UNE INTRODUCTION

A

L'HISTOIRE DES SCIENCES [1]

Ce n'est pas une entreprise facile que d'écrire l'histoire des sciences mathématiques, physiques et naturelles. On rencontre à ce sujet dans trop de livres beaucoup de légendes, ainsi que de fausses attributions et des silences parfois intentionnels. Le travail scientifique est en grande partie un travail collectif, et l'éclosion des idées en apparence les plus originales n'est souvent que l'aboutissement de longs efforts antérieurs. Aussi les difficultés sont-elles grandes de rendre à chacun la justice qui lui est due, en s'efforçant de rattacher à un nom les découvertes ou les doctrines importantes; même pour des temps récents, il faut parfois une grande sagacité et des recherches pénétrantes pour retrouver les premières traces d'une idée appelée à un grand avenir.

On peut envisager l'histoire des sciences à un autre point de vue, en se préoccupant surtout de tracer un tableau fidèle de l'évolution historique de la science, s'intéressant moins aux hommes qu'aux méthodes et aux résultats. Dans cet ouvrage consacré à l'histoire de France, il ne pouvait être question de se placer systématiquement à un seul de ces points de vue. On s'y est proposé de donner un tableau

(1) *Revue des Deux-Mondes*, 1er juin 1924, et Introduction aux tomes XIV et XV de l'*Histoire de la Nation française*, de M. Gabriel Hanotaux consacrés à l'histoire des Sciences mathématiques, physiques et naturelles.

exact du développement scientifique des derniers siècles, en s'attachant surtout aux savants français et à leur œuvre, de manière à montrer le rôle de notre pays dans l'édification de la science moderne. Le lecteur jugera si, comme nous le croyons, ceux qui ont bien voulu accepter cette tâche y ont réussi. Je ne veux dans cette introduction que présenter quelques remarques générales sur la genèse des idées scientifiques et sur le rôle des théories, résumant l'impression qui se dégage, semble-t-il, des chapitres qui vont suivre.

I.

De très bonne heure, l'humanité dut compter des esprits plus attentifs que leurs congénères à l'observation des phénomènes courants : ce furent les premiers savants. Ce sont ces « savants » qui ont allumé les premiers feux et enseigné à fabriquer les instruments des âges préhistoriques. Un sentiment de curiosité désintéressée se mêlait-il aux buts pratiques qu'il voulait atteindre ? On peut soutenir que, dans ces temps reculés, l'art a toujours été surajouté à l'utile, comme tendent à le faire croire les dessins et les sculptures des temps paléolithiques, où sont retracés d'un trait si sûr les mouvements des animaux familiers. Mais ce que nous pouvons présumer de la science préhistorique se réduira toujours à peu de chose. L'hypothèse a été émise que nos notions de sens commun remontent aux temps lointains de la préhistoire. Il se peut que, dans l'humanité, de très anciennes façons de penser aient survécu, malgré tous les changements postérieurs survenus dans les conditions des hommes. Dans son livre sur *le Pragmatisme* William James adopte cette thèse, que nos conceptions fondamentales sur les choses sont des découvertes faites par certains de nos ancêtres à des époques extrêmement éloignées, et qui ont réussi à se maintenir à travers tous les siècles postérieurs; ces conceptions

forment le stade du sens commun. Ainsi auraient pris naissance les concepts de *chose*, de *temps*, d'*espace*, d'*influences causales*, de *réel*, et bien d'autres suivant lesquels nous continuons à penser.

C'est avec les anciennes civilisations de la Chaldée et de l'Égypte que commence l'histoire de la science. La géométrie y eut un caractère expérimental. On enseignait à Babylone que le côté de l'hexagone régulier est égal au rayon; c'était là, sans doute, un fait d'observation. La géométrie cultivée en Égypte n'était pas moins empirique. Les arpenteurs de la vallée du Nil avaient remarqué qu'un triangle dont les côtés sont proportionnels aux nombres *trois*, *quatre* et *cinq* est rectangle, et c'est en utilisant cette propriété qu'ils élevaient des perpendiculaires. La géométrie égyptienne apparaît aux historiens de la science comme un ensemble de règles pratiques, dont l'origine est, d'ailleurs, parfois difficile à deviner. Cette mathématique préscientifique ne doit cependant pas être méprisée, car les faits mathématiques et astronomiques, dont la connaissance est due aux Égyptiens et aux Chaldéens, ont été le point de départ indispensable pour les spéculations ultérieures.

Si l'on veut trouver une science plus spéculative et des vues générales sur l'univers, il faut les chercher dans les sanctuaires où s'élaboraient des cosmogonies, qui furent dans leur temps de véritables théories. L'action des dieux et des esprits y remplace sans doute les forces naturelles, mais il serait injuste de ne pas reconnaître l'effort de coordination et de sélection dont elles témoignent. Ces cosmogonies, qui une fois invariablement fixées, ont pu être un embarras pour le développement ultérieur de la pensée scientifique, ont constitué à leurs débuts un réel progrès.

On fait généralement honneur aux Grecs d'avoir créé la science rationnelle et désintéressée : c'est le miracle grec dont aimait à parler Ernest Renan. Nous croyons moins aujourd'hui à ces discontinuités. Quand les physiciens

d'Ionie spéculaient sur les principes des choses, ils continuaient le travail de simplification et de réduction dont les religions orientales et surtout la religion égyptienne nous donnent des exemples. Nous pouvons nous représenter Thalès de Milet et surtout Anaximandre et Anaximène comme achevant « une laïcisation » commencée bien des siècles auparavant.

