forme mathématique. La raison est maintenant facile à voir; ce n'est pas seulement parce que l'on a à exprimer des lois numériques; c'est parce que le phénomène observable est dû à la superposition d'un grand nombre de phénomènes élémentaires *tous semblables entre eux;* ainsi s'introduisent tout naturellement les équations différentielles.

Il ne suffit pas que chaque phénomène élémentaire obéisse à des lois simples, il faut que tous ceux que l'on a à combiner obéissent à la même loi. C'est alors seulement que l'intervention des Mathématiques peut être utile; les Mathématiques nous apprennent, en effet, à combiner le semblable au semblable. Leur but est de deviner le résultat d'une combinaison, sans avoir besoin de refaire cette combinaison pièce à pièce. Si l'on a à répéter plusieurs fois une même opération, elles nous permettent d'éviter cette répétition en nous en faisant connaître d'avance le résultat par une sorte d'induction.

Mais, pour cela, il faut que toutes ces opérations soient semblables entre elles; dans le cas contraire, il faudrait évidemment se résigner à les faire effectivement l'une après l'autre et les Mathématiques deviendraient inutiles.

C'est donc grâce à l'homogénéité approchée de la matière étudiée par les physiciens que la Physique mathématique a pu naître.

Dans les Sciences naturelles, on ne retrouve plus ces conditions : homogénéité, indépendance relative des parties éloignées, simplicité du fait élémentaire, et c'est pour cela que les naturalistes sont obligés de recourir à d'autres modes de généralisation.

V. — Signification des théories physiques.

Les gens du monde sont frappés de voir combien les théories scientifiques sont éphémères. Après quelques années de prospérité, ils les voient successivement abandonnées; ils voient les ruines s'accumuler sur les ruines; ils prévoient que les théories aujourd'hui à la mode devront succomber à leur tour à bref délai, et ils en concluent qu'elles sont absolument vaines. C'est ce qu'ils appellent la *faillite de la Science.*

Leur scepticisme est superficiel; ils ne se rendent nul compte du but et du rôle des théories scientifiques; sans cela ils comprendraient que les ruines peuvent être encore bonnes à quelque chose.

Nulle théorie ne semblait plus solide que celle de Fresnel qui attribuait la lumière aux mouvements de l'éther. Cependant, on lui préfère maintenant celle de Maxwell. Cela veut-il dire que l'œuvre de Fresnel a été vaine? Non, car le but de Fresnel n'était pas de savoir s'il y a réellement un éther, s'il

est ou non formé d'atomes, si ces atomes se meuvent réellement dans tel ou tel sens; c'était de prévoir les phénomènes optiques.

Or, cela, la théorie de Fresnel le permet toujours, aujourd'hui aussi bien qu'avant Maxwell. Les équations différentielles sont toujours vraies; on peut toujours les intégrer par les mêmes procédés et les résultats de cette intégration conservent toujours toute leur valeur.

Et qu'on ne dise pas que nous réduisons ainsi les théories physiques au rôle de simples recettes pratiques: ces équations expriment des rapports et, si les équations restent vraies, c'est que ces rapports conservent leur réalité. Elles nous apprennent, après comme avant, qu'il y a tel rapport entre quelque chose et quelque autre chose; seulement, ce quelque chose nous l'appelions autrefois *mouvement*, nous l'appelons maintenant *courant électrique*. Mais ces appellations n'étaient que des images substituées aux objets réels que la Nature nous cachera éternellement. Les rapports véritables entre ces objets réels sont la seule réalité que nous puissions atteindre, et la seule condition, c'est qu'il y ait les mêmes rapports entre ces objets qu'entre les images que nous sommes forcés de mettre à leur place. Si ces rapports nous sont connus, qu'importe si nous jugeons commode de remplacer une image par une autre.

Que tel phénomène périodique (une oscillation électrique, par exemple) soit réellement dû à la vibration de tel atome qui, se comportant comme un pendule, se déplace véritablement dans tel ou tel sens, voilà ce qui n'est ni certain ni intéressant. Mais qu'il y ait entre l'oscillation électrique, le mouvement du pendule et tous les phénomènes périodiques une parenté intime qui correspond à une réalité profonde; que cette parenté, cette similitude, ou plutôt ce parallélisme se poursuive dans le détail; qu'elle soit une conséquence de principes plus généraux, celui de l'énergie et celui de la moindre action; voilà ce que nous pouvons affirmer: voilà la vérité qui restera toujours la même sous tous les costumes dont nous pourrons juger utile de l'affubler.

