

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 27 (1945)

Artikel: Données primitives et notions élaborées
Autor: Rossier, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-742486>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 07.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

DONNÉES PRIMITIVES ET NOTIONS ÉLABORÉES¹

PAR

Paul ROSSIER

« Toute science, dit Boirac, a pour but la découverte et la preuve de vérités générales, et les vérités générales, ne pouvant être objet d'intuition immédiate, ne peuvent par conséquent être connues que par voie de raisonnement. ² »

L'importance, la nécessité du raisonnement sont ainsi clairement mises en évidence. Cependant l'emploi du raisonnement exige quelques précautions. Pour certains esprits, dès qu'une proposition est appuyée par un raisonnement correct, elle prend un caractère de vérité presque total et définitif. Rappelons cette banalité qu'un raisonnement n'ajoute rien aux prémisses sur lesquelles il s'appuie, si ce n'est une expression nouvelle d'une vérité qui était virtuellement contenue dans ces prémisses... et parfois une ou des erreurs. Notre but n'est pas d'étudier le mécanisme du raisonnement ni ses applications à la science. Nous nous proposons d'examiner quelques-unes des prémisses fondamentales, de voir si ces notions évoluent et comment elles évoluent. Très sommairement, nous jetterons un coup d'œil sur les sciences mathématiques, physiques, biologiques et psychologiques.

* * *

¹ Conférence faite à la section genevoise de la Société romande de Philosophie, le 9 novembre 1945.

² E. BOIRAC. *Cours élémentaire de Philosophie*, 2^e éd., Paris, 1890, p. 227.

Les sciences du nombre constituent apparemment le cas le plus simple à examiner ici. Le choix des prémisses est arbitraire, sous réserve d'importantes conditions de compatibilité et d'intégrité. Le nombre entier est une notion inhérente à tout homme capable de raisonnement abstrait. La compatibilité des axiomes du nombre semble liée à l'existence même de la logique. Les termes « un », « et », « encore »... sont essentiels à toute pensée. Est-il même possible de pousser très loin l'analyse de la notion de nombre entier ? Plusieurs l'ont tenté sans toujours parvenir à des conclusions identiques. La difficulté du problème est exprimée dans cet aphorisme d'un mathématicien célèbre : « Soit donné le nombre entier, les mathématiciens feront le reste. »

Le caractère arbitraire de certaines propriétés des nombres apparaît clairement dans l'étude des extensions successives de cette notion, déjà dans le domaine élémentaire, de l'entier au nombre complexe, en passant par les étapes des nombres relatifs, fractionnaires et incommensurables. Mais le nombre a subi encore d'autres extensions. Sans insister sur les nombres à plus de deux unités irréductibles, tels que les quaternions, le simple problème de la construction des polygones réguliers ou de la division du cercle en parties égales a été l'amorce de développements considérables. De proche en proche, on en est arrivé à donner un sens à des expressions telles que nombre entier complexe, entier algébrique, nombre algébrique, nombre transcendant. Les propriétés les plus élémentaires, les plus évidentes deviennent parfois fausses dans ces domaines. Il semble par exemple évident qu'il n'existe qu'un seul produit de nombres entiers premiers égal à un nombre donné. Cela est vrai dans les éléments, mais ne l'est plus toujours lorsque l'on considère les extensions auxquelles nous faisons allusion.

Cet exemple, et l'on en pourrait citer bien d'autres, justifie la méfiance dont l'apparence, le bon sens, sont souvent l'objet de la part de l'homme de science. Trop souvent trompé par son intuition, celui-ci critique les notions, les dissèque en quelque sorte. Pour éviter de se laisser entraîner par des idées préconçues, souvent inconscientes, il accentue toujours davantage le caractère abstrait des objets auxquels il applique son activité.

Ce caractère d'abstraction apparaît de façon frappante dans la théorie des fonctions. Ici, c'est la notion de correspondance qui est l'essentiel, correspondance entre nombres et groupes de nombres. Les progrès accomplis dans ce domaine depuis le commencement du xixe siècle sont immenses. Les mathématiciens qui essaient d'approfondir le sens des choses se sont proposés de préciser les caractères de l'idée de correspondance: ils arrivent parfois à des propositions divergentes. Qu'on nous entende bien; les conclusions relatives à des classes bien déterminées de fonctions sont précises et rigoureuses: le doute n'est pas de mise en ces domaines. Mais, et c'est là que le problème intéresse le philosophe, il ne semble pas actuellement possible de déterminer aucune limite pour la théorie des fonctions, car la notion fondamentale, celle de correspondance, n'a pas encore pu être soumise à une analyse complète. Ainsi, la constitution de la théorie des fonctions n'est pas encore satisfaisante en certains de ses fondements sur lesquels discutent (et parfois se disputent) les spécialistes. Il semble difficile de donner une image du débat sans faire appel au jargon des théoriciens, et cela d'autant plus que les notions rudimentaires de bon sens, couvertes par les termes ordinaires qui figurent dans les propositions, ne sont pas celles de l'homme de métier. En ces domaines, la fixation du langage est déjà un travail considérable, car, ici comme ailleurs, les notions ont évolué vers une abstraction immense. Ici, comme il y a un instant en théorie des nombres, pousser plus loin nos investigations serait faire œuvre de spécialiste.

* * *

Abandonnons les mathématiques pures et passons à un domaine d'un caractère plus physique ou faisant davantage appel à l'intuition, la géométrie.