Elles marquent une date dans l'histoire de l'esprit humain, ces spéculations, à la fois ambitieuses et naïves, où tout est ramené à quelques substances, et où le mouvement apparaît comme un facteur essentiel; la science grecque, à ses débuts, eut toutes les audaces. Le point capital à noter est que la science rationnelle, dès ses premiers pas, cherche une explication de tous les phénomènes naturels en partant d'un petit nombre de principes. Si prématurée que fût une telle tentative, un but apparaissait dont la vision devait exercer, indirectement au moins, une grande influence sur le développement de la science positive.

Le merveilleux essor pris chez les Grecs par les sciences mathématiques eut une importance plus grande encore. Au nom de Pythagore se rattache l'explication de toutes choses par les nombres, et une formule célèbre de l'école pythagoricienne, qui était toute une métaphysique, proclamait que « les choses sont nombres ». Les progrès incessants de la géométrie pendant plusieurs siècles en firent le type idéal de la science, où tout est d'une intelligibilité parfaite, ce qui faisait écrire à Platon sur la porte de son école : « Que personne n'entre ici s'il n'est géomètre. » Il paraissait naturel aux Grecs que l'instrument géométrique fût utilisé pour une connaissance générale de l'univers, et, sous l'influence d'un esprit épris de clarté et simplifiant tout pour tout comprendre, la science positive tendait à prendre la forme mathématique.

Dans la philosophie et la science hellènes, simplicité, intelligibilité et vérité se montrent indissolublement liées. Il faut y joindre la beauté, le plus bel arrangement des choses

étant aussi, d'après les pythagoriciens, le plus vrai. La physique et la cosmologie des Grecs furent œuvres d'artistes et de poètes, en même temps que de savants. Quoiqu'elle soit à bien des égards loin de la science hellène, la science moderne a plus d'un point de contact avec l'esprit grec dans le maniement de ses hypothèses et de ses théories.

Nous n'avons pas parlé de la science expérimentale en Grèce. Si les Grecs ont peu expérimenté, il y eut parmi eux d'excellents observateurs, comme en témoignent assez l'œuvre immense d'Aristote en zoologie et antérieurement les fines observations d'Hippocrate. Il faut noter, d'ailleurs, que la science positive se désintéresse peu à peu des théories philosophiques. Rien ne nous fait connaître sur ce sujet les opinions du plus grand géomètre de l'antiquité, Archimède, qui doit compter parmi les fondateurs du calcul infinitésimal. Les profondes études du géomètre de Syracuse sur la mécanique nous le montrent, par contre, préoccupé des applications pratiques qu'avait souvent dédaignées dans les siècles précédents un amour ardent pour les spéculations métaphysiques. Avec Eratosthène et Hipparque, les applications de la géométrie à l'astronomie prennent le plus brillant essor. Auparavant, du temps même d'Aristote, Héraclide du Pont avait été probablement le véritable précurseur de Copernic; il est, en tout cas, certain qu'Aristarque de Samos, cinquante après Héraclide, soutenait dans son intégrité le système du grand Polonais, mais sa tentative tomba dans l'oubli pendant de longs siècles.

Cette excursion rapide à travers l'antiquité depuis les plus anciens âges suffit à mettre en évidence les tendances pratiques et théoriques, qui, suivant les époques, se sont developpées relativement à l'objet même de la science. Aujourd'hui encore, ces divers points de vue concourent à former l'opinion que nous nous faisons de la science. Comme le dit Montaigne, « c'est un grand ornement que la science », et il ajoute aussitôt : « C'est un outil de merveilleux service »,

c'est-à-dire que le beau et l'utile s'y rejoignent et sont inséparables. Quant au désir de connaître le vrai, il faut ici faire une distinction que l'antiquité et le moyen âge n'ont pas ignorée, en séparant parfois la physique positive de la métaphysique du monde matériel, comme il arriva aux écoles astronomiques, où l'astronome ne se proposait pas de rechercher l'essence du ciel et des astres, mais se préoccupait seulement de l'ordre des corps célestes, de leurs figures et de leurs distances. Son but était atteint quand ses constructions assignaient à chaque astre errant une marche conforme à celle que relèvent les observations. Il ne s'agissait pas pour lui de donner des apparences une explication conforme à la réalité; il voulait seulement *sauver les phénomènes*, σώζειν τὰ φαινόμενα, suivant une expression qui remonte à Platon. Nous retrouverons ces vues sous des formes à peine différentes, quand nous chercherons à préciser le rôle des théories dans la science actuelle.

II.

Jetons maintenant un coup d'œil sur les principales tendances qui se manifestent dans les âges modernes quant au but et à la valeur de la science.

On doit tout d'abord reconnaître que l'importance prise par la science dans la société actuelle provient avant tout des services qu'elle rend à l'humanité. Le plus grand nombre considère, suivant le mot de Bacon, que la science et la puissance humaine se correspondent et vont au même but. On admire surtout dans la science le merveilleux spectacle des applications si variées qui ont tant modifié les conditions d'existence des peuples civilisés : c'est un genre de valeur aisément appréciable. Il y a même un danger dans ces constatations trop faciles, qui risquent de faire perdre de vue les rapports qui existent entre ces brillantes manifestations de l'activité humaine et la science théorique et désintéressée.

