

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 73 (1955)
Heft: 42: 100 Jahre Eidg. Technische Hochschule

Artikel: Sur le Problème de la Méthode dans les Sciences
Autor: Gonseth, Ferdinand
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-62002>

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: 22.02.2026

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

keine Seltenheit. Auch bei dem unter dem Einfluss des Stau-
betriebs stehenden Unteraargletscher betrug der durchschnitt-
liche «Rückzug» seit dem Staubeginn (1932—54) 24,6 m/Jahr,
in der vorangehenden Periode 1915—31 dagegen nur 11,4 m/
Jahr [6]. Wie verschiedenartig sich im übrigen die einzelnen
Gletscher verhalten, geht schon daraus hervor, dass selbst in
Zeiten intensivsten Schwundes gewisse Gletscher stationär
bleiben und andere vorstossen. So stiessen z. B. von den im
Jahre 1954 kontrollierten 73 Gletscherzungen 5 bzw. 7 % vor,
3 bzw. 4 % blieben stationär und 65 bzw. 89 % erlitten eine
Verkürzung von durchschnittlich 16,5 m [6]. Als «enfant
terrible» unter den schweizerischen Gletschern sei schliesslich
noch der Glacier de Tsidjore Nuove im Val d'Arolla erwähnt,
der im vergangenen Jahrhundert wiederholt vorstoss und
1892—93 eine Vorstosseschwindigkeit von rd. 100 m/Jahr
erreichte, während sich sein östlicher Nachbar, der Bas Gla-
cier d'Arolla, während der letzten hundert Jahre fast un-
unterbrochen um total rd. 1,3 km «zurückzog».

Besonders aufschlussreich ist auch die Aenderung in der
Höhenlage der Gletscherzunge, die dem Anstieg der 0°-Iso-
therme der mittleren Lufttemperatur folgt (vgl. P. L. II/4).
Für eine infolge verschiedener Aufnahmedaten nicht ganz
einheitliche Periode (durchschnittlich: 1877—1932) hat
P. L. Mercanton an 162 Gletschern eine mittlere Hebung der
Gletscherzunge von total 109 m in rund 55 Jahren, d. h. eine
jährliche Höhenänderung von rd. 2,0 m ermittelt [10].

Das seit rund 100 Jahren von der Gletscherzunge frei-
gegebene Gebiet zeichnet sich bei den meisten Gletschern
durch die hellere Farbe der zurückgelassenen Moränen und
Felspartien deutlich ab (Bild 7), wobei diese Aenderung im
Tonus nicht allein durch den Grad der Verwitterung, son-
dern vor allem durch gewisse Flechtenbildungen, deren Ent-
wicklung nur langsam fortschreitet, bedingt ist. Vollzieht sich
der Rückgang der Gletscherzungen im Vereinigungsgebiet
zweier Gletscher, so kommt es bei der Trennung der beiden
Zungen infolge Schwund häufig zur Bildung von Moränen-

und Gletscherseen, die zum Teil auf Toteis aufruhren und zu
katastrophalen Ausbrüchen führen können (Ferpècleglet-
scher, Roseggletscher [11] usw.). Zwei in Abständen von
zwölf Jahren aufgenommene Flugphotos vom Roseg- und
Tschieravagletscher (Bild 8) zeigen deutlich die Bildung eines
solchen Moränensees, der zwischen einer durch Moränenschutt
vor der Ablation geschützten Toteismasse (2) im Randgebiet
des Tschieravagletschers (1) einerseits und der sich infolge
ihrer flachen Form rascher zurückziehenden Zunge des
Roseggletschers (3) andererseits entstanden ist. Das Durch-
sagen der Schutt- und Eisbarriere durch Rückwärtserosion
führte bekanntlich zu einer Verschärfung der Hochwasser-
katastrophe im Engadin vom 21./22. Aug. 1954 [11]. Allgemein
stellt im gesamten Alpengebiet die Freigabe des moränen-
bedeckten, vielfach von Toteis unterlagerten instabilen Ge-
ländes durch den Gletscherschwund, in Verbindung mit der
übernormalen Abflussmenge, den Flussbau vor schwierige
Probleme der Geschiebeführung.

Die Bildung von Toteis erfolgt dadurch, dass diejenigen
Teile des Gletschers, die durch Schuttbdeckung gegen inten-
sive Ablation geschützt sind, beim Schwundvorgang vom «le-
benden» Gletscher abgeschnürt werden und als isolierte Eis-
massen um so länger erhalten bleiben, je näher sie der
Permafrostgrenze liegen [22]. Nach Prof. R. Staub ist u. a.
die Entstehung der Engadiner Seen dem Persistieren einzelner
Toteisblöcke zu verdanken, welche die Seebecken vor der
Verschotterung durch Seitenbäche bewahrten [23]. Bei der
heutigen intensiven Bautätigkeit in der Nähe von Gletscher-
enden bildet die Feststellung und Lokalisierung von Toteis-
massen eine besondere Aufgabe des Glaziologen.

Auf die ausserordentlichen Gletscherschwankungen im
Zungengebiet, die insbesondere durch die Bildung von Eis-
dämmen auch in Zeiten eines intensiven Gletscherschwundes
eine latente Gefahr darstellen und zahlreiche Katastrophen
verursacht haben, kann im Rahmen dieses Aufsatzes nicht
näher eingetreten werden [12, 13].

Fortsetzung folgt

Sur le Problème de la Méthode dans les Sciences

Par Ferdinand Gonseth, Dr., Prof. EPF, Zürich *)

1. De la nécessité d'une philosophie

Les sciences et la philosophie ont une origine commune.
Les rapports qu'elles entretiennent en restent profondément
marqués. Incessamment, la pensée scientifique et la pensée
philosophique se croisent et se croisent. Elles restent liées,
elles le resteront sans doute toujours. Elles visent l'une et
l'autre à la connaissance que nous pouvons prendre du monde
et de nous-mêmes. L'histoire de l'une ne saurait être faite
sans jeter à tout moment un regard sur l'histoire de l'autre.
Et pourtant, autant que d'une marche côté à côté, leur histoire
commune est faite d'un antagonisme profond qui parfois reste
caché et qui parfois éclate au grand jour.

A ce propos, le cas de Descartes, grand mathématicien et
grand philosophe, mérite d'être médité.

