

La théorie physique son objet, sa structure

Pierre DUHEM
1906

éd° Vrin (2007)
Bibliothèque des textes philosophiques

PREMIERE PARTIE L'OBJET DE LA THÉORIE PHYSIQUE

CHAPITRE I : THÉORIES PHYSIQUES ET EXPLICATION MÉTAPHYSIQUES

27/29/31 EXPLIQUER

Expliquer, *explicare*, c'est dépouiller la *réalité* des *apparences* qui l'enveloppent comme des voiles, afin de voir cette réalité nue et face à face.

[...]

Le plus souvent, la théorie physique ne peut atteindre ce degré de perfection ; elle ne peut se donner pour une *explication certaine* des apparences sensibles ; la réalité qu'elle proclame résider sous ces apparences, elle ne peut la rendre accessible à nos sens ; elle se contente alors de prouver que toutes nos perceptions se produisent *comme si* la réalité était ce qu'elle affirme ; une telle théorie est une *explication hypothétique*.

[...] *si les théories physiques ont pour objet d'expliquer les lois expérimentales, la Physique théorique n'est pas une science autonome ; elle est subordonnée à la Métaphysique.*

31 « CALME » MATHÉMATIQUE

Les propositions qui composent les sciences purement mathématiques sont, au plus haut degré, des vérités de consentement universel ; la précision du langage, la rigueur des procédés de démonstration ne laissent place à aucune divergence durable entre les vues des divers géomètres ; à travers les siècles, les doctrines se développent par un progrès continu, sans que les conquêtes nouvelles fassent rien perdre des domaines antérieurement acquis.

CHAPITRE II : THÉORIE PHYSIQUE ET CLASSIFICATION NATURELLE

44/45 THÉORIE PHYSIQUE : DÉFINITION, CONSTRUCTION, VÉRITÉ

Une Théorie physique n'est pas une explication. C'est un système de proposition mathématiques, déduites d'un petit nombre de principes, qui ont pour but de représenter aussi simplement, aussi complètement et aussi exactement que possible, un ensemble de lois expérimentales.

Pour préciser déjà quelque peu cette définition, caractérisons les quatre opérations successives par lesquelles se forme une théorie physique ;

1) Parmi les propriétés physiques, que nous nous proposons de représenter, nous choisissons celles que nous regarderons comme des propriétés *simples* et dont les autres seront censées des groupements ou des combinaisons. Nous leur faisons correspondre, par des méthodes de mesure appropriée, autant de symboles mathématiques, de nombres, de grandeurs ; ces symboles mathématiques n'ont, avec les propriétés qu'ils représentent, aucune relation de nature ; ils ont seulement avec elles une relation de signe à chose signifiée ; par les méthodes de mesure, on peut faire correspondre à chaque état d'une propriété physique une valeur du symbole représentatif et inversement.

2) Nous relierons entre elles les diverses sortes de grandeurs ainsi introduites par un petit nombre de propositions qui serviront de principes à nos déductions ; ces principes peuvent être nommés *hypothèses* au sens étymologique du mot, car ils sont vraiment les fondements sur lesquels s'édifiera la théorie ; mais ils ne prétendent en aucune façon énoncer des relations véritables entre les propriétés réelles des corps. Ces hypothèses peuvent donc être formulées d'une manière arbitraire. La contradiction logique, soit entre les termes d'une même hypothèse, soit entre diverses hypothèses d'une même théorie, est la seule barrière absolument infranchissable devant laquelle s'arrête cet arbitraire.

3) Les divers principes ou hypothèses d'une théorie sont combinés ensemble suivant les règles de l'analyse mathématique. Les exigences de la logique algébrique sont les seules auxquelles le théoricien soit tenu de satisfaire au cours de ce développement. Les grandeurs sur lesquelles portent ses calculs ne présentent point être des réalités physiques ; les principes qu'il invoque dans ses déductions ne se donnent point pour l'énoncé de relations véritables entre ces réalités ; il importe donc peu que les opérations qu'il exécute correspondent ou non à des transformations physiques réelles ou même concevables. Que ces syllogismes soient concluants et ses calculs exacts, c'est tout ce qu'on est alors en droit de réclamer de lui.

