

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	83 (1965)
<b>Heft:</b>	9
<b>Artikel:</b>	Remarques sur la méthodologie de la recherche: les principes de technicité et de solidarité: A Adolf Ostertag pour son 70ème anniversaire
<b>Autor:</b>	Gonseth, Ferdinand
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-68108">https://doi.org/10.5169/seals-68108</a>

### 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:** 23.02.2026

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

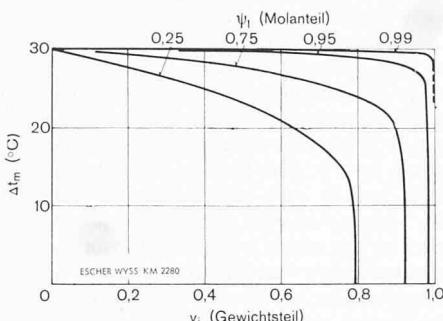


Bild 13. Integral-Mittelwert der Temperaturdifferenz,  $\Delta t_m$  zu Bild 12, in Abhängigkeit vom fortschreitenden Verflüssigungsgrad  $y_i$  bei einer Kältemitteltemperatur von  $-50^\circ\text{C}$ . Der Mittelwert weicht bei kleinen Ausbeuten von der Temperaturdifferenz am Eintritt  $\Delta t_1$  kaum ab. Erst wenn die zu erreichende Ausbeute der Chlorverflüssigung ( $y_i = y_2$ ) einen bestimmten Wert überschreitet, tritt ein starker Abfall ein.

$$t = -20^\circ\text{C}; p = 1,852 \text{ ata}$$

$$t = +5^\circ\text{C}; p = 4,412 \text{ ata}$$

folgende Konstanten eingesetzt wurden:

$$\begin{aligned} A &= 10,8094 \\ B &= 2575,1^\circ\text{K} \\ C &= 10,2748 \\ D &= 2445,2^\circ\text{K} \end{aligned}$$

### Mittlere Temperaturdifferenz bei verschiedenen Betriebsbedingungen

Der Verlauf der chlorseitigen Sättigungs temperatur in Abhängigkeit der Ausbeute wird nachstehend für einige Betriebsfälle dargestellt.

Bild 10 veranschaulicht zunächst den allgemein gültigen Verlauf des Molanteils  $\psi_1$  in Funktion der Ausbeute  $y_i$  für verschiedene Werte des Dampfanteils am Eintritt  $\psi_1$  gemäß Gleichung (6).

Die Bilder 11 bis 13 zeigen einige typische Chlorverflüssiger-Betriebsfälle.

Die Transformation der Kurve  $t_1 = f(y_i)$  (zum Beispiel aus Bild 11 oder 12) auf das Feld  $t_1 = f(F_i)$  unter Berücksichtigung der Änderung der Wärmedurchgangszahl in Funktion von  $F_i$  ruft sicher eine weitere Verzerrung der entsprechenden Kurve in Bild 10 hervor.

Der Temperaturverlauf gemäß Bild 3 wird trotzdem für die Fälle hoher Eintrittskonzentrationen  $\psi_1$  und hoher Ausbeute  $y_2$ , das heißt für die meisten Chlorverflüssiger, konkav sein. Der Integral-Mittelwert entspricht also eher der Wirklichkeit als zum Beispiel der logarithmische Mittelwert (Bild 8).

### Literaturverzeichnis

- [1] Hoeftle, A.: Über Chlorverflüssigung, «Angew. Chemie» B 8/1948, S. 206–208.
- [2] Nürnberg-Kubli: Chlorverflüssigung durch Tiefkühlung, «Escher Wyss Mitteilungen» 3/1956, S. 20–23.

[3] Ostertag, A.: Zum Problem der Chlorverflüssigung, «Schweiz. Bauzeitung» 40 und 41/1962, S. 677–680 und 704–707.

[4] Colburn and Hougen: Design of Cooler Condensers for Mixtures of Vapors with Noncondensing Gases, «Ind. Eng. Chem.», Nov. 1934, S. 1178–1182.

[5] Gröber-Erk-Grigull: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, Springer-Verlag Berlin, 1961 III. Auflage.

[6] Grassmann, P.: Physikalische Grundlagen der Chemie-Ingenieur-Technik, Sauerländer-Verlag, Aarau, 1961.

[7] Chilton-Colburn: Mass Transfer-Coefficients, «Ind. Eng. Chem.», Nov. 1934, S. 1183–1187.

[8] Renker, W.: Die Wärmeübertragung bei der Kondensation von Dämpfen in Anwesenheit nicht kondensierender Gase, «Chem. Techn.» 8/1955, S. 451–461.

[9] Kirschbaum-Tröster: Untersuchungen zum Stoffübergang bei der Teilkondensation von Gemischdämpfen, «Chem. Ing. Techn.» 6/1960, S. 395–400.

