CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE DANS LA GRÈCE ANCIENNE

Autor(en): **Reymond, Arnold**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **23 (1923)**

Heft 1: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-19742

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE DANS LA GRÈCE ANCIENNE [1]

PAR

Arnold REYMOND (Neuchâtel).

Fille préférée de Zeus et déesse de la sagesse, inspirant la guerre, les sciences et les arts, Pallas Athéné fut, entre toutes les divinités, honorée et respectée par les Athéniens; le temple du Parthénon qui sur l'Acropole lui fut consacré symbolise, de nos jours encore, le génie du peuple grec dans ce qu'il a de plus pur. On se souvient de l'admirable prière que la vue de cet édifice inspira un jour à Renan: « O noblesse, ô beauté simple et vraie, déesse dont le culte signifie raison et sagesse, toi dont le temple est une leçon éternelle de conscience et de sincérité, j'arrive tard au seuil de tes mystères; j'apporte à ton autel beaucoup de remords. Pour te trouver, il m'a fallu des recherches infinies. L'initiation que tu conférais à l'Athénien naissant par un sourire, je l'ai conquise à force de réflexions, au prix de longs efforts. »

Cet hommage rendu à la déesse tutélaire d'Athènes exprime en termes émouvants le respect et la gratitude qu'inspire le formidable labeur de civilisation accompli par la Grèce antique. Quelques siècles à peine ont suffi à cette dernière non seulement pour réaliser une architecture et une statuaire incomparables, mais aussi pour créer tous les genres littéraires connus et pour

---

[1] Conclusion d'un ouvrage qui paraîtra prochainement chez Albert Blanchard, Paris, sous le titre: *Histoire des Sciences exactes et naturelles, sommaire des écoles et des principes*, avec une préface de M. L. Brunschvicg, membre de l'Institut.

jeter les bases éternelles de la plupart des sciences. Et, semble-t-il, c'est presque sans effort et sans tâtonnements que ces conquêtes furent faites, en vertu, comme le dit Renan, d'une initiation spontanée accordée par la raison à chaque Grec dès sa naissance. Comment en particulier la Grèce ancienne est-elle parvenue à rompre des habitudes d'esprit millénaires et à concevoir dans la réalité des liaisons d'un caractère scientifique ?

Comparée aux connaissances empiriques et fragmentaires que les peuples de l'Orient avaient recueillies avec effort et durant de longs siècles, la science grecque constitue un véritable miracle. Avec elle l'esprit humain entrevoit pour la première fois la possibilité d'établir un nombre restreint de principes et d'en déduire un ensemble de vérités qui en sont la conséquence rigoureuse.

Par delà les données fuyantes de la sensation, les Grecs ont cherché un ensemble de liaisons qui s'imposent à l'esprit comme fondées en fait et en droit. Ils ont, les premiers, mis en lumière les articulations de la pensée et du langage et marqué une différence entre le raisonnement et les données sur lesquelles celui-ci s'appuie.

Ce travail, commencé par Parménide et par les sophistes, fut poursuivi par Socrate et Platon, pour être achevé par Aristote. Parménide, en effet, entrevoit un domaine de la vérité que l'opinion ne peut ébranler; les sophistes jettent les bases de la grammaire; Socrate établit le rapport qui existe entre l'idée générale et les idées particulières que celle-ci renferme. Platon distingue dans l'activité de la pensée deux procédés dialectiques, l'un qui va des hypothèses aux conséquences, l'autre qui des hypothèses remonte jusqu'aux principes qui les justifient; Aristote, enfin, coordonne dans l'imposant édifice de sa logique les résultats obtenus jusqu'à lui. Dans aucune autre civilisation et chez aucun autre peuple nous ne trouvons une semblable analyse, systématique et rationnelle, de la pensée humaine.

Grâce à cette analyse les Grecs furent conduits à envisager dans toute science une matière et une forme. La première varie avec l'objet, propre à chaque science; la deuxième se retrouve dans tout système de connaissances raisonnées.

Par la forme une conséquence est rattachée à son principe d'une façon nécessaire, de même qu'un fait particulier est relié à sa cause.

