

Zeitschrift: Revue de Théologie et de Philosophie
Herausgeber: Revue de Théologie et de Philosophie
Band: 22 (1934)
Heft: 93

Artikel: Un aperçu de la physique d'Aristote
Autor: Gagnebin, Samuel
Kapitel: Conclusion : la physique d'Aristote et la physique moderne
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-380264>

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: 30.01.2026

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

lité, de sorte que nul d'entre eux ne peut rester en aucun des lieux qui lui est assigné (337 *a*, 12-14).

On peut se demander si ce que nous venons de dire de la génération et de la corruption des choses n'entraîne pas une contingence irréductible de la nature. Car si des choses sont capables d'être ou de ne pas être, leur génération est contingente. Ce qui est nécessairement est aussi ce qui est toujours, puisque ce qui est nécessaire ne peut pas ne pas être (337 *b*, 35-36). Mais, dans les choses corruptibles, la génération sera nécessaire dans la mesure où cette génération se produira circulairement et reviendra à son point de départ (338 *a*, 4-5 ; 14-15). Ainsi, de l'existence de la translation du premier Ciel, il suit que le Soleil est mû circulairement d'une façon déterminée. Puisque le Soleil accomplit ainsi sa révolution, les saisons ont une génération circulaire et, de même, à leur tour, toutes les choses qui en dépendent seront engendrées circulairement. Il y a, pour les choses incorruptibles, une identité dans leur substance qu'on pourrait nommer individuelle ou numérique ; au contraire, pour les choses corruptibles, le retour des choses constituera une identité spécifique. C'est pourquoi l'eau qui vient de l'air, et l'air de l'eau, sont identiques spécifiquement et non numériquement : il y a un tout supérieur aux éléments (338 *b*, 15-17).

Le mouvement est éternel : impérissable et indéfectible, il appartient aux êtres comme une sorte de vie pour tout ce qui existe dans la nature (250 *b*, 14-15).

CONCLUSION :

LA PHYSIQUE D'ARISTOTE ET LA PHYSIQUE MODERNE

§ 1. REMARQUES TECHNIQUES. — La lecture des ouvrages d'Aristote relatifs à la physique convainc, je crois, le lecteur que ce philosophe est un observateur attentif, exact et incapable de modifier les observations qu'il fait en vue de les voir cadrer avec ses idées directrices. Si les faits qu'il rapporte nous semblent souvent éloignés de ce que nous enseigne la science actuelle, c'est tout d'abord qu'une masse de faits ont été découverts par la recherche expérimentale, de sorte que nous nous faisons une tout autre idée de l'ensemble des

phénomènes. Il est donc vain d'adresser à Aristote un reproche plutôt qu'un autre et on peut considérer, au contraire, l'exposé d'Aristote comme présentant un recensement fidèle des faits connus à son époque⁽¹⁾. Cet exposé présente l'avantage unique de nous permettre de distinguer ce qui appartient à la connaissance commune et ce qui a exigé la recherche spéciale du savant et de l'inventeur.

Mais il y a, dans la *Physique* d'Aristote, des faits qui dépassent certainement cette observation commune et qui ont servi d'amorce à des développements scientifiques d'une valeur incontestable. Parmi eux, il faut ranger les relations énoncées entre la force, le poids (ou la masse) et la vitesse (p. 317 à 318). Ces relations ne constituent pas, loin de là, une loi générale en dynamique, mais elles sont vraies dans des cas particuliers importants, ainsi dans le choc des corps, dont Descartes faisait encore la loi universelle de la mécanique. De plus, comme nous l'avons dit (p. 318), ces relations s'appliquent au levier. Il est curieux de constater que, dans les *Mécaniques*⁽²⁾ de Galilée, ouvrage publié pour la première fois en français par le Père Mersenne, à Paris 1634, une note du traducteur reproduit l'explication des lois du levier donnée dans les *Mechanica* et dont nous avons parlé au même endroit.

Dans ce dernier ouvrage, inspiré directement d'Aristote, la loi du levier est étendue à plusieurs machines simples, entre autres au coin. Sa généralité est donc constatée.

Dans *Les origines de la statique* (tome I), Duhem expose les recherches de Jordanus de Nemore au XIII^e siècle. Elles ont aussi pour point de départ la loi des vitesses. Mais cette loi est corrigée par la considération d'une *gravité de situation*, d'où résulte une descente plus ou moins directe⁽³⁾. Si cependant on applique la règle ainsi énoncée au levier coudé, elle se trouve en défaut à moins que le déplacement considéré ne soit supposé infiniment petit. Cette remarque a été faite pour la première fois dans sa généralité par Descartes⁽⁴⁾. C'est ainsi que s'est élaborée, par une succession de chercheurs parmi lesquels il faut citer Léonard de Vinci et le maître inconnu de celui-ci, la notion de travail virtuel, l'une des plus profondes et des plus fécondes de la science moderne.

