
UN COUP D'ŒIL
SUR
L'HISTOIRE DES SCIENCES
ET
DES THÉORIES PHYSIQUES

LECTURE FAITE DANS LA SÉANCE PUBLIQUE ANNUELLE DU 16 DÉCEMBRE 1929

PAR
M. ÉMILE PICARD,
SECRÉTAIRE PERPÉTUEL



MESSIEURS,

Vous entendez habituellement dans vos séances publiques un de vos Secrétaires perpétuels, se conformant à une pieuse coutume, vous parler de la vie et de l'œuvre d'un de nos anciens confrères. Vous me permettez cette année de rompre pour une fois avec la tradition. On parle constamment aujourd'hui de la science, de sa valeur, de ce qu'on peut attendre d'elle. Peut-être y a-t-il quelque intérêt, en se plaçant surtout au point de vue historique, à jeter un rapide coup d'œil sur le développement scientifique à travers les âges, à rechercher sur quelques exemples comment on a envisagé la science à différentes époques et quelle idée on s'est faite de l'objet des théories physiques.

Nous ne pourrions d'ailleurs tracer ici qu'un raccourci sommaire et

superficiel d'un sujet très vaste, touchant à tant de points de l'histoire de l'esprit humain. Ainsi nous laisserons presque entièrement de côté les sciences biologiques, qui posent cependant tant de problèmes d'une importance capitale. Mais les théories qui s'y présentent ont un autre caractère que dans les sciences physico-chimiques; les concepts y sont actuellement moins élaborés, et elles sont plus loin du stade mathématique.

Montaigne a écrit dans ses *Essais* : « C'est un grand ornement que la science, et un outil de merveilleux service ». Un peu plus tard Huygens voit de son côté dans la science : « une utilité pratique pour le genre humain et tous les siècles à venir, et aussi un fondement assuré pour bâtir une philosophie naturelle, dans laquelle il faut nécessairement procéder de la connaissance des effets à celle des causes ». Vers la même époque le Dictionnaire de l'Académie française donnait la définition suivante : « Science, connaissance qu'on a de quelque chose. Science signifie aussi connaissance certaine et évidente des choses par leurs causes ».

Quoiqu'il en soit des difficultés relatives au mot *cause*, sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir, les citations précédentes indiquent bien les aspects sous lesquels on peut envisager la science. Celle-ci fut d'abord l'outil qui permit à l'homme primitif de s'élever peu à peu. Très tôt, l'humanité compta des esprits plus attentifs que leurs congénères à l'observation des phénomènes courants. Ce furent les premiers savants. Ils ont allumé les premiers feux et enseigné à fabriquer les instruments des âges préhistoriques. Outre des recettes pratiques, on trouve à des époques reculées une considération systématique et réfléchie des faits, accompagnée de leur classement, à laquelle on ne peut refuser un caractère scientifique, et on sait d'ailleurs combien est incertaine la distinction entre la science et la technique. Dans un autre ordre d'idées, nous voyons apparaître de bonne heure la notion abstraite de nombre entier, et ne doit-on pas regarder aussi comme d'ordre scientifique les analyses des éléments du langage, qui ont conduit peu à peu aux représentations syllabiques et alphabétiques.

I.

Égypte et Chaldée.

Si on laisse de côté le développement scientifique de l'Extrême-Orient assez mal connu pour la haute antiquité, c'est avec les anciennes civilisations de l'Égypte et de la Chaldée que commence l'histoire quelque peu documentée de la science. Plusieurs millénaires avant notre ère, des instruments comme le levier, le coin, le treuil y étaient connus. Du temps de Goudea, on élevait des constructions gigantesques, exigeant des techniques variées. Les Babyloniens avaient fait non seulement de la statique, mais il semble bien qu'ils connaissent en cinématique le mouvement uniformément accéléré.

En ce qui concerne l'arithmétique, il y eut de très bonne heure deux systèmes de numération, l'un exclusivement décimal en Égypte, l'autre principalement sexagésimal à Babylone. Un papyrus découvert il y a longtemps, dit papyrus de Rhind, traduit récemment en anglais, est un document précieux pour l'histoire de la science mathématique en Égypte. C'est tout d'abord un manuel du calculateur remontant au temps de la douzième dynastie. Il renferme des parties théoriques, en particulier sur les progressions, et l'on peut dire qu'il donne des exemples de problèmes algébriques se ramenant à des équations du premier degré; dans cet algèbre, d'aspect très pittoresque, l' x inconnue est figurée par un ibis fouillant le sol, et nos signes *plus* et *moins* par des jambes dirigées respectivement vers la gauche et vers la droite, tandis que notre signe d'égalité est représenté par un scarabée symbole du devenir. Le papyrus de Rhind contient aussi une partie géométrique, mais c'est surtout dans un papyrus conservé à Moscou, datant du dix-huitième siècle avant notre ère et dont l'étude n'est

pas achevée, qu'on trouve des renseignements plus complets sur la Géométrie dans l'ancienne Égypte; on est étonné d'y rencontrer une expression exacte du volume d'un tronc de pyramide à bases carrées, et aussi cet énoncé que la surface d'un hémisphère est le double de celle du grand cercle qui le termine.

La Géométrie qui, dans les temps anciens, fut le premier Chapitre de la Physique, eut-elle alors comme l'arithmétique ses parties théoriques? On répond généralement par la négative. Peut-être le papyrus de Moscou fournira-t-il de nouveaux renseignements à ce sujet.

On sait combien furent accumulées de précieuses observations astronomiques en Égypte et en Chaldée, et quel rôle joua sur les bords du Nil la période sothiaque de 1460 ans. En Mécanique, les monuments égyptiens témoignent d'une technique remarquable, où les architectes utilisaient dans le tracé des voûtes et des dômes les propriétés géométriques des figures. Il y a peu à dire de la Physique dans l'ancienne Égypte, et la Chimie semble avoir été presque uniquement réduite à des procédés métallurgiques, le tout mêlé à des opérations magiques et à des interprétations mystiques, comme celles où figure le nombre *sept*. Par contre, les anciens Égyptiens ont fait sur les animaux et les plantes des observations du plus haut intérêt. Certaines représentations de plantes sur les murs du temple de Karnak sont si précises, que ces plantes ont pu être déterminées avec sûreté. Pour quelques arums on a des représentations fidèles de divers stades de l'embryon, et, d'après un témoignage autorisé, il n'y en a pas eu de meilleures jusqu'à Malpighi au dix-septième siècle. Les mêmes qualités d'observation précise se retrouvent pour les animaux marins des bords de la mer Rouge. En Médecine, les papyrus donnent des descriptions très exactes des maladies de l'intestin et de l'utérus, et les renseignements donnés sur le traitement de certaines plaies dénotent des connaissances anatomiques poussées assez loin. J'ai surtout parlé de l'Égypte, mais nous aurions trouvé en Chaldée et dans d'autres parties de l'Orient, quoique peut-être à un degré moindre, des faits analogues, nous ren-

seignait sur l'état de la science entre le dix-huitième et le quinzième siècle avant notre ère.

Parallèlement aux travaux de nature scientifique dont nous venons de donner une idée sommaire, s'élaboraient dans les sanctuaires des cosmogonies, où il serait injuste de ne pas reconnaître un effort de coordination et de sélection. A la place des esprits innombrables, qui, pour l'homme préhistorique comme pour le sauvage moderne, peuplaient le monde, un nombre relativement restreint de principes divins est intervenu. Il serait peut-être exagéré de parler du caractère scientifique de ce travail de simplification; cependant il témoigne parfois d'une observation raisonnée des phénomènes naturels, et il a laissé une empreinte sur les spéculations ultérieures. En pensant aux rôles qu'y jouaient certaines divinités, rappelons-nous que la Physique d'Aristote regardait encore les astres comme mus par des êtres divins.

Il semble qu'il y ait un hiatus entre le moment où la science a atteint en Égypte et en Chaldée son plus grand développement et celui où apparaissent ceux qu'on a appelés les Physiciens d'Ionie. Nous croyons moins aujourd'hui qu'il y a soixante ans à des discontinuités de ce genre. Qu'il s'agisse d'art ou de science, l'étude de temps plus récents nous a habitués à l'idée d'une lente évolution, et il en a été probablement en Grèce pour la science comme pour l'art. L'histoire de ces Égéens, dont on parle beaucoup aujourd'hui, intermédiaires entre l'Égypte et la Grèce, est encore insuffisamment connue, et l'on peut présumer que dans leurs cosmogonies, les sages d'Ionie continuaient un travail de simplification et de réduction antérieurement commencé.

Quoi qu'il en soit, ces spéculations, à la fois ambitieuses et naïves, qui cherchaient une explication des phénomènes naturels en partant d'un petit nombre de principes, marquent une date dans l'histoire de l'esprit humain; un but apparaissait dont la vision devait exercer, indirectement au moins, une grande influence sur le développement de la science positive. A cette aurore de la spéculation, science et cosmologie sont étroitement mêlées.

II.

Les Physiciens d'Ionie.

On regarde Thalès comme le plus ancien des sages d'Ionie. Il pensait que l'eau remplit l'espace, et notre monde est pour lui une bulle d'air hémisphérique plongée dans la masse liquide; la surface convexe de la bulle est notre ciel, tandis que la Terre est un disque flottant sur le grand cercle qui limite le volume de l'hémisphère. Invisible pour nous quand il est dans la partie plate autour de la Terre, le Soleil est visible quand il vogue sur la portion hémisphérique; le disque lunaire est analogue, mais susceptible de montrer un côté obscur. Ce sont là d'anciennes conceptions égyptiennes, laïcisées si l'on peut dire. Ceci n'empêchait d'ailleurs pas Thalès, si nous en croyons Aristote, de déclarer que « le monde est plein de dieux »; il attribuait en effet une âme vivante à l'ambre ou à l'aimant pour expliquer l'attraction exercée par ces corps. Certains penseront peut-être que nous ne sommes pas si loin de Thalès, quand nous parlons de gravitation.

Chez Anaximandre il y a un effort pour expliquer la génération de l'Univers. Il se représente l'espace comme une sphère formée par une matière primordiale, sur laquelle on a beaucoup discuté, *τὸ ἄπειρον* matière animée d'un mouvement de rotation; dans ce mouvement les matières les plus denses se porteraient au centre et les plus légères à la circonférence. Ce mouvement engendre et détruit périodiquement toutes choses, et la succession est indéfinie des mondes qui ne s'organisent que pour périr ensuite; c'est déjà le retour éternel. L'effort tenté par le second milésien pour expliquer l'Univers en partant, semble-t-il, du fait d'expérience vulgaire présenté par les liquides tournants reste mémorable.

Du nom d'Anaximandre est à rapprocher celui d'Anaximène. Celui-ci spécifie comme air la matière indéterminée de son prédécesseur, mais c'est sans doute un air plus subtil. Sa Cosmologie est voi-

sine de celle de la Chaldée : un firmament solide sur lequel sont fixées les étoiles, et qui tourne autour de la Terre; à l'intérieur le Soleil, la Lune et les autres astres errants flottant au milieu de l'air, et emportés par un tourbillon.

Les cinq planètes sont distinguées des étoiles fixes et assimilées au Soleil et à la Lune en ce qui concerne leurs mouvements. Anaximandre et Anaximène croient tous deux à l'unité de la substance, mais il y a de l'un à l'autre un progrès. Pour le premier cette substance primordiale semble un mélange dont le mouvement sépare des choses déjà existantes, tandis que pour le second c'est aux compressions et aux dilations de la substance initiale produites par ce mouvement que serait due la formation des différents corps.

N'ayant que des documents postérieurs aux temps des Milésiens, sauf peut-être quelques lignes d'Anaximène, nous ne pouvons émettre que des vraisemblances sur leurs doctrines, mais un point certain est qu'on trouve chez eux la recherche d'une explication mécanique de l'Univers. La science grecque, prenant la succession des théories cosmogoniques de l'Égypte et de la Chaldée, commence par se poser des problèmes sur l'origine et la fin des choses, qui resteront probablement toujours insolubles, mais la tentative n'en est pas moins grandiose de chercher à remplacer par des forces naturelles les actions divines des vieilles cosmogonies.

Dans ce que nous venons de dire de l'antique École d'Ionie, il a été surtout question de Cosmologie plutôt que de science proprement positive. Sur ce dernier point, les traditions ici encore sont incertaines. On attribue à Thalès diverses propositions élémentaires de Géométrie, et il aurait mesuré la hauteur des pyramides d'après leur ombre comparée à celle d'un bâton. La notion de similitude, qui intervient ici, est incontestablement très ancienne dans l'humanité et les Égyptiens la possédaient certainement. Faut-il attribuer à Thalès les premières démonstrations effectives relatives aux triangles semblables. Les propositions initiales de la Géométrie ont apparu d'abord intuitives; aujourd'hui encore les débutants en géométrie s'étonnent

du besoin d'établir tel théorème qui leur apparaît évident. Nous ne saurons probablement jamais quand on a commencé à dérouler les chaînes de proposition logiquement enchaînées. Les Grecs ont-ils été les premiers à développer cette géométrie axiomatique, où l'on part à la manière euclidienne d'un certain nombre d'axiomes et de postulats. On le pense généralement, quoiqu'il ne soit pas impossible que depuis les temps des Papyrus de Rhind et de Moscou il y ait eu des précurseurs. D'ailleurs la rigueur a ses degrés, et l'on sait que tout logicien est traité d'intuitif par un logicien plus pur, comme le montrent assez tant de travaux modernes où l'on cherche à donner aux sciences la forme axiomatique si chère à quelques-uns de nos contemporains.