Quant à leur matière les objets de la science peuvent être classés en deux groupes, suivant qu'ils relèvent directement ou non de l'observation sensible.

Lorsque l'objet ne relève pas directement de la sensation, comme c'est le cas des êtres mathématiques, la science peut se constituer rigoureusement grâce à un ensemble de notions premières dont on tire les conséquences au moyen d'une déduction raisonnée. Il faut pour cela que ces notions premières soient aussi logiques et aussi peu nombreuses que possible. L'esprit domine alors et la matière et la forme de la science, puisque celle-là ne renferme aucun élément étranger à la raison.

Les sciences qui reposent sur l'observation sensible présentent de même que les mathématiques une opposition entre la forme et la matière, entre un ensemble de données et une suite de raisonnements établis sur ces données. Mais ici la matière est fournie par les éléments individuels que nous révèle la sensation et qui peuvent être groupés suivant le genre, l'espèce, etc. auxquels ils appartiennent. Pour établir cette classification, il faut tout d'abord recourir à des raisonnements analogiques fondés sur l'observation; mais, une fois les classements opérés, un syllogisme déductif permet d'assigner à chaque chose sa place dans l'univers.

Pour les Grecs il n'y a donc pas opposition radicale entre le syllogisme inductif et le syllogisme déductif. Lorsque possédant la science nous raisonnons par déduction, nous reproduisons l'ordre de la nature qui crée les individus en fonction du genre et de l'espèce dont ils dépendent. Mais en fait et pour acquérir la science nous devons partir d'observations particulières et avoir recours au syllogisme inductif. « L'homme, le cheval, le mulet vivent longtemps. Or, l'homme, le cheval, le mulet sont des animaux sans fiel. Donc les animaux sans fiel vivent longtemps. »

L'opposition qui dans les temps modernes a été marquée entre l'induction et la déduction n'est pas fondée en nature pour l'aristotélisme. L'unité des deux perspectives qui, du point de vue de la réflexion critique, paraissent incompatibles est assurée chez Aristote par le renversement entre l'ordre de la connaissance progressivement acquise et l'ordre de l'être « entre l'ordre pour nous et l'ordre en soi. « Suivant une formule remarquable de l'Ethique à Nicomaque (1112. *b* 23) : »

Τὸ ἔσχατον ἐν τῇ ἀναλύσει, πρῶτον ἐν τῇ γενέσει[1].

Les sciences qui reposent sur l'observation sensible ont ainsi pour objet de découvrir la classification et les hiérarchies naturelles des phénomènes les uns par rapport aux autres. Elles ont pour tâche essentielle de grouper extensivement et compréhensivement les concepts auxquels ces phénomènes répondent. La causalité physique qui justifie ce groupement est imprégnée de finalité et ne saurait comporter des relations quantitatives absolues, sauf rares exceptions.

Il y a donc pour les Grecs un fossé entre les sciences mathématiques et les sciences physiques ou naturelles et nous ne croyons pas qu'à leurs yeux ce fossé pût jamais être comblé. Voici pourquoi, semble-t-il.

Les sciences dont les données sont fournies exclusivement par la sensation ont pour objet des corps qui, les astres exceptés, sont soumis à la naissance, à la mort et à des mouvements forcés. Ces corps, en outre, obéissent à une causalité qui déploie ses effets dans le temps en vertu d'une finalité inhérente à la nature. En tant qu'individus ils ne réalisent jamais que d'une façon imparfaite la forme vers laquelle ils aspirent. Entre la forme et la matière il ne peut par conséquent exister un rapport adéquat, mathématiquement mesurable, et du point de vue logique des obscurités subsistent. La nature sans doute tend à être pénétrée de rationnalité; mais cette pénétration n'est jamais absolue et à cause de la résistance que la matière oppose les êtres individuels ne sont jamais que des exemplaires imparfaits de la forme.

[1] L. Brunschvicg. *L'expérience humaine et la causalité physique*, p. 157. Alcan, Parfs, 1922.