La densité des corps, dont Aristote avait senti toute l'importance,

(1) Voir en particulier les scrupules « positifs » qui l'ont empêché de se rallier à l'atomisme, L. BRUNSCHVIG, *op. cit.*, p. 125-127. — (2) E. JOUGUET, *Lectures de mécanique*, t. I, p. 35. — (3) *Ibid.*, t. I, p. 63. — (4) *Ibid.*, t. I, p. 72-73.

et qu'il considérait comme la cause de l'existence des graves et des légers (voir p. 311 et 322), a aussi suscité des recherches et nous en avons la preuve par les écrits de Straton de Lampsaque mort vers 270, c'est-à-dire cinquante ans après Aristote⁽¹⁾.

D'ailleurs, la lecture de la *Physique* est propre à nous faire comprendre l'importance du principe d'Archimède, dont l'ignorance a causé à Aristote le plus grand embarras. Comme nous le verrons tout à l'heure, la connaissance de ce principe aurait amené des transformations profondes dans la *Physique*.

La généralité, si constamment affirmée par Aristote, de la transformation des quatre éléments contient en germe la loi physique des trois états de la matière. Et si l'on songe qu'Aristote ne connaissait pas d'autre gaz que l'air, on se convaincra que c'était la seule forme qu'Aristote pouvait donner à cette loi. Il ne pouvait distinguer les phénomènes physiques des transformations chimiques. On le voit encore lorsqu'il rapproche les changements d'états des effets de la combustion dans les exemples que nous avons indiqués.

Il n'y a rien de curieux à ce qu'il ait considéré l'incandescence comme un état semblable aux états solide, liquide ou gazeux de la matière.

L'effet de la chaleur et son importance dans cette transformation sont aussi remarquablement mis en évidence.

Il y a des erreurs de faits dans les observations qui nous sont rapportées dans la *Physique*, par exemple cette affirmation que plus un corps est lourd, plus est grande sa vitesse dans le mouvement de chute. Mais on sait qu'il a fallu attendre les expériences de Galilée pour découvrir cette erreur. Elle repose d'ailleurs en partie sur des observations justes et Aristote en cherchait la cause dans la résistance de l'air qui explique les faits observés.

C'est Galilée qui a découvert que le mouvement de chute se continuait dans le mouvement d'un projectile et qui a calculé sa trajectoire parabolique en admettant le principe d'inertie et le principe de l'indépendance des effets des causes agissantes. C'est évidemment par ignorance de ces principes qu'Aristote a commis les erreurs les plus significatives et c'est là, pour celui qui enseigne la mécanique, un précieux avertissement et une confirmation des expériences qu'il fait dans son enseignement. Les conséquences de ces principes ne

(1) RODIER, *La Physique de Straton de Lampsaque*, Paris, 1890.

peuvent être aperçues par le débutant et elles donnent parfois lieu à des confusions qui ne sont pas toujours clairement évitées dans certains ouvrages d'enseignement ⁽¹⁾. Il ne serait donc pas paradoxal de prétendre que les erreurs de ce grand observateur qu'était Aristote nous sont utiles pour mieux comprendre les fondements de la physique.

D'une manière plus générale, l'idée de la fixité des formes et celle des potentiels de changement relatifs à ces formes, ont permis de préciser bien des observations, dans le domaine de la biologie surtout, mais aussi dans des questions de physique. Cette idée de la forme est encore actuellement utile, ainsi, le professeur R. Matthey, de l'Université de Lausanne, résumait l'œuvre d'Emile Guyénot en disant qu'elle est dominée par le problème de la forme, le plus général en biologie. « Derrière toutes les inconnues biologiques se dresse un mystère unique : ce qui semble la propriété la plus originale de la vie, c'est cette édification d'une forme spécifique, maintenue semblable à elle-même, à travers des générations innombrables et ressuscitant sans cesse » ⁽²⁾.

De même en chimie, la question des mixtes et de leurs éléments définis par une forme fixe, a suscité des recherches qui ont certainement aidé à la constitution de l'idée de corps chimiquement simples.

Mais nous abordons ainsi l'examen de l'influence des idées philosophiques d'Aristote sur la manière particulière dont il présente les faits.

§ 2. RÔLE DES CONCEPTIONS GÉNÉRALES D'ARISTOTE. — Si l'on jette un coup d'œil sur le développement de la science, on peut dire que les idées fondamentales qui se rattachent à Aristote sont : l'existence d'un premier moteur immobile, immuable, éternel, communiquant son mouvement à tout l'Univers ; l'inexistence du vide ; la fixité des espèces végétales et animales et la recherche des essences qui en résultent ; l'existence des causes finales et l'application du principe du meilleur. Or, il semble qu'aucune de ces idées ne subsiste dans notre science. Si cependant, comme nous l'admettons, les faits observés par Aristote concordent avec ceux que nous constatons, il faut bien croire que cette opposition provient d'une différence dans les conceptions fondamentales.

Si le premier moteur apparaît tout à fait inutile au physicien moderne, c'est que celui-ci découvre le mouvement à la base de tous les

(1) Voir le rapport de M. MEISSNER, *Zum Mechanik-Unterricht an der Mittelschule*, 54^e Annuaire de la Société suisse des professeurs de gymnase (Aarau, 1926).