III.

L'École pythagoricienne.

Dans la grande Grèce, les travaux attribués à Pythagore et à son école apparaissent nettement spéculatifs. Avec les premiers Ioniens nous avons une école de physiciens; l'École pythagoricienne est surtout une école de mathématiciens, et sa philosophie revêt une forme mathématique. On lit dans un commentateur postérieur, Eudème : « Les Pythagoriciens ont élevé la géométrie à la dignité réelle d'une science, scrutant les théorèmes plus intellectuellement et immatériellement ». Il est certain que les mathématiques pythagoriciennes laissèrent une trace profonde dans les mathématiques postérieures. Un adage de l'École proclamait que « *les choses sont nombres* », ou que « *les nombres sont la véritable essence des choses* », ce qui a été diversement interprété. Ces formules trouvent peut-être leur origine dans l'idée que les Pythagoriciens se faisaient de la ligne regardée comme une suite de points; toute représentation figurée est alors *nombre*. La découverte des polyèdres réguliers convexes est aussi rattachée au nom du philosophe de Samos. Il est singulier que, à cette époque, les spéculations mathématiques aient revêtu dans la grande Grèce, un

caractère mystérieux et secret. Pythagore donnait seulement un enseignement oral réservé à un petit cercle d'élèves. Tout disciple le trahissait, s'il publiait une partie de sa doctrine mathématique. Un d'eux aurait péri en mer, victime de son impiété, pour avoir publié les leçons sur le dodécaèdre régulier. Un autre aurait été exclu, et on lui aurait même élevé un tombeau comme s'il était mort, pour avoir divulgué l'existence du nombre incommensurable qu'est le rapport entre le côté d'un carré et sa diagonale. C'est peut-être parce que ce résultat était en opposition avec la doctrine *atomique* de la longueur. Paul Tannery a d'ailleurs émis la conjecture vraisemblable que la retraite de Pythagore à Métaponte et les discordes civiles qui suivirent auraient beaucoup moins présenté le caractère d'une révolte populaire que d'une scission entre les disciples du Maître.

On sait que Pythagore établit des rapports entre la théorie des nombres et l'acoustique, et l'on connaît les correspondances que voyait l'École Pythagoricienne entre les planètes et les cordes de la lyre : c'était l'harmonie des sphères. Pour l'Astronomie, les précisions sont moindres. Il semble cependant certain que Pythagore enseignait que la Terre est sphérique et qu'elle est immobile au centre du monde. Il fut le premier à décomposer le mouvement du Soleil en deux rotations ; dans la seconde de celles-ci cet astre décrit sur la sphère céleste un grand cercle, l'écliptique, dont le plan est incliné sur le plan de l'Équateur. Ces rotations étaient regardées comme uniformes, et cette décomposition semble avoir été étendue à la Lune et aux planètes. Un grand pas était ainsi fait dans les connaissances astronomiques des Grecs ; en même temps s'implantait dans un milieu très sensible à la beauté des combinaisons géométriques simples la conviction que le cours des astres se laisse décomposer en mouvements circulaires et uniformes. Parmi les Pythagoriciens d'âge ultérieur, Philolaüs contemporain de Socrate, a été regardé quelquefois comme un précurseur de Copernic. C'est cependant l'opinion courante que Philolaüs ne faisait pas tourner la Terre autour du Soleil ; la rotation de notre globe avait lieu autour d'une sphère de feu, invisible de la partie habitée de la

Terre, qui était le centre immobile du Monde. Bien étrange nous paraît la Physique de Philolaüs, où le principe est posé d'une opposition radicale entre la région sublunaire, où les corps sont soumis à la génération et à la destruction, et le reste du Monde où tout est immuable et éternel. Cette distinction adoptée par les péripatéticiens exerça longtemps sur la Physique une action singulièrement funeste.

Que de noms viendraient sous notre plume si nous ne nous attachions qu'à ceux qui exercèrent quelque influence sur le développement scientifique. C'est *Héraclite*, père de la philosophie du devenir et de la mobilité, pour lequel le principe de l'Univers est le feu. C'est *Anaxagore*, regardant que l'Univers a été originairement un chaos dans lequel l'esprit ($\nu\omicron\sigma\varsigma$) mit de l'ordre en lui communiquant un mouvement de rotation; on peut le regarder comme un lointain précurseur des théories cosmogoniques du genre de celles de Kant et de Laplace.

Démocrite mérite une mention spéciale; il fut en son temps un savant universel, l'Aristote, peut-on dire, du cinquième siècle. Il pose comme réalités primordiales le vide et les atomes indestructibles qui s'y meuvent, atomes différents les uns des autres par leurs formes géométriques, et susceptibles de se choquer et de s'accrocher entre eux; il prétend donner ainsi une explication causale et mécanique des choses. Dans ses théories sur la Nature, Démocrite s'efforce de substituer la notion de quantité à celle de qualité, et l'on trouve chez lui une vague anticipation de la conservation de la matière. On peut dire qu'il a posé nettement le principe de raison suffisante. Aristote, qui le combattait sur plus d'un point, écrivait plus tard: « Démocrite, qui néglige de parler de la cause finale, ramène à la nécessité toutes les opérations de la Nature ». Démocrite écrivit des Traités, presque tous perdus, sur la Géométrie et sur l'Astronomie, où, fidèle à la tradition ionienne, il regardait encore la Terre comme plate; l'Anatomie et la Physiologie ne lui furent pas non plus étrangères.

La question de la divisibilité infinie des grandeurs troubla beaucoup les philosophes du cinquième siècle. Les arguments classiques de Zénon d'Elée, comme celui d'Achille ne pouvant jamais rattraper la

tortue, étaient en fait dirigés contre les Pythagoriciens; ils avaient pour principal objet de montrer qu'une ligne n'est pas une somme de points, que le temps n'est pas une somme d'instants. Sans faire des rapprochements avec des doctrines modernes, rappelons seulement que Zénon nie que l'espace soit un être; c'était en reconnaître la relativité.

Un problème tout différent préoccupa aussi les écoles d'Ionie et de Grande Grèce, celui de la nature de la Lumière. Démocrite professait la doctrine de l'émission d'après laquelle la vision est causée par la projection de particules provenant des objets. Les Pythagoriciens au contraire supposaient que l'œil projette hors de lui des rayons qui vont saisir les objets perçus. Ce n'était là que les commencements de la longue suite des théories que présente sur la lumière l'histoire de la science.

On reste émerveillé devant les idées remuées aux sixième et cinquième siècles. En mathématiques les progrès furent considérables; en même temps s'accumulaient de précieuses observations tant en Astronomie que dans les sciences naturelles. D'autre part la question du déterminisme scientifique est nettement posée, et le point important 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 fut une telle tentative, un but apparaissait dont la vision ne devait pas être sans influence sur le développement ultérieur de la science.

IV.

Platon, Eudoxe et Aristote

L'époque suivante est dominée par les grands noms de Platon et d'Aristote. Platon connaissait et aimait les mathématiques, et il leur a fait une large part dans sa construction de la science; mais ce n'est

qu'indirectement qu'il contribua à leurs progrès, en s'efforçant d'introduire des définitions rigoureuses. Il est souvent difficile de démêler les doctrines cosmogoniques du philosophe sous les formes mystiques qui les recouvrent. Contrairement à Démocrite, Platon nie l'existence du vide dans la nature. Entre les *idées* des choses qu'il met au sommet de la réalité et les êtres changeants qui naissent et périssent, il place une troisième catégorie formée des essences spécifiques des quatre éléments : feu, terre, air et eau, représentées par le tétraèdre, le cube, l'octaèdre et l'icosaèdre, alliage singulier des idées atomiques et de la mystique géométrique des Pythagoriciens. En ce qui concerne son système astronomique, Platon professa longtemps l'immobilité de la Terre au centre du Monde. Il paraît cependant qu'il y eut un revirement ultérieur dans ses idées, comme l'indique le passage suivant de Théophraste : « Platon devenu vieux se repentit d'avoir donné à la Terre la place centrale dans l'Univers, place qui, étant la principale, convenait à quelque chose de mieux ». Le philosophe avait eu probablement connaissance du système de Philolaüs, et c'est ce système qu'il regretta sans doute de ne pas avoir exposé dans le Timée, en substituant seulement au feu central le pouvoir d'organisation et de création qu'il appelait *l'âme du monde*.

En plusieurs endroits de ses Dialogues, Platon expose ses vues sur l'objet de la science, en particulier sur celui de l'Astronomie; elles ne furent pas sans influence sur l'idée que certaines écoles se sont faites plus tard de la science. Il y a dans toute science un but pratique, mais ce point est de peu d'intérêt pour Platon. La connaissance sensible des choses qui passent est utile, mais inférieure; seule est importante la contemplation des choses éternelles. Ainsi la géométrie fait méditer sur les propriétés immuables des figures et prépare à la contemplation du souverain Bien. De même après l'astronomie d'observation, il y a l'astronomie véritable qui permet de rendre compte du mouvement des astres par la composition de mouvements circulaires et uniformes, et nous élève à la contemplation des intelligences motrices des orbés célestes. Pour Platon, cette astronomie cinématique doit,

suivant sa propre expression : « σώζειν τὰ φαινόμενα », *sauver les phénomènes* », et toute une philosophie scientifique en résultera.

Les cinquième et quatrième siècles ont été dans les directions les plus diverses des époques brillantes pour le développement des connaissances scientifiques. Hippocrate de Cos fut un des plus grands cliniciens de tous les temps. Rassemblant et systématisant les observations accumulées avant lui, il est le fondateur de la médecine positive. On lui doit d'admirables descriptions de nombreuses maladies, phtysie, épilepsie, fièvres variées, et jusqu'au dix-neuvième siècle, certaines de ses indications chirurgicales conservèrent toute leur valeur. Dans l'ordre des sciences mathématiques, deux noms dominent cette période, Archytas de Tarente et surtout Eudoxe de Cnide. Archytas traita de la mécanique théorique et construisit dit-on un automate ; son nom reste aussi attaché au problème de la duplication du cube qu'il résolut en considérant pour la première fois une courbe gauche.

Eudoxe de Cnide fut un des savants les plus universels du quatrième siècle. Après avoir étudié la médecine, il se consacra à la géométrie et l'astronomie. Son grand titre de gloire est la découverte de la méthode d'exhaustion ; elle consiste à retrancher d'une grandeur à évaluer une suite de termes, en sorte que la différence toujours diminuée devienne moindre que toute quantité donnée. Le géomètre de Cnide établissait ainsi l'existence de valeurs limites sans recourir explicitement à l'idée d'infini, mise alors au ban par les mathématiciens grecs ; il utilisa en particulier la méthode d'exhaustion pour trouver en toute rigueur le volume de la pyramide, et pour montrer que les surfaces de deux cercles sont proportionnelles aux carrés de leurs rayons : Eudoxe apparaît ainsi comme un précurseur du Calcul infinitésimal. En Astronomie, utilisant les observations rapportées d'Égypte, il réussit à trouver une solution du problème proposé par Platon, dont il avait suivi l'enseignement dans sa jeunesse, problème relatif à une représentation géométrique du mouvement des planètes. A chacun des sept astres errants correspondait un mécanisme

formé d'un groupe de sphères homocentriques s'emboîtant les unes dans les autres et tournant d'un mouvement uniforme; l'astre était logé dans la dernière de ces sphères, la plus rapprochée du centre. Ainsi se trouvaient, au sens platonicien, *sauvés* les mouvements des planètes, et c'est là précisément pour les anciens l'objet de l'Astronomie, qui se préoccupe seulement de l'ordre des corps célestes, de leurs figures et de leurs distances, laissant au physicien le soin d'examiner ce qui concerne l'essence du ciel et des astres. Le système des sphères d'Eudoxe fut complété plus tard par Calippe et par Aristote, qui reliaient les uns aux autres les groupes des diverses planètes par des sphères compensatrices.

Notre ancien confrère, Pierre Duhem, qui avait une grande tendance à ne voir dans une théorie physique qu'une manière de *sauver* les phénomènes, a écrit au sujet d'Eudoxe : « L'attribution du titre de créateur de la méthode des sciences physiques a donné lieu à bien des querelles; les uns ont voulu le donner à Galilée, d'autres à Descartes, d'autres encore à François Bacon qui est mort sans avoir jamais rien compris à cette méthode. En vérité, la méthode des sciences physiques a été définie par Platon et par les Pythagoriciens de son temps avec une netteté et une précision qui n'ont pas été surpassées; elle a été appliquée pour la première fois par Eudoxe de Cnide, lorsqu'il a tenté, en combinant des rotations de sphères homocentriques, de sauver les mouvements apparents des astres ».