L'histoire de cette science et son évolution sont bien connues. Grâce au concept de l'étendue physique, son étude est moins abstraite que celle de l'algèbre; les figures, au moins dans les commencements, sont d'un grand secours; les constructions graphiques peuvent être considérées comme un recours à l'expérience. Du point de vue méthodique, la géométrie est

une science à caractères multiples, où l'observation, l'expérience et le raisonnement ont chacun leur part. On sait, par exemple, que certains mathématiciens anciens considéraient leur tâche comme terminée lorsque, ayant habilement disposé une figure, ils pouvaient se contenter de dire à l'auditeur: « Vois. » Toute démonstration était donc réduite à un appel à l'intuition. Dans une construction graphique, le caractère expérimental, l'essai, la mesure, l'incidence des lignes et des points sont évidents. Mais, depuis Euclide, la géométrie a acquis un caractère tout différent: elle est devenue logique et démonstrative. Au cours de deux millénaires, les prémisses ont subi une élaboration qui a fait de la géométrie le type historique de la science axiomatique. Le géomètre raisonnable se sent à son aise lorsque, à l'exemple de Hilbert, il considère des objets de raisonnement affublés de noms; ces noms, il les choisit dans le langage élémentaire de la géométrie: il pourrait aussi bien les prendre ailleurs; pour les distinguer des termes du langage ordinaire, il lui arrive parfois de les charger de suffixes en « oïde » ou de préfixes tels que « pseudo ». Pour donner un sens à ces termes, il les lie par des propositions dites axiomes ou postulats. Cela fait, il raisonne sur cet ensemble, tant pour construire l'édifice de sa science que pour éprouver la compatibilité de son ensemble. Cette étude de la compatibilité est un point faible du système, car la preuve fournie se réduit généralement à faire dépendre la compatibilité de la géométrie étudiée de celle d'une autre ou d'un autre domaine de la science ou enfin d'une intuition faisant admettre la possibilité d'une science rationnelle. Or, comme le dit M. de Broglie, « il y a beaucoup plus de mystère qu'un ne le croit souvent dans le simple fait qu'un peu de science est possible¹ ».

Quelque passionnant que puisse être l'élaboration d'un tel ensemble, une question subsiste qui est essentielle pour le philosophe: l'étendue, considérée comme être physique, les corps solides, les figures, les règles matérielles, les fils tendus ont-ils une relation avec l'édifice logique de la géométrie ?

¹ L. DE BROGLIE. *Continu et discontinu en Physique moderne.* Paris, 1941, p. 89.

La réponse est affirmative et cela pour la raison suivante: dans la multitude des systèmes possibles d'axiomes, le géomètre ne retient que ceux qui conduisent à des théorèmes interprétables dans le monde matériel et cela sans contradiction avec l'expérience. Le géomètre peut être conduit à changer de système. Cela ne va généralement pas sans difficulté. Par exemple, d'un certain point de vue, la crise scientifique provoquée par la mise au point de la théorie de la relativité peut être considérée comme due à l'obligation de substituer une géométrie générale riemannienne à l'image euclidienne du monde à laquelle nous sommes habitués.

La géométrie rationnelle peut donc être considérée comme un jeu de l'esprit. Dans ce jeu, portons notre attention sur quelques-unes des données fondamentales admises dans les axiomes et leur évolution.

Du point de vue de la géométrie élémentaire, les notions métriques d'angle et de longueur sont fondamentales. Elles sont irréductibles l'une à l'autre; un angle n'est pas de la nature d'une longueur et réciproquement. Cela tient à divers faits d'observation. Le plus important est peut-être le suivant: la nature possède une unité d'angle, le tour ou tel de ses dérivés, angle droit, angle du triangle équilatéral... La longueur, au contraire, ne possède, dans un monde euclidien, aucune unité privilégiée. Cependant, un grand nombre de théorèmes jouissent du caractère de dualité: en géométrie plane, par exemple, à une relation entre points et droites correspond souvent une relation analogue, dite corrélative, entre droites et points. Par exemple, deux points déterminent une droite, tandis que deux droites déterminent un point par leur intersection. Ce principe, dit de dualité, est, dans la géométrie, un élément d'harmonie et de disharmonie. Il crée de l'harmonie entre les relations corrélatives mais il oblige à classer les théorèmes en deux groupes, ceux qui possèdent un corrélatif et les autres. Les premiers constituent la géométrie dite projective et les seconds, la géométrie métrique. Ce qualificatif a été employé ici pour la raison suivante: les propositions où interviennent des longueurs et des angles ne satisfont pas au principe de dualité. Cependant, l'analyse des théorèmes laisse parfois entrevoir des analogies

qui, sans être aussi frappantes que celles de la géométrie projective, suggèrent l'existence de liens plus profonds. La solution est apparue à propos de recherches dans une direction apparemment entièrement différente: l'étude de la perspective et sa généralisation.