[10] Hofmann, W.: Wärme und Stoffübergang in Gas-Dampfgemischen, Plank: Handbuch der Kältetechnik, Band III, Springer-Verlag, Berlin 1959.

[11] Ziegler, L.: Thermische Eigenschaften von Chlor, «Chem. Ing. Techn.» 11/1950, S. 229–248.

Adresse des Verfassers: F. Özvegyi, dipl. Ing., Escher Wyss AG, 8023 Zürich, Postfach.

## Remarques sur la méthodologie de la recherche

DK 167:001.891

### Les principes de technicité et de solidarité

A Adolf Ostertag pour son 70ème anniversaire

Par F. Gonseth, Dr, Professeur honoraire de l'Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne

### 1. Pourquoi une méthodologie de la recherche ?

On peut s'étonner de la réserve avec laquelle les milieux qui pratiquent la recherche accueillent les études qui prétendent porter sur une méthodologie de la recherche. Certes, dès qu'on prétend s'élever à des considérations générales, on court le risque de s'égarer. Mais la recherche méthodologique n'est pas la seule à courir ce risque. Il en est de même de toute recherche qui ne trouverait pas à mettre ses résultats à l'épreuve dans un horizon de réalité qui puisse lui servir de champ de garantie. Or, il faut bien en convenir, le champ de garantie des recherches méthodologiques ne se découvre pas du premier coup. Pour le dégager et l'avoir à sa disposition, il faut se livrer à certaines réflexions, à certaines études préalables. Celles-ci éveillent souvent le doute parce qu'elles portent moins sur les résultats de telles ou telles recherches particulières que sur les méthodes, grâce auxquelles ces résultats ont été obtenus. Ces réflexions, dira-t-on, ne sont-elles pas toutes proches des réflexions philosophiques dont il a fallu que la recherche se garde pour accéder à l'objectivité ? Quels moyens avons-nous d'en juger avec quelque sécurité ? C'est là précisément poser la question du champ de garantie. Mais il est bien clair que celui-ci ne peut s'offrir qu'à celui qui entreprend de le découvrir. Il y a là un certain obstacle à franchir qui n'est pas d'ordre scientifique et qu'on ne franchira pas sans une certaine bonne volonté.

Faut-il faire un reproche au praticien qui reste sourd aux explications du méthodologiste lorsque celui-ci entreprend de lui expliquer quelles garanties il entend mettre de son côté ? Le praticien serait certainement sans reproche s'il se gardait vraiment de toute idée préconçue, de toute idée en particulier dont en fin de compte une certaine tradition est la seule garantie. Or, tel n'est pas le cas. Lorsqu'un astronome affirme par exemple que «le temps mathématique est la limite du temps des physiciens», il y a là un emploi audacieux (pour ne pas dire arbitraire) du mot limite qui n'est garanti ni par la pratique du mathématicien, ni par celle du physicien, ni par celle de l'application des mathématiques à la physique. Il s'agit là somme toute

d'une opinion méthodologique toute personnelle dont on ne sait comment le champ de garantie pourrait être découvert. Peut-être trouvera-t-on que cet exemple est trop singulier pour être convaincant. Qu'à cela ne tienne. Bien des physiciens coupent court à toute analyse méthodologique de quelque ampleur par une profession de foi opérationnaliste. «Le temps du physicien, diront-ils, est tout simplement défini par les opérations qui concourent à le mesurer, la fabrication de l'instrument y comprise.» Il est clair que la doctrine opérationnaliste est extrêmement commode. Elle ferme toutes les avenues au bout desquelles pourraient se poser de dangereuses questions méthodologiques ou philosophiques et sauvegardent l'autonomie du physicien. Mais est-elle juste ? Pour qu'on puisse en décider, il ne suffit pas que certains aient tendance à en faire un lieu commun. Si commode soit-elle, elle n'a rien d'évident. Pourquoi ne se préoccupe-t-on pas davantage d'en éprouver la justesse ? Car, j'ai tout lieu de le penser, cette doctrine est fausse.

Il convient, pour ne pas se perdre en de stériles controverses, d'observer ici une discipline rigoureuse. A titre d'hypothèse, chacun a le droit d'avancer ses propres vues méthodologiques, pourvu qu'on ne puisse pas invoquer contre elles le témoignage de certains faits indubitables. Mais tant que ces vues restent sans garanties objectives, personne n'est en droit de leur conférer un autre statut méthodologique : ce ne sont encore que des hypothèses dont la justesse reste encore en suspens. Chacun est en droit de les mettre en doute et même de n'en pas tenir compte. Mais personne n'a celui d'en affirmer la fausseté sans produire ses propres raisons. – Ce sont là d'ailleurs des «banalités méthodologiques» sur lesquelles je n'insiste que pour les appliquer à moi-même. Je viens en effet d'écrire que j'ai tout lieu de penser que l'opérationnalisme est une doctrine fausse. Il me faut donc me plier à la discipline dont je viens de rappeler les règles élémentaires et fournir mes raisons. En voici l'essentiel :