Dans l'œuvre d'Aristote, il est difficile de séparer la physique positive d'une métaphysique du monde matériel. Pour lui, la physique étudie l'être « dont, suivant ses propres expressions, la substance contient le principe du mouvement ou de l'arrêt de mouvement qui se produit en elle », et la distinction y est essentielle entre les deux manières d'être, existence en *acte* et existence en *puissance*. Aux quatre éléments Aristote en ajoute un cinquième, la quintessence dont sont faits les astres incorruptibles et éternels, qui décrivent leurs orbites sous la conduite d'intelligences divines. Mais d'autre part, le Stagyrite se fait parfois une idée toute moderne d'une théorie physique, et

il ne semble guère attacher de réalité aux combinaisons par lesquelles les astronomes, se proposant seulement de *sauver* les apparences, calculent les positions des planètes.

La Dynamique d'Aristote a dominé pendant près de deux mille ans. Elle reposait d'abord sur l'axiome que tout mouvement non naturel ne peut durer, s'il n'est pas entretenu par l'action continuelle d'une puissance motrice directement et immédiatement appliquée au mobile. On énonce souvent la loi fondamentale de la Mécanique aristotélicienne sous la forme suivante : une force constance produit un mouvement uniforme dont la vitesse est proportionnelle à cette force. Un énoncé plus complet est que tout corps mù est nécessairement soumis à deux forces, une puissance et une résistance, et c'est au rapport de la puissance à la résistance que la vitesse est proportionnelle. Certains faits grossièrement observés et incomplètement analysés semblaient autoriser de telles formules ; double-t-on par exemple le nombre des hâleurs tirant un bateau sur un canal, on doublera, pensait-on, la vitesse du bateau. L'École péripatéticienne n'admettait pas le vide ; pour la flèche qui vole après avoir quitté l'arc, elle croit trouver une puissance dans l'air ébranlé. Cette hypothèse, qui nous semble absurde fut admise presque unanimement dans l'antiquité. Dans la Mécanique d'Aristote, la théorie du lieu naturel joue un rôle essentiel, et il n'est pas facile d'interpréter correctement sa pensée. Aussi des jugements divers ont-ils été émis sur cette partie de son œuvre ; mais c'est assurément dans les sciences naturelles qu'Aristote a laissé, comme savant, la trace la plus profonde. Son œuvre est considérable en botanique et en zoologie. Il eut une claire notion des problèmes fondamentaux de la biologie, proposant des théories de la génération et de l'hérédité, et on peut le regarder comme le fondateur de l'anatomie comparée.

Le tableau succinct que nous venons de tracer montre comment s'est lentement formée la conception de la science. Préoccupations de caractères religieux et philosophiques, préoccupations proprement scientifiques se sont mêlées bien souvent dans cette longue élaboration. Des hypothèses étranges ont voisiné avec des faits

positifs, et chaque savant eut son système du monde. Il y eut en Grèce d'excellents observateurs, parmi lesquels Hippocrate et Aristote ; mais on a souvent regretté que l'expérimentation ait été si peu développée dans cette brillante période de la science hellène. Il semble cependant que les projets d'expériences n'aient pas manqué aux savants de ce temps, mais ils ne surent pas généralement distinguer les facteurs essentiels d'une expérience. De plus leur technique était insuffisante, et on sait assez quel rôle ont joué ultérieurement dans le développement des sciences les progrès des techniques. Une exception doit cependant être faite pour les recherches chimiques, où l'observation et l'expérience ont été pratiquées dès la plus haute antiquité, et où des manuels transmettaient des préparations variées.

Mais ce sont surtout les mathématiques qui ont été pour le génie hellène la science par excellence. Elles devinrent pour lui un type idéal, où tout est d'une intelligibilité parfaite. La réalité sensible apparut aux écoles grecques comme une réalité incomplète. Elles voulurent voir le monde à travers une réalité moins mobile, plus réelle si l'on ose dire, celle des nombres et des concepts de la géométrie, cela d'ailleurs sans perdre contact avec l'intuition spatiale d'où ces derniers étaient tirés.

V.

La science grecque dans les trois derniers siècles avant notre ère.

A partir du troisième siècle avant notre ère, les savants paraissent se désintéresser des systèmes philosophiques. Parmi les grands noms de l'époque où nous sommes parvenus, figurent Euclide, Apollonius, Archimède. Avec Hipparque, l'Astronomie séparée de la Cosmogonie recherche une plus grande précision dans les observations et prend un caractère de plus en plus mathématique.

Euclide, qui vivait vers 300 avant J.-C., fut le premier grand

mathématicien de l'École d'Alexandrie. On ne sait pas d'une manière précise ce qui lui revient en propre dans ses *Éléments*. La part de l'enseignement des écoles pythagoriciennes et celle d'Eudoxe y tiennent sans doute une place importante, mais l'honneur revient à Euclide d'avoir disposé le tout en un ensemble logiquement déduit, en partant de définitions, postulats et axiomes. Il y a là un admirable effort de science axiomatique, comme on dit aujourd'hui. Le onzième axiome d'Euclide, qui domine la théorie des parallèles, est resté célèbre entre tous, et il y a seulement un siècle que l'on a montré la possibilité d'édifier une géométrie qui en soit indépendante. Parmi les découvertes propres du géomètre d'Alexandrie, on peut citer ce qui concerne la stéréométrie, ainsi que le classement des polyèdres réguliers et la détermination de leurs arêtes. Plusieurs de ses Traités ont été malheureusement perdus et n'ont été que difficilement restitués. On lui doit encore des propositions sur les nombres premiers et les nombres parfaits, et il s'occupa aussi d'Optique géométrique.

Un autre grand géomètre de ce temps fut *Apollonius de Perge*, dont le nom reste attaché à l'étude des sections coniques, sur lesquelles il écrivit un Traité, qui compte parmi les plus belles œuvres de la Géométrie grecque. Le plus grand nom dans les sciences mathématiques fut dans l'antiquité celui d'Archimède, qui appliqua son génie à la Géométrie, à la Mécanique, à la Physique et à l'art de l'ingénieur. Tandis qu'Apollonius étudie surtout la forme et la situation des figures, la géométrie d'Archimède est une géométrie de la mesure. Il effectue des quadratures de surfaces planes et courbes, en développant la méthode d'exhaustion, réalisant ainsi de véritables intégrations. Les premières applications de ses méthodes concernent l'aire d'un segment de parabole, ainsi que le volume et la surface de la sphère. La découverte à laquelle il attachait le plus de prix, paraît être celle des surfaces de la sphère et du cylindre circonscrit, et l'on sait que l'on plaça sur son tombeau une sphère inscrite dans un cylindre, que Cicéron retrouva pendant sa questure en Sicile.

Archimède est encore à considérer comme le fondateur de la Sta-

tique rationnelle. Il procède dans son *Traité de l'Équilibre* à la manière d'Euclide, demandant qu'on admette quelques postulats dont il déduira toute sa théorie. On doit noter, et c'est un point sur lequel Duhem a insisté, les deux impulsions que la Statique a reçues dès l'origine. L'une d'elles est celle d'Archimède où l'on cherche à construire une statique entièrement indépendante de la Dynamique; l'autre, qui se rattache à Aristote et dont nous avons déjà dit un mot, envisage au contraire la Statique comme un cas particulier de la Dynamique. Archimède s'est parfois servi de considérations mécaniques pour établir des propositions géométriques; il voyait dans cet emploi une méthode d'invention, mais non un procédé de démonstration rigoureuse. Un exemple remarquable de sa façon de travailler, avec ses méthodes distinctes d'invention et de démonstration, a été fourni par la découverte en 1906 dans un cloître de Jérusalem d'un manuscrit, dont l'écriture qui date du treizième siècle, recouvrait plusieurs manuscrits d'Archimède en belles minuscules du dixième siècle.

En hydrostatique, le nom d'Archimède est attaché à la proposition classique sur la poussée exercée sur un corps plongé dans un liquide. En même temps que de mécanique théorique, il s'occupa de mécanique appliquée; ses inventions, comme la vis sans fin et la vis dite d'Archimède, étaient célèbres. C'est avec le géomètre de Syracuse que les sciences mathématiques atteignent dans l'antiquité leur point culminant, et des siècles s'écouleront avant que de réels progrès ne soient réalisés dans la partie théorique de ces sciences.

En Astronomie, dans les derniers siècles avant notre ère, les noms d'Héraclide du Pont, d'Aristarque de Samos et d'Hipparque sont à rappeler. Pour quelques-uns, le véritable précurseur de Copernic, relativement au système héliocentrique, fut Héraclide du Pont (mort en 310), qui vivait au temps d'Aristote; d'autres ont prétendu que cet astronome laissait la Terre immobile au centre du mouvement du Soleil, les autres planètes tournant autour de celui-ci, ce qui fut plus tard le système de Tycho-Brahé. En tous cas, il est certain qu'Aristarque de Samos (vers 280), soutenait cinquante ans après Héraclide,

le système héliocentrique dans son intégrité, mais cette tentative tomba dans l'oubli pendant de longs siècles.

Hipparque, qui florissait de 150 à 127 avant notre ère, est le plus grand astronome de l'antiquité. La précision de ses mesures dépassa celle de ses prédécesseurs, et il inventa ou perfectionna plusieurs instruments astronomiques. Son étude critique des anciennes observations grecques et chaldéennes lui permit de découvrir la précession des équinoxes, pour laquelle il donne trente-six secondes (au lieu de cinquante). Malheureusement, Hipparque rejeta le système héliocentrique. Cette timidité eut de graves conséquences, mais on n'en doit pas moins admirer l'observateur hors de pair, qui, en outre, créa ou perfectionna tout au moins les trigonométries plane et sphérique. Hipparque représentait les variations du mouvement du Soleil en recourant à l'excentrique, c'est-à-dire en faisant mouvoir uniformément cet astre sur une circonférence dont le centre est hors de la Terre. Il savait, d'ailleurs, que l'hypothèse de l'épicycle et l'hypothèse de l'excentrique sont également propres à *sauver* le mouvement d'une planète. La description géométrique du mouvement des planètes par Hipparque était suffisante pour les observations que permettaient les techniques du temps. Des progrès lui sont dus aussi dans la théorie de la Lune.

Nous n'avons guère parlé des écoles d'un caractère surtout technique; la limite entre la science et la technique est, d'ailleurs, souvent difficile à fixer. A Alexandrie, après la mort d'Archimède, se développa une école très florissante de Mécanique expérimentale. On cite parmi ses maîtres, Clésibius, au nom duquel se rattachent certaines pompes, et surtout Héron qui florissait vers 130 avant Jésus-Christ. Héron utilisait dans sa *Pneumatique* la dilatation de l'air par la chaleur pour produire du travail, ce qui lui permettait de mettre en mouvement des corps solides; et on lui attribue aussi l'invention d'une turbine à air chaud. Le *Traité de Héron sur Les Mécaniques* commence par cette phrase : « L'expérience est la meilleure des éducatrices », qui rend un son tout nouveau. Un historien italien, M. Vailati croit

trouver dans le Traité de Héron la première ébauche de la méthode des déplacements virtuels en Mécanique, entrevue aussi, semble-t-il, antérieurement par Aristote.

Les pages qui précèdent auront peut-être donné une idée de l'état des sciences au début de notre ère, au moins dans l'Orient méditerranéen. Sous l'influence d'un esprit épris de clarté et simplifiant tout pour tout comprendre, la science hellène tendit à prendre de plus en plus la forme mathématique. On ne saurait trop admirer son effort dans ce sens, mais cependant, il faut ajouter que le point faible dans les mathématiques des Grecs fut leur méfiance de l'infini, qui les empêcha d'aller plus avant dans leurs spéculations. C'est que pour eux l'infini était l'inintelligible même, et que, comme le disait Aristote, « l'infini n'est pas un état stable, mais la croissance elle-même ». On peut dire sans paradoxe que les mathématiciens grecs furent, dans une certaine mesure, victimes de la forme si parfaite qu'ils voulaient donner à leurs expositions. Un Eudoxe et un Archimède se sentent avec l'infini sur un terrain mouvant. Ils s'y aventurent, certes, et c'est leur gloire, mais avec une grande prudence, en voyant là surtout un procédé d'invention. Archimède cherche ensuite des démonstrations plus rigoureuses. Un long temps s'écoulera avant que des esprits, moins épris de perfection, mais plus audacieux, introduisent dans la science les méthodes infinitésimales à travers des difficultés que, au dix-septième siècle encore, le chevalier de Méré formulait de la manière suivante dans une lettre à Pascal : « Dès qu'il entre tant soit peu d'infini dans une question, elle devient inexplicable parce que l'esprit se trouble et se confond ».

VI.