On a proposé de nombreuses théories de la dispersion; les premières étaient imparfaites et ne contenaient qu'une faible part de vérité. Ensuite est venue celle de Helmholtz; puis on l'a modifiée de diverses manières et son auteur lui-même en a imaginé une autre fondée sur les principes de Maxwell. Mais, chose remarquable, tous les savants qui sont venus après Helmholtz sont arrivés aux mêmes équations, en partant de points de départ en apparence très éloignés. J'oserai dire que ces théories sont toutes vraies à la fois, non seulement parce qu'elles nous font prévoir les mêmes phénomènes, mais parce qu'elles mettent en évidence un rapport vrai: celui de l'absorption et de la dispersion anomale. Dans les prémisses de ces théories, ce qu'il y a de vrai, c'est ce qui est commun à tous les auteurs; c'est l'affirmation de tel ou tel rapport entre certaines choses que les uns appellent d'un nom et les autres d'un autre.

La théorie cinétique des gaz a donné lieu à bien des objections, auxquelles on pourrait difficilement répondre si l'on avait la prétention d'y voir la vérité absolue. Mais toutes ces objections n'empêcheront pas qu'elle a été utile et qu'elle l'a été en particulier en nous révélant un rapport vrai et sans elle profondément caché, celui de la pression gazeuse et de la pression osmotique. En ce sens, on peut donc dire qu'elle est vraie.

Quand un physicien constate une contradiction entre deux théories qui lui sont également chères, il dit quelquefois: Ne nous inquiétons pas de cela, mais tenons fermement les deux bouts de la chaîne bien que les anneaux intermédiaires nous soient cachés. Cet argument de théologien embarrassé serait ridicule si l'on devait attribuer aux théories physiques le sens que leur donnent les gens du monde. En cas de contradiction, l'une d'elles au moins devrait alors être regardée comme fausse. Il n'en est plus de même si l'on y cherche seulement ce qu'on y doit chercher. Il peut se faire qu'elles expriment l'une et l'autre des rapports vrais et qu'il n'y ait de contradiction que dans les images dont nous avons habillé la réalité.

A ceux qui trouvent que nous restreignons trop le domaine accessible au savant, je répondrai: Ces questions, que nous vous interdisons et que vous regrettez, ne sont pas seulement insolubles, elles sont illusoires et dépourvues de sens.

Tel philosophe prétend que toute la Physique s'explique par les chocs mutuels des atomes. S'il veut dire simplement qu'il y a entre les phénomènes physiques les mêmes rapports qu'entre les chocs mutuels d'un grand nombre de billes, rien de mieux; cela est vérifiable, cela est peut-être vrai. Mais il veut dire quelque chose de plus; et nous croyons le comprendre parce que nous croyons savoir ce que c'est que le choc en soi; pourquoi? tout simplement parce que nous avons vu souvent des parties de billard. Entendrons-nous que Dieu, en contemplant son œuvre, éprouve les mêmes sensations que nous en présence d'un match de billard? Si nous ne voulons pas donner à son assertion ce sens bizarre, si nous ne voulons pas non plus du sens restreint que j'expliquais tout à l'heure et qui est le bon, elle n'en a plus aucun.

Les hypothèses de ce genre n'ont donc qu'un sens métaphorique. Le savant ne doit pas plus se les interdire que le poète ne s'interdit les méta-

phores; mais il doit savoir ce qu'elles valent. Elles peuvent être utiles pour donner une satisfaction à l'esprit, et elles ne seront pas nuisibles pourvu qu'elles ne soient que des hypothèses indifférentes.

Ces considérations nous expliquent pourquoi certaines théories, que l'on croyait abandonnées et définitivement condamnées par l'expérience, renaissent tout à coup de leurs cendres et recommencent une vie nouvelle. C'est qu'elles exprimaient des rapports vrais; Et qu'elles n'avaient pas cessé de le faire quand, pour une raison ou pour une autre, nous avions cru devoir énoncer les mêmes rapports dans un autre langage. Elles avaient ainsi conservé une sorte de vie latente.

Il y a quinze ans à peine, y avait-il rien de plus ridicule, de plus naïvement vieux jeu que les fluides de Coulomb? Et pourtant les voilà qui reparaissent sous le nom d'*électrons*. En quoi ces molécules électrisées d'une façon permanente diffèrent-elles des molécules électriques de Coulomb? Il est vrai que, dans les électrons, l'électricité est supportée par un peu de matière; mais si peu: en d'autres termes, elles ont une masse; mais Coulomb ne refusait pas la masse à ses fluides, ou, s'il le faisait, ce n'était qu'à regret. Il serait téméraire d'affirmer que la croyance aux électrons ne subira plus d'éclipse; il n'en était pas moins curieux de constater cette renaissance inattendue.

Mais l'exemple le plus frappant est le principe de Carnot. Carnot l'a établi en partant d'hypothèses fausses; quand on s'aperçut que la chaleur n'est pas indestructible, mais peut être transformée en travail, on abandonna complètement ses idées; puis Clausius y revint et les fit définitivement triompher. La théorie de Carnot, sous sa forme primitive, exprimait, à côté de rapports véritables, d'autres rapports inexacts, débris des vieilles idées; mais la présence de ces derniers n'altérait pas la réalité des autres. Clausius n'a eu qu'à les écarter comme on émonde des branches mortes.