La thèse opérationnaliste peut-elle être mise à l'épreuve ? Est-il possible, par exemple dans les cas du temps envisagé comme une grandeur physique, d'en ramener la mesure (fabrication de l'instrument y comprise) à une suite d'opérations bien délimitées et de n'employer

ensuite le mot temps que dans l'acception qui lui aurait été ainsi opérationnellement conférée ?<sup>1)</sup>

On peut tout au moins en faire l'essai. Mais pour ne pas se payer de mots et d'intentions, c'est à une analyse sérieuse et descendant jusqu'à l'élémentaire qu'il faudra procéder, à une analyse de l'ensemble des moyens et des procédés réellement mis en œuvre. D'autre part, le résultat ne pourra être tenu pour probant que si l'on parvient à bien mettre en évidence par la même occasion que le temps ainsi dégagé est bien le temps auquel les physiciens se réfèrent en commun. Rien, du côté méthodologique, ne s'oppose d'ailleurs à ce qu'on aborde l'entreprise avec l'intention la plus entière et la plus sincère de «faire valoir» la thèse opérationnaliste, de ne rien négliger pour la rendre efficace et d'aller au contraire jusqu'au bout du possible pour en assurer la validité. Il est vrai qu'en cas d'insuccès, celui-ci n'en serait que plus irrémédiable.

Je ne parle pas ici de cette analyse comme d'une chose qui n'aurait jamais été faite, qui devrait l'être et dont les résultats devraient être attendus. Elle constitue, tout au contraire, l'un des thèmes fondamentaux de l'ouvrage que j'ai récemment publié sous le titre «*Le problème du temps, essai sur la méthodologie de la recherche*.»<sup>2)</sup> J'ai étudié la facture et le fonctionnement des horloges, des plus élémentaires aux plus précises, des clepsydres et des sabliers jusqu'aux masers, avec le souci obstiné d'y maintenir et d'y mettre en évidence la visée opérationnaliste. Pourtant, au fur et à mesure des progrès de l'analyse, c'est une autre évidence qui s'est imposée. Tant qu'il s'agit d'horloges de facture très simple, la saisie opérationnelle du temps paraît être à la fois la plus commode et la moins problématique. Mais lorsque les choses se compliquent, elle se révèle illusoire. Au niveau déjà de l'industrie horlogère, le projet même de cette saisie prend un caractère factice et reste en suspens. Enfin, lorsqu'on aborde l'aspect technique des mesures de haute précision, il soulève d'inextricables difficultés: la seule décision raisonnable est alors de l'abandonner.

Nous nous étonnons tout au début de ces quelques réflexions de la réserve avec laquelle la plupart des praticiens de la recherche accueillent les *recherches méthodologiques*. N'y a-t-il pas contradiction entre cette réserve et un certain ralliement à la doctrine opérationnaliste? Celui-ci n'équivaut-il pas à une certaine prise de position méthodologique? La contradiction reste masquée tant que le caractère problématique de la visée opérationnelle n'est pas ressenti, tant que cette visée paraît tout simplement répondre aux exigences averties du praticien de la recherche. Mais la situation n'est plus la même (ou du moins elle ne devrait pas rester la même) lorsqu'il s'est avéré que l'opérationnalisme ne peut pas être traduit en «réalité méthodologique». Le problème qu'on pensait avoir écarté par une solution de simple bon sens se pose à nouveau. Bien plus, cet essai manqué est justement de nature à le faire apparaître, à en faire prendre conscience. On s'aperçoit alors avec surprise qu'on n'a pas de réponse élémentaire qui puisse être généralement et valablement faite à la question suivante: «Qu'est-ce que la mesure d'une grandeur physique?»

Mon intention n'est pas ici de m'attacher particulièrement au problème général de la mesure; tout à l'heure, j'aurai à revenir sur celui de la mesure du temps. Mais ce ne sera là qu'un moyen au service de ma véritable intention, qui est d'évoquer un autre problème, celui de la recherche dont la méthode de la recherche peut être l'objet. Quant aux considérations préalables auxquelles je viens de me livrer, elles n'avaient que le but d'ébranler certains préjugés. Il convient de savoir que le bon sens averti par l'exercice d'une discipline ne suffit pas pour préserver le chercheur de l'erreur méthodologique. La méthode juste de la recherche efficace exige elle aussi réflexion. Mais où faut-il porter son attention pour l'apercevoir et comment peut-on en esquisser les linéaments? C'est là ce dont je vais maintenant brièvement m'occuper.