En aucun temps, les philosophes et la philosophie de
l'époque n'ont été plus rudement traités que dans le Discours
de la Méthode. En 1637, la philosophie scolastique était encore
maîtresse de presque toutes les avenues de la connaissance.
Voici ce qu'en disait le Discours:

«Puis, pour les autres sciences, d'autant qu'elles empruntent
leurs principes de la philosophie, je jugeais qu'on ne pouvait
avoir rien bâti qui fût solide sur des fondements si peu fer-
mes...» «...Mais ayant appris dès le collège qu'on ne
saurait rien imaginer de si étrange et de si peu croyable qu'il
n'ait été dit par quelqu'un des philosophes...»

Descartes conteste ainsi à la philosophie de son temps le
droit et le pouvoir de fournir à la connaissance un fondement
authentique et assuré. Il lui arrache le privilège de formuler
les règles ultimes de la vérité. Mais ne remettra-t-il pas ce
privilège en d'autres mains? Revenons au discours.

«...Je me plaisais aux mathématiques, à cause de la
certitude et de l'évidence de leurs raisons; mais je ne remar-

quais point encore leur vrai usage, et, pensant qu'elles ne
serviraient qu'aux arts mécaniques, je m'étonnais de ce que,
leurs fondements étant si fermes et si solides, on n'avait rien
bâti dessus de plus relevé.»

«Ces longues chaînes de raisons, toutes simples et faciles,
dont les géomètres ont coutume de se servir pour parvenir à
leurs plus difficiles démonstrations, m'avaient donné l'occasion
de m'imaginer que toutes les choses qui peuvent tomber sous
la connaissance des hommes s'entresuivent de la même façon, et
que, pourvu seulement qu'on s'abstienne d'en recevoir aucune
pour vraie qui ne le soit, et qu'on garde toujours l'ordre pour
les déduire les unes des autres il n'y en peut avoir de si
éloignées auxquelles enfin on ne parvienne, ni de si cachées
qu'on ne découvre.»

Seules, les mathématiques émergent finalement du doute
systématique qu'il étend, par méthode, à l'ensemble des con-
naissances. Les évidences sur lesquelles elles se fondent et la
façon dont elles en font de longues chaînes sont seules à offrir
des garanties suffisantes à celui qui entreprend de découvrir
la vérité dans les sciences.

Descartes nous apparaît ainsi tout d'abord sous les traits
du savant qui reprend à la philosophie le droit de légiférer
utilement sur les sciences particulières. (Les mathématiques,
qui n'étaient pas encore engagées dans la grande aventure du
calcul infinitésimal, représentaient d'ailleurs, à ce moment-là,
le seul exemple d'une discipline scientifique constituée.) Il
oppose tout spécialement à la prétention d'universalité de la
philosophie la valeur spécifique du raisonnement mathéma-

*) Nous remercions tout spécialement l'auteur qui avait déjà
collaboré en 1930 à notre cahier du 75e anniversaire de l'EPF, par
son article «Les mathématiques et la réalité.»

La rédaction

tique fondé sur la reconnaissance et la mise en rapport de certaines évidences particulières.

Comment peut-il se faire que ce contempteur de la philosophie soit lui-même le fondateur d'une nouvelle philosophie?

C'est que, pour Descartes, le problème de la vérité débordait le cadre de l'activité mathématique. Ce qu'il avait en vue, c'était une méthode permettant à l'esprit de se diriger vers le vrai dans tout le domaine de la connaissance. C'est à ce prix seulement que la spéculation philosophique qu'il tenait pour arbitraire pouvait être refoulée.

En l'absence de tout autre élément de certitude, il crut trouver dans la méthode des mathématiciens le modèle de la méthode générale dont toute activité scientifique devait pouvoir se réclamer. Descartes pose donc en principe que c'est dans les évidences rationnelles, et dans celles-ci seulement que l'esprit humain doit chercher (et peut trouver) les bases de toute certitude.

Mais pour que ce principe ne reste pas une règle morte, il faut doter l'esprit humain de la *lumière naturelle* qui lui permet de distinguer les évidences, il faut supposer que le réel est en quelque sorte présent dans les évidences qui les apportent à l'esprit, etc. De proche en proche, c'est ainsi une solution du problème de la vérité qui se dessine, c'est toute une philosophie d'inspiration rationaliste qui s'édifie.

On sait quel rôle décisif la philosophie cartésienne a joué dans la genèse de l'esprit scientifique. Nous savons aujourd'hui quelles en sont les limites: en maints endroits, par ses applications erronées, le discours fait la démonstration de l'insuffisance de la méthode cartésienne. Nous faut-il dissocier, en Descartes, le mathématicien du philosophe? Ce qu'il faut, au contraire, relever, c'est combien les deux personnages sont étroitement liés.

C'est que le philosophe prend chez le mathématicien la substance de sa réflexion, et que le mathématicien prend chez le philosophe la pleine conscience de ce qu'il représente.

On trouvera peut-être très étrange que le rejet de toute philosophie préalable ait finalement abouti, chez Descartes, à la conception et à la mise en place d'un nouveau système philosophique. Mais peut-être n'en voudra-t-on tirer aucune conséquence qui puisse encore nous regarder. La science telle que nous la concevons faisait alors, dira-t-on, ses premiers pas. L'imagination, faute de connaissances positives, se complaisait dans l'édification de systèmes explicatifs sans véritable fondement. C'était là un trait de l'époque, un trait que l'on retrouve, par exemple, chez Newton comme chez Leibnitz. La science moderne ne s'est-elle pas totalement et définitivement dégagee de ces limbes philosophiques?

On a pu croire, en effet, que les disciplines scientifiques évoluaient invinciblement vers la plus rigoureuse et la plus immédiate objectivité. On a pu croire que la pensée scientifique pourrait se libérer entièrement de toute présupposition hasardeuse et que la science, dans son ensemble, pourrait un jour «faire l'économie» de toute spéculation d'ordre philosophique. Par avance, la fidélité à l'idéal d'une science entièrement positive se marquait dans une certaine intransigence technicienne, rejetant toute discussion sur la science, sur ses principes, sur sa méthode comme «extrascientifique» et par conséquent inutile. Mais l'évolution du savoir et des méthodes de la recherche n'a pas pris exactement le chemin qu'on semblait ainsi tenir pour assuré! Par un singulier retournement de perspective, on en vient à se demander si la conception d'une science totalement aphosphique n'est pas elle-même une conception philosophique hâtive dont la plausibilité est en voie de s'effacer. — Ainsi se répéterait, à quelque trois siècles de distance et pour l'ensemble de la science dite positive l'expérience dont le «cas Descartes» nous aurait donné la préfiguration: un aphosphisme radical trouvant son aboutissement dans une attitude philosophique contestable.