La source tarirait promptement si un esprit exclusivement utilitaire venait à dominer dans nos sociétés trop préoccupées de jouissances immédiates. Aujourd'hui comme jadis, la dépendance est intime entre la science pure et les applications. Ces influences réciproques ont agi dans l'un et l'autre sens, la pratique conduisant ici à la spéculation, tandis que des vues théoriques ont été ailleurs l'origine de recherches pratiques. Il suffira de rappeler quelques exemples mémorables pris dans le XIXe siècle. Dans son immortel ouvrage sur la *Puissance motrice du feu*, Sadi Carnot, en se proposant d'expliquer et d'étendre les services que peuvent rendre les machines à feu, a créé la thermodynamique d'où est née l'énergétique moderne. De même les travaux de Henri Sainte-Claire Deville sur le platine ont été l'origine de ses recherches sur la dissociation, d'où devait sortir la mécanique chimique. D'autre part, Newton, en écrivant le livre des *Principes de la philosophie naturelle*, ne pensait guère aux navigateurs qui devaient plus tard utiliser quelque *Connaissance des temps*, construite d'après les lois de la gravitation universelle. Pareillement, Ampère et Faraday, en étudiant les actions des courants sur les courants et les phénomènes d'induction, préparaient à leur insu la voie à la construction des puissantes machines électromagnétiques, dont l'emploi a révolutionné tant d'industries.

Quelle que puisse être dans chaque cas l'origine des progrès matériels réalisés par la science, celle-ci apparaît de plus en plus comme une puissance formidable qui ne recule jamais, et dont les conquêtes sont définitives. Il semble que tout lui soit possible, et l'on doit reconnaître que les admirables découvertes faites depuis trois siècles autorisent des espérances pour ainsi dire illimitées. On les cite souvent comme exemples des progrès de la civilisation. Mais il faut cependant éviter de graves confusions. Parmi les progrès de la civilisation entendue au sens le plus large et le plus humain figurent aussi les progrès de la moralité, et l'on ne

doit pas oublier que la science et la moralité sont loin de progresser de pair. Ainsi le sentiment de l'honneur et le respect de la parole donnée n'ont pas de commune mesure avec la connaissance des lois relatives à la compressibilité des gaz et à l'action des aimants sur les courants électriques. Les sciences peuvent contribuer au bien-être de l'humanité ainsi qu'au soulagement de ses misères; mais elles sont aussi susceptibles de concourir à des buts criminels, comme on n'en a vu que trop d'exemples il y a quelques années.

Je me hâte d'ajouter que ceux qui croient le moins à une influence profonde de la culture scientifique sur la valeur morale aiment à penser que, au moins pour les savants qui la font progresser, la science est autre chose qu'un outil de merveilleux service, et que l'habitude de la méditation constante sur la philosophie naturelle incline l'esprit à la sérénité et à la modestie, car l'homme de science plus que tout autre connaît la grandeur de ses ignorances. On a plaisir aussi à constater que certains savants, surajoutant en quelque sorte un élément moral, rêvent d'une alliance entre le vrai et le bien et ne séparent pas la science de ses fins bienfaisantes; tel fut le cas de notre grand Pasteur, chez qui l'on rencontre à un degré si éminent l'enthousiasme scientifique et le haut sentiment des devoirs du savant envers la patrie et envers l'humanité.

Il faut aussi reconnaître que la diffusion des connaissances scientifiques modifie peu à peu la mentalité de ceux qui se piquent le moins de curiosité philosophique. L'idée profonde de loi naturelle s'implante peu à peu dans des esprits qui ne voyaient d'abord dans la science qu'une possibilité d'accroître notre puissance sur les choses. Le nombre augmente de ceux pour lesquels le point de vue utilitaire est dépassé, et qui, à la découverte d'un phénomène ou d'un corps nouveau, ne se demandent pas uniquement à quoi cela pourrait servir. L'astronomie à cet égard est une des sciences les plus captivantes. L'attrait est grand de contempler quelque temps

l'univers du point de vue de Sirius, ou de se transporter plus loin encore par la pensée dans ces mondes lointains qu'on appelle les nébuleuses spirales, et dont la lumière met des centaines de milliers d'années à nous parvenir, voyageant à raison de 300 000^{km} par seconde. Si l'on a pu parfois faire le procès de certaines utilités créées par la science, en lui reprochant d'augmenter nos désirs au détriment de notre bonheur, et dire avec l'Ecclésiaste que celui qui augmente sa science augmente sa douleur, il est, au contraire, des heures où on l'voit se dégager de la connaissance scientifique des idées de beauté et d'harmonie, qui élèvent l'homme au-dessus des intérêts immédiats et concourent en quelque manière au développement de la moralité. On peut enfin espérer que les progrès des sciences, en apprenant à mieux utiliser les énergies naturelles et à en découvrir de nouvelles, contribueront pour une large part à la solution des problèmes sociaux qui sont une des grandes préoccupations de notre temps. De ce point de vue optimiste, la science nous apparaît encore comme bonne en même temps qu'utile : c'est une pensée fortifiante pour ceux qui lui consacrent leur vie.