## 2. Le principe de technicité

Depuis que je m'occupe du «problème du temps», un certain nombre de souvenirs me sont revenus. Quelques-uns remontent jusqu'au premier cours de mécanique que j'ai suivi à l'Ecole polytechnique fédérale, il y a déjà de nombreuses années. En évoquant l'un d'eux, je retrouve aussi le malaise et l'inquiétude que j'avais alors ressentis. Fort probablement excédé par de stériles discussions

<sup>1)</sup> Il suffit de chercher à bien énoncer cette question pour se rendre compte qu'elle est fort difficile à formuler clairement et pour avoir le sentiment qu'elle masque encore bien des obscurités et bien des ambiguïtés. On jugera cependant qu'un tel sentiment est bien trop imprécis pour entrer valablement en ligne de compte.

<sup>2)</sup> Editions du Griffon, Neuchâtel, 1964.

sur la «réalité du temps», le professeur de mécanique avait alors jugé bon d'y mettre fin en déclarant, en substance: «Le temps, c'est ce qu'une horloge mesure». Bien avant qu'on parlât d'opérationnalisme, c'était une claire ouverture sur une définition opérationnelle. Pour quelle raison n'ai-je pas été convaincu par cette déclaration? Je ne crois pas qu'à ce moment-là l'objection susceptible de tout remettre en question me soit venue à l'esprit: «Ne faut-il pas que ce soit une bonne horloge? Et dans ce cas, de quels moyens dispose-t-on pour s'en assurer?» Toutes les horloges en effet ne marchent pas avec la même régularité, elles ne sont pas toutes synchronisables et ne marquent donc pas toutes le même temps. Plus exactement: même lorsque deux horloges ont été synchronisées, on ne peut pas assurer qu'elles le resteront indéfiniment: il arrive que leur temps s'écarte. Quelle est alors celle qui marque le temps juste?

Cela signifie naturellement que la déclaration péremptoire «le temps, c'est ce que l'horloge mesure» n'a pas d'autre garantie que la capacité des meilleurs horlogers de construire de bonnes montres et de bonnes horloges. Mais encore celles-ci ne sont-elles que d'une précision relative, qui dépend des niveaux technique et scientifique des procédés de fabrication. En fait, ces procédés restent en constante évolution et le problème lui-même reste toujours en suspens.

A peu près dans les mêmes années, j'ai aussi suivi le cours qu'Einstein donna à l'Ecole polytechnique fédérale sur la relativité restreinte. La difficulté, pour les auditeurs que nous étions à ce moment-là, était avant tout de comprendre pourquoi l'on ne devait pas hésiter à abandonner certains principes de la mécanique classique (le principe de simultanéité, par exemple) et pourquoi d'autres devaient être maintenus. Je me rends compte que pour ce qui me regarde, je n'ai jamais assimilé l'hypothèse selon laquelle chaque observateur est censé disposer de sa propre et juste horloge – sans parler des problèmes qui se posent ensuite quant à la synchronisation de l'ensemble de ces horloges. Il y avait là un problème non pas de physique, mais de méthode dont la solution m'est longtemps restée cachée.

Les discussions constamment renaissantes sur la légitimité de l'intégration des mesures non relativistes à la théorie de la relativité ont montré que ce fut aussi le cas pour bien d'autres. Il m'a fallu attendre ces dernières années pour réussir à faire le tour de la question. En étudiant le problème de la mesure du temps au niveau même de l'instrument, je me suis aperçu qu'en exposant en quelque sorte classiquement comment on fonde une discipline exacte, on laisse tout un aspect de la question dans l'ombre, celui de l'appareil de mesure. Cet aspect, l'analyse la plus sérieuse le confirme, est irréductible à tout autre, non pas que son rapport avec les autres, avec l'aspect théorique par exemple, soit *ne varietur*. L'essentiel est qu'on ne peut pas en faire abstraction sans que la situation ne perde l'une de ses dimensions fondamentales. Le fait ne saurait être tenu sous le boisseau. Mais comment lui conférer son importance méthodologique? On y parvient assez naturellement dans le cadre de ce que nous appelons une *procédure d'autofondation*. Nous y reviendrons d'ailleurs dans un instant.<sup>3)</sup>

C'est en somme à la même difficulté que faisait allusion mon regretté ami G. Juvet en parlant du *paradoxe du temps*. La mesure du temps par les montres et les horloges, disait-il en substance, suppose les lois de la mécanique. Or, nous ne sommes plus au temps où l'on pouvait penser que ces lois peuvent être établies de façon purement rationnelle. Il leur faut une confirmation expérimentale. Or, celle-ci nécessite le concours au moins d'une bonne horloge d'observation. N'y a-t-il pas là un cercle vicieux dont il est impossible de sortir? Mon ami Juvet avait raison: il y a là un aller et retour, un prêté-donné du théorique au technique et du technique au théorique dont il était impossible de supprimer l'un des pôles. Mais est-ce bien là un cercle vicieux? Les choses se présentent tout autrement, si l'on reprend sa liberté envers une tradition trop étroite et certainement dépassée.