Rappelons que l'art de la perspective est celui de représenter sur un plan les figures de l'espace et cela de façon à conserver aux droites leur apparence rectiligne. La perspective d'une figure plane dépend de la figure envisagée et des éléments qui déterminent la perspective: autrement dit, aux propriétés de la figure donnée correspondent des propriétés de sa perspective; certaines permanences passent de la figure à sa perspective. Lorsqu'il s'agit d'exprimer cette permanence, on est conduit à une notion déjà connue des anciens et qui, baptisée par Chasles, a reçu le nom de rapport anharmonique. Dans une perspective, les longueurs, les angles et leurs rapports sont modifiés: au contraire, le rapport anharmonique de quatre points alignés ou de quatre droites concourantes ne l'est pas. Le rapport anharmonique présente donc un caractère de généralité plus étendu que l'angle ou la longueur. Mieux que cela, la distance de deux points, l'angle de deux droites peuvent être considérés comme des fonctions du rapport anharmonique des extrémités du segment ou des côtés de l'angle et d'autres éléments analogues caractéristiques du système de mesure choisi. Ce système est ce que les géomètres appellent une métrique. Le rapport anharmonique se substitue aux notions d'angle et de longueur. Désormais, toute la géométrie devient projective. Le principe de dualité devient un théorème, car il est facile de construire une transformation qui, tout en conservant les rapports anharmoniques, fait correspondre les droites aux points et inversement. Ce qui précède concerne la géométrie plane; il est facile de généraliser à l'espace.

Dans cette géométrie projective générale, une géométrie métrique est caractérisée par un choix particulier de la métrique: c'est dans ce choix, qui n'est pas le même pour l'angle et la longueur, que se trouve la cause de la disharmonie exposée ci-dessus. Mais plus encore. Une généralisation qui devait se présenter assez naturellement à l'esprit a permis de donner droit

de cité définitif, au même titre qu'à l'ancienne géométrie classique, à ces géométries, dite non-euclidiennes, qui troublerent si profondément les esprits à une époque donnée. On montre en effet, grâce à la définition projective des notions d'angle et de longueur, que si une géométrie non-euclidienne comporte contradiction, il en est de même pour l'euclidienne et réciproquement; enfin, l'existence de la géométrie dite analytique conduit à la conclusion que l'existence d'une contradiction en géométrie entraînerait une difficulté analogue dans la science des nombres.

Ces quelques idées montrent combien a été féconde en géométrie l'introduction de la notion de rapport anharmonique et sa substitution aux données primitives d'angle et de longueur. Un caractère de l'évolution des concepts apparaît ici: substitution à la donnée immédiate, d'une notion nouvelle plus vaste, mais plus abstraite. Cette substitution aboutit souvent à donner une fécondité inattendue à un domaine voisin de la science.

En passant, remarquons un autre détail. C'est ici l'idée de correspondance, dans un cas très restreint et bien défini, la perspective, qui a conduit à l'évolution des notions que nous venons d'esquisser. En théorie des fonctions, on cherche à approfondir le sens de la notion de correspondance; ici on a cherché à pousser aussi loin que possible l'étude d'un cas très simple.

* * *

Après ces remarques sur ce que l'on pourrait appeler la géométrie statique du XIX^e siècle, passons à un examen des relations entre les notions d'espace et de temps.

Pour les mathématiciens et même les mécaniciens du siècle dernier, la notion de temps ne présentait aucune difficulté. Pour eux, le temps constituait un paramètre permettant de caractériser la position ou la forme de figures mobiles ou variables. Aucune relation ne pouvait exister entre ces deux données irréductibles de temps et d'espace. Ces idées se sont avérées insoutenables dès l'élaboration de la théorie de la relativité. Celle-ci, dont les principes permettent la coordination

d'expériences contradictoires avec les théories anciennes, leur est considérée comme supérieure.

Dans le cas le plus simple, les relativistes considèrent deux observateurs en mouvement relatif uniforme, l'un par rapport à l'autre. Ces deux physiciens observent chacun deux événements E et E' . En général, E et E' se produisent en des lieux différents et en des instants différents, et cela pour chacun des deux observateurs. Comparons les distances $d = EE'$ déterminées par chacun des deux expérimentateurs; ils trouvent des résultats inégaux; de même et quelque absurde que cela puisse paraître au bon sens, le temps écoulé entre les deux événements est encore différent pour les deux observateurs. Les physiciens anciens admettaient l'invariance de la distance entre les lieux de E et de E' et l'invariance du temps y relatif. Les relativistes, au contraire, se voient dans l'obligation de rejeter cette double invariance. Mais une science sans fonction fixe, est chance- lante; il fallait chercher un invariant; celui-ci fut trouvé: c'est l'intervalle de Minkowski. Quel que soit leur mouvement relatif uniforme, les deux observateurs trouvent le même intervalle entre les deux événements E et E' . Cet intervalle est une fonction simple de la distance et de la durée déterminée par chacun des observateurs. Une différence entre les deux déterminations de distance est compensée par une variation entre les déterminations correspondantes de durée, de façon à maintenir constant l'intervalle. C'est ce que l'on exprime sommairement en disant qu'il y a transformation de temps en espace et réciproquement. Mais la possibilité de cette transformation fait disparaître le caractère d'irréductibilité de l'un à l'autre; le temps et l'espace ne sont plus que deux apparences différentes de la même réalité, l'intervalle.