Un système de concepts, associé à des lois ou faits particuliers et transformés par des déductions convenables, de façon à faire rentrer moyennant certaines hypothèses ces lois ou faits dans des cadres plus généraux, constitue une théorie scientifique. Dans les diverses sciences, le développement des théories prend des formes différentes et nous aurons à revenir sur ce point. On peut remarquer, d'une manière générale, qu'on exige d'une théorie qu'elle soit simple. Il y a là une notion aussi féconde que vague; ce principe de simplicité, malgré son caractère hypothétique, tend à produire en nous un sentiment de certitude. Devant une loi simple, nous croyons moins à la possibilité d'une erreur. Sans doute, comme le disait un jour Fresnel à Laplace, la nature se joue de nos difficultés analytiques, mais les savants ne sont satisfaits que quand ils peuvent rattacher des relations complexes à quelque idée théorique sim-

plement formulée; quand il en est autrement, les lois sont traitées d'empiriques. Le principe de simplicité intervient notamment, quand, plusieurs théories pouvant rendre compte d'un même groupe de phénomènes, nous rejetons une théorie trop compliquée; peut-être parce que, étant trop difficile à manier, nous la jugeons peu utile.

Ce qu'on doit entendre par explication scientifique a donné lieu à bien des controverses. Une question voisine concerne l'intelligence d'un phénomène. Devant un fait nouveau, il nous arrive de dire que nous comprenons, ou que nous ne comprenons pas. Que signifie cette assertion ? Beaucoup de savants estiment qu'ils comprennent un phénomène, quand, avec les notions antérieures acquises, ils auraient pu le prévoir; l'explication consiste à développer cette possibilité de prévision. On peut d'ailleurs être plus ou moins exigeant quant à la nature des lois ou des théories à invoquer dans une explication. Les exigences varient d'une science à l'autre; elles ne sont pas les mêmes pour un physicien et pour un biologiste. Alors que les sciences physico-chimiques tendent de plus en plus à prendre une forme mathématique, les sciences biologiques se présentent, en général, avec un autre caractère. Elles sont à un stade moins avancé, avec des concepts moins élaborés. Aussi ne doit-on pas s'étonner que, dans certaine théories biologiques, la méthode soit autre que dans les sciences physiques. Elle a souvent un caractère comparatif et historique, son maniement demande des habitudes d'esprit quelque peu différentes de celles habituelles aux savants qui sont adonnés aux sciences entrées dans une période plus quantitative.

III.

Toute la suite de cette histoire montrera le rôle important joué par la France dans le développement scientifique. Résumons-le rapidement, en indiquant seulement les voies

nouvelles dans lesquelles la science s'est successivement engagée.

En ce qui concerne le moyen âge, Duhem a insisté dans des ouvrages très documentés sur l'éclat dont a brillé l'Université de Paris aux XIVe et XVe siècles, époque de vie intellectuelle intense, où l'influence des doctrines parisiennes fut considérable sur les enseignements des Universités d'Allemagne, d'Angleterre, d'Italie et d'Espagne. On doit, d'après lui, compter Jean Buridan, recteur de l'Université de Paris dès 1327, parmi les fondateurs de la dynamique moderne. La dynamique n'avait joué jusque-là aucun rôle dans la notoriété de Buridan, et, sans parler de la Tour de Nesle, son nom rappelle seulement l'argument relatif à la liberté d'indifférence, dont d'ailleurs on ne trouve pas trace dans ses écrits. Il ne paraît pas douteux, d'après l'exposé que fait Duhem de la dynamique de Buridan en suivant un manuscrit du fonds latin de la Bibliothèque nationale, que Buridan avait rompu avec la mécanique péripatéticienne, et il semble bien que, avec sa théorie de l'*impetus*, il s'éleva à la loi de l'inertie, osant proclamer inutiles les intelligences motrices des orbes célestes, qui jouaient un rôle si important dans la physique d'Aristote. Parmi les disciples de Buridan, figure au premier rang Nicole Oresme, grand-maître du collège de Navarre en 1356, et plus tard évêque de Lisieux, dont l'influence a été considérable : Oresme fut à la fois un précurseur de Copernic par les vues qu'il émit sur la terre et les planètes, et de Descartes par l'usage qu'il fit des principes essentiels de la géométrie analytique.

A la Renaissance et au début du XVIIe siècle, nous voyons l'algèbre proprement dite arriver à l'autonomie avec son symbolisme et ses notations de plus en plus perfectionnés, constituant une langue d'une admirable clarté, qui, suivant le mot de Fourier, n'a pas de signe pour exprimer les notions confuses, et procure à la pensée une véritable économie. Les bonnes notations, tout le monde en convient, sont souvent

indispensables pour arriver à la solution des problèmes posés; on peut même aller plus loin, et dire qu'elles conduisent parfois à poser de nouveaux problèmes, l'esprit étant soutenu et porté en avant par les symboles qu'il a créés. Au nom de Viète est attachée la création de l'algèbre moderne, dont l'honneur lui appartient sans conteste; l'analyse infinitésimale sera en fait le développement de ce symbolisme opératoire.