Le résultat a été la seconde loi fondamentale de la Thermodynamique. C'étaient toujours les mêmes rapports, quoique ces rapports n'eussent plus lieu, au moins en apparence, entre les mêmes objets. C'en était assez pour que le principe conservât sa valeur. Et même les raisonnements de Carnot n'ont pas péri pour cela; ils s'appliquaient à une matière entachée d'erreur; mais leur forme (c'est-à-dire l'essentiel) demeurait correcte.

Ce que je viens de dire éclaire en même temps le rôle des principes généraux tels que le principe de moindre action ou celui de la conservation de l'énergie.

Ces principes ont une très haute valeur; on les a obtenus en cherchant ce qu'il y avait de commun dans l'énoncé de nombreuses lois physiques; ils représentent donc comme la quintessence d'innombrables observations.

Toutefois, de leur généralité même résulte une conséquence sur laquelle j'ai appelé l'attention dans la préface de mon *Cours de Thermodynamique*, c'est qu'ils ne peuvent plus ne pas être vérifiés. Comme nous ne pouvons pas donner de l'énergie une définition générale, le principe de la conservation de l'énergie signifie simplement qu'il y a *quelque chose* qui demeure constant. Eh bien, quelles que soient les notions nouvelles que les expériences futures nous donneront sur le monde, nous sommes sûrs d'avance qu'il y aura quelque chose qui demeurera constant et que nous pourrons appeler *énergie*.

Est-ce à dire que le principe n'a aucun sens et s'évanouit en une tautologie? Nullement, il signifie que les différentes choses auxquelles nous donnons le nom d'*énergie* sont liées par une parenté véritable; il affirme entre elles un rapport réel. Mais alors, si ce principe a un sens, il peut être faux: il peut se faire qu'on n'ait pas le droit d'en étendre indéfiniment les applications, et cependant il est assuré d'avance d'être vérifié dans l'acception stricte du mot; comment donc serons-nous avertis quand il aura atteint toute l'extension qu'on peut légitimement lui donner? C'est tout simplement quand il cessera de nous être utile, c'est-à-dire de nous faire prévoir sans nous tromper des phénomènes nouveaux. Nous serons sûrs en pareil cas que le rapport affirmé n'est plus réel; car sans cela il serait fécond; l'expérience, sans contredire directement une nouvelle extension du principe, l'aura cependant condamnée.

VI. — La Physique et le Mécanisme.

La plupart des théoriciens ont une prédilection constante pour les explications empruntées à la Mécanique ou à la Dynamique. Les uns seraient satisfaits s'ils pouvaient rendre compte de tous les phénomènes par les mouvements de molécules s'attirant mutuellement suivant certaines lois. Les autres sont plus exigeants, ils voudraient supprimer les attractions à distance; leurs molécules suivraient des trajectoires rectilignes dont elles ne pourraient être déviées que par des chocs. D'autres encore, comme Hertz, suppriment aussi les forces, mais supposent leurs molécules soumises à des liaisons géométriques analogues, par exemple, à celles de nos systèmes articulés; ils veulent ainsi réduire la Dynamique à une sorte de Cinématique.

Tous, en un mot, veulent plier la Nature à une certaine forme en dehors de laquelle leur esprit ne saurait être satisfait. La Nature sera-t-elle assez flexible pour cela?

Je me suis déjà posé la question dans la Préface de mon Ouvrage : *Électricité et Optique*. Toutes les fois que les principes de l'énergie et de la moindre action sont satisfaits, j'ai montré, non seulement qu'il y a toujours une explication mécanique possible, mais qu'il y en a toujours une infinité. Grâce à un théorème bien connu de M. Königs sur les systèmes articulés, on pourrait montrer qu'on peut, d'une infinité de manières, tout expliquer par des liaisons à la manière de Hertz, ou encore par des forces centrales. On démontrerait sans doute aussi facilement que tout peut toujours s'expliquer avec de simples chocs.

Pour cela, il faut, bien entendu, ne pas se contenter de la matière vulgaire, de celle qui tombe sous nos sens et dont nous observons directement les mouvements. Ou bien on supposera que cette matière vulgaire est formée d'atomes dont les mouvements intestins nous échappent, le déplacement d'ensemble restant seul accessible à nos sens. Ou bien on imaginera quelqu'un de ces fluides subtils qui, sous le non d'*éther* ou sous d'autres noms, ont joué de tout temps un si grand rôle dans les théories physiques.

Souvent on va plus loin et l'on regarde l'éther comme la seule matière primitive ou même comme la seule matière véritable. Les plus modérés considèrent la matière vulgaire comme de l'éther condensé, ce qui n'a rien de choquant, mais d'autres en réduisent plus encore l'importance et n'y voient plus que le lieu géométrique des singularités de l'éther. Par exemple, pour Lord Kelvin, ce que nous appelons *matière* n'est que le lieu des points où l'éther est animé de mouvements tourbillonnaires; pour Riemann, c'était le lieu des points où l'éther est constamment détruit; pour d'autres auteurs plus récents, Wiechert ou Larmor, c'est le lieu des points où l'éther a subi une sorte de torsion d'une nature toute particulière. Si l'on veut se placer à un de ces points de vue, je me demande de quel droit on étendra à l'éther, sous prétexte que c'est de la vraie matière, les propriétés mécaniques observées sur la matière vulgaire, qui n'est que de la fausse matière.