Il est curieux de constater, tant dans l'évolution vers la géométrie projective que dans celle imposée par les idées relativistes, que la transformation du concept de distance est sa disparition et son remplacement par une autre notion plus abstraite. En outre on constate ici le caractère provisoire des concepts scientifiques fondamentaux. Une expérience nouvelle, une relation insoupçonnée entre deux domaines jusqu'alors distincts de la connaissance peuvent provoquer un boulever-

segment des notions de base. De l'édifice ancien, tout subsiste, pour autant qu'il s'agit d'observations et de mesures bien faites. Cependant, toute science, implicitement ou explicitement, entend quelque peu attaquer le problème métaphysique de l'être. Les révolutions analogues à celle provoquée par la mise au point relativiste ne sont pas d'ordre scientifique, au sens étroit du terme. Elles constituent bien plus un renversement des relations entre la science et la métaphysique. De ce fait, elles touchent à des domaines très profonds de la pensée: elles obligent savants et philosophes à reprendre l'étude du problème de l'essence des choses. Ce problème ontologique réapparaîtra plus bas.

* * *

Passons à un nouveau domaine des sciences mathématiques, la mécanique. L'homme possède un sens musculaire de la force. C'est dire que, au moins sous cette forme, la force ne saurait être définie. Au physicien, il suffit de savoir la mesurer, de façon à pouvoir lui appliquer les raisonnements mathématiques. Une force est déterminée par des éléments géométriques de direction et de position et par un élément spécifique nouveau, l'intensité. Le poids joue dans notre vie quotidienne un tel rôle que, très naturellement, il a été pris initialement comme moyen de mesure des forces; certaines circonstances accidentelles, le peu de variation de la gravité avec le lieu et le temps ont facilité cette élaboration.

La force étant donnée, la statique peut être considérée comme une extension de la géométrie. Ici encore, le désir d'obtenir des énoncés généraux a conduit à une élaboration des notions. La statique a pour objet la recherche des conditions auxquelles un corps ne se meut pas. Le déplacement est une notion purement géométrique. Or, comme on distingue entre longueur et angle, il y a lieu de classer les déplacements plans en deux catégories, translations et rotations. La grandeur d'une translation est caractérisée par une longueur, celle d'une rotation par un angle. Comme la longueur et l'angle sont deux notions irréductibles, la translation et la rotation le sont aussi. Devant cette double apparence des choses, on peut se demander s'il

est possible d'établir les équations de la statique sous une forme générale, contenant les deux cas spéciaux ci-dessus. La réponse est affirmative, mais à la condition de substituer à la notion primitive de force une notion nouvelle, qui en dépend d'ailleurs, et que l'on a nommée travail. On arrive ainsi au théorème fondamental de la statique, appelé parfois principe des travaux virtuels: le repos d'un corps exige que le travail des forces soit nul pour tout déplacement possible.

Cette notion de travail a joué et joue encore un rôle immense dans la science. Non seulement, elle s'introduit naturellement en statique, mais elle est à la base d'un théorème essentiel de la dynamique; en effet, s'il y a mouvement varié, d'après le principe des travaux virtuels, c'est qu'il y a travail des forces. Or le corps en mouvement étant donné, la connaissance de son état de vitesse suffit pour déterminer une nouvelle grandeur, dite énergie cinétique, dont la variation est égale au travail des forces agissantes. Deux notions différentes, le travail statique et l'énergie cinétique sont transformables l'un en l'autre.

A propos d'espace et de théorie relativiste, nous avons déjà vu une transformation d'espace en temps, qui, à un certain point de vue, est très semblable à la transformation de travail en énergie cinétique. Du point de vue mathématique, l'une des transformations n'est pas plus mystérieuse que l'autre. Comment se fait-il alors que l'une soit acceptée depuis fort longtemps, et cela sans difficulté, tandis que l'autre a eu, et a encore, tant de peine à l'être? Tant que les hommes de science ne font intervenir dans leurs raisonnements que des notions élaborées, les propriétés les plus inattendues, les équivalences les plus stupéfiantes ne choquent que des habitudes de pensée superficielles. Une métaphysique ou, si l'on ose dire, une métapsychologie, n'a pas encore été construite sur ces notions. Si, au contraire, les résultats des travaux de recherche conduisent à modifier des concepts ancrés dans nos habitudes par une expérience très ancienne et peut-être ancestrale, il se produit un choc violent; une réaction puissante se manifeste contre ce qui paraît une hérésie insoutenable et absurde. Un travail de réflexion plus calme et plus lent montre le peu de fondement

de ces réactions. Les exemples que nous citons ici montrent cette propriété de l'homme d'être ainsi fait qu'il lui est fort difficile de rejeter ce qu'une expérience superficielle fréquente et prolongée lui a suggéré, pour le remplacer par le résultat d'une élaboration généralement fort abstraite.

* * *

L'assimilation à laquelle nous venons de faire allusion est très facile dans certains cas, tel que celui de l'acoustique, qui nous donne un exemple d'une absorption presque totale d'une science par une autre. Notre sens de l'ouïe a permis la naissance d'une science adéquate, l'acoustique. Or, l'étude de la catégorie de mouvements qui jouissent du caractère de périodicité a montré un parallélisme presque entier entre les phénomènes sonores et les équations de ce chapitre de la dynamique. Cet isomorphisme était d'ailleurs suggéré par bon nombre d'observations faciles. En conséquence, sous réserve de quelques points de contact avec la thermodynamique et la physique corpusculaire, l'acoustique n'est plus actuellement qu'une partie de la mécanique des milieux continus. Ne constituant plus une science indépendante, elle ne possède pas de concept fondamental qui lui soit propre. Du point de vue de l'évolution des concepts, l'acoustique a perdu beaucoup de son intérêt.