Les relations numériques et spatiales telles que l'arithmétique et la géométrie les conçoivent présentent un tout autre caractère, car ce sont des relations éternelles, indépendantes du temps, du lieu physique et des circonstances. Si même, comme le pensait Aristote, les êtres mathématiques ont été dégagés, peu à peu et par abstraction, du monde sensible, ils se présentent, une fois obtenus par ce procédé, sous une forme parfaite et immuable. Cela étant, les individus mathématiques reproduisent exactement le genre et l'espèce dont ils font partie. Tout triangle isocèle, qu'il soit petit ou grand, possède au complet et parfaitement les propriétés du triangle isocèle, en ce sens qu'ayant deux côtés égaux il a forcément deux angles égaux. Il n'y a pas de progrès à réaliser dans le temps pour que les êtres mathématiques atteignent leur forme parfaite. La relation abstraite qui les constitue est éternelle, ou plutôt c'est une relation intemporelle de principes à conséquences, dans laquelle causalité efficiente et causalité finale se trouvent fondues par un acte indivisible de l'esprit.

Ce fait conditionne la nature des notions et de la démonstration mathématiques de la façon suivante:

Les propositions premières (axiomes, définitions, postulats) doivent éviter de faire appel aux notions obscures de l'intuition sensible telles que la divisibilité dichotomique indéfinie et le rapport du mouvement à l'espace.

Il faut, d'autre part, dans la démonstration géométrique utiliser surtout des procédés statiques et considérer comme étrangères à la science pure les constructions qui résultent de la rencontre de deux lignes en mouvement.

De même en matière d'intégration le passage à la limite ne peut être directement effectué. Il faut se borner à montrer qu'une aire curviligne est comprise entre deux aires rectilignes dont les surfaces diffèrent d'une quantité aussi petite que l'on veut. Un cercle, par exemple, est compris entre la surface croissante d'un polygone inscrit et la surface décroissante d'un polygone circonscrit.

Etant donné leur caractère les sciences mathématiques seules réalisent le type de la science axiomatique rêvé par les Grecs, à savoir un ensemble de principes qui satisfont à la logique et dont les conséquences rigoureuses sont assurées par une déduction raisonnée.

Aussi les sciences physiques et astronomiques dans la mesure où elles ont cherché à réaliser cet idéal ont-elles été obligées de limiter le champ de leurs investigations.

L'astronomie, par exemple, confondue tout d'abord avec la météorologie s'en dégage et tente avec les Pythagoriciens d'unir la physique et les mathématiques. Cet effort n'ayant qu'imparfaitement abouti,on voit surgir un divorce entre la mécanique des corps célestes impérissables et celle des corps terrestres soumis à la génération et à la mort. L'astronomie attribue alors aux corps célestes un mouvement circulaire et elle borne son ambition à une représentation géométrique de leur marche dans le ciel. Peu importe du reste que cette représentation soit physiquement réalisable. Il suffit qu'elle rende compte des apparences révélées par les phénomènes célestes. Cela étant, l'axiomatique est satisfaite, car le mouvement circulaire est le seul mouvement régulier et périodique qui soit logiquement concevable pour un corps abandonné dans l'espace. En effet, si ce corps ne se mouvait pas circulairement, ou bien il partirait par la tangente et s'éloignerait à l'infini, ce qui est impossible dans un univers limité; ou bien il tomberait au centre de l'univers, et tout serait immobile, ce qui est contraire aux apparences.

Des remarques analogues s'appliquent à la mécanique. En désirant constituer cette science sur un type axiomatique analogue à celui qui caractérise les Eléments d'Euclide, Archimède restreignit ses études à la statique. Ce faisant, il crut trouver dans un principe purement logique, à savoir le principe de symétrie, une base suffisante à la loi du levier et de l'équilibre des corps. S'il n'a pas tenté de fonder la dynamique, c'est probablement par crainte de devoir recourir à une intuition sensible confuse. L'étude d'un corps en mouvement implique les notions de continuité, de divisibilité indéfinie dans le temps et dans l'espace, notions qui restent en un sens réfractaires à la logique.

Aristote fut plus hardi; mais ses thèses dynamiques sont obscurcies par une idée de la force empruntée à des conceptions biologiques.