— (2) R. MATTHEY, *Emile Guyénot : La forme de la vie*. Gazette de Lausanne, 14 mars 1933.

phénomènes qu'il étudie quelle que soit l'échelle de grandeur du phénomène. La Mécanique ondulatoire constate le mouvement à la base même de l'existence de l'atome et l'astronome est obligé d'admettre que les nébuleuses spirales sont animées de vitesses radiales de l'ordre de mille kilomètres par seconde. Le physicien admettra donc l'existence du mouvement comme une réalité qui n'est plus à expliquer et ce sera au contraire la stabilité de certaines structures qui lui apparaîtra comme le problème le plus important que la physique ait à résoudre. Le point de vue est exactement inverse de celui auquel se plaçait Aristote, qui se croyait en présence de formes fixes et cherchait à expliquer le mouvement naturel.

De cette première opposition en résulte une seconde. En effet, si les formes fixes sont le point de départ de la science, le hasard nous apparaît comme un phénomène accidentel et qui ne saurait, par lui-même, expliquer aucune de ces formes. Il sera seulement invoqué pour expliquer comment ces formes ne peuvent pas rendre compte de tant de faits qui ne sont liés à elles par aucun lien logique. Au contraire, si c'est le mouvement qui apparaît comme le point de départ du physicien, l'idée s'imposera que la variété des mouvements ne s'oppose pas à l'existence de certains effets généraux résultant constamment de ces mouvements. Cette remarque a conduit aux fameuses lois du hasard. D'où vient que certains savants espèrent expliquer toute la nature par les effets inattendus de mouvements prodigieusement compliqués.

Bien plus, le calcul des probabilités s'est introduit à la base même de la physique. Non seulement les physiciens ont réussi à rendre compte par son moyen des lois auxquelles obéissent les gaz, mais on n'a pu obtenir une interprétation des quanta découverts dans les phénomènes de rayonnement, que par son moyen. Or, les quanta sont actuellement à la base de la théorie de l'atome, de sorte que la Mécanique ondulatoire comme la Mécanique des matrices ont pour but de calculer une probabilité⁽¹⁾.

Mais chose digne de remarque, cette probabilité correspond à une structure de l'atome⁽²⁾ ; de telle sorte que l'idée de forme, proche

(1) Nous faisons allusion à l'interprétation que Born a donnée des fonctions propres fournies par l'équation de Schrödinger. Cf. Eug. BLOCH, *L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta*. Paris, Hermann, 1930, p. 315 s. ; 359. — (2) Voir A. BERTHOUD, *Matière et atomes*. 2^e éd., Paris, Doin, 1932, p. 307-313 ; ainsi que les remarques de G. JUVET sur la structure des groupes de la physique dans *La structure des nouvelles théories physiques*. Paris, Alcan, 1933, p. 169-174.

parente de l'idée d'une structure, se trouve traduite en termes mathématiques, grâce aux lois du hasard. Evidemment, cela est en opposition complète avec ce que pouvait concevoir Aristote.

A travers toute la philosophie de celui-ci, on peut constater une tendance marquée vers un substantialisme, qu'on appelle souvent le réalisme d'Aristote. C'est à cette tendance qu'il faut rattacher l'affirmation que le *vide* ne peut être que l'idée abstraite de la place d'un corps sensible, et celle-ci que l'infini ne peut exister en acte. C'est dire que les idées d'Aristote sur la continuité absolue d'un Univers fini et la nécessité d'un premier moteur immobile dépendent bien plus de ses conceptions générales que de ses observations. Mais les conséquences de ses idées se font sentir très profondément dans sa *Physique* et orientent celle-ci dans un sens directement opposé à la physique moderne.

Nous avons vu qu'il était impossible à Aristote de reconnaître la fixité de la masse et de la densité d'un corps. En effet, le poids d'un corps dépend du milieu dans lequel se trouve ce corps et il fallait pour concevoir l'idée d'un poids fixe admettre l'idée du poids dans le vide. Il est curieux de constater l'effet historique du lien logique qui existe entre le principe d'Archimède et l'affirmation de l'existence possible du vide.

Il semble bien pourtant qu'Aristote ait soupçonné quelque chose comme une conservation de la masse à travers les transformations des quatre éléments. Mais il ne pouvait se faire aucune idée précise relative à la masse, qu'il mesure souvent par le volume du corps.

D'ailleurs l'idée de matière est, pour Aristote, d'origine logique ; c'est une notion relative comme celle de genre. Puisqu'elle peut être appliquée à la détermination de n'importe quel objet, on ne peut la douer d'un caractère fixe. La matière première ne représente que l'idée d'un potentiel de changement. Admettre un caractère constant de la matière et donner ainsi une forme précise à la continuité qu'Aristote soupçonnait dans les transformations des quatre éléments, c'eût été donner à la matière première *une forme* et cela est tout à fait impossible si la matière s'oppose logiquement à l'idée de forme.

Ainsi, par ses observations (qui ne l'avaient pas conduit au principe d'Archimède), pas plus que par sa conception logique de la physique, Aristote ne pouvait parvenir à l'idée de la conservation *d'une quantité* dans les transformations naturelles. Il paraît dès lors un peu vain de reprocher à Aristote de n'avoir pas conçu la physique en rap-

port plus direct avec les mathématiques. Mais aussi, il faudra reconnaître que la *Physique* d'Aristote ne pourra être qu'une physique des qualités (voir note p. 314).