* * *

Il y a un instant, nous avons fait allusion au principe de conservation de l'énergie dans le domaine de la mécanique. Au cours du siècle dernier, ce principe a subi une extension considérable, à tel point que la physique classique peut être considérée comme la science de l'énergie. Dans tous les domaines qui se sont joints à la mécanique pour constituer la physique du XIX^e siècle, l'énergie est apparue, sous des formes multiples, mécanique, thermique, sonore, lumineuse, électromagnétique, chimique et même biologique. L'énergie apparaît comme un phénix renaissant perpétuellement et, en même temps, comme un Protée en perpétuelle transformation. Elle constitue une

des pierres angulaires de tout l'édifice de la science. Il s'agit là d'une entité qui jouit de toutes les propriétés de l'existence expérimentale, au même titre que la matière. Pour l'ingénieur, l'énergie est une notion aussi fondamentale que le temps, l'espace ou la masse. Eblouis par l'importance de la découverte de l'énergie et de ses propriétés, certains philosophes matérialistes du siècle dernier ont cru voir en elle l'essence des choses et pouvoir la substituer aux dieux de tous les temps.

S'ils sont revenus de ces illusions, les modernes sont allés encore plus loin dans l'extension du domaine de validité du principe de conservation de l'énergie. Depuis l'élaboration de la théorie de la relativité, matière et énergie ne sont que deux apparences différentes d'une même entité. Aucun nom spécial n'a été donné à cette notion générale.

Souvent, la conservation de l'énergie est mal comprise car, si énergie et matière se conservent en quantité, elles ne le font pas en qualité. L'analyse de cette dégradation de l'énergie exige un examen des notions thermiques.

* * *

Au moins entre certaines bornes imposées par l'incapacité de supporter la douleur, notre sens du toucher nous renseigne sur le chaud et le froid. Nous savons classer les corps selon leur température. Ce classement est bien ordonné; cela signifie que si A est plus chaud que B, et B plus chaud que C, nous sentons toujours A plus chaud que C. On peut rapprocher cette remarque des propriétés des nombres ordinaux et attribuer à chacun des corps A, B ou C un nombre a , b ou c représentant leur état thermique. Cette première étape ne donne pas satisfaction au mathématicien, car celui-ci n'aime pas à devoir se contenter de nombres ordinaux. En effet, ceux-ci ne permettent que les opérations d'égalité et d'inégalité. Ils n'admettent pas l'addition, base de toutes les opérations effectuées sur les nombres.

La température déterminée comme indiqué ci-dessus n'est qu'ordinale; l'addition de deux températures n'a aucun sens physique, car la juxtaposition spatiale ou autre de deux corps de nature invariable n'élève pas leur température.

Pour faire progresser la science thermique, il fallait élaborer davantage la notion de température et arriver à lui faire correspondre des nombres cardinaux. Voyons quelques étapes de cette élaboration. Le thermomètre à gaz parfait a permis l'obtention d'une échelle de température dite absolue. Malgré ce qualificatif, cette échelle est relative et conventionnelle, mais elle jouit sur l'échelle centigrade et toutes les échelles analogues d'un avantage considérable: plusieurs lois relatives aux gaz, au rayonnement et encore à d'autres domaines sont exprimées par des formules algébriques plus simples au moyen de cette échelle qu'avec tout autre. Ce fait s'avèrera d'une très grande importance dans quelques instants.

Une échelle thermométrique quelconque ne permet pas de caractériser totalement un phénomène thermique. Une flamme d'allumette a beau être très chaude, elle est incapable de tempérer agréablement une pièce, ce que parvient à faire un récipient suffisant, plein d'eau tiède. Ces remarques ont conduit à l'introduction dans la science d'une nouvelle grandeur physique, dite quantité de chaleur. L'expérience a montré que, dans certaines conditions connues, la quantité de chaleur est une grandeur capable d'addition. Par exemple, la quantité de chaleur fournie par deux corps de chauffe est égale à la somme de celles fournies par chacun d'eux.

Non seulement la quantité de chaleur est capable d'additivité, elle obéit en outre à un principe de conservation; dans certaines conditions bien connues, la somme des quantités de chaleur qui interviennent dans une transformation est constante.

L'ensemble des phénomènes purement thermiques est dominé par deux principes: la conservation de la quantité de chaleur et un second énoncé, celui de l'uniformisation des températures. A eux deux, ils permettent de donner une description complète de ces phénomènes. Mais il existe des phénomènes non purement thermiques. La fusion de la glace en est un exemple simple. La production de chaleur, lors de phénomènes de mouvement, en est un autre, connu de toute antiquité. La transformation inverse, la production de mouvement par l'intervention de la chaleur n'a été bien comprise que plus récem-

ment. Est-il possible de donner de cet ensemble une description précise, d'ordre mathématique, portant sur des grandeurs mesurables et des fonctions bien déterminées ? La réponse est affirmative. Elle exige l'assimilation de la quantité de chaleur à l'énergie, c'est-à-dire l'extension du principe de conservation de l'énergie à la chaleur; la quantité de chaleur est simplement la forme thermique de l'énergie. Quant au principe de l'uniformisation des températures, il faut lui substituer une autre proposition plus générale, obtenue grâce à une nouvelle élaboration des notions précédentes. Cette élaboration accentue le caractère abstrait des raisonnements: elle est constituée par l'introduction de la notion d'entropie.