Ainsi orientée la science grecque devait fatalement aboutir à une impasse.

Le champ tout d'abord qu'elle assigne aux mathématiques est trop restreint et trop arbitraire, puisque les courbes dites mécaniques en sont exclues. Ensuite et dans les limites ainsi tracées les démonstrations se compliquent de plus en plus par crainte d'un appel direct à l'infini. Sans doute l'emploi indirect de ce dernier offre des avantages inappréciables au point de vue de la rigueur démonstrative; mais il est d'un maniement difficile et incommode; il manque de généralité et nécessite dans son application progressive des constructions géométriques de plus en plus compliquées.

Cette défiance vis-à-vis de l'infini, déjà si grande en matière d'intégration, se manifeste encore et surtout en ce qui concerne l'espace géométrique. Les Grecs se sont refusé à concevoir ce dernier comme infini. Par conséquent, ils n'ont jamais imaginé comme possible l'existence géométrique de points et de droites rejetés à l'infini. On sait cependant combien ces notions ont vivifié la géométrie moderne; elles ont rendu possibles des généralisations, des simplifications dont les Anciens n'avaient aucune idée.

Dans une tout autre direction les sciences physiques et naturelles se trouvaient également arrêtées dans leur développement. En effet, la conception finaliste qu'Aristote place à leur base se heurte à une difficulté que M. Brunschvicg souligne avec netteté. La formule aristotélicienne laisse l'esprit indécis entre deux directions contraires: immanence et transcendance. « D'une part, les êtres se développent en réalisant la forme propre qui leur est inhérente, qui est eux-mêmes en ce que leur réalité a d'intime et de spécifique. D'autre part, cette réalisation suppose, en chacun d'eux cependant, une aspiration à dépasser son état actuel, qui ne peut pas s'expliquer tout entière sans un attrait vers une fin supérieure et, en une certaine mesure, extérieure. Le monde des spontanéités vivantes constitue une hiérarchie tournée vers Dieu et dont Dieu lui-même, sans qu'il se tourne vers le monde, est pourtant le principe, le moteur initial. La doctrine de la causalité au point où l'a conduite l'élaboration aristotélicienne, oscille entre deux tendances qui, développées chacune pour soi-même, aboutiraient à deux visions antagonistes de Dieu et de l'univers [1]. »

La conception que les Grecs se sont faite de la science axiomatique est certes très remarquable, puisqu'elle habitue l'esprit à être très exigeant en matière de preuves et de démonstrations. Elle témoigne cependant d'une prudence et d'une timidité exagérées. Non seulement elle entrave le développement des mathématiques, mais elle se révèle presque impraticable dans le domaine des sciences physiques, car les bases qu'elle assigne à la recherche scientifique dans ce domaine se trouvent trop étroites pour supporter des notions tirées de l'expérience, comme celles de mouvement, de continuité et de divisibilité indéfinie.

Or ces notions apparaissent inévitablement le jour où la réalité est serrée de plus près. Dès lors un problème capital se pose. Comment les savants de la Renaissance ont-ils réussi à combler le fossé qui pour les Grecs était creusé entre la physique et les mathématiques ? Comment sont-ils parvenus à concilier les exigences posées par l'axiomatique grecque avec les données non moins impérieuses de l'expérience ?

A cette question on peut, semble-t-il, répondre en quelques mots de la façon suivante:

La science grecque comporte, comme nous l'avons vu, deux exigences:

1° Un enchaînement rigoureux de propositions;

2° Un ensemble de notions qui sert de base à cet enchaînement et dont la vérité logique s'impose à l'esprit.

De ces deux exigences, les savants de la Renaissance maintiennent intégralement la première mais ils modifient en partie la seconde.

L'enchaînement des propositions dans toute science doit être rigoureux. Sur ce point aucune contestation n'est possible.

Seulement les notions premières (axiomes, définitions) qui servent de base à la déduction raisonnée ne sont pas nécessairement translucides à la logique; pour être valables, il suffit qu'elles soient constamment vérifiées par l'expérience. Nous ne

---

[1] *L'expérience humaine et la causalité physique*, p. 158.

savons pas, par exemple, ce qu'est le mouvement en soi; mais si nous pouvons le décomposer en certains éléments, et si cette décomposition est utile et rend compte des faits observés, nous pouvons l'introduire dans les notions premières.