Aristote ne conçoit un moteur que réalisé dans une substance. De plus, il applique au moteur la distinction logique du possible et de l'acte. Il conçoit dès lors l'action des corps les uns sur les autres comme impliquant un contact. On comprend ainsi les difficultés qui se sont présentées dans l'étude du mouvement d'un projectile. Mais il en est résulté de bien plus grandes quand Aristote a voulu expliquer l'action des formes sur les substances, cette action ne pouvant être *motrice* que si la forme est dans une substance. Jamais Aristote n'a pu tirer au clair la notion d'action mécanique ; elle ne se séparait, dans son esprit, ni de l'idée de substance, ni de celle de fin. Le chemin qui aurait pu le conduire à l'idée de *force*, telle qu'elle est conçue dans la physique moderne, paraît donc très long et embarrassé de difficultés de toutes sortes.

§ 3. RÔLE DE LA LOGIQUE. — C'est sous le rapport du rôle assigné à la logique qu'il me semble le plus intéressant de comparer la *Physique* d'Aristote à la physique moderne. Avec les notions de substance et de qualité, de forme et de matière, de puissance et d'acte, on voit qu'Aristote a emprunté tous les principes de sa *Physique* à la logique ⁽¹⁾. Dans Aristote lui-même, cette logique ne sert que de cadre à l'observation et il ne semble pas que la première l'ait détourné de la seconde. Mais si la théorie de la physique est de pure logique, et si l'on considère comme suffisants pour l'explication des phénomènes les principes logiques énoncés, on sera conduit à considérer l'observation attentive des faits comme inutile. C'est bien là le danger qui a constamment menacé la physique aristotélicienne au cours de son histoire et qui lui a été sans doute fatal.

Les principes et les notions fondamentales de la physique moderne ne sont pas d'origine logique et l'évolution de cette science montre de plus en plus que le lien de la logique et de la science n'est pas celui que prétendait vérifier Aristote.

Pour faire comprendre cette affirmation, choisissons l'exemple de la notion de force telle qu'elle s'est développée à partir des expériences de Galilée sur la chute des corps.

(1) On l'a déjà dit : « La logique, sous sa forme la plus primitive, peut être envisagée comme une physique de l'objet quelconque ». F. GONSETH, *La vérité mathématique et la réalité*. Dans l'Enseignement mathématique, 31^e année, 1932, p. 102.

Pour élaborer simplement l'idée de ses expériences, Galilée a dû renoncer à chercher les *causes* de la chute des corps. Il a dû fixer son attention exclusivement sur ce qu'il y avait de commun dans tous les phénomènes de chute et pour cela acquérir l'idée des modifications qu'on pouvait faire subir à la chute d'un corps sans changer ce caractère commun. Il fut ainsi amené à l'étude du mouvement d'un corps sur un plan incliné.

Galilée connaissait deux hypothèses qui avaient été émises sur la relation des temps et des espaces parcourus dans le mouvement de chute : la vitesse pouvait dépendre directement, soit de l'espace parcouru, soit du temps. De la première hypothèse exprimée mathématiquement, il conclut qu'il devrait y avoir des espaces parcourus en un temps nul. Cela lui fit rejeter la première hypothèse et l'engagea à soumettre la seconde à l'épreuve de l'expérience.

Il ne put dégager complètement la signification de son observation qu'en élaborant la notion d'accélération, encore confuse pour Aristote.

C'est bien des années plus tard, dans la dernière période de sa vie, que Galilée mit ses expériences en rapport avec la notion de poids. Il remarqua qu'on pouvait établir une relation entre la valeur de l'accélération, constante sur un plan incliné, et le poids qu'il faut pour retenir le mobile sur ce plan. Ces deux quantités sont constantes pour une même inclinaison et elles varient proportionnellement au sinus de l'angle du plan avec l'horizontale. Il en conclut qu'une force constante crée une accélération constante ⁽¹⁾.

De cette affirmation découle le principe d'inertie que Galilée n'a pas compris dans toute sa généralité et qui avait été énoncé par Descartes en suivant un autre chemin ⁽²⁾.

C'est en établissant un lien entre l'idée de poids et celle d'accélération que Galilée est parvenu à saisir le fondement véritable de l'idée de force.

Mais la loi fondamentale de la dynamique n'était pas complètement découverte, puisqu'il fallait encore établir le rapport numérique entre la force et l'accélération, et la signification physique de ce rapport. Ce fut l'œuvre de Newton et elle nécessita l'élaboration de la notion de masse.

Ces trois notions d'accélération, de force et de masse, sont liées par une relation qui entre dans la définition même des notions de force

(1) E. JOUGUET, *Lectures de mécanique*. T. I, p. 103-104. — (2) *Ibid.*, p. 81 82 et 111.

et de masse. Il en résulte qu'aucune des deux notions n'est définissable intrinsèquement. Cette constatation n'est pas conciliable avec la logique d'Aristote qui suppose toujours les jugements établis entre des notions logiquement indépendantes.