Mais quelle est, en fait, la situation actuelle? Justifie-t-elle vraiment les réflexions qui précèdent? A cet endroit, un exemple caractéristique pourra nous suffire.

On le sait, la physique classique était déterministe: elle admettait, en d'autres termes, qu'il devait être possible de fixer pour tout phénomène des conditions initiales à partir desquelles ce phénomène serait univoquement et parfaitement déterminé.

Cette hypothèse fondamentale était-elle fondée? Tout semblait l'indiquer et l'on s'accordait unanimement pour l'admet-

tre. Les uns pensaient, avec Poincaré, que la science ne peut qu'être déterministe ou ne pas être. Pour eux, l'idée même d'une science efficace comportait nécessairement l'idée complémentaire d'un déterminisme intégral.

Pour d'autres, le déterminisme ne représentait pas, comme pour les premiers, un principe qui s'imposait de lui-même, avec une absolue nécessité. C'était plutôt une hypothèse très plausible et très efficace, une hypothèse contre laquelle aucune observation ne semblait s'élever.

Il s'agissait là, en principe, de deux conceptions fort différentes et même fort éloignées l'une de l'autre. La première impliquait l'existence de principes inaltérables (dont le principe du déterminisme est un exemple probant), principes inconditionnellement valables à la fois pour la réalité à connaître et pour l'esprit qui vise à la connaître. Elle est à la fois réaliste, parce qu'elle pose l'existence d'un monde physique à connaître tel qu'il est, et rationaliste parce qu'elle pose l'existence de principes nécessaires qui dominent la connaissance que nous pouvons prendre de ce monde réel.

La seconde fait montre de plus de prudence et plus de souplesse. Elle ne s'engage pas à fond et du premier coup sur les principes derniers de la connaissance. Elle réserve l'avenir, et s'ouvre d'avance à l'expérience, — à l'expérience imprévisible, dont les résultats ne sauraient être préjugés. Bien sûr, elle ne pose pas d'avance que les vues du déterminisme devront être un jour révisées, mais elle ne pose pas non plus qu'elles ne le seront jamais. Elle prend au sérieux l'obligation devant laquelle la pensée scientifique s'est déjà trouvée mille fois, de réviser ses positions de départ. Elle admet l'éventualité d'un dialogue réformateur de l'esprit avec lui-même, de l'esprit qui cherche à s'intégrer les enseignements de sa propre expérience.

En un mot, c'est une conception dialecticienne.

On me dira peut-être que le souci que je prends de bien distinguer la conception dialecticienne de la conception purement rationaliste est assez vain, car elles sont pratiquement équivalentes. Il est pratiquement indifférent d'en adopter l'une ou l'autre dans le cadre de la science classique. Ne vaudrait-il pas mieux «faire tout simplement l'économie» de ces distinctions trop subtilement philosophiques dont la recherche scientifique réelle n'a pas à tenir compte?

Ne nous hâtons pas trop de conclure. Examinons plutôt sous le même angle la situation que crée la physique moderne.

On sait comment la physique des quanta fit brèche dans le principe du déterminisme intégral. La façon dont nous avons formulé ce principe permet d'ailleurs d'imaginer plusieurs variantes, quant à un éventuel relâchement du lien de causalité, soit que les grandeurs physiques fondamentales soient de nature aléatoires,

soit que les grandeurs caractérisant un phénomène ne puissent pas être toutes mesurées ensemble avec précision,

soit que le physicien ne soit pas capable de réaliser en même temps avec précision toutes les conditions initiales qui détermineraient le phénomène.

On peut se demander si, devant la nécessité pratique d'adopter l'une ou l'autre de ces variantes (et quelle qu'elle soit d'ailleurs) il est encore indifférent d'être du côté des réalistes-rationalistes ou du côté des dialecticiens.

Il saute aux yeux que la doctrine des premiers ne leur concède pas la liberté de rien céder sans se renier. Pour le déterministe dont il est ici question, le passage du déterminisme intégral à une variante quelconque d'un quelconque indéterminisme ne peut que s'accompagner d'un abandon de la doctrine de base.

Toute autre est la situation d'un déterministe à la manière dialecticienne. Le problème n'est pas, pour lui, de justifier, *en principe*, la liberté qu'il prend de réviser ses hypothèses de base, cette liberté est d'avance dans sa doctrine, et quant à la justification, ce sont les raisons de fait, les raisons d'ordre scientifique et technique qui l'apportent. C'est devant un problème tout différent que se trouve le déterministe dialecticien qui se décide à passer à l'une ou l'autre variante indéterministe: c'est un problème d'intégration qu'il lui faut résoudre. Son déterminisme n'était pas arbitraire. Les raisons qu'il avait de l'adopter subsistent, à côté des raisons qu'il a de l'abandonner. Les deux positions, celle qu'il occupait et celle qu'il occupera, doivent pouvoir être intégrées dans une perspective où la première apparaîtrait comme une approche ou une préparation

de la seconde. C'est un problème d'organisation des différents plans ou des différentes étapes de la connaissance.

Dans son progrès, la science a eu cent fois et plus à résoudre des problèmes de ce genre. Il suffira de rappeler ici que les notions et les techniques de la probabilité permettent d'opérer la jonction entre l'horizon atomique indéterministe et l'horizon macroscopique déterministe.

Mais revenons à l'histoire de la physique récente. La cause semblait entendue et perdue pour le déterminisme intégral. A quelques exceptions près (dont Einstein) les physiciens semblaient tous ralliés à une interprétation indéterministe des relations d'Eisenberg ou de la fonction d'onde de la mécanique ondulatoire. L'inattendu devait cependant se produire. La nouvelle que de Broglie revenait à un déterminisme de principe (par l'intermédiaire de «variables cachées») fut ressentie comme un coup de théâtre. Ses recherches aboutiront-elles? Sur ce point, les opinions se partagent à nouveau... or c'est précisément là l'un des éléments caractéristiques de la situation actuelle.