Les premiers siècles de l'ère chrétienne, le moyen âge
et la Renaissance.

Dans les siècles qui suivent le début de notre ère, l'histoire générale n'a retenu que quelques rares noms parmi ceux des savants qui ont apporté une contribution à nos connaissances scientifiques.

Claude Ptolémée, astronome et géographe, est universellement connu. Sa grande *Composition mathématique de l'Astronomie*, appelée par les Arabes *Al Majesti*, est restée longtemps, sous le nom d'*Almageste*, le code de l'Astronomie. C'est une vaste compilation, non sans parties originales, qui représente ce qu'on savait d'astronomie au temps des Antonins. Pour Ptolémée, comme pour Hipparque, la Terre est fixe, mais il importe peu quand on veut simplement expliquer les inégalités du mouvement apparent des astres, sans s'occuper de leurs distances. Un des principaux titres de Ptolémée est la découverte de l'inégalité lunaire, connue sous le nom d'*évection*, et il consacra aussi quelques recherches à la réfraction atmosphérique.

Diophante (vers 200 après J.-C.), dont l'œuvre arithmétique présente un haut caractère d'originalité, ne doit pas être oublié. Les historiens des mathématiques ont été parfois d'avis différents sur l'aptitude aux recherches arithmétiques des Grecs que tous s'accordent à regarder comme merveilleusement doués pour la géométrie. Pythagore et Euclide, dans une partie de son œuvre, témoignaient cependant du goût des Grecs pour la théorie des nombres. Diophante a laissé, dans cette partie de la science, une trace profonde en recherchant des solutions rationnelles de certaines équations. Il ne se sert pas, c'est là un point essentiel à noter, de représentations géométriques, comme le faisait, par exemple, Euclide traitant des équations du second degré, et sa manière est plus algébrique; c'est dans son œuvre que Fermat prit le goût des recherches arithmétiques.

On doit, dans les sciences naturelles, citer à cette époque le nom de Galien (né en 119 à Pergame), qui fut le plus grand médecin de l'antiquité depuis Hippocrate. Remarquable anatomiste, Galien fit aussi des expériences de physiologie, cherchant à déterminer le mécanisme de la respiration, les fonctions des reins, du cerveau et de la moelle épinière à différents niveaux. Il montra que les artères contiennent et charrient du sang et passa près de la découverte de la circulation sanguine. L'autorité de Galien, systématisant toutes les connaissances

anatomiques et médicales de son temps, fut immense jusqu'au seizième siècle; médecin philosophe, il se montra partisan des idées vitalistes d'Aristote.

Nous n'avons rien dit de la part de l'Inde dans le développement des mathématiques. L'influence grecque y fut fortement marquée. Sa contribution fut importante surtout dans le calcul numérique; on attribue à ses savants l'introduction du *zéro* vers le quatrième ou cinquième siècle de notre ère. N'ayant pas, comme les grecs, des scrupules pour appliquer aux nombres irrationnels les règles de calcul des nombres rationnels, ils purent donner plus d'ampleur à leurs opérations, et apportèrent une réelle originalité dans plusieurs questions de la Théorie des nombres.

Dans les siècles qui vont suivre, l'histoire de la Mécanique offre seule çà et là quelques noms que des historiens de la science ont cherché à faire sortir de l'ombre. On trouve au cinquième siècle un chrétien d'Alexandrie, Jean Philopon, qui s'inscrit contre la doctrine péripatéticienne du mouvement des projectiles; la flèche, d'après lui, continue à se mouvoir, sans qu'aucun moteur lui soit appliqué, parce que la corde de l'arc qui la lance y a engendré une énergie cinétique (c'est l'équivalent du terme dont se servait Philopon), qui joue le rôle de vertu motrice. On a signalé aussi au treizième siècle le rôle de l'École d'un certain Jordanus, né probablement à Némi en Italie. Jordanus et ses successeurs postulent que « ce qui peut élever un poids à une certaine hauteur, peut aussi élever un poids n fois plus grand à une hauteur n fois plus petite ». Comme on l'a vu plus haut, ceci avait été entrevu mais avec moins de netteté par Héron d'Alexandrie. Il est bien remarquable de trouver dans une école du Moyen âge un appel, si vague soit-il, au principe que Descartes prendra pour le fondement de la Statique, et qui avec Lagrange deviendra la proposition fondamentale de la science de l'équilibre. Quelques difficultés que puisse présenter l'interprétation de textes anciens, il n'en reste pas moins certain qu'une opposition s'est élevée de bonne heure contre la Mécanique de l'École d'Aristote.

Ce serait au quatorzième siècle, d'après Duhem, que la lutte contre la mécanique d'Aristote prit toute son ampleur avec un maître de l'Université de Paris, Jean Buridan, né à Béthune vers 1300. Celui-ci, reprenant les idées de Philopon appelle *impetus* l'énergie communiquée à la flèche, et de la théorie de l'*impetus* il fait la base d'une mécanique nouvelle. Pour Duhem traduisant en langage moderne les idées de Buridan, ce dernier regarde l'*impetus* comme le produit de deux facteurs : la masse et une fonction croissante de la vitesse. On sait que Galilée et Descartes admettront à tort cette fonction comme proportionnelle à la vitesse, tandis que Leibnitz la regardera comme égale au carré de celle-ci. De la notion de l'*impetus*, Duhem conclut que Buridan a entrevu le principe de l'inertie ; c'est, semble-t-il, aller un peu vite. Sans doute, le philosophe de Béthune n'entend pas borner les applications de sa Dynamique au mouvement des graves, et il cherche à l'appliquer aux corps célestes. C'était à cette époque une grande audace d'admettre que les mouvements célestes et les mouvements sublunaires dépendent d'une même mécanique, mais il y a loin de là à affirmer que l'*impetus* de Buridan peut remplacer les intelligences motrices des orbes célestes invoquées par Aristote et la physique péripatéticienne.

L'histoire de la Mécanique doit rappeler encore les noms des disciples de Buridan, comme Albert de Saxe, Nicole Oresme et plusieurs autres qui ont joué eux aussi le rôle de précurseurs, mais arrivons à la Renaissance et à Galilée. On ne peut douter que celui-ci n'ait eu connaissance des travaux de ses prédécesseurs. Il résulte des textes cités par Duhem qu'il avait étudié la dynamique de l'École de Buridan et la Cinématique de l'École d'Oxford avec sa notion de mouvement uniformément accéléré. Mais tandis que les maîtres des siècles précédents étaient surtout préoccupés de l'examen logique et philosophique des hypothèses, se contentant d'observations sommaires, Galilée eut l'intuition que pour un point pesant, la nature du mouvement est la même en chute libre et sur un plan incliné, et il fit avec ce plan et avec le pendule, des expériences qui lui permirent

de vérifier les lois de la chute des corps. Ses recherches sur le mouvement des projectiles, qu'il regarde comme composé de deux mouvements indépendants l'un de l'autre, ont joué aussi un rôle essentiel dans le développement ultérieur de la Dynamique. Nous reviendrons sur le rôle de Descartes, mais on doit rappeler dès maintenant qu'il énonça le premier avec quelque netteté la loi d'inertie et posa le principe que la cause d'un mouvement produit une accélération. En fait, après Galilée et Descartes, la dynamique du point matériel dans un champ constant était fondée.

On voit que la première période de la dynamique moderne dura plusieurs siècles. Rien ne montre mieux que cette histoire combien les progrès de la science résultent le plus souvent des travaux des générations successives de chercheurs. Ce sera un peu plus tard avec Huygens et Newton que seront définitivement posés les principes généraux de la Mécanique classique.

Mais revenons un peu en arrière. En 1542, avait paru le Livre de Copernic : *De revolutionibus orbium cœlestium*. Il faut reconnaître que, dans cette question des mouvements relatifs, certains arguments invoqués alors n'avaient aucune valeur. Ainsi, il parut plus naturel que la Terre fût animée d'un mouvement de rotation, au lieu de l'immense sphère céleste. Ceci supposait implicitement que les corps célestes sont de même nature que les corps terrestres ou sublunaires. Or précisément les péripatéticiens le niaient, et ce n'est qu'à partir des observations de Galilée, apercevant dans sa lunette les taches du Soleil et les phases de Vénus, qu'il n'a plus été possible de parler de la différence d'essence entre les corps célestes et les corps terrestres. Aucune question intéressante ne se posait, tant qu'on ne distinguait que deux parties : la Terre et le reste regardé comme un tout. Il en fut autrement, quand on envisagea les mouvements relatifs du Soleil et des différentes planètes. La gloire de Copernic est d'avoir pris comme système de référence un système d'axes passant par le Soleil et de direction invariable par rapport à l'ensemble des étoiles fixes. En faisant du Soleil le centre du système planétaire, Copernic a

transformé l'Astronomie restée stationnaire depuis Ptolémée, et il a fait apparaître le système solaire sous un harmonieux aspect. La détermination des distances relatives des planètes au Soleil au moyen de la connaissance des époques d'opposition données par l'observation constitua une première application des notions nouvelles. Cependant Copernic, retenant encore des idées anciennes sur la perfection des corps célestes la nécessité d'un mouvement uniforme, dut recourir aux mêmes artifices que Ptolémée. On ne pouvait d'ailleurs faire mieux avec les observations dont on disposait alors. C'est seulement un peu plus tard que les observations de Tycho-Brahé, exactes à une minute près, obligèrent Kepler à abandonner l'hypothèse des trajectoires circulaires, et le conduisirent à ses lois célèbres sur le mouvement des planètes.

Nous avons déjà dit un mot du rôle joué par Galilée et Descartes dans la fondation de la Mécanique. Galilée se distingue par un réel souci expérimental, comme en témoignent ses expériences sur le plan incliné. Descartes aime avant tout à poser *a priori* des principes, pensant par exemple pouvoir déduire certaines lois de la nature du fait que Dieu n'est pas sujet à changer. On sait que quelques unes de ses affirmations sont inexactes, tel ce qui concerne la quantité de mouvement et le choc des corps, au sujet duquel il écrivait cette phrase qui scandalisait Laplace : « Les démonstrations de tout ceci sont si certaines qu'encore que l'expérience nous semblerait faire voir le contraire, nous serions néanmoins obligés d'ajouter plus de foi à notre raison qu'à nos yeux ». Nous sommes loin avec ce texte de l'assertion de Pascal affirmant dans son *Traité de l'équilibre des liqueurs* : « Les expériences sont les véritables maîtres qu'il faut suivre dans la Physique ». Il y a certes maints passages de Descartes où il montre la nécessité de l'expérience pour les progrès de la science, mais le grand philosophe attachait plus d'importance à la déduction, voyant dans l'Univers une mathématique universelle. On ne saurait d'ailleurs trop admirer les intuitions géniales, qui se rencontrent dans son œuvre scientifique; son plus grand titre en Mécanique est d'avoir vu dans le *Travail* le

concept fondamental de la Dynamique, et d'avoir affirmé l'obligation d'appliquer en Statique le principe des déplacements virtuels à des déplacements infiniment petits.

On retrouve chez Descartes cette même tendance aux idées générales dans le célèbre Ouvrage qu'est sa géométrie. Elle n'est qu'une illustration de sa méthode, et c'est la généralité de la conception qui en fait l'originalité. Dans l'antiquité et au Moyen âge on s'était déjà servi de coordonnées, et Fermat avait plus explicitement formulé les principes de la Géométrie analytique; mais Descartes part *a priori* des équations entre les coordonnées et modifie du tout au tout les distinctions faites sur les courbes par les géomètres grecs.

VII.

Huygens et Newton.

Nous arrivons à l'époque où la Mécanique se constitue définitivement. Les noms d'Huygens et de Newton dominent cette période. En 1673 paraissait l'*Horologium oscillatorium*, livre admirable où, après avoir appliqué le pendule à la régularisation du mouvement des horloges, Huygens passe du champ constant de Galilée aux forces variables avec sa théorie de la force centrifuge, et traite pour la première fois d'un problème de Dynamique des systèmes. Il est remarquable que, pour étudier le mouvement d'un solide pesant mobile autour d'un axe, il utilise un postulat instinctif concernant le mouvement du centre de gravité d'un système de points, postulat qui revient au théorème des forces vives.