L'entropie est une grandeur physique qui a mauvaise presse. Henri Poincaré en parle comme suit: « Partout règnent les mêmes lois; partout, sous la diversité des expériences, on retrouve le principe de Carnot; partout aussi ce concept si prodigieusement abstrait de l'entropie, qui est aussi universel que celui de l'énergie et semble comme lui recouvrir une réalité. ¹ »

Malgré ce jugement de l'illustre savant, essayons de donner une idée approximative de l'entropie et de rendre plausibles quelques-uns de ses caractères essentiels. Pour cela, faisons une digression. Dans un déplacement quelconque. quel que soit le chemin suivi, la différence d'altitude entre le point de départ et celui d'arrivée est la même; elle est indépendante de la trajectoire suivie et des états intermédiaires du corps déplacé. Par contre, la distance parcourue, mesurée par exemple par le nombre de pas accomplis, dépend du parcours choisi. De même, dans l'étude de certains phénomènes thermiques simples, par exemple dans la compression de l'air, on constate les deux faits suivants: il y a généralement variation de température ou échange de chaleur avec le milieu; la quantité de chaleur qui intervient dans cet échange ne dépend pas seulement de l'état initial et de l'état final du gaz, mais en outre de tous les états intermédiaires. Le calcul de cette quantité de chaleur exige donc la connaissance d'une infinité d'états intermédiaires.

¹ H. POINCARÉ. *La Science et l'Hypothèse*, Paris, 1902, p. 208.

C'est l'analogue de la distance dans le cas du déplacement. Raisonner sur un tel ensemble est souvent fort difficile. On a donc cherché à faire subir aux notions fondamentales une nouvelle élaboration, en introduisant un concept « prodigieusement abstrait ». Le tout est alors de trouver cette notion, de la définir et de préciser ses propriétés.

On peut définir l'entropie en imaginant que le phénomène considéré est remplacé par une transformation infiniment lente décomposée elle-même en une infinité d'opérations se passant chacune à température constante. Durant chacune de ces transformations infinitésimales, il intervient une certaine quantité de chaleur; divisons-la par la température, prise dans l'échelle absolue et faisons la somme de ces quotients. Le total est la variation d'entropie relative au phénomène envisagé. Or, et c'est là le résultat essentiel, cette variation d'entropie ne dépend que de l'état initial et de l'état final. L'entropie mesure ainsi quelque chose d'analogue à la différence d'altitude.

Les trois notions de température, de quantité de chaleur (ou d'énergie) et d'entropie sont les bases d'une description précise des phénomènes thermiques. Cette description va extrêmement loin, puisqu'elle permet de calculer la température d'une étoile à partir de mesures terrestres: elle donne le moyen de déterminer et d'améliorer le rendement des machines à vapeur; elle a conduit à la réalisation des frigorifiques et des pompes à chaleur; la chimie théorique fait constamment appel aux idées d'entropie et d'énergie pour coordonner les phénomènes qu'elle étudie.

L'étude des phénomènes thermiques montre qu'il y a lieu de classer ceux-ci en deux catégories: ceux à entropie constante, dits isentropiques, et ceux à entropie variable.

La théorie des phénomènes isentropiques possède de nombreuses analogies avec la statique. Quoique le terme ne soit pas classique, il y a là une véritable thermostatique, dont l'étude est très avancée et qui constitue un ensemble cohérent et imposant.

Lorsque dans les phénomènes purement thermiques, il y a lieu d'appliquer le principe de l'uniformisation des températures on constate qu'il y a toujours augmentation de l'entropie. On

peut considérer que traiter ces problèmes au moyen des règles de la thermostatique revient à aborder les questions de dynamique en n'appliquant que les principes de la statique. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est, qualitativement, le sens de certaines transformations; établir quantitativement ce qui va se passer exige l'intervention d'autres domaines de la science. Cette étude est très spéciale; pour l'instant, elle ne semble pas conduire à des conclusions susceptibles d'éveiller un grand intérêt philosophique.

* * *

L'électromagnétisme est une science d'un caractère spécifique. Cela tient au fait que nous ne possédons aucun sens électrique ou magnétique spécial. L'observation visuelle, acoustique, thermique, mécanique, exceptionnellement olfactive ou gustative nous montre l'existence d'un immense ensemble de phénomènes dont la coordination a été possible, et même facile, grâce à un certain nombre d'hypothèses relatives au champ électromagnétique. Rapidement, ces hypothèses ont trouvé leur expression mathématique en des équations très générales. Pratiquement, la variété des expériences, leur simplicité, leur précision, le nombre des applications industrielles, l'intérêt porté à ces applications par les savants, et réciproquement, celui de certains ingénieurs pour la théorie ont permis un développement extraordinairement rapide de cette science. Ici encore, l'élaboration des connaissances a donné plus qu'on ne lui demandait. L'étude des unités de l'électromagnétisme a montré des relations curieuses avec la lumière. Cela a entraîné la constitution de la théorie électromagnétique des phénomènes lumineux. D'un certain point de vue, l'optique n'est qu'un chapitre de l'électro-magnétisme. Cet ensemble est si cohérent et si solide que, lorsqu'un conflit est apparu entre la mécanique ancienne et l'électromagnétisme, la jeune science a imposé à son aînée la révision de ses propres principes et a conduit ainsi à la théorie de la relativité.