Le développement de la science exige donc, dès le début, une réforme profonde de la logique d'Aristote. Ce n'est plus le concept qui peut servir de base à la logique. « Le concept isolé n'est rien, dit H. Delacroix, tout concept est un jugement ébauché⁽¹⁾ ». Donc, dit Couturat, « tandis que la logique classique reposait tout entière sur la notion fondamentale de concept, la logistique considère cette notion comme complexe et dérivée et, conformément à l'esprit de la logique moderne, la subordonne à la notion de jugement qui est beaucoup plus générale et vraiment primordiale⁽²⁾ ». Cette réforme était déjà incluse dans les raisonnements de Galilée et de Newton.

A ce point de vue, la logique ne doit pas être considérée comme une branche indépendante de la science, construite avant celle-ci, et que la science devrait appliquer dans un domaine, simplement différent du domaine du sens commun. La logique se bâtit au contraire en même temps que la science ; la construction de l'une est réellement la construction de l'autre. Nous en avons, semble-t-il, une preuve nouvelle dans les difficultés qui ont surgi lorsqu'on a appliqué le principe du tiers exclu à l'existence de termes définis dans une série infinie. Le mathématicien Brouwer conclut à une nouvelle limitation du domaine d'application de ce principe⁽³⁾.

Dans des expériences significatives, comme celles de Galilée concernant le mouvement d'un corps glissant sur un plan incliné, l'unité ne peut plus être découverte au moyen de relations logiques entre des essences définies. Même la notion de cause est parfois absente de la pensée du savant qui découvre cette unité. Celle-ci ne peut s'exprimer que par une relation mathématique entre phénomènes mesurables. Il résulte de là que la définition logique est le plus souvent remplacée par une méthode de mesure. Ce procédé ne changerait sans doute pas grand'chose aux habitudes de la logique. Mais il arrive

(1) Cité par Arnold REYMOND, *Les principes de la logique*. Paris, Boivin, 1932, p. 78. — (2) Id., p. 78 s. — (3) Le domaine défini par ce que Hilbert appelle une théorie incomplète. Cf. J. HERBRAND, *Les bases de la logique hilbertienne*, Revue de métaphysique et de morale, t. XXXVII (n° 2, 1930), p. 253. On sait qu'Aristote limitait déjà l'emploi de ce principe. Cf. J. LARGUIER DES BANCELS, *La logique d'Aristote et le principe du tiers exclu*. Dans la Revue de théologie et de philosophie, Lausanne, 1926, p. 120 s.

le plus souvent qu'une notion ne correspond pas à une seule méthode de mesure. La notion découverte dans une expérience s'est trouvée utile dans une autre, et elle entre ainsi dans une nouvelle relation mathématique, qui permet de la définir par une nouvelle méthode de mesure. On peut en particulier constater la chose sur la notion de masse.

Il arrive ainsi que la science est constituée par un grand nombre d'implications impossibles à ranger dans un ordre linéaire. Les savants modernes, pour mettre en évidence ces implications, ont créé la science de l'axiomatique et l'on est obligé, dès lors, de reconnaître que la hiérarchie des sciences a changé. Tandis que l'évolution de la pensée d'Aristote s'était faite à partir des mathématiques, à travers la logique, pour atteindre la physique, le savant moderne, prenant pour base les mathématiques, étudie la physique et ce n'est que pour le couronnement de l'œuvre qu'il s'appliquera à la logique.

Si la logique aristotélicienne a pu pénétrer assez profondément dans la physique, c'est grâce à l'idée de cause. Il est facile de donner une définition d'un siège, d'une table, d'organes, de la santé et de la maladie par leur but, par leurs fonctions, que nous apercevons clairement. Il est de même facile de définir l'éclipse, l'octave, la raréfaction et la condensation, lorsqu'on connaît la cause efficiente du phénomène. Réciproquement, l'application de l'idée de cause comporte la possibilité de séparer les choses et de considérer leur existence comme des données indépendantes ; il faut, en effet, distinguer un agent et un patient.

Or, nous venons de le voir, il est impossible de faire en particulier cette distinction dans le cas du mouvement, car la force et la masse sont des notions qui s'impliquent. Elles constituent, bien plutôt, des « caractéristiques déterminantes » du mouvement, comme les appelle E. Mach, dans son admirable ouvrage sur *La mécanique*⁽¹⁾.

Mais que devient, sans l'idée de cause, la logique dans son application à la physique ?

§ 4. PROBLÈME DE LA CAUSALITÉ. — Il faut d'abord le remarquer : le rôle que l'axiomatique assigne à la logique dans la science moderne semble être celui d'un contrôle. L'axiomatique considère en effet une théorie scientifique comme une donnée dont il s'agit de définir

(1) E. MACH, *La mécanique*. Trad. E. Bertrand, introd. de E. Piccard. Paris, Hermann, 1904.

le caractère logique. Le professeur Gonseth dans un article « Sur le rôle de l'axiomatique dans la physique moderne » décrit très bien l'aspect que prend la méthode axiomatique dans ses applications à la physique. Supposons qu'on enseigne la géométrie élémentaire en commençant par une sorte de géométrie expérimentale : « l'élève dessine et construit dans le réel, avec du papier, des ciseaux et de la colle, des figures et des corps simples. Pendant ce stade préparatoire, les premières notions de géométrie, de ligne droite, de mouvement, de symétrie, prennent corps, sont intuitivement fondées. Et c'est seulement lorsque ce fondement intuitif a suffisamment de cohérence et de consistance que le travail logique doit intervenir. On peut alors passer résolument aux notions abstraites correspondant aux notions intuitives qui ont été d'abord invoquées.