Dans la première moitié du XVIIe siècle, la France peut revendiquer avec orgueil les noms de Pascal, de Descartes et de Fermat. On connaît la précocité de Pascal s'essayant tout enfant à des recherches géométriques et publiant à seize ans un court *Essay pour les coniques*, où il témoigne de la puissance d'invention d'un grand géomètre. Pascal est avec Fermat le fondateur du calcul des probabilités; Huyghens, Leibniz et d'autres ne feront que développer et appliquer leurs principes, jusqu'à ce que Jacques Bernoulli découvre le célèbre théorème qui porte son nom, et que Poisson a généralisé un siècle plus tard en l'appelant la loi des grands nombres. L'ouvrage de Pascal sur les *Problèmes touchant la roulette* permet de le regarder comme un des fondateurs du calcul intégral. Le rôle de l'illustre enfant de Clermont ne fut pas moindre en physique qu'en mathématiques pures. C'est à l'expérience et non à des dissertations stériles que Pascal demande des réponses aux questions posées par l'expérience célèbre de Torricelli sur le baromètre. La physique est avant tout pour lui une science expérimentale, et il insiste sur ce que l'expérience et l'observation sont la seule source de nos connaissances. « Que tous les disciples d'Aristote, écrit-il dans la conclusion de ses *Traités sur le vide et sur la pesanteur de l'air*, assemblent tout ce qu'il y a de fort dans les écrits de leur maître et de ses commentateurs pour rendre raison de ces choses par l'horreur du vuide, si ils le peuvent, sinon qu'ils reconnaissent que les expériences sont les véritables maîtres qu'il faut suivre dans la physique. » Pour Pascal, la

physique ne peut être réduite à une mathématique universelle, et la tendance cartésienne lui paraissait trop audacieuse de chercher l'essence de la matière. Ce contraste entre la pensée d'un Pascal et celle d'un Descartes est singulièrement intéressant. Jamais esprits ne furent plus dissemblables et moins faits pour se comprendre. On peut dire que, dans sa vision de la science, Pascal a montré trop de prudence, et Descartes a fait preuve de trop d'audace. Certes, plus d'un savant sourit aujourd'hui de l'assurance avec laquelle Descartes trouvait des explications pour toutes choses, et cependant, cette foi et cette confiance ont été merveilleusement fécondes. Comme l'a dit Claude Bernard, « pour faire la science, il faut croire à la science ». A l'inverse de Pascal s'attachant aux résultats particuliers, Descartes se préoccupait surtout de la *méthode*, et c'est par là qu'il est un des créateurs de la philosophie naturelle. Devancé en partie par Nicole Oresme dans la découverte de la géométrie analytique, il apporte des vues générales sur l'algèbre et ses applications. On a cherché parfois à rabaisser son rôle en mécanique. C'est oublier qu'il a le premier énoncé la loi d'inertie sous une forme précise, et qu'il a vu le premier dans la notion de *travail* le concept fondamental de la mécanique. On sait que Leibniz a rectifié certaines erreurs de Descartes sur les quantités de mouvement, mais il n'en reste pas moins que, en mécanique comme en philosophie, Leibniz est un disciple du philosophe français.

En même temps qu'à Pascal et à Descartes, les mathématiciens et les physiciens doivent apporter à Fermat leur tribut d'admiration. Parmi les savants du XVIIe siècle, la physionomie de Fermat est particulièrement attachante. Le nom du Conseiller au Parlement de Toulouse reste à jamais inscrit dans l'histoire du calcul infinitésimal à côté de celui de Pascal. Laplace et Lagrange le regardaient avec raison comme le premier inventeur des nouveaux calculs pour sa méthode de *maximis et minimis*, où il introduit en fait la

notion de *dérivée*. Ses merveilleuses divinations sur la théorie des nombres font l'admiration des amis de l'arithmétique, cette reine des mathématiques, comme qui dira plus tard le mathématicien allemand Gauss. L'optique est aussi redevable à Fermat d'un progrès considérable. Il a trouvé la raison de la réfraction dans un principe général, d'après lequel la nature agit *par les voies les plus courtes et les plus aisées;* c'est donc à lui que l'on doit la première notion du *principe de la moindre action*, qui joue aujourd'hui un si grand rôle dans tant de questions de philosophie naturelle.

Après Descartes, Pascal et Fermat, l'hégémonie scientifique passe pendant près d'un siècle à l'étranger, avec Huyghens et Newton, qui posent définitivement les principes de la dynamique; Newton fait de ceux-ci une admirable application, en écrivant dans son livre des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, le premier chapitre de la mécanique céleste. A cette période d'induction succède une période déductive où la France reprend le premier rang; le développement mathématique y joue un rôle essentiel, et il faut rattacher surtout à cette époque les travaux de d'Alembert et de Lagrange. Les applications viennent ensuite nombreuses. Quelles riches moissons en astronomie théorique rappellent les noms de ces grands géomètres et ceux de Clairaut et de Laplace. Newton mis à part et hors rang, on peut dire que la mécanique céleste est alors une science presque uniquement française.

Les XVIIe et XVIIIe siècles virent presque toujours les mathématiques et leurs applications cultivées par les mêmes savants. Il devait arriver un moment où des spécialisations s'établiraient. En France, trois noms dominent dans les sciences mathématiques pendant le premier tiers du XIXe siècle : ce sont ceux de Fourier, de Cauchy et de Galois. L'ouvrage de Fourier sur la théorie analytique de la chaleur contient le germe des méthodes employées dans l'étude des équations auxquelles conduisent de nombreuses théories physiques.

L'activité de Cauchy, qui fut à la fois un grand théoricien de la physique et de la mécanique et un inventeur de génie en mathématiques pures, a été prodigieuse. En créant la théorie des fonctions de variables complexes, il donna une vie nouvelle à l'analyse mathématique, et, en ce sens, les travaux les plus modernes relèvent de lui. Évariste Galois transforma la théorie des équations algébriques, en montrant qu'à chaque équation, correspond un groupe de substitutions, dans lequel se reflètent ses caractères essentiels; d'ailleurs, les notions qu'il introduisit dépassent de beaucoup le domaine de l'algèbre et s'étendent au concept de groupe d'opérations dans son acception la plus étendue.