«Comment sait-on, comment prouve-t-on qu'une montre est une bonne montre?» Retenons ceci: le développement de l'horlogerie s'explique par un idéal et par une intention: l'idéal, c'est celui du système oscillatoire isochrone; l'intention, c'est celle de réaliser matériellement cet idéal au mieux, avec la plus grande précision possible. L'idéal a pris la forme du balancier spiral théorique dans lequel les conditions d'une oscillation parfaitement élastique sont

<sup>3)</sup> Pour un exposé moins sommaire, on pourra consulter: F. Gonthier, *Le Problème du Temps*, vol. II, chap. V, p. 327 ss. Voir aussi: Fondements, Anticipation et Prévision, 1er Colloque international de Paris 1962, Théorie physique et recherche prévisionnelle. Gauthier - Villars, 1964.

supposées satisfaites. L'intention s'est appliquée à réaliser concrètement ces conditions, allant jusqu'à créer la métallurgie des aciers spécialement adéquats, la métallurgie de l'invar et de ses dérivés . . . En bref, la fabrication d'une bonne montre se révèle ainsi doublement fondée: dans la connaissance et dans l'application . . . des lois de la mécanique classique et . . . dans la recherche expérimentale et dans l'essai des matériaux et des procédés les meilleurs. Il est donc clair que la montre qu'on consulte ne fournit pas, à celui qui entend expliquer comment la mécanique se constitue en discipline à la fois cohérente et efficace, une interprétation antérieurement fixée de la variable  $t$ , une interprétation assurée sans le concours de la mécanique elle-même. (Le *Problème du Temps*, t. II, chap. V, p. 327-328).

Bien entendu, pour procéder à cette comparaison du chronomètre avec le chronomètre-terre, il y a un ensemble de procédures qui . . . ont un caractère à la fois théorique et pratique . . . Sous cet angle, une discipline où l'on veut connaître avec une précision de plus en plus grande ne peut être qu'auto-fondée. Ou bien je reste dans les limites d'une précision antérieure, ou bien, si je conçois un instrument destiné à me donner une précision nouvelle, je me trouve en quelque sorte acculé à la procédure de l'auto-fondation. (*A propos de la mesure du temps*, «Revue de métaphysique et de morale», Paris 1962, p. 133 ss.) Voir en outre: Comment fonder une discipline exacte? Actes du Colloque de Bruxelles 1964 de l'Académie internationale de philosophie des sciences, à paraître dans «*Dialectica*», 1965.

Il ne faut pas se contenter d'avoir ainsi ramené l'attention sur l'instrument. Souvent, lorsqu'on parle de la mise à l'épreuve d'une loi ou d'une théorie par l'expérience, on parle des séries d'observations qu'il faut faire et répéter pour disposer d'un matériau observationnel suffisamment assuré. On tiendra compte du fait que les résultats de mesure sont affectés d'erreurs aléatoires pour en tirer le meilleur parti. Mais il est rare qu'on se demande si la conception même des appareils de mesure n'est pas pour elle-même dépendante des lois ou des théories qu'on met au «banc d'essai». Dans l'appréciation méthodologique de la situation, on fait comme si la question des appareils de mesure était indépendante des questions à la solution desquelles ces appareils auront à collaborer. Et pourtant Dieu sait que les dispositifs instrumentaux ne tombent pas du ciel tout faits et tout prêts.

Il convient surtout de faire entrer en ligne de compte certaines circonstances concernant la précision des mesures qu'on peut obtenir avec tel ou tel appareil et dans telle ou telle situation. Pour un appareil déterminé elle est (abstraction faite des facteurs humains) fonction des moyens techniques mis en œuvre pour le construire. Pour tous les appareils du même genre, elle est plus généralement fonction de l'avancement des techniques susceptibles d'être mises en œuvre, c'est-à-dire, pour employer un mot commode, fonction du *niveau technique* du milieu, de l'époque, de la situation dans lesquels on se trouve.

Pour ce qui concerne la validité organisée du tout en apparence hétérogène que forme la mécanique classique, l'emploi des horloges d'observation et l'ensemble des procédés de leur fabrication, elle ne saurait être établie ou confirmée au-delà d'un certain niveau de précision, celui-ci dépendant lui-même d'un certain niveau technique.

Bien sûr, cette dernière affirmation ne peut plus étonner personne, maintenant qu'on sait qu'aux très grandes vitesses, la mécanique classique n'est plus en accord avec les faits d'observation. Il est assez vain de dire que la justesse de cette affirmation ne tient pas à cette dernière circonstance et que rien ne s'opposait à ce qu'on s'en avisât auparavant. Mais il est plus constructif d'ajouter qu'il y a là une situation qui se répète chaque fois qu'on s'apprête à franchir un seuil de précision.