En procédant de cette manière, les savants de la Renaissance ont réussi à constituer une science qui fût à la fois rationnelle et expérimentale. Assouplir les notions mathématiques de manière à les adapter à l'interprétation des faits mécaniques et physiques, créer un type de loi qui tout en permettant des déductions rigoureuses exprime les liaisons réelles des phénomènes, tel a été le but qu'ils ont poursuivi plus ou moins consciemment. La tâche était immense et pour la mener à bien il fallut surmonter des difficultés qui semblaient inextricables.

Ces difficultés vaincues, on put croire que la voie était définitivement ouverte et qu'il suffirait de s'y avancer sans avoir à craindre de rencontrer des obstacles infranchissables. Et de fait jusqu'au commencement du XXe siècle la conception que s'était faite de la loi scientifique le savant de la Renaissance ne fut pas sérieusement ébranlée. D'après cette conception il existe à la base de toute sceince des principes à la fois rationnels et expérimentaux qui une fois découverts sont éternellement vrais et ne sauraient se modifier. Par suite, c'est uniquement dans l'application de plus en plus étendue de ces principes que résidera le progrès des sciences dans tous les domaines.

On sait comment la théorie de la relativité énoncée par Einstein et défendue par Langevin est venue ébranler cette manière de voir et mettre en échec certains postulats de la cinématique newtonienne. Chose curieuse, l'abandon partiel des conceptions formulées au XVIe et au XVIIe siècles marque en même temps un retour à plusieurs des positions prises par la science grecque dans l'antiquité; ce retour est d'autant plus significatif qu'il n'a pas été prémédité. Ce qui est certain en tout cas, ce sont les analogies que l'on peut établir tant au point de vue des hypothèses que des méthodes entre la physique de la relativité et la cosmologie des anciens Grecs.

Les premiers philosophes de l'Ionie ne distinguent pas entre un espace vide qui aurait une existence en soi et un fluide matériel (air, eau, ou feu) qui le remplirait accidentellement. Pour eux les propriétés physiques de l'espace ne se séparent pas de l'espace comme tel. Dans la physique de la relativité il en va de même, sous une forme, est-il besoin de le dire, infiniment plus complexe et plus justifiée. Ce sont des propriétés gravifiques et électromagnétiques qui en chaque région confèrent à l'espace ses qualités géométriques (courbure, genre possible de triangles, etc.).

Cela étant il ne peut y avoir un système universel de référence, donné une fois pour toutes et auquel on pourra rapporter l'étude d'un groupe de phénomènes localisés n'importe où dans l'univers. Le système de référence doit être dans chaque cas intrinsèque au groupe des phénomènes étudiés, ce qui nécessite l'emploi du calcul tensoriel et du calcul différentiel absolu. Comme le fait remarquer M. G. Juvet, « la caractéristique de ces méthodes provient de ce qu'elles permettent de faire l'étude d'un être géométrique à un point de vue purement intrinsèque. Les Grecs ne faisaient pas de géométrie autrement; lorsqu'ils cherchaient les propriétés d'une figure, c'était toujours en scrutant la figure elle-même, considérée en soi et prise indépendamment de tout système de référence [1]. »

On le voit. Pour la géométrie grecque de même que pour l'algorithme relativiste les relations d'une figure se suffisent à elles-mêmes et, bien qu'elles puissent être étudiées au moyen d'une méthode et de formules universelles, il n'est pas nécessaire pour cela de les rapporter à un système de coordonnées qui leur est extérieur comme dans la géométrie cartésienne.

On sait en outre que l'univers de la physique relativiste tout en se prêtant à des considérations infinitistes reste, en vertu de sa courbure, fini dans ses dimensions. Or, ainsi que nous l'avons vu, la thèse finitiste est caractéristique de l'astronomie grecque. Comme nous l'avons signalé également, Empédocle émettait au sujet de l'univers considéré comme fini une idée rappelant celle des étoiles-fantômes; il déclarait en effet que le soleil n'a pas d'existence propre et qu'il est formé par une simple concentra-

---

[1] G. JUVET. *Introduction au Calcul tensoriel.* A. Blanchard, Paris, 1922.

tion de rayons lumineux qui, réfléchis sur la terre, sont ensuite arrêtés par la voûte céleste.