Les *Philosophiæ naturalis principia mathematica* de Newton, parus en 1687, sont un monument presque unique dans l'histoire des sciences. Les deux premières parties du Livre traitent des principes généraux du mouvement, à l'établissement desquels avaient antérieurement contribué, nous l'avons dit, Galilée, Descartes et Huygens, pour ne citer que quelques noms. L'exposé ditactique de Newton est resté célèbre, au point que, oubliant d'illustres précurseurs, on donne

couramment le nom de Mécanique newtonnienne à la Mécanique classique; la force y apparaît comme le produit de la masse par l'accélération, et les points de vue statique et dynamique dans la mesure des forces sont posés comme équivalents. C'est aussi dans le *Livre des principes* que Newton fait connaître pour la première fois sa *méthode des fluxions*, qu'il possédait depuis longtemps; mais il n'avait pas voulu séparer de leurs applications les règles du nouveau calcul, ce qui fut l'occasion d'une querelle entre Leibnitz et lui, querelle affligeante si l'on ne savait, comme l'a dit Pascal, que « les grands hommes, quelque élevés qu'ils soient, sont semblables aux moindres par quelque endroit ». Les droits antérieurs de Fermat en cette affaire ne sont d'ailleurs pas négligeables, et Pascal avait de son côté montré la légitimité du calcul des infiniment petits. La troisième partie du *Livre des Principes* est le point culminant de ce célèbre Ouvrage. Partant des lois de Kepler relatives au mouvement des planètes, Newton démontre que, pour chacun de ces astres, la force le retenant dans son orbite est dirigée vers le Soleil, sa grandeur étant en raison inverse du carré de la distance, et que, à égalité de distance au Soleil, cette attraction est pour diverses planètes proportionnelle à la masse de cette planète. De ces faits très particuliers, Newton s'élançait par une induction d'une extraordinaire hardiesse au principe de la gravitation universelle, d'après lequel deux points matériels s'attirent proportionnellement à leur masse et en raison inverse du carré de leur distance. Il y a dans cette manière de procéder toute une philosophie de la science. Certains résultats de calculs tirés d'observations concernant quelques planètes sont élevés, si j'ose dire, à la dignité des lois générales de la nature; l'accord avec l'expérience ou l'observation des déductions tirées de ces lois devront légitimer celles-ci.

La question de savoir si Newton avait fait ou non des hypothèses dans sa théorie de la gravitation fut l'objet d'interminables discussions. Il fut accusé, dès l'apparition du *Livre des Principes*, de faire revivre les qualités occultes de la scolastique, dont les cartésiens avaient horreur. Huygens lui-même écrivait à Leibnitz à propos des

marées : « Pour ce qui est de la cause du flux et du reflux que donne M. Newton, je ne m'en contente nullement, ni de ses autres théories qu'il bâtit sur son principe d'attraction qui me paraît absurde ». Que voulait dire Newton, quand il écrivait à la fin du *Livre des Principes* : « Hypotheses non fingo : Je ne fais pas d'hypothèses » ? Dans la suite des temps, le mot hypothèse a été entendu de diverses façons. Ainsi, en cherchant à *sauver* les phénomènes, on faisait des hypothèses. Telles furent les hypothèses des sphères homocentriques d'Eudoxe et des épicycles de Ptolémée. Les hypothèses ainsi entendues n'ont aucune prétention à approcher de la réalité ; on pourrait dire qu'elles sont commodes suivant une expression qu'aimait à employer Henri Poincaré. Au contraire l'École péripatéticienne croyant trouver, pour le mouvement de la flèche, une puissance dans l'air ébranlé émettait une hypothèse explicative, hypothèse causale, fournissant comme on le pensait « les vraies causes des apparences ». En ce qui concerne Newton, il n'appelait pas hypothèse une généralisation de ce que sa notion de la force l'avait conduit dans certains cas particuliers à regarder comme des faits, et, au moins dans la première édition du *Livre des Principes*, il n'a nul souci d'indiquer une cause possible de la gravitation. Cette dernière recherche, qu'elle aboutisse ou non, aurait pu dire alors Newton, ne changerait pas la forme des équations différentielles de la Mécanique céleste, et nous arrivons ici à cette notion capitale de la théorie physique, exprimée purement et simplement par certaines représentations analytiques. C'est là un point sur lequel il nous faudra revenir.

En même temps qu'un grand géomètre, Newton a été un grand physicien. Dans son *Traité de la Lumière et des Couleurs* paru en 1704, il fait suivant l'expression de Fontenelle l'anatomie de la lumière. Après avoir prouvé que les différentes couleurs qui composent la lumière blanche sont inégalement réfrangibles, il opère une synthèse des rayons diversement colorés. Le soin avec lequel ces expériences sont faites, l'ordre dans lequel elles sont présentées, font de cet ensemble une œuvre justement classique, qui peut être regardée comme un

modèle dans l'art d'expérimenter. Tout ce travail est aussi pour Newton un exemple de sa méthode inductive, et, dans cette partie de son *Traité*, il aurait pu répéter « Hypotheses non fingo ».

VIII.

Les théories de la lumière au dix-septième siècle.

Il n'est peut-être pas dans l'histoire des sciences de théories plus instructives que celles de la lumière. Galilée paraît s'être demandé le premier si la lumière met un temps fini pour aller d'un point à un autre; il suggère même une expérience, mais les techniques du temps ne permettaient pas d'aboutir. Descartes cherche d'abord par des comparaisons à se faire une idée de la nature de la lumière; il compare son action à celle d'un bâton par l'entremise duquel un aveugle se rend compte du mouvement ou de la résistance des corps. Le bâton étant supposé incompressible, son action devait passer instantanément d'un bout à l'autre, et la vitesse de la lumière devait être infinie. Plus tard, dans son livre sur les *Météores*, Descartes cherchant une explication des couleurs parle des petites boules de la matière subtile, qui roulent de diverses façons dans les pores des corps terrestres, en faisant naître ainsi des différences dans nos sensations de couleurs. Il insiste d'ailleurs sur ce qu'il n'est pas besoin qu'il passe quelque chose de matériel depuis les objets jusqu'à l'œil; à ce titre on peut le placer parmi les précurseurs de la théorie des ondulations, quoiqu'il ne considère pas la lumière comme un mouvement propagé par ondes successives, mais comme une pression transmise instantanément. Ailleurs cependant, dans son essai de démonstration de la loi de la réfraction, Descartes assimilera l'action de la lumière au mouvement d'une balle, se mettant en opposition avec ses propres vues sur la propagation instantanée.

En même temps que Descartes, Fermat s'occupait d'Optique et émettait à ce sujet des vues extrêmement profondes. Ce n'est pas une

hypothèse de nature causale qu'il présente sur la réfraction de la lumière. Il pose à ce sujet un principe de minimum, affirmant que la lumière met le moindre temps pour aller d'un point à un autre, ces points étant situés dans deux milieux contigus où la vitesse de la lumière est différente. Nous avons là une hypothèse du type de celles qui *sauvent* les phénomènes. Elle rentre dans une forme analytique qui, convenablement généralisée, se retrouve dans toute la physique mathématique de notre temps. On la traduisait au dix-huitième siècle en langage ordinaire, en disant que la nature agit par les voies les plus courtes et les plus aisées.

La seconde moitié du dix-septième siècle vit se développer deux doctrines très différentes sur la nature de la lumière. C'est dans son admirable *Traité de la Lumière*, écrit pendant son séjour en France, que Huygens proposa la théorie des ondulations qui prétend faire connaître la cause même de la transmission de la lumière. Celle-ci se propage par ondes dans un milieu éthéré, formé de petites boules élastiques, milieu distinct de l'air qui transmet le son. Huygens évoquait même l'expérience de Torricelli pour prouver que le vide barométrique, laissant passer la lumière, doit contenir une matière d'espèce nouvelle. De cette transmission à travers un *éther* élastique, Huygens déduit les lois de la réfraction de la lumière, retrouvant pour le rapport des sinus la valeur que Fermat avait obtenue avec son principe du minimum, et, allant beaucoup plus loin, il en tire une théorie de la double réfraction dans les cristaux uniaxes. L'œuvre de Huygens est d'une extrême originalité, comme je le rappelais au début. Le grand physicien avait aussi réfléchi sur le double objet de la science, y voyant d'abord, l'utilité pratique pour le genre humain et tous les siècles à venir, puis le fait que « on y trouve un fondement assuré pour bâtir une philosophie naturelle, dans laquelle il faut nécessairement procéder de la connaissance des effets à celles des causes ».

La théorie des ondes de Huygens fut cependant longtemps oubliée. Sous l'égide du grand nom de Newton, qui après quelques hésitations avait repri l'idée des atomistes de l'antiquité, la théorie de l'émission

de la lumière triompha au dix-huitième siècle. D'après elle, de petits corpuscules émanés des corps lumineux produisent la vision en frappant notre rétine. Newton admettait d'ailleurs l'existence d'un milieu animé de vibrations très rapides dans lequel se meuvent les corpuscules, et déterminant ceux-ci à produire certains effets; pour expliquer la réflexion et la réfraction, il lui fallut attribuer une structure périodique à tout rayon de lumière avec des *accès* de plus facile *réflexion* et de plus facile *transmission*. Dans tout ceci, nous sommes loin du Newton du *Livre des Principes* et de la première partie de son *Optique*. si réservé à l'égard des hypothèses, protestant même qu'il n'en sent pas le besoin, et que, les propriétés qu'il a découvertes étant des faits physiques, il n'importe nullement à leur certitude qu'elles soient ou ne soient pas explicables par tel ou tel système. Il écrira maintenant peut-être avec quelque scepticisme : « Mais comme j'ai cru voir que les têtes de beaucoup de grands savants courent fort après les hypothèses, je dirais celle que je serais porté à regarder comme la plus vraisemblable, si j'étais obligé d'en adopter une ». C'est ainsi qu'il expliquera les phénomènes d'interférence des anneaux colorés au moyen des mouvements simultanés de translation et de giration des corpuscules lumineux. Et, en ce qui concerne l'éther, il se demande dans une note annexée à son *Traité purement expérimental sur l'Optique*, si l'éther ne suffit pas pour produire la gravitation universelle. Mais laissons de côté cette seconde et tardive manière de l'auteur du *Livre des Principes*.

IX.

De Newton à Fresnel et Maxwell.

Les idées de Newton furent assez lentes à pénétrer sur le continent. Nous avons dit l'opinion de Huygens sur la gravitation universelle. Newton eut avec Leibnitz des démêlés acerbés. L'un deux ne manque pas de pittoresque. Dans la seconde édition du *Livre des Principes*, Newton sortant, comme nous l'avons vu, de la réserve philosophique

qu'il avait gardée jusque-là, voit dans l'admirable arrangement du Soleil et des planètes l'ouvrage d'un être intelligent et tout puissant, mais il pense que par suite des perturbations provenant des actions mutuelles de ces astres, cet arrangement ne pourra pas se maintenir, et il croit que le système solaire aura besoin un jour d'être remis en ordre par son auteur. Cette intervention de Dieu fut vivement critiquée par Leibnitz, qui trouva que c'était là une idée bien étroite de la sagesse divine, ce à quoi Newton répliqua en traitant de miracle perpétuel l'harmonie préétablie de Leibnitz.

En France, le cartésianisme jouissait d'une grande faveur au début du dix-huitième siècle. A peu d'exceptions près, les géomètres de l'Académie connaissaient mal Newton. Fontenelle, si habile à répandre la lumière et les grâces sur les sciences abstraites, ne lui était guère favorable. Cependant, il a caractérisé assez heureusement les méthodes de Descartes et de Newton : « L'un, écrit-il, prenant un vol hardi a voulu se placer à la source de tout, se rendre maître des premiers principes par quelques idées claires et fondamentales, pour n'avoir plus qu'à descendre aux phénomènes de la nature, comme à des conséquences nécessaires. L'autre, plus timide ou plus modeste, a commencé sa marche par s'appuyer sur les phénomènes pour remonter aux principes inconnus, résolu de les admettre, quels que les pût donner l'enchaînement des conséquences ». Voltaire donna en 1736 dans ses *Éléments de la philosophie de Newton* un exposé fidèle du système newtonien, et contribua ainsi à le faire connaître en France. Depuis lors, en dehors d'Euler, c'est dans notre pays que vont se trouver pendant le dix-huitième siècle les successeurs les plus éminents de Newton. Les progrès de l'analyse mathématique depuis cinquante ans permettaient d'approfondir l'œuvre dont les bases seules avaient été posées dans le *Livre des Principes*. Les noms de Clairant, de d'Alembert, de Lagrange, de Laplace sont justement célèbres. Le dessein de Laplace, obstinément poursuivi, fut de montrer que la loi de l'attraction suffit à expliquer toutes les particularités du mouvement des astres du système solaire, mais son esprit philosophique va bien au delà, et il écrit dans son

Exposition du système du Monde : « L'œuvre de Newton en Mécanique céleste réunissait au mérite des découvertes celui d'être le meilleur modèle que l'on puisse se proposer dans les sciences, la méthode newtonienne consistant à s'élever par une suite d'inductions à un fait très général reliant entre eux un nombre considérable de faits particuliers ». Au commencement du siècle dernier, cette induction fut poussée à l'extrême, et l'on en arriva à regarder le monde comme un ensemble de points matériels soumis à l'attraction newtonienne ou moléculaire. Ces idées se sont montrées longtemps extrêmement fécondes. Laplace, Poisson, Cauchy et bien d'autres en tirèrent de nombreuses conséquences de la plus haute importance, et la Mécanique rationnelle les prend encore pour guides. Les théories cinétiques elles-mêmes, dont l'origine fut dans les travaux de Bernoulli sur les gaz, ne sont pas restées étrangères à cet ordre d'idées, en faisant intervenir en outre des considérations de probabilités sur lesquelles nous reviendrons, et qui ont pris une importance de plus en plus grande dans la science actuelle.