Eclairons par un exemple ce que cette dernière expression doit signifier. Tout le problème de la fabrication des chronomètres et des horloges de haute précision a longtemps été orienté par l'existence d'une horloge standard, d'une horloge de référence naturelle à laquelle les horloges fabriquées de main d'homme pouvaient être comparées et par rapport à laquelle elles pouvaient être réglées. Cette horloge de référence est la terre, tournant régulièrement en 24 heures autour de son axe. Tant que l'on n'avait pas de raison de mettre en doute la parfaite régularité du mouvement de rotation du globe terrestre, par conséquent aussi celle de la rotation apparente de la voûte céleste, le problème de la précision dans la mesure du temps se réduisait à celui d'une approche technique de l'*horloge de référence*. Ce n'est pas ici le lieu de rappeler dans quel contexte observationnel la parfaite régularité de cette horloge parut ne pas se confirmer. Dès cet instant, la situation, en principe du moins, changeait essentiellement. On se

trouvait dès lors devant le problème, difficile peut-être mais clairement énoncé, de mesurer la variation de la durée du jour terrestre. Mais comment y parvenir puisque l'horloge à corriger était précisément celle qui servait de norme pour toutes les autres? La réponse est la suivante: il faut imaginer, fabriquer et installer une nouvelle horloge, plus précise et plus régulière que toutes celles dont on dispose déjà.

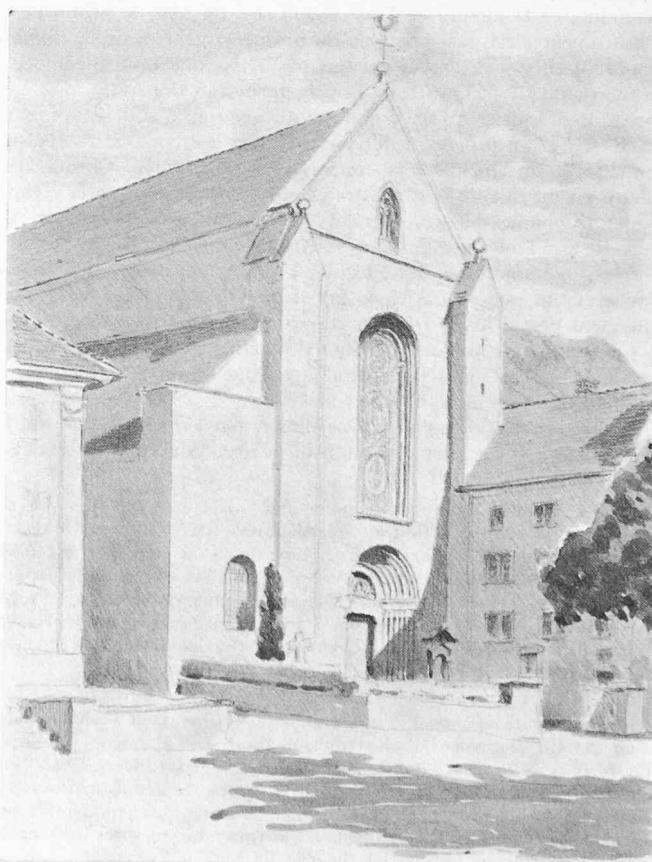
Dans le cas dont il vient d'être question, la chose a pu être faite de trois façons, dont aucune ne dépend des deux autres: par l'installation du système planétaire en tant qu'horloge mesurant le temps dit «des éphémérides», par l'emploi des horloges à quartz et par celui des masers. Dans chacun de ces cas pris séparément, on se trouve devant la même situation de principe:

1. On se propose de franchir un seuil de précision, c'est-à-dire de mesurer le temps avec une précision qui n'a pas encore été atteinte jusque là et par la mise en œuvre de moyens encore inédits.
2. Pour établir ces moyens, on dispose d'un ensemble de lois dont on ne sait pas encore si elles restent valables au niveau de précision qu'on prétend atteindre; à ce niveau, ces lois sont donc hypothétiques et seulement approchées.
3. Le dispositif permet de fixer une grandeur qui jouera le rôle de temps mesuré ou à partir de laquelle ce temps sera univoquement calculé.

On s'en rend compte, la seule façon d'échapper à un cercle vicieux est d'envisager que tout, c'est-à-dire à la fois les lois de base, la fabrication des instruments et leur usage, se trouve engagé à la fois dans une expérience d'accord et d'efficacité. Si, avec la précision à laquelle on vise, cette épreuve réussit de façon à la fois durable et réitérée, *le tout se trouve alors fondé à ce niveau même de précision*. Et si l'on a mis en œuvre les plus efficaces des moyens techniques dont on dispose, *c'est aussi de la meilleure façon possible* (dans la situation qu'il se trouve ainsi fondé). C'est là la procédure complète de l'auto-fondation. Elle réussit chaque fois à installer un temps mesurable qui concorde avec la précision requise, avec le temps théorique figurant dans les lois fondamentales.