Les anciens fluides, calorique, électricité, etc., ont été abandonnés quand on s'est aperçu que la chaleur n'est pas indestructible. Mais ils l'ont été aussi pour une autre raison. En les matérialisant, on accentuait pour ainsi dire leur individualité, on creusait entre eux une sorte d'abîme. Il a bien fallu le combler quand on a eu un sentiment plus vif de l'unité de la Nature, et qu'on a aperçu les relations intimes qui en relient toutes les parties. Non seulement les anciens physiciens, en multipliant les fluides, créaient des êtres sans nécessité, mais ils rompaient des liens véritables.

Il ne suffit pas qu'une théorie n'affirme pas des rapports faux, il faut qu'elle ne dissimule pas des rapports vrais.

Et notre éther, existe-t-il réellement?

On sait d'où nous vient la croyance à l'éther. Si la lumière nous arrive d'une étoile éloignée, pendant plusieurs années, elle n'est plus sur l'étoile et elle n'est pas encore sur la Terre; il faut bien qu'alors elle soit quelque part et soutenue, pour ainsi dire, par quelque support matériel.

On peut exprimer la même idée sous une forme plus mathématique et plus abstraite. Ce que nous constatons, ce sont les changements subis par les molécules matérielles; nous voyons, par exemple, que notre plaque photographique éprouve les conséquences des phénomènes dont la masse incandescente de l'étoile a été le théâtre plusieurs années auparavant. Or, dans la Mécanique ordinaire, l'état du système étudié ne dépend que de son état à un instant immédiatement antérieur; le système satisfait donc à des équations différentielles. Au contraire, si nous ne croyions pas à l'éther, l'état de l'univers matériel dépendrait non seulement de l'état immédiatement antérieur, mais d'états beaucoup plus anciens; le système satisferait à des équations aux différences finies. C'est pour échapper à cette dérogation aux lois générales de la Mécanique que nous avons inventé l'éther.

Cela ne nous obligerait encore qu'à remplir, avec l'éther, le vide interplanétaire, mais non de le faire pénétrer au sein des milieux matériels eux-mêmes. L'expérience de Fizeau va plus loin. Par l'interférence des rayons qui ont traversé de l'air ou de l'eau en mouvement, elle semble nous montrer deux milieux différents se pénétrant et pourtant se déplaçant l'un par rapport à l'autre. On croit toucher l'éther du doigt.

On peut concevoir cependant des expériences qui nous le feraient toucher de plus près encore. Supposons que le principe de Newton, de l'égalité de l'action et de la réaction, ne soit plus vrai si on l'applique à la matière *seule* et qu'on vienne à le constater. La somme géométrique de toutes les forces appliquées à toutes les molécules matérielles ne serait plus nulle. Il faudrait bien, si on ne voulait changer toute la Mécanique, introduire l'éther, pour que cette action que la matière paraîtrait subir fût contre-balancée par la réaction de la matière sur quelque chose.

Ou bien encore je suppose que l'on reconnaisse que les phénomènes optiques et électriques sont influencés par le mouvement de la Terre. On serait conduit à conclure que ces phénomènes pourraient nous révéler non seulement les mouvements relatifs des corps matériels, mais ce qui semblerait être leurs mouvements absolus. Il faudrait bien encore

qu'il y eût un éther, pour que ces soi-disant mouvements absolus ne fussent pas leurs déplacements par rapport à un espace vide, mais leurs déplacements par rapport à quelque chose de concret.

En arrivera-t-on jamais là? Je n'ai pas cette espérance, je dirai tout à l'heure pourquoi, et cependant elle n'est pas si absurde, puisque d'autres l'ont eue.

Par exemple, si la théorie de Lorentz était vraie, le principe de Newton ne s'appliquerait pas à la matière *seule* et la différence ne serait pas très loin d'être accessible à l'expérience.

D'un autre côté, on a fait bien des recherches sur l'influence du mouvement de la Terre. Les résultats ont toujours été négatifs. Mais si l'on a entrepris ces expériences, c'est qu'on n'en était pas sûr d'avance, et même, d'après les théories régnantes, la compensation ne serait qu'approchée, et l'on devrait s'attendre à voir des méthodes précises donner des résultats positifs.

Je crois qu'une telle espérance est illusoire; il n'en était pas moins curieux de montrer qu'un succès de ce genre nous ouvrirait, en quelque sorte, un monde nouveau.