Nous avons déjà vu aux prises en Optique la théorie de l'émission et celle des ondulations. Elles donnent des explications causales, comme nous disions plus haut, c'est-à-dire que l'on y affirme l'existence de substances, particules lumineuses ou éther, qui produisent les phénomènes. Longtemps oubliées, les idées de Huygens furent reprises au dix-neuvième siècle par Young, et surtout par Fresnel qui donna une consécration définitive au principe des interférences par sa célèbre expérience des deux miroirs, et écrivit le mémorable travail sur la diffraction. Pour Fresnel, l'éther est un solide élastique, mais on ne possédait alors aucune théorie générale de l'élasticité. Les analogies avec le mouvement des ondes sonores étaient trompeuses, et c'est pour Fresnel un grand titre de gloire d'avoir affirmé nettement la nécessité de vibrations transversales de l'éther lumineux ; elles étaient indispensables pour l'explication des phénomènes où intervient la polarisation. Les intuitions géniales de ce grand physicien lui permirent ainsi de créer une doctrine des ondes lumineuses qui fut

ensuite perfectionnée et complétée par les travaux analytiques d'une longue suite de physiciens géomètres, parmi lesquels il faut citer au moins Cauchy et Lamé. Si l'on demande à quoi se ramène aujourd'hui la théorie des ondes de Fresnel, il faut répondre, et nous touchons ici à un point capital de philosophie scientifique : à un système *d'équations différentielles*. Or celles-ci, on l'a quelquefois oublié, n'ont pu être formées, en partant de la conception moléculaire d'un milieu éthéré, qu'en faisant de nombreuses hypothèses sur les rapports de cet éther avec la matière pondérable, et en passant du discontinu au continu de manière à obtenir des équations différentielles, que l'on réduit d'ailleurs, pour éviter des difficultés analytiques inextricables, à la forme linéaire, comme dans tant de questions de physique mathématique. Des circonstances plus ou moins analogues se présentent ailleurs, et, dans ces conditions, on comprend combien il est difficile de condamner définitivement la conception initiale d'une théorie. Les physiciens les plus éminents ont regardé longtemps, rappelons-le, l'existence de l'éther comme absolument certaine. « L'éther, proclamait Lord Kelvin, n'est pas une création imaginaire du philosophe spéculatif; il nous est aussi essentiel que l'air que nous respirons ». Et l'illustre physicien anglais, utilisant la valeur probable du rayonnement solaire à la limite extérieure de l'atmosphère, en déduit que le rapport de la densité de l'éther à celle de l'eau est compris entre une unité décimale du quinzième ordre et une du vingtième. Par une autre voie, notre confrère M. Boussinesq arrivait à un résultat analogue.

Les phénomènes électriques offraient vers le même temps un vaste champ aux théories physiques. A la suite de la découverte des lois de Coulomb, l'électricité statique conduisait, avec Laplace, Poisson, Green et leurs successeurs, à une des plus belles théories de la physique mathématique, tandis que Ampère, qu'on a pu appeler le Newton de l'électricité, transposait en électricité dynamique la méthode newtonienne, cherchant l'action élémentaire de deux éléments de courant. Mais bientôt à la suite du physicien anglais Faraday, la théorie allait prendre un autre tour. Alors que l'École française ne considérait

que des actions à distance, l'imagination de Faraday lui faisait voir des lignes de force à travers les diélectriques, c'est-à-dire les corps non conducteurs de l'électricité. Faraday n'était pas géomètre; ce fut Maxwell qui approfondit l'étude du fluide d'une nature particulière que l'on supposait pénétrer les diélectriques. Introduisant la notion de courant de déplacement, et appliquant les lois connues de l'électromagnétisme, il établit pour les diélectriques les équations fondamentales entre les forces électrique et magnétique. Ces équations conduisirent Maxwell à l'idée d'une onde électromagnétique se propageant avec la vitesse de la lumière, et cette vue géniale a conservé un caractère hypothétique jusqu'à ce que le physicien allemand Hertz ait réalisé en 1888 ses expériences mémorables sur la propagation des ondes auxquelles son nom est resté attaché et que la télégraphie sans fil a fait connaître à tous.

Il parut naturel alors de regarder comme identiques l'éther et le fluide inducteur présidant aux actions électromagnétiques; c'est ce que fit Maxwell dans sa théorie électromagnétique de la lumière. Des relations simples existent d'ailleurs entre les grandeurs correspondant aux deux théories; ainsi dans le cas des corps isotropes, la vitesse de la molécule éthérée de Fresnel a la direction même de la force électrique. La différence était grande cependant entre l'éther de Fresnel et le fluide inducteur de Maxwell. Avec le premier, on croyait avoir affaire à une substance ressemblant plus ou moins aux corps que nous manions, et l'on pensait saisir la cause même de la propagation de la lumière. Il en était autrement avec le second, mais par contre la force électrique et la force magnétique figurant dans les équations de Maxwell sont des grandeurs directement mesurables; en réalité les équations de Maxwell rentrent dans le type des explications qui *sauvent* les phénomènes. Ce n'est pas que le grand physicien n'ait voulu établir des analogies d'ordre élastique et cherché à expliquer les effets du fluide inducteur par des tensions ou compressions s'exerçant dans les diélectriques ou sur les conducteurs, mais ces images ont été vite abandonnées.

X.

Le point de vue énergétique.

Nous venons de rencontrer des théories où apparaissait le souci de saisir le mécanisme intime des choses. Dans d'autres parties de la science, on se proposait seulement de rechercher des relations numériques générales entre grandeurs, dont, pour le moment au moins, on ne discutait pas la nature. Telle fut longtemps la chimie moderne depuis sa fondation par Lavoisier, utilisant seulement à un certain moment de son développement une hypothèse atomique sous une forme purement géométrique, qui s'est montrée d'ailleurs extrêmement féconde. L'énergétique ou science de l'énergie, dont la fondation remonte au célèbre Mémoire de Sadi Carnot sur la puissance motrice du feu, rentre dans ce cadre. Certains principes sont posés comme généralisations de faits observés et ont pour objet d'établir des relations numériques définies entre des grandeurs directement mesurables. Dans chaque cas, on doit définir ce que l'on entend par énergie. C'est ainsi que l'on distingue l'énergie interne, les énergies mécanique, calorifique, électrique, magnétique, chimique, et des lois d'équivalence ont été posées. Ce qui a donné une grande importance au principe fondamental de la conservation de l'énergie, c'est qu'on n'a eu besoin d'introduire qu'un nombre assez limité de formes d'énergie. A la vérité, il a fallu par la suite augmenter leur nombre; telles les énergies radiantes. Il est clair que, s'il fallait envisager un trop grand nombre de formes d'énergie, le principe de la conservation ne serait plus qu'une définition, et l'on n'en pourrait rien tirer.

Il fut un temps où des partisans exclusifs de l'énergétique se refusaient systématiquement à l'introduction dans la science des hypothèses causales, de la nature de celles dont il a été question ci-dessus en optique. Ils souscrivaient pleinement à cette 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 ». On distinguait alors deux écoles que l'on qualifiait des noms barbares de *mécanistique* et d'*énergétique*. Les énergétistes avaient évidemment moins de curiosité que les autres; ils ne tenaient pas à démonter la machine. Un des représentants les plus systématiques de l'énergétique pure fut Pierre Duhem, qui repoussait toute hypothèse explicative. Il est possible que la meilleure manière d'exposer les parties très élaborées de la science soit la forme préconisée par l'énergétique, où l'on commence par poser les principes définitivement acquis, autant du moins qu'il y a dans la science quelque chose de définitif, et d'où se tire une longue suite de déductions. Mais dans les questions parvenues à un moindre degré d'avancement, il est maintes fois arrivé que les hypothèses explicatives aient stimulé davantage la recherche, rendant la science plus vivante et répondant mieux à notre curiosité. Mais ces querelles d'école paraissent lointaines, et les deux points de vue se mêlent étrangement aujourd'hui dans les travaux des savants.

Presque tous d'ailleurs admettent aujourd'hui que l'énergie n'est pas seulement une conception abstraite. On lui accorde, comme à la matière, une existence objective. Elle ne peut être ni créée ni détruite, tout en restant susceptible de différentes formes équivalentes; parmi celles-ci il faut compter aujourd'hui l'équivalence entre la masse et l'énergie postulée par la théorie de la relativité.

XI.

Des transformations de la Théorie de la Lumière.

Revenons à l'électricité et à l'optique. Malgré certaines analogies, l'électricité avec les équations de Maxwell n'était pas devenue un mode de l'éther, comme l'avait fait la lumière avec la théorie ondulatoire. Or entre temps les phénomènes de l'électrolyse et ceux que l'on observe dans les décharges électriques à travers les gaz raréfiés avaient

conduit à postuler l'existence d'une sorte d'atome d'électricité négative ou *électron*. On ne l'a jamais vu, mais le fait que de nombreuses expériences interprétées en admettant son existence donnent toujours la même charge électrique a suffi pour lui accorder l'existence et en faire la base d'une théorie; en particulier le courant électrique apparaît comme dû à un transport d'électrons. Notre illustre associé étranger Lorentz, dont nous déplorons la perte récente, compléta alors les équations de Maxwell par l'introduction de termes où figurent la vitesse et la densité des masses électriques en mouvement. Pour Lorentz, le champ électromagnétique, auquel on conserve encore le nom d'éther, est immobile. Il agit sur les électrons, mais les électrons n'exercent sur lui aucune action mécanique, et la matière qui se meut à travers l'éther n'exerce une action électromagnétique que par les charges électriques qu'elle porte. On voit combien le fluide inducteur de Maxwell-Lorentz diffère de l'éther de Fresnel. Ce n'est plus une substance, et c'est par métaphore que nous parlons d'onde électromagnétique ou hertzienne, si tant est qu'une substance est nécessaire pour transmettre des vibrations. Avec l'éther de Maxwell et Lorentz et les électrons qui s'y meuvent, les doctrines d'émission et d'ondulations se superposaient déjà en quelque sorte; ce n'était que le commencement d'une dualité qui allait s'accuser de plus en plus.

Les physiciens se sont depuis longtemps demandé si les phénomènes optiques se produisant à la surface de la Terre peuvent mettre en évidence le mouvement de translation de celle-ci. Les expériences tentées autrefois à cet effet, dans laquelle l'approximation était du premier ordre par rapport à l'aberration, c'est-à-dire par rapport au quotient de la vitesse de la Terre par rapport à celle de la lumière, avaient toujours été négatives. Plus récemment une expérience célèbre de Michelson, capable de déceler des termes du second ordre, donna encore un résultat négatif. On admit alors à peu près unanimement que la théorie des ondes dans l'éther immobile démontrait l'existence de termes du second ordre; il y avait donc contradiction avec l'expérience. Peut-être oubliat-on que, en toute rigueur,

la théorie mécanique de l'éther telle qu'elle a été développée ne peut aller au delà du premier ordre. Quoi qu'il en soit, l'éther de Huygens et de Fresnel fut condamné, et la question se posa d'expliquer dans la théorie du fluide inducteur immobile l'impossibilité de mettre en évidence le mouvement de translation uniforme d'un système au moyen d'une expérience électromagnétique (en particulier optique) faite dans celui-ci. Or les équations de Lorentz restent inaltérées quand on effectue sur les *coordonnées* et le *temps* certaines substitutions linéaires et qu'on transforme en même temps d'une manière convenable les forces électrique et magnétique ainsi que la densité. Malgré ces changements simultanés de longueurs et du temps, les lois des phénomènes électromagnétiques sont donc restées les mêmes, et l'illustre physicien hollandais est amené à conclure qu'un corps animé d'un mouvement de translation uniforme se contracte dans le sens du mouvement, ce qui permet de rendre compte du résultat négatif de l'expérience de Michelson; il nous serait d'ailleurs impossible de constater cette contraction, car toutes nos règles se contracteraient aussi. Il n'y a pas que les longueurs qui soient modifiées d'après les formules de transformations indiquées plus haut, les longueurs et le temps, *rapportés à un phénomène physique de nature périodique produit dans le système*, ne sont pas mesurés par les mêmes nombres quand celui-ci est en repos ou en mouvement. Il y a changement simultané des *longueurs* et du *temps*; seule n'est pas changée la vitesse de la lumière.

Il semble d'abord que ce dernier point pourrait être vérifié directement, en mesurant la vitesse de la lumière dans diverses directions, mais il est actuellement impossible d'obtenir des temps de parcours lumineux avec une approximation correspondant au carré de l'aberration. D'ailleurs, et ceci est important au point de vue de la théorie, on ne mesure pas directement la vitesse nécessaire à la lumière pour aller d'un point à un autre, *mais celle qui correspond à l'aller et au retour*.