» Or c'est à ce moment précis qu'intervient la méthode axiomatique. Les concepts abstraits de point, de ligne, d'angle, etc., sont à accepter comme concepts fondamentaux, qu'il ne faut pas chercher à réduire à d'autres concepts plus primitifs encore. Et certaines observations, qu'on a enregistrées dans le stade intuitif, sont à remplacer par certaines relations abstraites entre les concepts fondamentaux. Ces relations sont *les axiomes* qu'il faut accepter sans velléité de démonstration... parce que toute possibilité de démontrer quoi que ce soit fait encore défaut.

» Sur cette base axiomatiquement acceptée et intuitivement fondée, tout l'édifice de la géométrie s'élève ensuite, construit par les seuls moyens du raisonnement logique et de la démonstration purement abstraite. »⁽¹⁾

Voyons maintenant comment procède le physicien : « Il commence en général par accumuler et analyser des sensations, sensations qui lui viennent du monde extérieur par le canal de ses sens aidés de ses instruments.

» Il ordonnera et coordonnera ses observations selon des lois qui tout d'abord seront surtout empiriques. Mais dès l'instant où il cherchera à édifier la théorie d'un phénomène, il se trouvera exactement dans la même situation que notre professeur de mathématiques de tout à l'heure. Les concepts qui figurent dans une théorie sont aux nombres mesurés, aux coïncidences observées dans le réel, dans le

(1) F. GONSETH, *Sur le rôle de l'axiomatique dans la physique moderne*. L'enseignement mathématique. Paris et Genève, 1928, p. 204-205.

même rapport — en principe naturellement — que le sont les concepts intuitifs de la géométrie aux notions fondamentales axiomatiquement acceptées...

» Il n'y a point de différence de principe entre le rôle que jouent les concepts fondamentaux et les relations primitives ou axiomes dans la géométrie et dans la physique. »⁽¹⁾

Quant au caractère des axiomes, il est entièrement différent dans l'ancienne conception de la science et dans l'axiomatique, car de ce caractère l'évidence a disparu et M. Gonseth cite en exemple un axiome de la théorie de M. Hermann Weyl : « La grandeur physique est une grandeur mathématique, dont chaque composante ne peut prendre qu'un système déterminé de valeurs avec une probabilité variable selon les cas »⁽²⁾.

La théorie des groupes qui permet une classification rationnelle des propriétés des fonctions, comme aussi une classification rationnelle des géométries, s'est introduite dans la physique à la suite des travaux de H.-A. Lorentz. M. Weyl a montré le rôle important de cette théorie dans la construction de l'axiomatique appliquée à la physique⁽³⁾.

De l'axiomatique, l'idée de cause est absente, car cette discipline se fonde sur un certain nombre de concepts, dont le physicien reconnaît la correspondance dans le monde sensible, et sur des axiomes qui permettent l'établissement des équations fondamentales qu'il suffira ensuite d'appliquer. La physique se réduit, dans ces conditions, à des relations mathématiques entre des grandeurs et à des méthodes de mesure.

Sans doute, Aristote attribue aussi à la logique cette fonction d'un contrôle exercé sur les raisonnements de l'observateur, puisque le but de la physique lui apparaît comme la construction d'un syllogisme qui permet de donner une définition causale de la chose observée. Mais, dans sa *Physique*, la logique prend un autre rôle encore, puisque c'est d'elle qu'il tire les principes de cette science. La logique est essentiellement pour lui une méthode de recherche. Elle doit diriger l'observateur en lui rappelant les questions qu'il a à résoudre et en lui donnant le cadre des solutions qu'il devra trouver. La théorie des quatre causes joue pour lui ce rôle d'une méthode de

(1) *Ibid.*, p. 206. — (2) *Ibid.*, p. 212. — (3) Sur les idées de M. Weyl, voir l'ouvrage cité de G. JUVET. Voir aussi, du même auteur, *Quelques aspects de la mécanique ondulatoire et de la théorie des quanta*. Lausanne, Rouge, 1930, p. 25-28.

recherche⁽¹⁾. Elle lui rappelle constamment les analogies des phénomènes qu'il observe avec le monde familier de la pratique journalière. Or, tout le monde sait le rôle énorme de l'analogie dans la découverte scientifique, comme aussi dans la formation des notions fondamentales que le physicien utilise dans l'étude des groupes de phénomènes relativement nouveaux pour lui.

Il est évident que les notions fondamentales auxquelles recourt un *chercheur* moderne ne sont plus les mêmes que celles qui sont à la base de la physique aristotélicienne, mais la logique n'en est pas aussi différente qu'il semble au premier abord ; comme nous l'avons rappelé dans la première partie de cet exposé (p. 296-297), l'observateur fixe son attention sur un groupe de phénomènes qui lui apparaissent comme formant un tout indépendant. Cette opération implique, par elle-même, des notions voisines de celles qu'Aristote introduit sous le nom de cause efficiente et même de cause finale.