Pendant la première moitié du XIXe siècle, la physique française brille du plus vif éclat. En physique générale, deux principes dominent la science de l'énergie. Sous leur forme thermodynamique, le premier principe ou principe de l'équivalence de la chaleur et du travail est attribué généralement au médecin allemand Robert Mayer, qui le formula en 1843; le second, concernant la dégradation de l'énergie, est le principe de Carnot. Mais l'histoire du premier de ces principes doit être révisée. Dès 1829, Sadi Carnot, modifiant ses vues sur le calorique, avait nettement indiqué le principe d'équivalence dans des notes trouvées après sa mort survenue en 1832, mais qui ne furent publiées que longtemps après. Il est donc légitime de regarder Sadi Carnot (qui était le fils aîné de Lazare Carnot) comme le créateur de la thermodynamique. En fait, comme l'a dit un bon juge, Lord Kelvin, « dans toute l'étendue des sciences, il n'y a rien de plus grand que l'œuvre de Sadi Carnot ». On ne doit pas oublier non plus que dans l'ouvrage sur les chemins de fer, publié en 1839, c'est-à-dire quatre ans avant Mayer, par Marc Séguin, l'inventeur des chaudières tubulaires, on rencontre des vues précises sur l'équivalence de la chaleur et du travail et sur le principe de la conservation de l'énergie.

Le grand nom de Fresnel domine tout ce qui concerne

l'optique ondulatoire. Quels merveilleux chapitres de la physique que ceux de l'optique des interférences et de la polarisation, où des physiciens français, comme Malus, Arago, Fresnel, Biot, Fizeau et leurs successeurs, ont fait de si remarquables découvertes.

En électricité, les lois de Coulomb sur les actions électriques à l'état statique sont restées classiques, et Ampère a pu être appelé le Newton de l'électrodynamique pour ses célèbres études sur l'action des courants sur les courants.

La chimie moderne est née dans la seconde moitié du XVIIIe siècle. Lavoisier occupe dans sa fondation une place à part. Un grand nombre de faits avaient été accumulés antérieurement, et tout récemment la découverte des principaux gaz, hydrogène, oxygène, azote, chlore, venait d'être effectuée. Lavoisier prend tous ces résultats comme point de départ de ses expériences et, en les interprétant convenablement, pose les bases de la chimie moderne. Toute son œuvre offre des exemples mémorables de rigueur dans la critique et de précision dans les mesures, et sa manière d'envisager la combustion en général constitue une véritable révolution scientifique. Il doit aussi être compté parmi les maîtres de la physiologie, pour avoir assimilé la respiration pulmonaire à une combustion.

Gay-Lussac et Dumas contribuent à l'établissement des lois générales de la chimie. La mécanique chimique et la chimie physique trouvent leur origine dans la statique chimique de Berthollet montrant que dans les réactions chimiques il faut tenir compte des conditions physiques, et Dulong établissait ensuite que, dans la décomposition des sels, peut intervenir la masse des réactifs. Puis viennent les travaux de Berthelot sur l'éthérification et de Sainte-Claire Deville sur la dissociation. Depuis lors, les notions ainsi acquises d'équilibre chimique et de transformations réversibles ont été l'objet d'un nombre immense de recherches, tant théoriques qu'expérimentales. Ainsi, les barrières

s'abaissent chaque jour entre la physique et la chimie. On n'en peut pas citer d'exemple plus mémorable que cet ensemble admirable de recherches sur les substances radioactives auxquelles sont attachés les noms de Henri Becquerel et de M. et Mme Curie, recherches qui se rapportent à la fois à la physique et à la chimie, et ont été l'origine des théories les plus profondes développées récemment sur la constitution de la matière.

Dans les sciences naturelles, l'orientation des recherches a été changée depuis Lamarck et Darwin. Sans vouloir rabaisser ce dernier, qui fut un grand naturaliste, on peut trouver que la doctrine du premier est autrement vaste. Depuis eux, la biologie tout entière est dominée par l'idée d'évolution, idée théorique sans doute et dont les modes d'application ont soulevé bien des controverses, mais qui s'est montrée extrêmement féconde. Rappelons encore que Bichat a fondé l'anatomie générale et a été le créateur de la science des tissus. Quant à Claude Bernard, on a pu dire de lui qu'il fut la physiologie elle-même. C'est surtout à lui que la physiologie est redevable de la démonstration de la nature physico-chimique des actes élémentaires de l'organisme, et un de ses plus beaux titres de gloire est d'avoir créé la physiologie cellulaire, base principale de la physiologie générale. En histoire naturelle, les travaux de Cuvier sur l'anatomie comparée, sur les ossements fossiles et sur la distribution du règne animal d'après son organisation, ont transformé les sciences zoologiques, et le souvenir est resté des débats célèbres entre Cuvier et un autre grand naturaliste du siècle dernier, Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, fondateur de l'embryogénie. Il suffira de rappeler ici le nom de Pasteur, dont les travaux sur les fermentations ont orienté la biologie dans des voies inattendues, et dont l'œuvre a en médecine des prolongements indéfinis. Dans le domaine de la biologie, Claude Bernard et Pasteur brillent au premier rang, et sont l'honneur de la science française.

IV.