Une autre analogie non moins intéressante à marquer est la suivante:

Le théorème dit de Pythagore est à la base des premières spéculations de la géométrie grecque; c'est lui qui fit surgir le problème des incommensurables et qui, indirectement, donna naissance à la dialectique de Zénon. Or cette dialectique roule essentiellement sur la difficulté que voici: l'espace selon les Grecs est une réalité objective qui est posée comme immobile. Comment dès lors concevoir le rapport d'un objet mobile tel qu'une flèche avec cet espace immobile ?

On sait que la difficulté d'où est née la physique de la relativité et que l'expérience Michelson-Morley, entre autres, a mise en pleine clarté est tout à fait analogue. Une source lumineuse selon qu'elle est immobile ou en mouvement devrait se comporter différemment par rapport à l'éther jugé immobile. Or en fait, semble-t-il, il n'en est rien. Comment expliquer la chose ? C'est ici qu'interviennent la notion d'un intervalle spatio-temporel et l'expression quadratique

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2,$$

laquelle n'est qu'une forme généralisée du théorème de Pythagore.

Sans rechercher quelle est la portée métaphysique et l'utilisation pratique de cette fusion de l'espace et du temps, le fait capital subsiste. C'est que, envisagée dans son aspect théorique, la Physique de la relativité est une tentative remarquable de constituer une axiomatique en tous points comparable à celle d'Euclide. Seulement cette tentative ne vise pas à fonder le champ d'une mathématique séparée de la réalité; elle tend à fusionner dans un tout les propriétés géométriques, mécaniques et physiques de l'univers. Evidemment, ainsi que le remarque justement M. Winter, une pareille axiomatique ne peut avoir la prétention de créer logiquement et à priori le monde réel en dehors de toute expérience; elle ne peut être qu'analytique, c'est-à-dire élaborer le groupe d'axiomes nécessaires et suffisant à l'explication des phénomènes réels[1]. Ainsi comprise l'analyse axiomatique cherche à substituer aux notions intuitives et expérimentales, souvent confuses, des idées claires et distinctes. Par là elle se trouve prolonger non seulement la méthode de Descartes, mais aussi celle de la science grecque. Dès lors la conclusion suivante semble s'imposer:

En même temps qu'elle retourne aux données immédiates de l'expérience sensible, la physique de la relativité cherche à les axiomatiser et c'est pourquoi elle se rencontre avec les tendances à la fois réaliste et logique des penseurs grecs de l'antiquité.

LA PÉDAGOGIE DES THÉORIES D'EINSTEIN

PAR

A. Buhl (Toulouse).

L'*Enseignement mathématique* n'ayant publié jusqu'ici qu'un excellent mais unique article sur les théories relativistes, celui de M. T. Levi-Civita (t. XXI, 1920, pp. 5–28), il m'est venu à l'idée de faire, à mon tour, un exposé, *très bref* et *purement pédagogique*, répondant d'abord à la préoccupation suivante: *Comment un professeur d'Analyse infinitésimale ou de Mécanique rationnelle peut-il, sans changer essentiellement son cours et en un petit nombre de leçons, exposer la Gravifique einsteinienne* ?

Cette préoccupation me paraît devoir exister surtout en France où les cours de Physique mathématique n'abondent pas et où un professeur, surtout dans les Facultés de province, ne se sent pas toujours absolument libre d'enseigner à sa fantaisie et selon ses travaux personnels.

Parmi les causes qui m'ont amené à enseigner les théories nouvelles, je dois faire une place importante à la simple curiosité des élèves. Et je ne parle pas seulement des miens. Dans l'enseignement secondaire, des collègues ont été aussi harcelés de

---

[1] *Revue de Métaphysique et de Morale*. Le théorème de Pythagore, p. 23, année 1923.