Dans la construction rationnelle qui va de l'expérimentation directe jusqu'à la création d'une théorie axiomatique, les notions utilisées au début jouent longtemps encore un rôle. C'est ainsi que se sont élaborées les idées d'action et de cause mécaniques qui ont si longtemps dirigé les recherches de l'astronome et du physicien. Qu'on se rappelle le principe du déterminisme absolu qui a été si souvent présenté comme l'axiome fondamental de toute science.

L'idée de cause mécanique semble avoir disparu, soit des théories fondées sur le principe de relativité, soit de celles fondées sur la statistique et le calcul des probabilités. Peut-être cependant qu'à y regarder de près, on en retrouverait la trace profonde dans ces théories⁽²⁾.

Il serait intéressant d'étudier le rôle de la cause finale dans la physique moderne. L'application du calcul des variations à la physique semble reposer sur la considération d'un phénomène dans sa totalité. Considérons par exemple le principe de Fermat ; il peut s'exprimer en disant que la lumière met toujours le temps le plus court pour parvenir d'un point à un autre à travers les divers milieux qui modifient sa vitesse. On peut déduire de ce principe les lois de la réflexion et de la réfraction de la lumière. Or, pour choisir ce chemin

(1) A ce point de vue la logique d'Aristote est à rapprocher des méthodes d'induction qui lui ont été opposées par F. Bacon et par John Stuart Mill. —

(2) Voir par exemple les remarques de A. BERTHOUD au sujet de l'indétermination qui résulte des données statistiques (*Matière et Atomes*, 2^e éd. 1932, p. 312-313) et les remarques de W. RIVIER sur la causalité dans la théorie de la relativité (*Essai sur la simultanéité à distance*, Bruxelles, 1932, p. 70).

qui l'amène dans le temps le plus court d'un point à un autre, la lumière doit, pour ainsi dire, connaître l'ensemble de son trajet en vue du point qu'elle doit atteindre.

Dans la mécanique, on trouve des principes de ce genre, ainsi le principe de moindre action, énoncé par Maupertuis et précisé par Lazare Carnot ⁽¹⁾, le principe de R. Hamilton, qui en est voisin, et le principe de moindre contrainte de Gauss. On sait que l'expression mathématique de ces principes peut se déduire des équations générales de la mécanique, de l'équation de d'Alembert par exemple, qui ne fait intervenir en aucune façon la finalité. On constate, sur cet exemple, que la cause finale peut s'accorder avec les principes de la mécanique, mais qu'en réalité elle n'est pas nécessaire et permet seulement de présenter ces principes sous une forme frappante et remarquablement suggestive. Ce n'est pas par hasard que la mécanique classique a été généralisée dans la mécanique ondulatoire, en prenant pour base l'un des principes cités, et l'on peut conclure que la cause finale a donné sa forme à l'équation fondamentale de celle-ci.

Il faut conclure de ces remarques que l'idée de cause et la logique qui y est impliquée ont encore un rôle important à jouer dans la découverte des phénomènes physiques et que ce rôle apparaît jusque dans la forme que prennent les équations fondamentales établies par l'axiomatique.

L'axiomatique utilise les concepts dans la mesure seulement où ils sont indispensables à la construction purement logique d'une théorie physique. Cela ne signifie pas que d'autres notions, non introduites dans l'axiomatique, n'aient pas été utiles pour l'élaboration des bases expérimentales de la théorie, ni même que ces notions ne puissent plus être utiles à l'avenir. Comme le montre M. Gonseth, l'axiomatisation correspond à une schématisation plus profonde que la science à laquelle elle s'applique. Ainsi, la géométrie est un abstrait par rapport à la base intuitive qu'elle suppose et elle est « un concret par rapport au logique » ⁽²⁾. M. Gonseth ajoute : « ce sont justement les caractères qu'on s'accorde à nommer spécifiquement géométriques qui ne trouvent pas accès dans le domaine de la logique ⁽³⁾ ».

Il y a aussi dans la physique un grand nombre d'expériences qu'il serait peu naturel de considérer exclusivement comme des méthodes

(1) E. JOUGUET, *op. cit.*, II, p. 261. — (2) F. GONSETH, *La vérité mathématique et la réalité*. L'Enseignement mathématique, Genève, 1932, p. 110. — (3) *Ibid.*, p. 110.

de mesure et qui gardent, aux yeux du physicien, une valeur de premier ordre. A titre d'exemple, nous ne citerons que le double-baromètre de Pascal; les expériences de Laue, Bragg, Debye et Scherrer sur la constitution des cristaux révélée par les rayons X; les expériences de C. T. R. Wilson qui mettent en évidence la trajectoire des particules α ; celles de Rutherford et de ses élèves sur la désintégration de l'azote, et toutes celles qui mettent indubitablement en évidence une existence nouvelle ou un lien nouveau entre des phénomènes. Il y a dans ces expériences une unité, une beauté, une valeur démonstrative, qui ne peuvent se réduire en formules mathématiques, et cela constitue sans doute le caractère spécifique de la physique expérimentale. On pourrait comparer l'importance de ces expériences en physique à l'importance des théorèmes d'existence en analyse mathématique.