On remarqua tout d'abord que nous voilà bien éloignés de l'indifférence philosophique dont on pensait faire l'une des prérogatives de la recherche scientifique. Il n'est plus vrai que les doctrines de base soient pratiquement équivalentes et qu'on puisse se dispenser d'en adopter l'une ou l'autre. Au contraire, il est certains secteurs de la recherche où la doctrine préalable prend désormais une fonction informatrice et directrice de la recherche elle-même.

Le choix de la doctrine de base passe donc au rang des problèmes dont la situation prend une importance pratique, des problèmes que le physicien doit accueillir, bon gré mal gré, comme étant aussi les siens.

Voici donc les sciences physiques placées devant l'obligation d'analyser leurs méthodes et leurs principes de base, d'analyser en un mot leur statut méthodologique, pour être en mesure de faire un choix éclairé de certaines de leurs vues les plus fondamentales. Pour le cas qui nous occupe, c'est entre deux positions foncièrement différentes qu'il s'agit de choisir; entre un rationalisme, d'une part, dans lequel l'idéalisme cartésien semble revivre et une doctrine dialecticienne plus souple, d'autre part, qui semble s'être formée à l'école même de l'expérience scientifique.

Les sciences physiques se trouvent, disions-nous, devant l'obligation pratique de faire un choix: mais quelle garantie ont-elles de pouvoir faire un juste choix?

Il n'est pas inutile de remarquer que les deux doctrines en question restent sans emprise l'une sur l'autre: elles sont mutuellement irréfutables.

Supposons que l'entreprise néodéterministe reste en échec, que tous les efforts tendant à ramener la physique tout entière sous la loi déterministe restent impuissants. Le dialecticien pourra-t-il en prendre avantage pour inviter le déterministe à se plier à la leçon de l'expérience? Cette invitation ne peut que rester sans effet. Si les faits observables ne se prêtent pas à une interprétation déterministe, le défenseur de la doctrine déterministe n'en conservera pas moins la liberté d'imaginer qu'il existe, derrière les faits d'observation, une réalité plus fine et plus essentielle pour laquelle la loi déterministe reprendrait toute sa validité.

Bien plus, si l'on est déterministe par principe (parce que c'est là, par exemple, la seule éventualité qui puisse satisfaire l'esprit humain), on doit poser que cette réalité cachée doit elle-même exister. L'échec, même répété, ne prouve rien: il ne peut pas témoigner contre le principe, il ne témoigne que de l'insuffisance et de la faiblesse (toute humaine) de ceux qui l'ont subi.

Au cas le plus défavorable, on aura toujours la faculté de maintenir la décision en suspens, et de rester sourd à toutes les objections tirées de l'expérience du physicien lui-même.

Mais supposons, d'autre part, que l'entreprise néodéterministe réussisse. Le déterministe pourra-t-il en tirer une réfutation de la position dialecticienne? Il n'y doit pas songer. Pour le dialecticien, le déterminisme ou l'indéterminisme ne sont à recevoir qu'en tant qu'hypothèses idoines dont l'idonéité reste attachée à un horizon de réalité. L'hypothèse déterministe est légitime dans l'horizon de la physique macroscopique, elle ne l'est plus dans l'horizon atomique, rien ne s'oppose (dans l'attitude dialecticienne) à ce qu'elle le redevenue dans un horizon encore plus profond, ou encore plus

caché. Mais le physicien n'en peut pas décider a priori, sans en avoir fait l'expérience.

En bref, la conception dialecticienne est d'avance prête à s'intégrer le succès ou l'insuccès de la tentative néodéterministe, sans avoir à se démentir — à la condition de ne devoir faire ni de l'un ni de l'autre le dernier mot sur la question.

Le lecteur aura certainement compris que, pour notre propre compte, nous prenons parti pour l'attitude dialecticienne. Mais comment justifierons-nous cette préférence? Voici le plus décisif de nos arguments: Comme nous l'avons déjà dit, la position dialecticienne est telle qu'elle peut tirer parti de toute expérience où elle est engagée. (Qu'on veuille bien remarquer qu'une philosophie rationaliste ne peut que s'inscrire en faux contre toute expérience qui ne paraît pas lui être conforme.) Or c'est par la même faculté de s'ouvrir à l'expérience de s'ouvrir aux conséquences de son engagement actif dans le monde réel que la science a pu prendre l'imprévisible développement que nous lui voyons aujourd'hui. Dans les sciences, la méthode de l'ouverture à l'expérience a fait ses preuves contre la méthode des nécessités de la raison.

L'argument que nous venons de présenter est-il un argument proprement scientifique? Non, car il n'est tiré d'aucune science particulière et ne se rapporte à aucun fait particulier. Il est le fait d'une réflexion sur la science prise dans son ensemble, il présuppose une analyse de sa méthode, une appréciation de son succès.

Prendant l'activité scientifique à travers les siècles comme une expérience que l'esprit humain aurait faite, il en tire parti pour valoriser l'expérience en général, dans un champ d'application qui déborde de toutes parts le champ de la science proprement dite.

A-t-on montré quelque part, me dira-t-on, qu'une telle généralisation est légitime? N'est-ce pas, en somme, à une philosophie de l'expérience que vous vous référez, et à laquelle votre argument décisif fait appel contre une philosophie de la seule raison?

Nous ne songeons pas à le contester. C'est précisément à cette constatation que nous voulions en venir. Il nous importait de faire voir qu'en analysant la querelle actuelle pour ou contre le déterminisme, on peut y découvrir le conflit de deux philosophies en désaccord radical quant aux rapports du rationnel à l'expérimental.

Nous nous étonnions, au début de cet exposé, de voir la farouche opposition de Descartes à la philosophie de son temps aboutir à la formation d'une autre philosophie — d'une philosophie capable de s'intégrer les méthodes des mathématiciens.

Mais la situation dont le rationalisme cartésien devait sortir et la situation dont nous pensons que doit sortir une méthodologie des sciences et plus généralement une philosophie toutes deux dialecticiennes n'ont-elles pas quelques traits en commun? C'est le savant instruit de la valeur et du succès de la démarche mathématique qui s'élevait, en Descartes, contre l'autorité d'une philosophie qui n'avait pas la faculté de s'en instruire. De façon assez analogue, c'est le savant instruit de la portée et de l'irréductibilité des méthodes expérimentales qui prend le droit de s'élever contre une conception de la science où ces méthodes ne peuvent pas être mises à leur juste place.