Et maintenant il faut qu'on me permette une digression; je dois expliquer, en effet, pourquoi je ne crois pas, malgré Lorentz, que des observations plus précises puissent jamais mettre en évidence autre chose que les déplacements relatifs des corps matériels. On a fait des expériences qui auraient dû déceler les termes du premier ordre; les résultats ont été négatifs; cela pouvait-il être par hasard? Personne ne l'a admis; on a cherché une explication générale, et Lorentz l'a trouvée; il a montré que les termes du premier ordre devaient se détruire, mais il n'en était pas de même de ceux du second. Alors on a fait des expériences plus précises; elles ont aussi été négatives; ce ne pouvait non plus être l'effet du hasard; il fallait une explication; on l'a trouvée; on en trouve toujours; les hypothèses, c'est le fond qui manque le moins.

Mais ce n'est pas assez; qui ne sent que c'est encore là laisser au hasard un trop grand rôle? Ne serait-ce pas aussi un hasard que ce singulier concours qui ferait qu'une certaine circonstance viendrait juste à point pour détruire les termes du premier ordre, et qu'une autre circonstance, tout à fait différente, mais tout aussi opportune, se chargerait de détruire ceux du second ordre. Non, il faut trouver une même explication pour les uns et pour les autres, et alors tout nous porte à penser que cette explication vaudra également pour les termes d'ordre supérieur, et que la destruction mutuelle de ces termes sera rigoureuse et absolue.

VII. — État actuel de la Science.

Dans l'histoire du développement de la Physique, on distingue deux tendances inverses. D'une part, on découvre à chaque instant des liens nouveaux entre des objets qui semblaient devoir rester à jamais séparés; les faits épars cessent d'être étrangers les uns aux autres; ils tendent à s'ordonner en une imposante synthèse. La Science marche vers l'unité et la simplicité.

D'autre part, l'observation nous révèle tous les jours des phénomènes nouveaux; il faut qu'ils attendent longtemps leur place et quelquefois, pour leur en faire une, on doit démolir un coin de l'édifice. Dans les phénomènes connus eux-mêmes, où nos sens grossiers nous montraient l'uniformité, nous apercevons des détails de jour en jour plus variés; ce que nous croyions simple redevient complexe et la Science paraît marcher vers la variété et la complication.

De ces deux tendances inverses, qui semblent triompher tour à tour, laquelle l'emportera? Si c'est la première, la Science est possible; mais rien ne le prouve *a priori*, et l'on peut craindre qu'après avoir fait de vains efforts pour plier la Nature malgré elle à notre idéal d'unité, débordés par le flot toujours montant de nos nouvelles richesses, nous ne devions renoncer à les classer, abandonner notre idéal, et réduire la Science à l'enregistrement d'innombrables recettes.

A cette question, nous ne pouvons répondre. Tout ce que nous pouvons faire, c'est d'observer la Science d'aujourd'hui et de la comparer à celle d'hier. De cet examen nous pourrons sans doute tirer quelques présomptions.

Il y a un demi-siècle, on avait conçu les plus grandes espérances. La découverte de la conservation de l'énergie et de ses transformations venait de nous révéler l'unité de la force. Elle montrait ainsi que les phénomènes de la chaleur pouvaient s'expliquer par des mouvements moléculaires. Quelle était la nature de ces mouvements, on ne le savait pas au juste, mais on ne doutait pas qu'on ne le sût bientôt. Pour la Lumière, la tâche semblait complétement accomplie. En ce qui concerne l'Électricité, on était moins avancé. L'Électricité venait de s'annexer le Magnétisme. C'était un pas considérable vers l'unité, et un pas définitif. Mais comment l'Électricité rentrerait-elle à son tour dans l'unité générale, comment se ramènerait-elle au mécanisme universel? On n'en avait aucune idée. La possibilité de cette réduction n'était cependant mise en doute par personne, on avait la foi. Enfin, en ce qui concerne les propriétés moléculaires des corps matériels, la réduction semblait encore plus facile, mais tout le détail restait dans un brouillard.

En un mot, les espérances étaient vastes, elles étaient vives, mais elles étaient vagues.

Aujourd'hui, que voyons-nous?

D'abord un premier progrès, progrès immense. Les rapports de l'Électricité et de la Lumière sont maintenant connus; les trois domaines de la Lumière, de l'Électricité et du Magnétisme, autrefois séparés, n'en forment plus qu'un; et cette annexion semble définitive.

Cette conquête, toutefois, nous a coûté quelques sacrifices. Les phénomènes optiques rentrent comme cas particuliers dans les phénomènes électriques; tant qu'ils restaient isolés, il était aisé de les expliquer par des mouvements qu'on croyait connaître dans tous leurs détails, cela allait tout seul; mais maintenant une explication, pour être acceptable, doit s'étendre sans peine au domaine électrique tout entier. Or, cela ne marche pas sans difficultés.