Les choses en étaient là, quand intervint M. Einstein. Il renversa

en quelque sorte la théorie de Lorentz, prenant pour point de départ le postulat suivant : *La vitesse de la lumière pour un observateur placé dans un système animé d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme par rapport à un autre système est une constante universelle, indépendante de ce mouvement.* De ce principe on déduit la possibilité d'obtenir les longueurs et les temps, sans transporter des appareils de mesure, et la théorie de la relativité dite restreinte se déroule sans difficultés. Il n'y a plus ici de contraction des corps, comme nous en avons rencontré avec Lorentz. On peut dire que la théorie a une base physique en ce qui concerne la mesure des longueurs et du temps; mais il faut attribuer à la lumière un rôle unique et privilégié parmi les autres phénomènes naturels et admettre le postulat de la constance de sa vitesse.

La forme sous laquelle M. Einstein, modifiant le point de vue de Lorentz, avait traité le problème de la relativité restreinte, l'a conduit à des généralisations extrêmement étendues. L'idée essentielle est qu'un *Univers* est une multiplicité à quatre dimensions, et que ses propriétés dépendent des coefficients d'une forme quadratique des différentielles des quatre coordonnées correspondant à un événement. Le principe général de relativité consiste en ce que toute loi physique doit être exprimée par des relations gardant par rapport à cette forme quadratique un caractère invariant pour une transformation quelconque des coordonnées. Une des premières et plus remarquables applications a été la découverte d'une forme quadratique se rapportant à un champ ponctuel de gravitation. Dans un tel Univers, la recherche de la trajectoire d'un point libre s'obtient en appliquant un principe de minimum à une intégrale déduite de la forme quadratique considérée ci-dessus. Ici on ne parle plus de force, et l'attraction apparaît comme une propriété de l'espace; quant à la matière elle-même, elle apparaît dans cette *géométrisation*, si j'ose dire, de la physique comme une conséquence de certaines déformations de l'espace à quatre dimensions envisagé. Il semble que soit réalisé le rêve de Descartes affirmant que l'étendue est l'essence des choses

matérielles, la physique se ramenant à une géométrie d'ailleurs singulièrement généralisée.

Tout cela est bien abstrait, pensera-t-on. Sans doute, et j'ai toujours admiré ceux qui tentent des vulgarisations superficielles des théories relativistes, ainsi que les dames qui parlaient, il y a quelques années, de relativité dans les salons. On demandera ce que deviennent le rayon lumineux et l'éther dans cette physique. Le rayon lumineux correspond aux géodésiques de longueur nulle relatives à la forme quadratique fondamentale. Quant à l'éther, peut-il être autre chose que l'espace lui-même, tout au moins quand il s'agit du champ gravitationnel. Il est cependant bien difficile de se résoudre, d'après M. Einstein lui-même, à ne pas conserver la notion d'un « milieu privé de toutes les propriétés mécaniques et cinématiques, mais qui détermine les phénomènes mécaniques et électromagnétiques ». Les choses se compliquent encore quand on envisage un Univers où il y a à la fois un champ de gravitation et un champ électromagnétique, mais je ne puis insister. L'exposé précédent suffit peut-être à montrer que, dans certaines théories de la physique moderne, la nature apparaît comme un vaste réseau de symboles mathématiques. Peut-il d'ailleurs en être autrement, quand il nous faut envisager des espaces à quatre et même à cinq dimensions, pour lesquels nous devons abandonner, au moins dans les cas généraux, les représentations auxquelles nous sommes habitués.

XII.

Le continu et le discontinu.

Les problèmes de philosophie naturelle se posent aujourd'hui sous des points de vue très divers. Un d'eux, qui s'est montré très fécond, est celui des probabilités. Toutes les combinaisons offertes par les constituants en nombre énorme d'un système ne sont pas également probables, et l'on est conduit à admettre que les phénomènes marchent dans le sens de la plus grande probabilité, de telle sorte que l'événement le plus probable tend à se réaliser. Les lois de la phy-

sique apparaissent alors comme des lois de plus grande probabilité, et nos idées sur l'irréversibilité des phénomènes s'en trouvent nécessairement modifiées.

L'opposition est ancienne, nous l'avons vu, entre les idées de continuité et de discontinuité; elle a commencé dès l'antiquité grecque. La plupart des théories de la Mécanique et de la Physique se sont longtemps condensées dans des types analytiques qui supposaient la continuité, soit que celle-ci fût admise dès le début, soit qu'elle apparût comme une approximation nécessaire pour les calculs; de ce second cas nous avons indiqué un exemple dans la formation des équations de la mécanique de l'éther. Les exemples de tels compromis sont nombreux; un d'eux est donné par la Chimie qui, quoique étant à bien des égards une science du discontinu, utilise dans sa statique les symboles du continu. Dans certaines parties de la physique actuelle, la notion de discontinuité semble prédominer; les mots d'atomes, d'ions, d'électrons reviennent constamment sur les lèvres des physiciens, et l'on sait le rôle capital joué par les corps radio-actifs dont la découverte, à jamais mémorable, par Henri Becquerel et par M. et M^{me} Curie eut tant d'influence sur le développement de la science.

Une ère nouvelle s'ouvrit avec M. Planck, quand il étudia le rayonnement thermique d'un corps incandescent, qu'il regardait comme formé de petits résonateurs. Il chercha, d'après une formule de Maxwell, le nombre des résonateurs entrant en vibrations, mais en supposant que les énergies de ces résonateurs croissent par saccades, au lieu de varier d'une manière continue comme l'avait admis Lord Rayleigh, et il fut ainsi conduit à des courbes de distribution de l'énergie dans le spectre, conformes à l'expérience, ce que ne donnaient pas les théories jusque là classiques. Il n'y a pas d'ailleurs à parler d'atome d'énergie; c'est le quotient de l'énergie par la fréquence de la vibration, qui est multiple d'une certaine constante universelle, dite *quantum d'action*.

Cette question fut ensuite considérablement élargie. Quand la lumière ultraviolette tombe dans le vide sur un métal, celui-ci émet

des électrons possédant une vitesse dépendant seulement de la longueur d'onde de la lumière, tandis qu'on pouvait s'attendre à ce qu'elle dépendit aussi de l'intensité du rayonnement lumineux. On a expliqué ce résultat en admettant que l'énergie lumineuse ne se propage pas uniformément dans toutes les directions, mais reste au contraire concentrée sous forme de *quanta* déterminés, dépendant seulement comme plus haut de la longueur d'onde; c'est la théorie des *quanta de lumière* ou *photons*, proposée pour la première fois par M. Einstein. Chacun de ces quanta de lumière, en rencontrant le métal, communique à l'un des électrons qui s'y trouvent son énergie sous forme d'énergie cinétique, abstraction faite seulement du travail que doit accomplir l'électron pour quitter le métal. L'intensité de la lumière qui produit le phénomène n'influe pas sur l'énergie des électrons détachés, mais seulement sur leur nombre.

Nous voici ainsi revenus à une théorie d'émission. La théorie des photons s'est montrée très féconde dans de nombreuses questions touchant à la constitution de la matière; l'étude des chocs entre *électrons* et *photons*, a expliqué notamment la belle expérience de M. Compton sur la diffusion des rayons X par certaines substances, diffusion qui accroît leur longueur d'onde, et des considérations analogues interviennent dans l'explication du remarquable phénomène de M. Raman.

Mais des difficultés n'ont pas tardé à se présenter. Comment expliquer avec les photons les phénomènes d'interférence, qui paraissent de nature essentiellement ondulatoire. Le sujet a bientôt débordé l'optique. C'est toute une nouvelle mécanique que l'on cherche à fonder, et l'on parle couramment aujourd'hui de la nouvelle Mécanique ondulatoire. Dans un travail faisant époque, M. Louis de Broglie a montré en 1924 la voie où l'on pouvait s'engager. Au mouvement d'un électron, ou plus généralement d'un corpuscule, il a associé un phénomène ondulatoire concomitant, ondulation qu'expriment des relations analytiques, où l'équation différentielle des ondes joue un rôle essentiel. Considérant alors un nuage de

corpuscules, M. de Broglie montre que les trajectoires de ces corpuscules tantôt convergent, et tantôt divergent, d'où une densité variable du nuage, et c'est de là dans le cas des photons qu'on peut, en admettant la structure granulaire de l'énergie lumineuse, déduire une théorie des interférences : il passe beaucoup de photons là où l'ancienne théorie prévoyait un maximum de lumière, et peu de photons là où il y avait un minimum. Pas plus ici qu'antérieurement, nous ne pouvons dire ce qui ondule ; à la théorie de M. de Broglie et aux belles études qui l'ont suivie de M. Schrödinger et de M. Heisenberg, on peut appliquer les remarques que nous avons déjà faites sur le caractère souvent schématique de tant de nos explications scientifiques. Les uns se demandent si l'électron n'a pas une existence purement analytique, n'étant qu'un centre de vibration dans un système d'ondes auxquelles appartient vraiment la réalité. Pour d'autres, ce sont les ondes qui n'ont qu'une existence analytique ; à un champ ambiant discontinu on a substitué mathématiquement un champ continu fictif. C'est toujours la même antithèse entre le continu et le discontinu. Il doit d'ailleurs y avoir des différences essentielles entre les ondes qui accompagnent un électron et celles qui accompagnent une particule lumineuse.

Quoi qu'il en soit de ce mélange des points de vue atomique et ondulatoire, il s'accorde bien avec les faits, car dans de remarquables expériences où ils faisaient diffuser des électrons sur les surfaces des diverses substances, M. G. P. Thomson, MM. Davisson et Germer, d'autres encore ont obtenu des phénomènes d'interférences avec un faisceau de ces corpuscules.

A un point de vue philosophique, la théorie des quanta suggère des questions troublantes sur notre pouvoir de comprendre les phénomènes physiques. Ainsi deux de ses plus savants protagonistes MM. Born et Heisenberg écrivent à ce sujet : « La Mécanique des quanta fournit des valeurs moyennes avec exactitude, mais ne peut prédire la venue d'un événement isolé. Le déterminisme, qui jusqu'ici a été admis comme base des sciences exactes de la nature, semble

ne plus pouvoir être admis sans conteste ». La remarque porte loin. En fait, on distingue souvent aujourd'hui les choses qui sont à notre échelle et celles qui ne le sont pas. Pour celles-ci il y a une certaine anarchie; la loi des grands nombres au contraire joue pour celles-là, et il y a alors une sorte de *déterminisme statistique*.

On a souvent rappelé cette phrase de Henri Poincaré : « Ce que les nouvelles recherches sur les quanta, écrivait-il, semblent mettre en question, ce n'est pas seulement les principes fondamentaux de la Mécanique, c'est quelque chose qui jusqu'ici paraissait inséparable de la notion même de loi naturelle. Pourrons-nous encore exprimer ces lois sous forme d'équations différentielles ». Les mathématiciens qui cultivent les équations différentielles, et que troublerait cette phrase de Poincaré, peuvent se rassurer. Dans les Mémoires sur la nouvelle mécanique ondulatoire les équations différentielles et même les équations intégrales jouent un rôle capital; le *discontinu* et le *continu* y voisinent agréablement. Quant à la théorie de la relativité, qu'il s'agisse de la relativité généralisée sous sa forme initiale, ou des tentatives de synthèse réunissant le champ électrique et le champ gravitationnel, un bel ensemble mathématique se déduit de ses principes initiaux. Dans notre vision actuelle du monde, l'analyse mathématique est donc un instrument indispensable aux progrès des théories physiques. De ce point de vue, elle n'est pas la science étrange et mystérieuse que se représentent tant de gens; elle est une pièce essentielle dans l'édification de la philosophie naturelle.

XIII.

Diverses opinions sur l'objet des Théories scientifiques. Conclusions.

L'histoire succincte du développement des sciences nous a déjà fait connaître diverses opinions émises à travers les âges sur leur objet et leur valeur. Les savants adonnés aux sciences de la nature ne doutent pas de l'existence d'objets extérieurs à leur conscience. La science leur apparaît comme le prolongement du sens commun, qu'elle

rectifie au besoin. D'ailleurs, sans s'aventurer sur le terrain glissant de la philosophie, beaucoup accorderont que certaines notions initiales conditionnant notre savoir sont d'ordre métaphysique, et que, avec le sens commun lui-même, nous cotoyons le terrain ontologique.

Les opinions émises sur la science dans les temps modernes sont très variées; on retrouve dans plusieurs d'entre elles des points de vue anciens, mais avec des compléments qui en font souvent des doctrines originales. Pour les uns, qui partent d'un empirisme radical, la réalité empirique immédiate est de suite déformée sous l'influence de motifs pratiques, la science n'ayant aucune valeur de connaissance théorique et valant seulement pour l'action; de cette conception pragmatique M. Bergson caractérisait, spirituellement un jour les tendances extrêmes de la manière suivante : « Tandis que pour les autres doctrines une vérité nouvelle est une *découverte*, pour le pragmatisme c'est une *invention* ». D'après certains philosophes, il restera toujours quelque contingence dans les lois de la nature, et cette thèse a été développée avec profondeur par Émile Boutroux dans un livre qui a eu un grand retentissement. Pour une autre École, la construction scientifique au moyen de concepts ne peut saisir le flot mouvant des choses; cette vieille philosophie du devenir et de la mobilité a été entièrement renouvelée par M. Bergson, qui l'a parée de son style imagé et poétique, et par un de ses plus éminents continuateurs, M. Édouard Le Roy, qui récemment encore apportait une note originale dans ses belles études sur l'évolution de l'intelligence.