La prise de conscience des motifs de son opposition, le souci de voir clair en lui-même, devaient amener Descartes à approfondir, à compléter et à coordonner ses propres vues sur la connaissance, ce qui est sinon toute la tâche, du moins une fonction essentielle de la philosophie. On n'élimine pas une fausse philosophie en laissant sa place vide. L'esprit humain tend invinciblement aux synthèses ordonnées qui dépassent les faits donnés avec sécurité. C'est toujours, semble-t-il bien, dans le cadre d'une synthèse problématique que le savoir trouve ses appuis pour essayer les voies de son ultérieure progression.

De même, l'analyse des prérogatives méthodologiques qu'il faut accorder à l'expérience pour que celle-ci entre dans ses droits, le souci de ne pas laisser les motifs directeurs et les idées dominantes dans l'ombre, tout s'ordonne finalement en une philosophie dialecticienne que l'esprit se donne comme un cadre idoine (et peut-être transitoire) à son propre déploiement.

Il est vrai que le modèle même d'une philosophie contre laquelle notre philosophie dialecticienne doit s'élever est pré-

cisément le rationalisme cartésien. Il n'y a là rien de paradoxal. Il n'y a là qu'un moment de l'antagonisme qui ne peut manquer de s'élever entre la pensée scientifique en évolution et toute pensée philosophique qui se présentera comme assurée en elle-même.

Encore une fois, les raisons que nous faisons valoir en faveur de la thèse dialecticienne sont des raisons d'expérience: elles ne peuvent suffire pour convaincre celui qui répondra que ces raisons ne peuvent être appréciées que par un esprit où déjà la raison est souveraine.

A qui donc l'ultime choix pourra-t-il incomber?

Nous ne voyons qu'une réponse: à celui qui s'est instruit de l'expérience collective du savoir pour en faire sa propre expérience.

2. Le projet d'une méthode idoine

Il n'y a donc pas d'activité scientifique qui ne s'accompagne d'un certain nombre d'idées sur la science, sur sa valeur, sur sa portée, sur sa méthode. Ce ne sont pas des idées scientifiques au sens propre du mot. A-t-on le droit, lorsqu'elles n'ont pas été ordonnées par un effort réfléchi, de dire qu'elles représentent une philosophie et qu'elles en tiennent lieu? Peut-être pas, mais elles n'en sont ni plus justes, ni moins intransigeantes.

La nécessité d'une réflexion accompagnatrice se fait-elle davantage sentir dans la science moderne que dans la science classique? Dans la première partie de cet exposé, l'analyse de la querelle du déterminisme n'avait pas d'autre but que d'en faire la démonstration. Nous avons défendu la thèse que la réflexion sur la méthode et les principes représente d'ores et déjà, à côté de l'engagement expérimental dans le réel et de l'organisation théorique dans le rationnel, un troisième et irréductible moment de la recherche scientifique.

Pas plus que les deux autres, ce troisième moment de la recherche ne saurait être laissé à l'arbitraire. Comme les deux autres, il doit faire l'objet d'une exigence de justesse. Sa justesse devra-t-elle s'imposer avec la force d'une évidence rationnelle? Nous avons indiqué les raisons qui nous inclinent vers une autre solution. Dans les disciplines où ne règne pas la seule rigueur mathématique, la justesse doit pouvoir s'éprouver par l'expérience. A plus forte raison doit-il en être de même pour une justesse sur laquelle les esprits ont plus de peine encore à s'accorder que sur la justesse des énoncés scientifiques. Nous posons en principe, non pas en principe évident, mais en principe conforme à l'esprit même de la science, que la justesse d'une réflexion sur la science doit pouvoir s'éprouver par et dans la réalité de la science. En d'autres termes, nous posons en principe que la science telle qu'elle se fait et se déploie représente le champ d'épreuves naturel, le champ d'épreuves obligé pour toute doctrine de la science.

Toutes les disciplines scientifiques évoluent, les mathématiques ne faisant pas exception. Est-il sage de chercher à édifier une doctrine de la science qui n'ait pas à évoluer? Toutes les disciplines scientifiques doivent avoir la faculté, la liberté d'opérer les révisions que leurs propres progrès nécessitent. Toute doctrine idoine des sciences doit pouvoir poser cette liberté en principe. Est-il plausible qu'elle sache le faire sans avoir à réclamer pour elle-même la même liberté, la même faculté de s'intégrer son propre progrès?

Toutes ces réflexions nous ramènent à la philosophie dialecticienne dont nous parlions à propos de la querelle du déterminisme. Dans tout ce que nous avons dit d'elle, elle représente plutôt un espoir ou un projet qu'une réalité. Quels moyens avons-nous de lui conférer une existence concrète?

Rappelons tout d'abord ce que nous attendons d'une doctrine idoine de la science. Nous disions il y a un instant (c'était là l'une de nos thèses fondamentales) que dans la physique moderne la réflexion sur les principes accompagne déjà la recherche, et qu'elle en forme même un troisième et irréductible moment. Il faut donc que la doctrine à dégager puisse assumer cette fonction. C'est formuler là une exigence dont il n'est pas facile de voir d'emblée comment on pourra la satisfaire. Examinons les façons de procéder qui se présentent les premières à l'esprit.

a) On peut former le projet (ce fut toujours et c'est encore l'une des intentions profondes de la philosophie traditionnelle) d'édifier une théorie de la connaissance pour en

faire une instance antérieure à toute recherche consciente et volontairement dirigée. Dans une telle doctrine de la connaissance, les procédures de la recherche scientifique auraient d'avance leur place désignée. Les disciplines particulières seraient déterminées d'avance par les ordres et les objets possibles de la connaissance, ces ordres et ces objets pouvant être découverts par une recherche de caractère rationnel, indépendante de tout engagement expérimental. La méthode «pour conduire son esprit dans les sciences» ne serait plus alors qu'une procédure d'application de cette théorie, qui lui serait méthodologiquement antérieure.

Cet ambitieux projet a toujours hanté et hante encore l'esprit de bien des philosophes. Mais le déploiement de la connaissance expérimentée a toujours fait sauter les cadres qu'on pensait pouvoir lui assigner. Le projet peut-il être retenu? Sa réalisation devient de moins en moins plausible. Et d'ailleurs, comment retrouver les garanties d'une recherche de caractère rationnel que l'expérience a démentie, ne fût-ce qu'une fois?