Ce n'est qu'abstraitement que l'on peut raisonner comme si la théorie physique se suffisait à elle-même. Sa valeur résulte de toute la construction qui s'élève à partir des données sensibles et que couronne l'axiomatique. Il y a autre chose dans la physique que de la géométrie. Ce qu'il y a d'autre, c'est le *passage* à la géométrie, c'est-à-dire le mouvement qui, dans son ensemble, constitue la science expérimentale. Si la science expérimentale s'élève progressivement jusqu'à une théorie qui puisse prendre la forme axiomatique, c'est pour descendre sans fin de ces hauteurs logiques, vers le sensible, et organiser des vérifications toujours nouvelles. Celles-ci, atteignant une plus grande précision, exigeront, en fin de compte, une révision plus ou moins profonde de la théorie axiomatique, et ce mouvement constitue la réalité même de la science.

Si je ne me trompe, le platonisme et l'aristotélisme symboliseraient assez bien les deux mouvements de pensée qui s'opposent, ou mieux, se complètent dans l'élaboration de la science moderne. Car la théorie des Idées ou même celle des Idées-Nombres demande qu'on s'attache à la science formelle comme à l'unique moyen de s'approcher du Bien, et Aristote oppose à cette exigence la volonté de ne pas séparer les formes des substances particulières, seules existantes en réalité.

Mais en vérité, c'est la science tout entière qu'il faut considérer comme une méthode de recherche, car les résultats acquis, si prodigieux soient-ils, ne sont sans doute encore rien en comparaison de ceux qu'elle nous apportera. C'est, me semble-t-il, à ce point de vue

qu'il faut se placer pour voir la véritable unité et la valeur unique de la science. L'exemple donné par Aristote, en faisant de sa logique une méthode de recherche, est suivi par le savant qui construit la science moderne en se servant de la science déjà construite, comme Aristote faisait de sa logique. N'y aurait-il que cet exemple, il lui vaudrait déjà le respect de ce savant.

En somme, nous constatons ici un caractère général du développement des sciences. Les deux fonctions qu'Aristote attribuait à la logique se différencient dans la science moderne. L'une, la fonction de contrôle, est exercée par l'axiomatique, l'autre, la fonction d'une méthode, l'*organon*, est exercée par la science déjà constituée où le savant puise la forme des raisonnements qu'il utilise dans ses recherches. Le géomètre utilise souvent l'algèbre comme une logique, le physicien se sert ainsi de la géométrie et d'autres savants font de même avec les conclusions du physicien.

Mais alors, l'erreur est de séparer les sciences, ou de donner à l'une d'elle une prééminence trop marquée. Les Péripatéticiens ont précisément commis cette erreur en faisant jouer à la logique, considérée comme une science achevée, un rôle exclusif. La réaction de Descartes telle qu'elle s'exprime dans les *Regulæ* est donc pleinement justifiée. Cependant, parmi les intuitions fécondes, formant le fondement de la science, on pourrait reconnaître un droit de cité à celle qui est à la base de la physique aristotélicienne et tend à saisir le mouvement dans son unité, dans sa totalité. Elle transparait encore dans l'idée moderne d'exprimer la loi du mouvement des planètes et des rayons lumineux, en écrivant l'équation d'une géodésique de l'espace-temps.

* * *

Destinée curieuse que celle de l'aristotélisme. Toute dirigée par son initiateur vers un dynamisme intégral, cette doctrine sert actuellement de base aux théories qui prétendent défendre la fixité des espèces.

C'est cependant à Platon qu'Aristote reprochait de vouloir séparer les idées de la réalité du mouvement et c'est le platonisme que souvent nos contemporains considèrent comme ouvrant devant nous les plus larges perspectives de liberté et de progrès.

Ce caractère qu'à notre époque on attribue à ces deux philosophies correspond-il à une distinction profonde ? Le réalisme d'Aristote et

L'idéalisme de Platon en seraient-ils la véritable cause ? Faut-il plutôt en chercher la raison dans l'incapacité où s'est trouvé Aristote de résoudre le problème de la cause efficiente du mouvement des corps corruptibles, n'ayant pas su se former une idée claire de l'action mécanique ? Serait-ce le rôle exclusif qu'il fait jouer à une logique trop arrêtée ?

Peut-être le jugement qu'on porte actuellement sur l'aristotélisme vient-il surtout de ce que la science moderne n'a pas encore fait une analyse suffisante de ce qui correspondait à la forme dans la *Physique* d'Aristote, car, sur ce point, elle fait à la doctrine de ce philosophe l'emprunt le plus caractérisé ; et d'autre part l'importance attribuée par Aristote à l'*infima species* est, comme le dit W. D. Ross, le point central de sa logique⁽¹⁾. On peut d'ailleurs rapprocher cette remarque du besoin qu'Aristote éprouve de chercher un élément fixe dans le changement.

Mais en insistant exclusivement sur cet aspect de l'aristotélisme on tend à oublier qu'Aristote est le premier qui ait systématiquement rattaché la science démonstrative à la technique et à l'observation méthodique, se plaçant ainsi à l'origine d'un mouvement qui se continue encore à travers le prodigieux épanouissement de la science expérimentale. Nous ne devons pas l'oublier, si nous voulons comprendre le développement de notre science comme de notre logique.

SAMUEL GAGNEBIN.

(1) W. D. Ross, *Aristote*, p. 39.