Nous devons, en terminant, compléter ce que nous avons dit dans la seconde partie de cette préface sur les hypothèses et les théories scientifiques. On a quelquefois opposé, d'une part, les partisans de la doctrine énergétique, formant les équations générales relatives aux transformations d'un système matériel, sans en connaître la constitution autrement que par les variables, susceptibles d'être observées, au moyen desquelles on peut le définir, et, d'autre part, les esprits désireux d'explications mécaniques et curieux du détail intime des phénomènes. Les seconds veulent ouvrir la montre qui est devant eux, tandis que les premiers se contentent de suivre le mouvement des aiguilles. Cette opposition est ancienne; qu'il suffise de rappeler la phrase de Pascal : « Il faut dire en gros, cela se fait par figure et mouvement, car cela est vrai, mais de dire quels et composer la machine, cela est ridicule; car cela est inutile, et incertain, et pénible. » Et le plus résolu des énergétistes, Pierre Duhem, a écrit : « Une théorie physique n'est pas une explication : c'est un système de propositions mathématiques, qui ont pour but de représenter, aussi simplement, aussi complètement et aussi exactement que possible, un ensemble de lois expérimentales. » Le point de vue est étroit, mais, depuis un siècle, d'éminents physiciens, en s'y tenant, ont fait progresser la science, comme le montre assez le développement grandiose de la thermodynamique et de ses applications. Par contre, d'autres plus confiants se sont efforcés de démonter la machine. Ils ne craignent pas d'introduire, à côté des variables *visibles* que nous pouvons mesurer et sur lesquelles nous pouvons avoir une action directe, des variables *cachées* échappant à nos mesures. Quelque arbitraire qu'aient présenté souvent de telles constructions, on se priverait d'une

arme puissante, en renonçant à ces tentatives d'explications, qui sont un fécond instrument de recherches.

L'antagonisme fut parfois vif entre les deux points de vue. Nous jugeons mieux maintenant de ce qu'il faut demander aux hypothèses et aux théories, et nous avons moins de goût pour les querelles d'écoles où se plaisaient nos devanciers. On admet en général aujourd'hui que les théories ne se proposent pas de donner une explication causale de la réalité même, mais seulement de traduire celle-ci en images ou en symboles mathématiques. N'était-ce pas, d'ailleurs, ce que faisaient certaines écoles de l'antiquité, quand elles parlaient de *sauver les phénomènes ?* On voit maintenant des ponts s'établir entre les tendances extrêmes radicalement opposées dans leur principe. Nous devons nous en féliciter, car c'est en adoptant des points de vue divers, quelquefois opposés, que les sciences progressent.

Les théories de l'optique pourraient servir d'illustrations aux remarques qui précèdent. Il y a soixante ans, peu de savants doutaient de la réalité du fluide mystérieux qui était l'*éther* d'Huyghens et de Fresnel, dont les vibrations produisent la lumière. La théorie de l'émission, à laquelle on rattachait le nom de Newton, était définitivement condamnée, et le système des ondulations triomphait. Lamé écrivait dans ses leçons sur l'élasticité : « L'existence du fluide éthéré est incontestablement démontrée par la propagation de la lumière dans les espaces planétaires, par l'explication si simple et si complète des phénomènes de la réfraction, et les lois de la double réfraction montrent avec non moins de certitude que l'éther existe dans les milieux diaphanes.... » Et le grand physicien anglais Lord Kelvin proclamait aussi : « L'éther n'est pas une création imaginaire du philosophe, il nous est aussi essentiel que l'air que nous respirons.... »

Un nombre immense de faits se sont trouvés expliqués par l'intervention de ce fluide subtil. A la vérité, des difficultés se présentèrent de bonne heure, quand on chercha à

se rendre compte de sa nature, en faisant des comparaisons avec les milieux qui nous sont familiers, l'éther devant posséder à la fois les propriétés des fluides et celles des solides élastiques. A la suite des travaux théoriques de Maxwell, suivis des expériences de Hertz, on fut conduit à envisager autrement l'éther; il ne fut plus qu'un champ de forces électrique et magnétique, et cessa d'être une substance; c'est par métaphore que nous parlons d'ondes hertziennes, si une vibration exige une substance qui vibre. Sans parler d'autres avatars par lesquels passa l'éther, perdant même pour certains physiciens le peu d'existence qui lui restait, on peut juger par cet exemple de l'évolution qu'est susceptible de subir une théorie physique, et l'on comprend que, si certains tiennent à ce qu'une théorie fournisse des images ou des modèles de la réalité qu'ils puissent en quelque sorte toucher, d'autres jugent que la partie essentielle d'une théorie est le moule analytique dans lequel elle cherche à enfermer les choses. En lisant les travaux de certaines écoles modernes de physique mathématique, on évoque plus d'une fois le souvenir de la science hellène, pour laquelle le réel était en quelque sorte le monde sensible vu à travers les concepts de l'arithmétique et de la géométrie.

J'ai eu surtout en vue dans les remarques précédentes les sciences, comme la physique et la chimie, entrées dans ce que j'appelais plus haut la période mathématique, où le stade qualitatif est dépassé et où certaines prévisions numériques sont devenues possibles. Les sciences biologiques se présentent, en général, avec un autre caractère. Tandis que le nombre des éléments à introduire dans l'étude d'un phénomène physique est pratiquement assez restreint, il serait nécessaire d'introduire un nombre immense des variables, si l'on voulait en biologie construire des théories du même type que les théories mécanistes de la physico-chimie. Le mécanisme proprement dit s'y présente avec d'énormes difficultés; au contraire, les considérations globales de l'énergétique

rendent, notamment en physiologie, les plus grands services. Il faut élargir aussi le sens du mot explication, la prévision étant rarement possible sous forme quantitative, et l'on doit souvent se borner à rendre compte du sens d'une évolution dont on ne peut préciser les causes. Il est clair, par exemple, que les théories transformistes ont un tout autre caractère que les théories de la physique et de la chimie, le point de vue initial renfermant une indétermination qui rend difficile d'en suivre les conséquences. L'hypothèse de l'évolution n'en est pas moins un admirable instrument de recherche et de travail; elle a d'ailleurs pour elle qu'on ne peut concevoir une autre théorie scientifique qui la remplacerait utilement.