Une opinion fort répandue est encore que la valeur de la science tient à ce qu'elle conduit à une économie de la pensée, doctrine soutenue notamment par Mach avec une grande vigueur. Chez d'autres critiques, la science dans ses parties théoriques, a pour base un système de conventions arbitraires mais commodes. On sait qu'on a jadis caractérisé la philosophie de Henri Poincaré, en disant qu'elle était la philosophie de la commodité. Dans quelques-uns de ses écrits en effet le mot *commode* revient souvent, et paraît constituer le terme de son

explication. Mais notre illustre confrère ne fût jamais l'esclave d'aucune opinion, pas même de celle qu'il avait antérieurement émise, et son nominalisme s'est atténué avec les années. L'idée de commodité, comme celle de simplicité parfois invoquée, est en fait très vague; un biologiste guidé par l'idée d'évolution verra dans la commodité le résultat d'une longue adaptation, et, ainsi envisagée, elle peut devenir un témoignage de *réalité* et de *vérité*. Je ne crois pas d'ailleurs que Poincaré se soit arrêté souvent à ce point de vue. Il considérait généralement l'esprit humain tout formé et sa fonction la pensée, dont il a écrit : « Tout ce qui n'est pas pensée est le pur néant », et dans ses études sur les principes de la géométrie, il regarde l'idée de *groupe* comme préexistant dans notre esprit et s'imposant en tant que forme de notre entendement.

Nous avons déjà rencontré le nom de Pierre Duhem. Ses idées étaient très arrêtées sur ce qu'il faut entendre par une théorie physique. L'objet de celle-ci n'est pas, d'après lui, de déchirer le voile des apparences sensibles et de montrer la réalité face à face. Qu'il s'agisse d'atomistes regardant la matière comme formée de petits corps durs et rigides, ou de cartésiens pour qui le monde est formé par un fluide continu avec des parties animées d'un mouvement tourbillonnaire, les uns et les autres, au regard de Duhem, mettaient leurs théories sous la dépendance d'une métaphysique. Il lui a certes été facile de montrer les incohérences et les impuissances offertes à travers le temps par de nombreuses tentatives d'explication, et, s'il vivait aujourd'hui, il assombrirait encore le tableau avec les théories récentes de la lumière. Le spectacle qui l'éloignait d'écoles, comme celles des atomistes et des cartésiens va-t-il jeter Duhem dans un empirisme ne voyant dans la science qu'un recueil de recettes et une collection d'observations précises, ou dans un scepticisme auquel n'a pas toujours échappé Henri Poincaré. Nullement; il estime que sans théorie physique il n'y a pas de physique, et pour lui « *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, aussi exactement que possible un ensemble de lois expérimentales ». La théorie physique n'est d'ailleurs pas seulement une représentation économique de ces lois, mais aussi une *classification*. Duhem pensait, avec beaucoup d'autres, que l'accord avec l'expérience est pour une théorie physique l'unique critérium de vérité, mais qu'une théorie vraie ne doit pas avoir la prétention de donner des apparences physiques une explication conforme à la réalité. Ainsi l'éther de Fresnel fut jadis regardé comme une réalité; il est pour Duhem une représentation et non une explication, mais cette représentation conduit à une classification dans l'ensemble si touffu des phénomènes lumineux. Peut-être l'éminent critique n'insiste-t-il pas assez sur ce que la théorie a maintes fois fait prévoir des faits nouveaux, et c'est en ceci déjà que nous dépassons l'antique « σώζειν τὰ φαινόμενα ». On pourrait d'abord être tenté de classer Duhem parmi les pragmatistes d'une observance ou d'une autre, mais pour lui toutes les représentations ou classifications ne se valent pas. En se perfectionnant, la théorie physique, pense-t-il, prend peu à peu le caractère d'une classification naturelle, et il écrit : « Plus la théorie se perfectionne, plus nous pressentons que l'ordre logique dans lequel elle range les lois expérimentales, est le reflet d'un ordre ontologique ». Ceci revient sans doute à dire que, sans pouvoir saisir la réalité au-dessous des phénomènes, notre raison est capable cependant d'établir, entre des notions abstraites, des relations correspondant à des rapports vrais entre les choses, et c'est une opinion que partagent depuis longtemps beaucoup d'hommes de science.

Nous avons parlé plus haut, à propos de Newton, de la méthode inductive. Celle-ci a fait l'objet des critiques de Duhem, critiques peu justifiées, semble-t-il, l'induction et la généralisation ayant joué et jouant dans la science un rôle considérable. On peut retenir seulement de ces critiques qu'une expérience ne peut jamais condamner une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble théorique; aussi, contrairement à ce qu'ont longtemps pensé les physiciens, ne peut-il pas y avoir d'*experimentum crucis*.

Pour l'École positiviste se rattachant à Auguste Comte, l'expérience nous a rendu familières certaines liaisons et nous a conduits à admettre qu'il y a des lois dans la nature; l'objet de la science est de trouver ces lois. Les savants n'ont jamais adopté la notion statique de loi posée par Comte, accompagnée de vues malheureuses sur les bornes imposées à diverses recherches, mais la majorité d'entre eux, surtout parmi ceux qui, expérimentateurs, se méfiaient des théories, s'est ralliée pendant une partie du siècle dernier aux idées positivistes sur l'explication scientifique et ce qu'on peut appeler l'intelligence d'un phénomène. Devant un fait nouveau, on dira avec eux qu'on le comprend quand, avec les notions antérieurement acquises, on aurait pu le prévoir; l'explication consiste à développer cette possibilité de prévision.

Les positivistes, répète-t-on souvent, recherchent le *comment*. Nous avons parlé plus haut d'*explications causales*. Or, qu'entend-on par le principe de causalité? C'est une opinion assez répandue que, en dehors de la façon constante dont s'opèrent certains changements, nous ne pouvons, d'une manière générale, attacher une signification précise au mot *cause*, en dehors des causes libres dont le moi nous donne une idée vague. On peut là-dessus discuter sans fin et se demander avec M. Meyerson si, en formant les concepts des objets extérieurs, en hypostasiant nos sensations suivant l'expression de l'éminent philosophe, notre entendement n'obéit pas à un principe interne de causalité, distinct de la notion de loi. En fait, l'histoire de la science nous a déjà montré bien des tentatives d'explications, consistant à rechercher non seulement la loi, mais aussi la cause. Nous avons cité au début l'opinion de Huygens sur la nécessité de procéder de la connaissance des effets à celle des causes; c'est ce qu'il pensait faire quand il imaginait le milieu éthéré, dont l'existence, je tiens à le rappeler, lui paraissait résulter de la propagation de la lumière à travers le vide barométrique. Ainsi, les phénomènes changeants de la lumière étaient expliqués par les modifications dans l'état d'un élément permanent; d'où le point de vue soutenu par divers philosophes, comme M. Lalande et surtout par M. Meyerson dans son beau livre *Identité et réalité*, que

comprendre veut dire identifier. Les physiciens et les chimistes, qui recherchent des explications causales, doivent trouver des éléments, en nombre aussi réduit que possible, susceptibles d'être mis à la base de leurs explications. Ce furent, par exemple, l'éther de Huygens et le fluide inducteur de Maxwell; ce sont aujourd'hui l'électron ou atome d'électricité négative, le proton ou atome d'électricité positive, le quantum de lumière ou photon. Certains de ces éléments pourront n'avoir d'abord qu'une existence mathématique, comme il arrive dans la théorie de la relativité ou la mécanique ondulatoire moderne, chez lesquelles des formes analytiques sont intervenues *a priori*, en même temps que se posaient à nous des questions sur le déterminisme même des phénomènes naturels.

Quand serons-nous portés à attribuer une *réalité* aux éléments qui se présentent dans les théories de la physique? Ce sera quand, comme conséquences de ces théories, l'expérience nous aura amenés à faire correspondre des nombres déterminés à des propriétés de ces éléments. Quoique énoncée peut-être sous une forme trop absolue, elle reste vraie, dégagée de tout sens mystique, cette vieille maxime d'un pythagoricien proclamant que « toutes choses accessibles à notre connaissance possèdent un nombre, car sans celui-ci, nous ne pouvons rien comprendre ni connaître ». Il est exact que, plus une science se développe, plus on y voit grandir le rôle du nombre. Est-ce à dire que cette réalité, posée un moment par le savant, soit de l'ordre de celle qu'entend le plus souvent le sens commun. Les avatars de tant de théories, en particulier de celle du mystérieux fluide, que conservent sous une forme purement analytique et sans le préciser les nouvelles mécaniques, suffisent à montrer qu'il n'en est rien. Nous avons, il est vrai, la possibilité de dire que certaines choses ne sont pas à notre échelle, mais il est douteux que les lois applicables aux systèmes qui sont à notre échelle s'appliquent à ce qu'on appelle les *microsystèmes*. Au reste, les débats sur la préférence qu'il convient d'accorder à une hypothèse scientifique ou à une autre perdent parfois toute signification; deux systèmes différents s'équivalent si l'on peut faire

correspondre chaque élément de l'un à chaque élément de l'autre.

La nécessité de modifier, compléter, transformer nos théories scientifiques a fait dire que nous passons par une crise de la réalité. Mais de telles crises ont été fréquentes dans l'histoire des sciences. Sous une forme ou une autre, nous avons rencontré des cas analogues, et Voltaire disait déjà : « Les théories sont comme les souris; elles passent par neuf trous, mais sont arrêtées par le dixième ». Que de théories ont eu leur dixième trou! Il arrive toujours un moment où un fait nouveau oblige à quelque modification dans les vues théoriques.

On a souvent insisté sur ce qu'une théorie garde quelque chose de celle qu'elle remplace. Au point de vue cosmologique, l'affirmation peut être inexacte; ainsi, on admet ou non l'existence d'un éther substance. Mais il est fréquent qu'un élément d'une théorie se retrouve dans celle qui lui succède : telle l'idée de périodicité en optique, mais c'est plutôt alors une forme mathématique qui est conservée. On est parfois aussi tenté de supposer qu'une modification très petite dans les points de départ modifie nécessairement très peu le développement ultérieur de la théorie. Il peut cependant en être autrement, et il y a des cas où les théories ne se présentent pas avec le caractère d'approximations successives qu'on est tenté de leur attribuer.

Ces constatations n'ont rien de troublant pour ceux qui ne prétendent pas saisir la réalité dans une théorie physique, mais voient surtout dans celle-ci un moule, analytique ou géométrique, utile et fécond pour une représentation provisoire des choses. Nous ne croyons plus que l'accord d'une théorie avec l'expérience démontre qu'elle exprime la réalité des choses.

Le célèbre mathématicien Galois écrivait quelques heures avant sa fin 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 ». C'est peut-être là le lot de l'humanité, et Aristote écrivait déjà dans sa *Métaphysique* : « Rechercher la vérité, n'est-ce pas courir après un oiseau qui s'envole »; mais il semble que de ce point de vue la science apparaisse plus grande encore, témoignant

de la curiosité jamais lassée, qui est notre honneur et notre tourment. Ne pourrait-il pas cependant résulter quelque découragement du fait que l'histoire des sciences nous a montré à travers les âges tant de systèmes abandonnés ? Tout au contraire, répondrai-je, malgré l'apparence de paradoxe. On doit plutôt s'émerveiller que, avec des représentations lointaines et décolorées des choses, l'esprit humain ait pu débrouiller le chaos de tant de phénomènes, en dégagant de la connaissance scientifique des idées de beauté et d'harmonie. Notre confrère, M. Termier, a eu bien raison de nous parler ici même, il y a quelques années, de *La Joie de connaître* ; peut-être seulement y aurait-il lieu aussi d'écrire un chapitre sur *La Tristesse d'ignorer*.

Quelque goût que nous ayons pour la spéculation pure, il est d'ailleurs impossible, dans un coup d'œil général sur la science, de séparer entièrement les deux points de vue sous lesquels elle se présente à nous. Une des plus fortes raisons que nous ayons de croire à la science est assurément son utilité. Descartes lui-même, non moins soucieux de pratique que de théorie, souhaitait pour la science « de nous rendre comme maîtres et possesseurs de la nature ». Buffon, de son côté, aimait à répéter : « Rassemblons des faits pour avoir des idées ». J'ajouterai : « Avec ces idées, cherchons à édifier des théories qui nous permettront de prévoir des faits nouveaux ; c'est là, en résumé, le cycle de la connaissance scientifique ». Le beau et l'utile se rejoignent ainsi, et nous revenons en terminant au propos de Montaigne, par lequel je commençais ce discours : C'est un grand ornement que la science et un outil de merveilleux service.