Ce que nous avons de plus satisfaisant, c'est la théorie de Lorentz; c'est sans contredit celle qui rend le mieux compte des faits connus, celle qui met en lumière le plus grand nombre de rapports vrais, celle dont on retrouvera le plus de traces dans la construction définitive. Néanmoins elle a encore un défaut grave, que j'ai signalé plus haut; elle est contraire au principe de Newton, de l'égalité de l'action et de la réaction; ou plutôt ce principe, aux yeux de Lorentz, ne serait pas applicable à la matière seule; pour qu'il fût vrai, il faudrait tenir compte des actions exercées par l'éther sur la matière, et de la réaction de la matière sur l'éther. Or, jusqu'à nouvel ordre, il est vraisemblable que les choses ne se passent pas ainsi.

Quoi qu'il en soit, grâce à Lorentz, les résultats de Fizeau sur l'optique des corps en mouvement, les lois de la dispersion normale et anormale et de l'absorption se trouvent rattachés entre eux et aux autres propriétés de l'éther par des liens qui sans aucun doute ne se rompront plus. Voyez la facilité avec laquelle le phénomène nouveau de Zeeman a trouvé sa place toute prête, et a même aidé à classer la rotation magnétique de Faraday qui était restée rebelle aux efforts de Maxwell; cette facilité prouve bien que la théorie de Lorentz n'est pas un assemblage artificiel destiné à se dissoudre. On devra probablement la modifier, mais non la détruire.

Mais Lorentz n'avait d'autre ambition que d'embrasser dans un même ensemble toute l'optique et l'électrodynamique des corps en mouvement; il n'avait pas la prétention d'en donner une explication mécanique. Larmor va plus loin; conservant le théorie de Lorentz dans ce qu'elle a d'essentiel, il y greffe pous ainsi dire les idées de Mac-Cullagh sur la direction des mouvements de l'éther. Quelque ingénieuse que soit cette tentative, le défaut de la théorie de Lorentz subsiste, et même il s'aggrave. Avec Lorentz, nous ne savions pas quels sont les mouvements de l'éther: grâce à cette ignorance, nous pouvions les supposer tels que, compensant ceux de la matière, ils rétablissent l'égalité de l'action et de la réaction. Avec Larmor, nous connaissons les mouvements de l'éther et nous pouvons constater que la compensation ne se fait pas.

Si Larmor a à mon sens échoué, cela veut-il dire qu'une explication mécanique est impossible? Loin de là : j'ai dit plus haut que dès qu'un phénomène obéit aux deux principes de l'énergie et de la moindre action, il comporte une infinité d'explications mécaniques; il en est donc ainsi des phénomènes optiques et électriques.

Mais cela ne suffit pas : pour qu'une explication mécanique soit bonne, il faut qu'elle soit simple; il faut que, pour la choisir entre toutes celles qui sont possibles, on ait d'autres raisons que la nécessité de faire un choix. Eh bien, une théorie qui satisfasse à cette condition et par conséquent qui puisse servir à quelque chose, nous n'en avons pas encore. Devons-nous nous en plaindre? Ce serait oublier quel est le but poursuivi; ce n'est pas le mécanisme; le vrai, le seul but, c'est l'unité.

Nous devons donc borner notre ambition : ne cherchons pas à formuler une explication mécanique; contentons-nous de montrer que nous pourrions toujours en trouver une si nous le voulions. A cela, nous avons réussi; le principe de la conservation de l'énergie n'a reçu que des confirmations; un second principe est venu s'y joindre, celui de la moindre action, mis sous la forme qui convient à la Physique. Lui aussi a toujours été vérifié, au moins en ce qui concerne les phénomènes réversibles qui obéissent ainsi aux équations de Lagrange, c'est-à-dire aux lois les plus générales de la Mécanique.

Les phénomènes irréversibles sont beaucoup plus rebelles. Eux aussi cependant s'ordonnent et tendent à rentrer dans l'unité; la lumière qui les a éclairés nous est venue du principe de Carnot. Longtemps la Thermodynamique s'est confinée dans l'étude de la dilatation des corps et de leurs changements d'état. Depuis quelque temps, elle s'est enhardie et elle a considérablement élargi son domaine. Nous lui devons la théorie de la pile, celle des phénomènes thermo-électriques; il n'est pas dans toute la Physique de coin qu'elle n'ait exploré et elle s'est attaquée à la Chimie elle-même. Partout règnent les mêmes lois; partout, sous la diversité des apparences, on retrouve le principe de Carnot; partout aussi ce concept si prodigieusement abstrait de l'entropie, qui est aussi universel que celui de l'énergie et semble comme lui recou-

vrir une réalité. Le chaleur rayonnante paraissait devoir lui échapper: on l'a vue récemment plier sous les mêmes lois.

Par là nous sont révélées des analogies nouvelles, qui souvent se poursuivent dans le détail; la résistance ohmique ressemble à la viscosité des liquides; l'hystérésis ressemblerait plutôt au frottement des solides. Dans tous les cas, le frottement parait le type sur lequel se calquent les phénomènes irréversibles les plus divers, et cette parenté est réelle et profonde.