Dans l'ouvrage mentionné, je montre avec une certaine minutie comment, dans chacun des trois cas, la procédure fonctionne. Chaque fois elle met fin au paradoxe du temps que nous signalions plus haut. Chaque fois le temps ainsi installé l'est en toute légitimité méthodologique. Cependant, pour décider qu'il n'y a là trois variantes,

Die Kathedrale in Chur



trois mesures d'un même temps, il faut encore les engager toutes à la fois dans une expérience synthétisante dont le succès est le témoignage d'objectivité le plus probant dont on dispose.

Nous nous demandions quel peut bien être le champ de garantie d'une recherche sur la méthode de la recherche. Ce qui précède appartient à cette recherche. Son champ de garantie n'a pas à être inventé, il s'offre de lui-même. C'est simplement le champ d'activité des techniciens de la mesure du temps sous l'angle de l'invention et de la réalisation, du succès et de l'insuccès<sup>4)</sup>.

Ce qui vient d'être dit sur la procédure d'autofondation suggère un principe général de la méthodologie de la recherche, le *principe de technicité*. Ce principe pose en hypothèse que tout semble venir confirmer non pas que le progrès technique soit lié au progrès de la recherche fondamentale, mais bien que le progrès de cette dernière, le progrès de la recherche en général, ne se sépare pas du progrès de son aspect technique.

Ainsi exprimé, ce principe a presque l'air d'une banalité. Il ne prend toute sa portée que par la volonté de le faire valoir. Il est d'ailleurs inséparable du principe de solidarité qui lui confère en retour une bonne part de sa signification.

### 3. Le principe de solidarité

Dans ce qui précède, nous nous sommes laissés guider avant tout par le problème de la mesure du temps et par les solutions qu'on lui donne des plus élémentaires aux plus précises. Mais il est clair qu'on aurait pu soumettre les procédés de mesure de toute autre grandeur physique à une analyse plus ou moins analogue. Il est donc clair que les remarques faites jusqu'ici devraient être généralisées. Ce qu'il est utile de signaler ici, c'est que dans une procédure d'autofondation, les grandeurs physiques ne peuvent pas être traitées isolément et chacune pour son compte. Reprenons par exemple la procédure qui éprouve à la fois la montre et les lois de la mécanique que la fabrication de la montre présuppose. Il y a, au nombre de ces lois, celle du mouvement oscillatoire d'un balancier idéal. L'équation cruciale s'établit donc entre un angle  $\varphi$  et le temps  $t$ . De façon plus générale, c'est toujours un certain ensemble de grandeurs physiques qui sont solidairement engagées dans une procédure d'autofondation.

Voir aussi: Fondements, anticipation et prévision, Actes du 1er Colloque international de Paris: Théorie physique et recherche prévisionnelle, mai 1962. Gauthier-Villars, 1964, p. 177: «Dans la recherche d'une connaissance exacte, le problème de l'instrument se pose au niveau même de la recherche. La connaissance n'est jamais éprouvée qu'avec un certain degré de précision . . . : déterminé par la nature et la facture de l'instrument. En un mot, le problème de l'instrument n'est pas séparable du problème général de la connaissance: il en est un aspect irréductible. Dans une juste méthode, la composante de technicité de la recherche doit donc être mise à sa place, avec tout ce qu'elle comporte d'invention, d'anticipation et de savoir-faire. Le progrès technique est l'une des conditions sine qua non de l'avancement de la connaissance scientifique. Ce qui vient d'être dit du rôle de l'instrument et plus généralement de la composante technique de la recherche s'intègre à la méthodologie dite ouverte par l'intermédiaire du *principe de technicité* . . . En d'autres termes, une autofondation effectuée à un certain niveau de connaissance établit une solidarité de fait entre toutes les grandeurs qui y prennent part et entre tous les contextes théoriques correspondants.

C'est là un fait essentiel qui doit être, lui aussi, intégré à la méthode. Il l'est dans la méthodologie dite ouverte, par l'intermédiaire du principe de solidarité.»

«Le principe de solidarité est illustré par l'ensemble que fournit le passage à la dernière définition du mètre. Voici plus en détail ce qu'on en peut dire:

«La 11ème Conférence générale des poids et mesures a procédé à la révision de la définition internationale de l'unité de longueur. Celle-ci était jusqu'alors définie comme étant la longueur du mètre étalon de platine (9%)-iridium (10%) déposé au Bureau international des poids et mesures à Sèvres. Elle est maintenant celle-ci: le mètre est la longueur égale à 1 650 763,73 longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux 2p<sub>10</sub> et 5d<sub>5</sub> de l'atome de krypton 86.»