Après les développements qu'on vient de lire, il serait oiseux de nous demander si les progrès de la science nous ont mieux fait connaître le fond des choses; elle restera, je crois, toujours vraie, cette phrase que le grand mathématicien *Galois* écrivait quelques heures avant sa mort prématurée : « La science est l'œuvre de l'esprit humain, qui est plutôt destiné à étudier qu'à connaître, à chercher qu'à trouver la vérité. » Mais il faut ajouter que les études et les recherches scientifiques nous conduisent à nous expliquer de mieux en mieux l'Univers. A ce travail participent avec une noble émulation les savants de tous les pays. La façon de poser notions et concepts peut différer parfois d'un peuple à un autre, de sorte que la science, en une certaine mesure, a un caractère national. Ainsi les mathématiciens français s'efforcent de maintenir un sage équilibre entre l'étude de théories purement formelles constituant une sorte de *méta-mathématique* et les applications de l'analyse mathématique à la géométrie, à la mécanique et à la physique. Beaucoup d'entre eux restent fidèles à la pensée de nos grands géomètres physiciens de la première moitié du siècle dernier, d'après laquelle nous avons besoin d'être guidés par des possibilités d'applications plus ou moins lointaines dans l'infinie variété des formes que conçoit notre esprit, de manière à ne

pas aller à l'aventure. En physique et en chimie, le savant anglais préfère souvent les modèles mécaniques aux théories abstraites, et il suffit de rappeler à ce sujet les noms illustres de Faraday et de Lord Kelvin; on sait d'ailleurs que le goût des représentations figurées et d'une vision concrète des choses est une des caractéristiques de l'esprit anglais se souciant peu de l'unité logique. A l'opposé de la mentalité scientifique anglaise, on peut signaler certaines tendances de la science allemande posant *a priori* des notions et des concepts, et en suivant indéfiniment les conséquences sans se préoccuper de leur accord avec le réel, trouvant même un certain plaisir à s'éloigner du sens commun. La lecture de cette histoire laissera l'impression que la science, dans le pays de Pascal et de Descartes, a toujours gardé une position moyenne entre des tendances extrêmes. Il ne faut pas d'ailleurs regretter certaines différences, par lesquelles chaque pays apporte dans l'œuvre commune ses qualités propres; dans leur ensemble, elles ont été fécondes.

Tout en reconnaissant que les théories sont pour le chercheur un guide, sans lequel il n'y a le plus souvent qu'empirisme et rencontres fortuits de trouvailles heureuses, nous devons proclamer bien haut que l'art difficile de l'expérimentation tient dans les sciences et la nature la première place. Si l'on admire l'audace des conceptions théoriques développées dans les siècles derniers, on n'est pas moins émerveillé de la précision des mesures atteintes dans certaines parties de la science. On l'a dit très justement, les révolutions scientifiques ont eu pour point de départ des mesures faites avec la précision que leur époque permettait d'atteindre, et rien n'est plus définitivement fécond dans la science que le gain d'une décimale. C'est ce que montre l'histoire des sciences depuis les observations astronomiques de Tycho-Brahé, permettant à Kepler d'arriver aux lois du mouvement des planètes, jusqu'aux expériences délicates de l'optique, où l'on mesure des millièmes de millionièmes de

millimètre, qui ont permis d'édifier les théories modernes sur la structure des raies spectrales. Il convient aussi de ne pas établir une distinction trop profonde entre la science et la technique, où le technicien serait mis à un rang inférieur. De bonnes techniques ont été souvent l'origine d'importantes découvertes. Comme l'a remarqué Claude Bernard, la création d'une bonne technique ou d'un bon instrument peut rendre plus de services à la science que le perfectionnement des hautes spéculations théoriques qui en sont les fondements rationnels.

Il résulte, semble-t-il, de tout ce qui précède que l'ensemble si varié des points de vue qui se présentent dans l'histoire des sciences a une valeur hautement éducative, et il est permis en terminant de souhaiter que, dans notre enseignement secondaire, quelque place soit, vers la fin des études, réservée à cette histoire trop négligée en France. L'histoire des sciences peut devenir un grand ferment de *vocation;* et c'est dans ce sens que l'œuvre présente est écrite : elle contribuera, peut-être, à mettre fin à l'espèce d'ostracisme qui frappait cet ordre de connaissance historique. Certes, on a glorifié la science dans de beaux discours, mais cette haute estime est restée le plus souvent purement verbale, et l'on ne s'est pas assez soucié de donner à notre jeunesse une vue nette et éducative sur l'objet et la valeur de la science. A bien des indices, il semble que les temps commencent à changer. On s'accorde à reconnaître que certaines connaissances scientifiques sont nécessaires à une culture générale qui ne peut être aujourd'hui purement littéraire, et il commence à apparaître que l'histoire des sciences est un des beaux chapitres de l'histoire de l'esprit humain.