On a cherché aussi une explication mécanique proprement dite de ces phénomènes. Ils ne s'y prêtaient guère. Pour la trouver, il a fallu supposer que l'irréversibilité n'est qu'une apparence, que les phénomènes élémentaires sont réversibles et obéissent aux lois connues de la Dynamique. Mais les éléments sont extrêmement nombreux et se mêlent de plus en plus, de sorte que, pour nos yeux grossiers, tout paraît tendre vers l'uniformité, c'est-à-dire que tout semble marcher dans le même sens, sans espoir de retour. L'irréversibilité apparente n'est ainsi qu'un effet de la loi des grands nombres. Seul un être dont les sens seraient infiniment subtils, comme le démon imaginaire de Maxwell, pourrait démêler cet écheveau inextricable et ramener le monde en arrière.

Cette conception, qui se rattache à la théorie cinétique des gaz, a coûté de grands efforts et a été en somme assez peu féconde; elle pourra le devenir. Ce n'est pas ici le lieu d'examiner si elle ne conduit pas à des contradictions et si elle est bien conforme à la véritable nature des choses.

Signalons toutefois les idées originales de M. Gouy sur le mouvement brownien. D'après ce savant, ce singulier mouvement échapperait au principe de Carnot. Les particules qu'il met en branle seraient plus petites que les mailles de cet écheveau si serré; elles seraient donc en mesure de les démêler et, par là, de faire marcher le monde à contre-courant. On croirait voir à l'œuvre le démon de Maxwell.

En résumé, les phénomènes anciennement connus se classent de mieux en mieux; mais des phénomènes nouveaux viennent réclamer leur place: la plupart d'entre eux, comme celui de Zeeman, l'ont trouvée tout de suite.

Mais nous avons les rayons cathodiques, les rayons X, ceux de l'uranium et du radium. Il y a là tout un monde que nul ne soupçonnait. Que d'hôtes inattendus il faut caser!

Personne ne peut encore prévoir la place qu'ils occuperont. Mais je ne crois pas qu'ils détruiront l'unité générale, je crois plutôt qu'ils la compléteront. D'une part, en effet, les radiations nouvelles semblent liées aux phénomènes de luminescence; non seulement elles excitent la fluorescence, mais elles prennent naissance quelquefois dans les mêmes conditions qu'elle.

Elles ne sont pas non plus sans parenté avec les causes qui font éclater l'étincelle sous l'action de la lumière ultra-violette.

Enfin, et surtout, on croit retrouver dans tous ces phénomènes de véritables ions, animés, il est vrai, de vitesses incomparablement plus fortes que dans les électrolytes.

Tout cela est bien vague, mais tout cela se précisera.

La phosphorescence, l'action de la lumière sur l'étincelle, c'étaient là des cantons un peu isolés, et par suite un peu délaissés par les chercheurs. On peut espérer maintenant qu'on va construire une nouvelle ligne qui facilitera leurs communications avec la Science universelle.

Non seulement nous découvrons des phénomènes nouveaux, mais dans ceux que nous croyions connaître, se révèlent des aspects imprévus. Dans l'éther libre, les lois conservent leur majestueuse simplicité; mais la matière proprement dite semble de plus en plus complexe; tout ce qu'on en dit n'est jamais qu'approché et à chaque instant nos formules exigent de nouveaux termes.

Néanmoins les cadres ne sont pas rompus; les rapports que nous avions reconnus entre des objets que nous croyions simples, subsistent encore entre ces mêmes objets quand nous connaissons leur complexité, et c'est cela seul qui importe. Nos équations deviennent de plus en plus compliquées, c'est vrai, afin de serrer de plus près la complication de la Nature; mais rien n'est changé aux relations qui permettent de déduire ces équations les unes des autres. En un mot, la *forme* de ces équations a résisté.

Prenons pour exemple les lois de la réflexion: Fresnel les avait établies par une théorie simple et séduisante que l'expérience semblait confirmer. Depuis, des recherches plus précises ont prouvé que cette vérification n'était qu'approximative; elles ont montré partout des traces de polarisation elliptique. Mais, grâce à l'appui que nous prêtait la première approximation, on a trouvé tout de suite la cause de ces anomalies, qui est la présence d'une couche de passage; et la théorie de Fresnel a subsisté dans ce qu'elle avait d'essentiel.

Seulement on ne peut s'empêcher de faire une réflexion: tous ces rapports seraient demeurés inaperçus si l'on s'était douté d'abord de la complexité des objets qu'ils relient. Il y a longtemps qu'on l'a dit: si Tycho avait eu des instruments dix fois plus précis, il n'y aurait jamais eu ni Képler, ni Newton, ni Astronomie. C'est un malheur pour une science de prendre naissance trop

tard, quand les moyens d'observation sont devenus trop parfaits. C'est ce qui arrive aujourd'hui à la Physico-chimie; ses fondateurs sont gênés dans leurs aperçus par la troisième et la quatrième décimales: heureusement ce sont des hommes d'une foi robuste.