<sup>4)</sup> Le franchissement d'un seuil de précision peut s'accompagner d'un certain flottement dans l'interprétation des grandeurs mesurées. Le recours à la procédure d'autofondation permet de désigner sans ambiguïté ce qui doit être pris pour «mesure du temps naturel précis». La procédure permet également d'éviter les ambiguïtés qui s'introduisent presque inévitablement lorsque, les mesures restant les mêmes, ce sont les lois ou les théories de base qui changent.

Pour nous, le passage de la première de ces deux définitions à la seconde représente une véritable mutation de la «perspective de fondation» . . . Le passage de la première définition à la seconde se marque donc de la façon suivante: dans la première, la désignation du mètre ne pouvait être faite que solidiairement avec celle d'un certain ensemble d'autres grandeurs fondamentales. Elle participait donc à l'autofondation d'un certain secteur de la physique, comprenant en particulier la géométrie comme l'un de ses premiers chapitres. Pour employer une image commode, on pourrait dire que le mètre-étalon est au centre d'un certain domaine de solidarité que la précision avec laquelle il est désignable contribue essentiellement à fixer.

Dans la seconde version, l'unité de longueur fixe un nouveau domaine de solidarité plus étendu que le premier, et dont celui-ci ne forme qu'une partie. Cet exemple jette une lumière très vive et très inattendue sur le problème de la précision en général. On imaginerait volontiers que la recherche d'une plus grande précision dans la détermination de telle ou telle grandeur physique doit pouvoir s'opérer isolément, indépendamment de toutes les autres grandeurs, dont chacune pourrait être à son tour l'objet d'une recherche analogue. La réalité, nous le voyons, est tout à fait différente: plus la précision avec laquelle une grandeur physique peut être mesurée augmente et plus cette mesure dépend de celle d'autres grandeurs et de la précision avec laquelle celles-ci peuvent être déterminées à leur tour. C'est là peut-être le sens le plus profond du principe de solidarité de la méthodologie ouverte. (Le problème du temps, t. II, chap. V, p. 341-346.)

### 4. Conclusion

Les principes de technicité et de solidarité ne suffisent pas pour fonder à eux seuls une méthodologie ouverte. Il faudrait commencer par leur adjoindre les principes de révisibilité et de dualité que j'ai eu déjà souvent l'occasion de commenter. Ils peuvent être envisagés tous quatre comme des exigences à remplir pour qu'une option générale d'ouverture à l'expérience ne reste pas un vain mot. En bref, la méthodologie ouverte n'est qu'une forme de réalisation de cette option dans l'horizon méthodologique. Il est facile de comprendre pourquoi nous avons jugé bon d'insister dans ce journal sur les deux premiers de ces quatre principes. Ils recouvrent à eux deux une bonne partie de ce qu'on visait en parlant d'induction et de science inductive. Mais ces dernières expressions se sont en fait vidées de tout leur sens positif. En réalité, dans la situation actuelle, il n'y a pas d'autre procédure inductive précise que celle de l'autofondation. Or, et c'est là que j'en voulais venir, cette dernière aussi resterait vide si l'instrument n'y venait pas occuper une place irréductible. C'est en fin de compte le niveau technique des milieux engagés dans la recherche qui doit faire son entrée et jouer son rôle dans tout discours valable de la méthode.

Adresse de l'auteur: Dr Ferdinand Gonseth, Professeur, 12, chemin du Muveran, 1000 Lausanne.

## Buchbesprechungen

**Thermodynamique.** Par E. A. Guggenheim. Traduit de l'anglais par J. C. Doukhan. 456 p. avec 42 fig. Paris 1965, Editeur Dunod. Prix 59 NF.

Cet ouvrage de thermodynamique s'adresse essentiellement aux physiciens et aux chimistes. Quoique étant très théorique, il peut également être utile aux ingénieurs mécaniciens. Il s'agit d'un traité extrêmement remarquable par le caractère scientifique de son inspiration et la rigueur de ses développements. Il procède d'une axiomatique très serrée reposant sur un nombre minimum de prémisses à partir desquelles l'auteur a construit avec une logique implacable un véritable édifice intellectuel.

Le premier chapitre est consacré à l'exposé des principes fondamentaux. Les fonctions d'état telles que l'énergie interne, l'entropie et la température thermodynamique sont introduites d'une façon particulièrement satisfaisante pour l'esprit. La notion de chaleur est également introduite de façon rigoureuse.

Le deuxième chapitre est réservé à la thermodynamique statistique. L'entropie et la température thermodynamique reçoivent une signification beaucoup plus évoluée et le troisième principe est exposé en détail.

Le troisième chapitre montre quels sont les outils mathématiques susceptibles d'alléger la formulation de l'ensemble des relations thermodynamiques, notamment en réduisant le nombre des dérivées partielles.