Ainsi donc, le projet de dégager, en tant qu'instance antérieurement constituée, une méthode des sciences capable d'assurer et d'orienter la recherche scientifique doit être abandonnée.

b) Devant cet échec, c'est un autre projet, d'une inspiration toute contraire, qui se présente presque lui-même à l'esprit. Puisqu'il paraît impossible de constituer une méthode des sciences dans une validité antérieure à la science, c'est de l'activité scientifique elle-même que cette méthode doit être dégagée. Il faut donc étudier la recherche et ses procédures d'une part, l'organisme du savoir et sa structure d'autre part, comme des réalités données objectivement. Cet examen permettra de reconnaître (il est permis de l'espérer) les règles et les lois qui les régissent. Ces règles et ces lois formeront la substance de la méthode à édifier.

Fera-t-on l'objection que les procédures de la recherche et la constitution du savoir ne sont pas des réalités stables? On pourra répondre que l'évolution même a ses lois, et que celles-ci ne sont pas inconnaissables.

Mais à la réflexion, ce projet paraît aussi factice que le précédent et sa réalisation toute aussi illusoire. Ce qu'il y a de plus frappant dans les derniers progrès de la recherche scientifique, c'est leur imprévisibilité. C'est comme une expérience ouverte que l'engagement actif des sciences dans le monde réel nous apparaît de plus en plus, c'est-à-dire comme une expérience dont les péripéties ne sauraient être prévues à l'avance. Dans ces conditions, il faudrait attendre que la science fut achevée pour en dégager, pour *pouvoir* en dégager une méthode qui le serait également. C'est naturellement là une hypothèse absurde.

Et si elle ne l'était pas, que deviendrait, dans cette édification *après coup* de la méthode des sciences, la fonction que celle-ci devrait assumer comme troisième moment de la recherche?

Ce second projet doit donc être également abandonné.

c) Les deux projets que nous venons de rejeter n'épuisent naturellement pas la liste de tous les projets possibles.

En réalité, la recherche active et la réflexion sur les moyens, sur les conditions et sur les procédés de la recherche ne se font pas séparément. Elles évoluent l'une et l'autre, mais leur développement ne se fait pas dans une complète autonomie. Elles se prêtent au contraire un appui mutuel, la recherche poussant la réflexion et la réflexion orientant la recherche. Il n'y a là rien qui puisse nous déconcerter, si nous comprenons bien qu'elles participent au même effort de connaissance dont elles ne font que manifester deux aspects différents. Il est donc naturel nous l'avons déjà dit, qu'elles possèdent l'une et l'autre la liberté de s'intégrer les résultats de toute l'expérience en cours, qui est aussi bien l'expérience de l'une que l'expérience de l'autre et que l'expérience de leurs rapports mutuels.

On peut donc faire le projet, le troisième projet, de dégager l'aspect méthodologique de l'expérience entière, de l'expérience dans laquelle s'inscrit la réaction sur la recherche proprement dite de la réflexion sur la méthode et les principes. La difficulté de ce projet ne consiste pas tant à l'imaginer qu'à le réaliser. Le problème est complexe: il est comme un écheveau qu'il faudrait démêler, mais où l'on ne trouve aucun bout de fil par lequel on pourrait commencer.

Ce projet est cependant le seul qui ne soit pas condamné d'avance.

Et dans quel esprit devra-t-on mener l'entreprise? Nous ne pouvons éviter de choisir une procédure à laquelle il nous faudra nous fier. La choisir, c'est poser qu'elle est juste, que nous la tiendrons pour juste. Nous voici ramenés, encore une fois, aux présupposés inhérents à toute situation dont l'intention de comprendre ou de connaître fait un point de départ. Nous ne voyons qu'un choix qui convienne: c'est d'accepter les règles élémentaires de l'essai et de l'épreuve, règles qui s'éprouvent elles-mêmes à travers toutes nos activités efficaces, des plus simples et quotidiennes jusqu'aux plus dirigées et concertées. Un choix fait au départ se juge par ses conséquences.

3. L'essai dans les mathématiques

Dans les questions de méthodologie, les mathématiques ont toujours joué un rôle privilégié.

Les Grecs ont édifié la géométrie en l'envisageant comme une science purement rationnelle dans laquelle l'expérimentation active n'avait aucun rôle à jouer. Le fondement en était donné par les axiomes, énoncés géométriques dont la vérité était posée à la fois évidente et inconditionnelle. L'édifice était ensuite formé par les théorèmes, énoncés déduits des axiomes et qui, sans être évidents comme ces derniers, participaient de la même vérité géométrique inconditionnelle.

Ainsi conçue, la géométrie fournissait le modèle même d'une discipline purement rationnelle. Elle garantissait en même temps l'existence d'un monde abstrait, d'un monde des idées pures et des vérités parfaites.

Toutes les mathématiques ne sont-elles pas vraies d'une vérité analogue? Il est indéniable que, pendant des siècles, les mathématiques se sont inspirées du modèle géométrique et que bien des mathématiciens s'en font maintenant encore la même idée. C'est par exemple sur le modèle de la géométrie qu'on a conçu et qu'on édifie une mécanique rationnelle...

L'expression classique: «les mathématiques pures» correspond bien à une tendance générale des mathématiciens. Il est rare que le monde physique entre en tant qu'élément irréductible dans la doctrine d'un mathématicien (comme chez Clairaut ou Lobatschefski). On est, en revanche, frappé du caractère métaphysique que beaucoup d'entre eux (comme Leibnitz et Gauss) confèrent à la vérité mathématique.

On pourrait donc penser que les mathématiques seraient toujours à l'abri des crises qui, comme dans la physique, vont jusqu'à mettre en cause les principes qu'on tenait pour les plus évidents. Le climat qui règne dans les mathématiques modernes est cependant très différent du climat original de rationalité. L'unité des vues sur les principes et la méthode s'y est également perdue et les divergences, *mutatis mutandis*, ne sont pas moindres qu'en physique. La nécessité d'une «philosophie unificatrice» s'y fait tout aussi vivement sentir.

Comment les choses ont-elles pu en arriver là?

Les faits saillants ont été souvent exposés.

Chose remarquable, c'est la géométrie, le modèle des disciplines purement rationnelles qui fut la première touchée. Elle le fut doublement, sur la ligne de son développement interne, et sur celle d'un événement venu de l'extérieur.