Faisons une remarque sur les théories successivement proposées des phénomènes électromagnétiques. Dans des théories anciennes, encore employées dans certains enseignements

élémentaires, on assimile l'électricité à un ou deux fluides; dans d'autres cas, on voit apparaître des systèmes de rouages, des crémaillères, des tiges diverses. Le non-spécialiste est abasourdi par cette multitude d'interprétations. Le théoricien, au contraire, n'en est aucunement troublé pourvu que toutes ces images conduisent toutes aux mêmes équations. Les analogies hydrauliques ou mécaniques ne sont que des tuteurs qui servent à décharger la mémoire parfois écrasée sous l'avalanche des idées nouvelles. A ces images, le physicien ne « croit » pas; il les considère comme des outils d'usage commode ou agréable. On voit certains auteurs ne pas hésiter à traiter deux problèmes connexes au moyen d'artifices reposant sur deux analogies différentes. Le non-spécialiste croit voir dans ces ressemblances des caractères métaphysiques profonds. C'est là une erreur. Ces images sont de la même nature que celle employée par le mathématicien qui dit droite pour équation linéaire.

Les images et les analogies précédentes doivent être considérées comme des étapes dans l'axiomatisation de la science, comme les figures dessinées en sont une dans celle de la géométrie. Utiles et fécondes à de certaines époques, elles conduisent, si l'on s'y attarde trop, à des difficultés dans l'assimilation des chapitres nouveaux de la science.

* * *

Un exemple de ces difficultés nous est fourni par la notion très générale de continuité. Celle-ci, à un point de vue rudimentaire, semble affaire de sens commun. Même en mathématiques, il a fallu attendre les critiques du xix^e siècle pour préciser le sens de cette notion, et ce n'est pas sans difficulté que sa mise au point a été faite, d'ailleurs partiellement.

Dans les sciences qui ont pour objet l'étude de la constitution de la matière, la discontinuité règne en maîtresse. Les conceptions hypothétiques des anciens, la théorie cinétique des gaz, élaborée au xviii^e siècle, la période d'organisation de la chimie, durant la première moitié du xix^e siècle, la radioactivité et les quanta constituent quelques-unes des étapes de cette évolution; elles montrent l'extension toujours plus considérable de

la physique du discontinu. Celle-ci a même eu une influence sur la thermodynamique, l'acoustique et la théorie du rayonnement tout d'abord, puis sur la mécanique elle-même. En nombre de ses parties, la doctrine du discontinu physique est trop récente pour être entièrement fixée; il est donc difficile de juger actuellement du caractère de l'évolution des idées. Il semble cependant que l'on peut admettre comme valable ici les remarques faites à propos de l'électromagnétisme. Sauf dans quelques cas exceptionnels, les éléments discontinus des théories physiques sont construits à une échelle qui les rend inaccessibles à nos sens. Autrement dit, nous ne sommes renseignés que médiatement sur ces phénomènes, car nous ne possédons aucun sens immédiatement approprié à leur étude. Les conceptions corpusculaires de la physique constituent un ensemble permettant la coordination d'un grand nombre d'observations diverses et variées.

Les conséquences philosophiques des hypothèses suggérées par cet ensemble sont bien connues; nous ne nous y attarderons pas. Cependant, du point de vue qui nous intéresse ici, signalons que même les concepts de temps et d'espace semblent devoir être soumis à la quantification. Selon certains théoriciens contemporains, l'élaboration logique de la science moderne serait incompatible avec l'idée d'un temps et d'un espace continu. M. L. de Broglie ne va-t-il pas jusqu'à penser que « la véritable physique quantique serait sans doute une physique qui, renonçant aux idées de position, d'instant, d'objet et à tout ce qui constitue notre intuition visuelle partirait de notions et d'hypothèses purement quantiques... Mais, ajoute-t-il, cette physique-là n'est sans doute pas près de se constituer¹ ».

Cette citation montre l'importance de la rupture entre les concepts du théoricien et ceux dus à l'intuition. Cependant le rôle de l'intuition est si important que ce même théoricien se sent écrasé par la multitude des expériences macroscopiques quotidiennes; la disparité de ses habitudes et des nécessités logiques le met dans l'impossibilité de progresser. Aux pré-

¹ L. DE BROGLIE. *Loc. cit.*, p. 72.

relativistes et aux préquantiques, il manque une éducation préalable de l'esprit indispensable à qui veut raisonner correctement en ces matières.

Du point de vue de la méthode, les conceptions corpusculaires apportent quelques éléments nouveaux. L'immensité du nombre des conditions à mettre en jeu impose l'obligation d'opérer statistiquement. La physique se rapproche ainsi de la sociologie en certains de ses domaines, car elle étudie le comportement d'un peuple de particules.

Ce rapprochement est peut-être plus profond qu'il ne paraît à première vue. Une des conceptions quantiques les plus importantes est l'impossibilité de principe de déterminer physiquement et complètement les données numériques indispensables à la solution complète du problème du comportement d'une particule bien déterminée; l'identification même d'un tel objet n'est pas sans présenter des difficultés. L'importance des relations d'incertitude est connue; il n'est pas dans nos intentions de nous y attarder. D'ailleurs, en un domaine de la pensée aussi vivant, si l'on ose dire, la prudence s'impose.