4) Les diverses conséquences que l'on a ainsi tirées des hypothèses peuvent se traduire en autant de jugements portant sur les propriétés physiques des corps ; les méthodes propres à définir et à mesurer ces propriétés physiques sont comme le vocabulaire, comme la clé qui permet de faire cette traduction ; ces jugements, on les compare aux lois expérimentales que la théorie se propose de représenter ; s'ils concordent avec ces lois, au degré d'approximation que comportent les procédés de mesure employés, la théorie a atteint son but, elle est déclarée bonne ; sinon, elle est mauvaise, elle doit être modifiée ou rejetée.

Ainsi, une théorie *vraie*, ce n'est pas une théorie qui donne, des apparences physiques, une explication conforme à la réalité ; c'est une théorie qui représente d'une manière satisfaisante un ensemble de lois expérimentales ; une théorie *fausse*, ce n'est pas une tentative d'explication fondée sur des suppositions contraires à la réalité ; c'est un ensemble de propositions qui ne concordent pas avec les lois expérimentales. *L'accord avec l'expérience est, pour une théorie physique, l'unique critère de vérité.*

Commentaire. La thèse de DUHEM nous paraît légitimée par le point 6.3 du *Tractatus* de L. WITTGENSTEIN : « L'exploration de la logique signifie l'exploration de toute capacité d'être soumis à des lois. Et hors de la logique, tout est hasard. ». Le point 6.371 redouble par ailleurs l'avertissement de la première phrase : « **Toute la vision moderne du monde repose sur l'illusion que les prétendues lois de la nature sont des explications des phénomènes de la nature.** » (il faut entendre par « prétendues lois de la nature » les propositions mathématiques chez DUHEM et par « phénomènes de la nature » ses « lois expérimentales »).

53/55-56 CLASSIFICATION NATURELLE DES LOIS EXPÉRIMENTALES

la théorie physique ne nous donne jamais l'explication des lois expérimentales ; jamais elle ne nous découvre les réalités qui se cachent derrière les apparences sensibles ; mais plus elle se perfectionne, plus nous pressentons que l'ordre logique dans lequel elle range les lois expérimentales est le reflet d'un ordre ontologique ; plus nous soupçonnons que les rapports qu'elle établit entre les données de l'observation correspondent à des rapports entre les choses [Cf. Poincaré, *La Science et l'Hypothèse*] ; plus nous devinons qu'elle tend à être une classification naturelle.

De cette conviction, le physicien ne saurait rendre compte ; la méthode dont il dispose est bornée aux données de l'observation, elle ne saurait donc prouver que **l'ordre établi entre les lois expérimentales reflète un ordre transcendant à l'expérience** ; à plus forte raison ne saurait-elle pas soupçonner la nature des rapports réels auxquels correspondent les relations établies par la théorie.

[...]

Si la théorie est un système purement artificiel, si nous voyons dans les hypothèses sur lesquelles elle repose des énoncés qui ont été habilement agencés de telle sorte qu'ils représentent les lois expérimentales déjà connues, mais si nous n'y soupçonnons aucun reflet des rapports véritables entre les réalités qui se cachent à nos yeux, nous penserons qu'une telle théorie doit attendre, d'une loi nouvelle, plutôt un démenti qu'une confirmation ; que, dans l'espace laissé libre entre les cases ajustées pour d'autres lois, la loi, jusque-là inconnue, trouve une case toute prête, où elle se puisse loger exactement, ce sera merveilleux hasard, en l'espoir duquel nous serions bien fous de risquer notre enjeu.

Si, au contraire, nous reconnaissons dans la théorie une classification naturelle, si nous sentons que ses principes expriment, entre les choses, des rapports profonds et véritables, nous ne nous étonnerons pas de voir ses conséquences devancer l'expérience et provoquer la découverte de lois nouvelles ; hardiment, nous parierons en sa faveur.

Demander à une classification de marquer par avance leur place à des êtres que l'avenir seul découvrira, c'est donc, au plus haut degré, déclarer que nous tenons cette classification pour naturelle ; et lorsque l'expérience vient confirmer les prévisions de notre théorie, nous sentons se fortifier en nous cette conviction que les relations établies par notre raison entre des notions abstraites correspondent vraiment à des rapports entre les choses.

CHAPITRE III : LES THÉORIES REPRÉSENTATIVES ET L'HISTOIRE DE LA PHYSIQUE

60-61/63-64/65/69

REPRÉSENTER N'EST PAS EXPLIQUER, LES VAQUES NE SONT PAS LA MARÉE

Lorsqu'on analyse une théorie créée par un physicien qui se propose d'expliquer les apparences sensibles, on ne tarde pas, en général, à reconnaître que cette théorie est formée de deux parties bien distinctes ; l'une est la partie simplement représentative qui se propose de classer les lois ; l'autre est la partie explicative qui se propose, au-dessous des phénomènes, de saisir la réalité.