Sur la ligne interne, la crise de l'évidence vint au jour déjà chez les premiers commentateurs d'Euclide, qui crurent devoir mettre en doute l'évidence du postulat des parallèles. En dépit des efforts et des essais qu'on fit pendant des siècles pour la surmonter, elle ne fit que s'aggraver. Elle éclata avec la découverte de la géométrie hyperbolique. Gauss, on le sait, fut le premier à entrevoir cette découverte, bien qu'il n'ait jamais rien publié sur le sujet. (On a le sentiment que tout l'entourage de Gauss en fut profondément préoccupé.) Le lien entre l'objet géométrique et l'objet de l'intuition était rompu.

Sur la ligne extérieure, l'événement décisif fut la découverte de la structure atomique de la matière. Le lien (de pensée) entre l'objet géométrique et l'objet physique était rompu. Toute la question de la convenance de la géométrie à la description du monde réel se posait à nouveau. La géométrie subsistait, mais il ne restait pas grand-chose de la philosophie géométrique qui en avait enveloppé la genèse.

La doctrine de la rationalité devait subir encore d'autres coups.

L'analyse, par exemple, est-elle fondée rationnellement? Certaines difficultés avaient suggéré de placer ses fondements dans une théorie des ensembles à laquelle on commençait par conférer (sans le dire expressément) tous les caractères d'une discipline rationnelle, d'une discipline s'édifiant par le jeu combiné des évidences et de la déduction. Cette tentative devait cependant se heurter aux antinomies qui sont maintenant bien connues.

Nous ne pouvons faire ici le tableau complet des difficultés que l'approfondissement du problème du fondement des mathématiques a rencontrées ou suscitées. Nous ne pouvons donc pas non plus songer à rendre compte de tous les essais qui furent tentés (et qui le sont encore), pour s'en rendre maître. De très nombreux et de très difficiles travaux leur ont été et leur seront certainement encore consacrés. Aucun résultat concluant ne semble déjà s'en dégager. Quelques remarques d'ensemble peuvent cependant être faites.

Mettons à part les mathématiques intuitionnistes où le climat rationnel semble se prolonger dans le recours à une évidence spécifiquement mathématique encore plus rigoureuse que dans les mathématiques classiques. Mais l'intuitionnisme ne représente encore qu'un courant assez faible. Pour tout le reste, le climat rationnel se perd et fait place à une tendance opérationnelle de plus en plus distincte. Que ce soit par le recours à la méthode des *postulats à faire valoir*, par la mise en place des règles explicites s'appliquant aux énoncés formalisés, par la mise en œuvre de procédés constructifs et progressifs, les mathématiques passent de plus en plus de l'étude de certaines catégories d'êtres mathématiques ayant une existence en soi au déploiement effectif et réglé de certaines séries d'actes et de certaines structures de pensées. Dans cette transcription, les mathématiques revêtent par l'intermédiaire de la réalité des symboles, une nouvelle (et artificielle) élémentarité. Les problèmes de la vérité et de la non-contradiction ne disparaissent pas, mais ils prennent une forme nouvelle: ils reparaissent, en quelque sorte élémentarisés, en tant que problèmes de possibilité et de compatibilité des actes envisagés.

A n'en pas douter, cette version de l'activité des mathématiques apporte une contribution de première importance au problème de la méthode des mathématiques. Il faut cependant remarquer que l'évolution vers le formel et l'opérationnel rend de plus en plus ténus et même de plus en plus factices les rapports des mathématiques avec nos conceptions intuitives (avec notre vision de l'espace, par exemple) et avec leurs applications dans les sciences physiques.

C'est donc, à ce tournant un nouvel aspect du problème qui surgit: celui d'élucider les rapports des mathématiques formalisantes aux mathématiques formalisées, et à travers celles-ci le problème du rapport des premières avec les réalités que visaient les conceptions mathématiques originelles.

On pensera peut-être que, dans cet insondable problème des fondements, les choses vont en se compliquant plus qu'en s'éclaircissant. Dès ici, une issue nous est cependant offerte.

Il est remarquable que tous les problèmes dont il vient d'être question puissent être posés dans le cadre de la géométrie, dans le cadre de la discipline dont on avait cru pouvoir faire le modèle de la perfection rationnelle. Le développement historique de la géométrie nous a fait passer par tous les stades qui vont de l'intuitif et du rationnel au formel. Tout le matériel à organiser s'y trouve rassemblé. Rien ne nous empêche d'en faire l'essai: s'il réussissait... Mais qu'est-ce que réussir? C'est imaginer une perspective (une perspective systématique, méthodologique, et non une simple perspective historique) dans laquelle tous les éléments dont on dispose puissent trouver leur place, où tous les plans de connaissance soient articulés entre eux, où tous les aspects soient synthétiquement organisés, et tous les stades organiquement issus les uns des autres.

Mais une perspective de ce genre ne pourra certes pas être dressée sans le concours de certaines vues préalables et de certaines idées dominantes, en un mot sans le concours d'une philosophie accompagnatrice. Celle-ci sera-t-elle aussi déterminée par ce qu'on attend d'elle?

C'est là précisément la double tâche à laquelle s'est consacré l'ouvrage: «*La Géométrie et le Problème de l'espace*», dont le dernier fascicule vient de paraître. — Et que sort-il de cet ouvrage?

La chose qui nous paraît remarquable est qu'il puisse véritablement en sortir à la fois une perspective organisatrice allant des positions élémentaires jusqu'aux plus extrêmes engagements de la géométrie, dans le théorique aussi bien que dans le physique, — et une philosophie répondant à l'idée que nous nous faisons d'une philosophie dialecticienne accompagnatrice.

Est-il permis d'espérer que ces essais et ces résultats pourront être étendus à l'ensemble des mathématiques tout d'abord et à l'ensemble des sciences par la suite? Un pas vers l'élucidation du problème de la méthode tel qu'il se pose dans les sciences modernes serait alors accompli.

Nous sommes loin d'être au bout de la tâche, mais l'espoir d'aboutir ne nous est pas interdit.