A mesure qu'on connaît mieux les propriétés de la matière, on y voit régner la continuité. Depuis les travaux d'Andrews et de Van der Waals, on se rend compte de la façon dont se fait le passage de l'état liquide à l'état gazeux et que ce passage n'est pas brusque. De même il n'y a pas un abîme entre les états liquide et solide et l'on trouvera dans le recueil des Rapports présentés au récent Congrès international de Physique[1], à côté d'un travail sur la rigidité des liquides, un mémoire sur l'écoulement des solides.

A cette tendance la simplicité perd sans doute; tel phénomène était représenté par plusieurs droites: il faut raccorder ces droites par des courbes plus ou moins compliquées. En revanche, l'unité y gagne beaucoup. Ces catégories tranchées reposaient l'esprit, mais elles ne le satisfaisaient pas.

Enfin, les méthodes de la Physique ont envahi un domaine nouveau, celui de la Chimie; la Physico-chimie est née. Elle est encore bien jeune, mais on voit déjà qu'elle nous permettra de relier entre eux des phénomènes tels que l'électrolyse, l'osmose, les mouvements des ions.

De ce rapide exposé, que conclurons-nous?

Tout compte fait, on s'est rapproché de l'unité; on n'a pas été aussi vite qu'on l'espérait il y a cinquante ans, on n'a pas toujours pris le chemin prévu; mais, en définitive, on a gagné beaucoup de terrain.

Henri Poincaré,
De l'Académie des Sciences
et du Bureau des Longitudes,
Professeur à la Sorbonne.

[1] Ce volume paraîtra prochainement à la librairie Gauthier-Villars. Le présent article de M. H. Poincaré est le Rapport, encore inédit, que l'illustre savant a soumis au Congrès international de Physique. Nous remercions l'auteur et l'éditeur de la gracieuseté qu'ils ont eue de nous laisser en donner la primeur à nos lecteurs. La *Revue* aura, par la suite, à rendre compte des travaux des autres rapporteurs, quand aura été publié l'ouvrage, impatiemment attendu, où tous seront insérés *in extenso*. C'est, croyons-nous, la première fois qu'aura été exposé, sous la forme du livre et avec une telle ampleur, l'état actuel de la Physique.

(Note de la Direction.)

LA XIIIE CONFÉRENCE GÉNÉRALE DE L'ASSOCIATION GÉODÉSIQUE INTERNATIONALE

PREMIÈRE PARTIE : LES OPÉRATIONS GÉODÉSIQUES EN EUROPE

L'Association Géodésique Internationale s'est réunie à Paris, du 25 septembre au 6 octobre. On sait comment la « Mitteleuropäische Gradmessung », fondée par Baeyer en 1861, est devenue en 1867 l' « Europäische Gradmessung » et enfin, en 1886, l' « Internationale Erdmessung ».

Le développement continu de l'Association, les beaux travaux qu'elle entreprend ou inspire sans cesse, font de ses réunions les grandes assises de la science géodésique.

L'Association est actuellement régie par la « Nouvelle Convention Géodésique Internationale » du 11 octobre 1895, qui a apporté, à l'ancienne convention de 1886, quelques modifications, par exemple : La totalité des subventions des Etats Associés a été fixée au minimum de 75.000 francs, pour répondre aux besoins actuels de l'Association, et l'Empire d'Allemagne s'est substitué aux divers États Allemands Associés (au nombre de 7). La *Conférence Générale* des délégués[1] des Etats

[1] Parmi les délégués des Etats Associés, ceux de la Belgique, de la Grèce, du Portugal n'ont pu se rendre à la Conférence de Paris.

Les délégués étrangers présents étaient :

Allemagne. — MM. les Prof. Drs Albrecht et Börsch, chefs de section à l'Institut Royal Géodésique de Prusse; le Prof. Dr Förster, directeur de l'Observatoire Royal de Berlin; le Dr Haid, professeur à la Technische Hochschule, de Carlsruhe; le Prof. Dr Helmert, directeur de l'Institut Royal Géodésique de Prusse et du Bureau Central de l'Association Géodésique Internationale; le Lieutenant-Colonel d'Etat-Major Matthiass, chef de la « Trigonometrische Abtheilung der Königlichen Preussischen Landes-Aufnahme »; le Dr Schmidt, professeur à la Technische Hochschule de Münich; le Prof. Dr Westphal, chef de section à l'Institut Royal Géodésique de Prusse.

Autriche. — M. le Dr Tinter, professeur à la K. K. Technische Hochschule de Vienne.

Danemark. — M. le Général de Brigade Zachariæ, directeur des Travaux Géodésiques en Danemark.

Espagne. — M. le Général Barraquer, directeur général de l'Institut Géographique et Statistique de Madrid.

Etats-Unis. — M. Winston, assistant au Coast and Geodetic Surwey.

Grande-Bretagne. — M. Darwin, professeur à l'Université de Cambridge.

Hongrie. — M. de Bodola, professeur de Géodésie à l'Ecole Royale Polytechnique de Budapest.

Italie. — MM. le Prof. Celoria, astronome à l'Observatoire