* * *

On peut se demander si l'évolution des concepts, dont nous essayons de nous faire une idée, s'applique aussi aux sciences biologiques. La question reste ouverte car, malgré l'immensité de la somme des connaissances actuelles des biologistes, et à quelques détails près, les concepts généraux semblent manquer en ces matières. On peut citer l'évolution. Quel que soit le sort que l'avenir réservera aux idées de Lamarck et de Darwin, il restera que l'idée d'évolution a permis de coordonner un grand nombre de faits; elle a permis de comprendre le passé. Nombreuses sont cependant les difficultés qui subsistent; si savoir c'est prévoir, l'idée d'évolution ne semble actuellement être exprimée d'une façon suffisamment précise pour permettre de prévoir l'avenir. Le caractère qualificatif du principe d'évolution semble interdire toute affirmation précise.

Un autre concept biologique, plus précis que le précédent est celui d'hérédité. Longtemps considéré d'un point de vue stricte-

ment qualitatif, il a actuellement acquis un caractère quantitatif et a permis l'introduction en biologie de la précision des méthodes statistiques.

Il ne semble pas que dans leur état actuel, les sciences biologiques fassent un usage étendu d'autres notions élaborées que celles citées ci-dessus. Y a-t-il là une question de nature ? Sont-ce au contraire les méthodes dont disposent les sciences exactes qui sont encore trop rudimentaires pour permettre l'étude complète de ces êtres si complexes que sont les animaux et les plantes ? Une comparaison bien connue s'impose ici. Les physiciens et les chimistes anciens étaient essentiellement des observateurs. Depuis la Renaissance, ils ont appris à expérimenter. Les succès des mécaniciens dans l'explication du système du monde ont montré la voie. Les biologistes, grâce aux progrès de la chimie, sont en train de quitter le stade de l'observation pour atteindre celui de l'expérimentation. Mais l'heure des grandes théories semble encore lointaine.

* * *

Longtemps réduite à de la spéculation littéraire, la psychologie a fait un pas immense à la fin du siècle dernier : elle a acquis, partiellement, le caractère expérimental. Comme en biologie, les théories non purement spéculatives semblent manquer. Cependant, en certains domaines, les théories qualitatives commencent à prendre forme. A titre d'exemple, citons les idées modernes relatives à l'inconscient.

* * *

Depuis un siècle, les mathématiciens ont consacré une large part de leurs efforts à sonder les fondements de leur science. Ils ont été ainsi conduits à la méthode axiomatique qui, si elle n'a pas éliminé les difficultés, a eu l'immense avantage de les expliciter nettement. La géométrie, la physique classique ont été ou sont l'objet de ces travaux. L'œuvre d'axiomatiser la chimie et la physique moderne est amorcée. Cela est relativement facile dans les domaines dans lesquels l'expression des

lois a pris la forme mathématique. De la façon la plus parfaite, cette forme donne satisfaction à l'homme de science, dont le désir profond est de déduire de quelques prémisses l'histoire de tout ou partie de l'univers. L'ambition des mathématiciens est de voir s'étendre toujours davantage le domaine des applications de leur science et de leurs méthodes. Cependant, une autre question se pose ici. Cette mathématisation des problèmes est une sorte de transfert. Dans l'impossibilité d'étudier une question pour elle-même, ou mieux en elle-même, l'homme de science en construit une autre, corrélatrice de la première et qui appartient aux mathématiques. Il applique alors ses procédés et retransfère ses résultats en les interprétant dans le langage du problème primitif. Les physiciens ont été longs à admettre entièrement ce processus; leurs grands succès sont contemporains de cette acceptation. Les chimistes y viennent partiellement, car de plus en plus, ils adoptent les méthodes des physiciens. Les naturalistes sont rebelles à semblable transformation de leur science. Certains pensent que cela est dû à un état de peu d'avancement de la science biologique. La question est plus grave. Inversement, n'y aurait-il pas présomption dans l'ambition des raisonneurs? Les problèmes de la vie sont vastes; ils dépassent ceux de la biochimie. Hors du cadre du raisonnement, les activités humaines comportent un monde d'art, de beauté, de morale, de religion. A cultiver essentiellement le coordonnable par la raison, n'y a-t-il pas limitation arbitraire et étroite de l'activité de la pensée? Certains esprits artistes trouvent cohérent un ensemble sans que cette cohérence puisse être démontrée ou même montrée. Nombreux sont les philosophes religieux qui ont cru pouvoir imposer des limites à la connaissance logique. Ils se sont généralement grossièrement trompés. L'existence des métaphysiques religieuses et mystiques prouve l'incapacité de certains esprits à être satisfaits par les méthodes rationnelles. La tendance uniquement rationaliste du savant ne risque-t-elle pas de comporter une ignorance dangereuse de la mesure? Comme dans le domaine des relations sociales, la liberté de la pensée scientifique n'est-elle pas limitée par la liberté de la pensée non scientifique?

Pendant longtemps, la philosophie a été en partie la science des domaines de la pensée alors inaccessibles aux méthodes précises et rigoureuses de la raison; qu'on pense par exemple au rôle de la cosmologie chez les philosophes anciens. La rapidité du développement de la science moderne oblige philosophes et savants à examiner en commun les problèmes posés par l'évolution de la science. Ainsi pourront être évitées des erreurs brutales telles que celles que nous révèle l'histoire des conflits du passé. Ainsi, certaines créations délicates de la pensée pourront ne pas être étouffées par l'énormité et la puissance de l'ensemble des raisonnements des modernes. Cette œuvre des sciences exactes, les logiciens la considèrent comme un modèle presque parfait, les artistes l'ignorent; les mystiques sont convaincus de l'inanité de ces efforts.