Geordnete und ungeordnete Energie

Von Prof. Dr. Peter Grassmann, ETH, Zürich¹⁾

In den ersten zwölf Jahren des Bestehens des Eidgenössischen Polytechnikums, von 1855 bis 1867, lehrte als Professor der Physik *Rudolf Julius Emanuel Clausius*, 1822 bis 1888. Unter den Veröffentlichungen dieses hervorragenden Forschers findet sich eine Studie aus dem Jahre 1850, in der er als erster den 2. Hauptsatz der Thermodynamik formulierte. Von ihm stammt auch der Begriff der Entropie, sowie eine grosse Zahl von Abhandlungen, die er 1859 in seinem Werk «Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie» zusammengefasst hat. Die zweite, umgearbeitete und vervollständigte Auflage kam 1876 in 3 Bänden unter dem Titel «Die mechanische Wärmetheorie» heraus. Im Hinblick auf diese sehr bemerkenswerten Arbeiten, die damals die Erkenntnis über Wesen und Verhalten thermischer Vorgänge grundlegend förderten und sich seit dem Aufkommen der Dampfturbinen in fruchtbarster Weise auf den praktischen Maschinenbau auswirken sollten, dürfte sich eine Betrachtung über den Entropie-Begriff an dieser Stelle rechtfertigen.

Die Redaktion

Ein fliegendes Geschoss ist Träger zweier Energieformen: Erstens nehmen alle seine Moleküle an seiner Bewegung teil, die Summe der entsprechenden kinetischen Energien bildet die kinetische Energie des Geschosses. Als solche kann sie — wenigstens theoretisch — beliebig in irgend eine andere Energie verwandelt werden, z. B. in potentielle Energie, wenn das Geschoss senkrecht nach oben fliegt. Es handelt sich also hierbei sozusagen um eine «frei konvertierbare» Energieform. Dieselben Moleküle führen aber zweitens noch eine Zitterbewegung um ihre Gleichgewichtslage aus. Die Summe der entsprechenden kinetischen Energien entspricht einem Teil — etwa der Hälfte — des Wärmehaltes des Geschosses, also einer Energieform, die nur unter bestimmten Bedingungen und immer nur zum Teil in mechanische Energie gewandelt werden kann, also einer nur bedingt konvertierbaren Energieform.

Dieser grundsätzliche Unterschied der beiden Energieformen — beide letzten Endes gegeben durch die kinetische Energie derselben Moleküle — kann nur davon herrühren, dass im ersten Fall eine *geordnete* Energieverteilung vorliegt, denn jedes Molekül macht die Geschossbewegung mit, bewegt

sich also mit gleicher Geschwindigkeit in der gleichen Richtung wie alle anderen. Die dieser gleichförmigen Bewegung überlagerte thermische Bewegung entspricht jedoch einer durchaus ungeordneten Energieform, ist von Molekül zu Molekül ihrer Richtung wie ihrer Grösse nach regellos verteilt. Könnten wir diese ungeordnete Bewegung ordnen, so liesse auch sie sich restlos in Arbeit verwandeln. Würden beispielsweise die Moleküle eines Gases einem Diktator gehorchen und würde dieser befehlen (Bild 1), dass:

1. die Energie gleichmässig auf alle Moleküle zu verteilen sei;
2. nur noch eine Bewegung senkrecht nach oben und senkrecht nach unten erlaubt sei;
3. keine Energie für Rotation um irgend eine Achse des Moleküls oder für innere Schwingungen verwendet werden dürfe,

so liesse sich die Energie dieses so geordneten Molekülhaufens *restlos* in mechanische Arbeit verwandeln, hätten wir es doch nun mit der kinetischen Energie zweier gegeneinander laufender Molekülhaufen zu tun, die ebenso wie die kinetische Energie zweier fester Körper nicht mehr als «Wärme», sondern als mechanische Energie betrachtet werden muss.

Ganz allgemein muss immer, wenn Arbeit aus Wärme gewonnen werden soll, ein gewisser Ordnungszustand gegeben sein, der höher ist als der mit den gegebenen äusseren Bedingungen verträgliche Zustand maximaler Unordnung. Man sagt meist, damit Wärme in Arbeit verwandelt werden kann, muss ein *Temperaturgefälle* vorliegen. Ein Temperaturgefälle entspricht aber immer einem gewissen Ordnungszustand: Befinden sich doch im Raumteil mit höheren Temperaturen im Mittel die Moleküle mit der grösseren kinetischen Energie, im Raumteil mit der niedrigeren Temperatur die mit der kleineren. Entsprechend dieser *teilweisen* Ordnung kann auch ein *Teil* des Wärmehaltes der betreffenden Körper in Arbeit verwandelt werden.

Soweit wir heute wissen, gilt dies auch für die Welt als Ganzes. Ihr bunter Wandel, Leben und Geschehen ist nur möglich, wenn am Anfang ein Zustand der Ordnung gegeben ist, als erster Schöpfungsakt Licht und Finsternis, Wärme und Kälte geschieden sind. In einer chaotischen Welt ohne Gegensatz ist es nicht einmal mehr sinnvoll, von einem Ablauf der Zeit zu sprechen.

Umgekehrt muss immer Arbeit aufgewendet werden, um den Ordnungszustand zu erhöhen. So bedarf es zur Kompression eines Gases Arbeit, denn dabei werden die vorher auf grossem Raum verstreuten Moleküle in einen kleineren eingeordnet.

Wenn auch die Wärme die wichtigste Form einer ungeordneten Energie darstellt, so ist sie doch nicht die einzige. Auch die elektro-magnetische Strahlung kann als geordnete oder ungeordnete Energie vorliegen, geordnet, wenn einerseits alle Strahlen dieselbe Richtung aufweisen — sie lassen sich dann im Brennpunkt eines Hohlspiegels zu hoher Energiedichte konzentrieren — andererseits, wenn sie gleiche Frequenz und gleichen Phasenwinkel besitzen, eine Bedingung, die erfüllt sein muss, damit die von einer Radiostation ausgehenden Impulse im Empfänger summiert werden können. Vollkommen ungeordnet ist dagegen die elektromagnetische Strahlung im Innern eines allseits von gleichwarmen Wänden umschlossenen Hohlraums. Auch wenn diese Wände

¹⁾ Der vorliegende Aufsatz entspricht bis auf einige geringfügige Änderungen einem Abschnitt aus dem Buch des Verfassers «Physikalische Grundlagen der Chemie-Ingenieur-Technik», das als Band I der Reihe «Grundlagen der Chemischen Technik, Verfahrenstechnik der chemischen und verwandter Industrien» im kommenden Jahr im Verlag H. R. Sauerländer erscheinen wird. Dem Verlag Sauerländer möchten wir auch an dieser Stelle für seine Erlaubnis zur Veröffentlichung danken.