Or, bien loin que la partie explicative soit la raison d'être de la partie représentative, la graine d'où elle est issue ou la racine qui alimente son développement, le lien entre les deux parties est presque toujours des plus frêles et des plus artificiels. La partie descriptive s'est développée, pour son compte, par les méthodes propres et autonomes de Physique théorique ; à cet organisme pleinement formé, la partie explicative est venue s'accoler comme un parasite.

Ce n'est pas à cette partie explicative parasite que la théorie doit sa puissance et sa fécondité ; loin de là. Tout ce que la théorie contient de bon, ce par quoi elle apparaît comme classification naturelle, ce qui lui confère le pouvoir de devancer l'expérience se trouve dans la partie représentative, tout cela a été découvert par le physicien lorsqu'il oubliait la recherche de l'explication. Au contraire, **ce que la théorie contient de faux, ce qui sera contredit par les faits, se trouve surtout dans la partie explicative ; le physicien l'y a introduit, guidé par son désir de saisir les réalités.**

Et de là cette conséquence : lorsque les progrès de la Physique expérimentale mettent la théorie en défaut, lorsqu'ils l'obligent à se modifier, à se transformer, la partie purement représentative entre presque entière dans la théorie nouvelle, lui apportant l'héritage de tout ce que l'ancienne théorie possédait de plus précieux, tandis que la partie explicative tombe pour faire place à une autre explication.

Ainsi, par une tradition continue, chaque théorie physique passe à celle qui la suit la part de classification naturelle qu'elle a pu construire, comme, en certains jeux antiques, chaque coureur tendait le flambeau allumé au coureur qui venait après lui ; et cette tradition continue assure à la science une perpétuité de vie et de progrès.

[...] entre l'explication cartésienne des phénomènes lumineux et la représentation cartésienne des diverses lois de la réfraction, il y a simple juxtaposition ; il n'y a aucun lien, aucune pénétration. Aussi, le jour où l'astronome danois Römer, en étudiant les éclipses des satellites de Jupiter, démontre que la lumière se propage dans l'espace avec une vitesse finie et mesurable, l'explication cartésienne des phénomènes lumineux tombe tout d'un bloc ; mais elle n'entraîne même pas une parcelle de la doctrine qui représente et classe les lois de la réfraction ; celle-ci continue, aujourd'hui encore, à former la majeure partie de notre Optique élémentaire.

[...] [la théorie de Huygens demeurera] intacte, tandis que les diverses explications des phénomènes lumineux se succéderont les unes aux autres, fragiles et caduques, malgré la confiance en leur durée que témoignent ceux qu'elles ont pour auteurs.

[...] Admirable lorsqu'elle se bornée à jouer le rôle de classification naturelle, la théorie de Fresnel devient insoutenable dès là qu'elle se donne pour une explication.

Il en est de même de la plupart des doctrines physiques ; **ce qui, en elles, est durable et fécond, c'est l'œuvre logique par laquelle elles sont parvenues, à classer naturellement un grand nombre de lois, en les déduisant toutes de quelques principes ; ce qui est stérile et périssable, c'est le labeur entrepris pour expliquer ces principes, pour les rattacher à des suppositions touchant les réalités qui se cachent sous les apparences sensibles.**

On a souvent comparé le progrès scientifique à une marée montant ; appliquée à l'évolution des théories physiques, cette comparaison nous semble fort juste et peut être suivie dans ses détails.

Celui qui jette un regard de courte durée sur les flots qui assaillent une grève ne voit pas la marée monter ; il voit une lame se dresser, courir, déferler, couvrir une étroite bande de sable, puis se retirer en laissant à sec le terrain qui avait paru conquis ; une nouvelle lame la suit, qui parfois va un peu plus loin que la précédente, parfois aussi n'atteint même pas le caillou que celle-ci avait mouillé. Mais sous ce mouvement superficiel de va-et-vient, un autre mouvement se produit, plus profond, plus lent, imperceptible à l'observateur d'un instant, mouvement progressif qui se poursuit toujours dans le même sens, et par lequel la mer monte sans cesse. **Le va-et-vient des lames est l'image fidèle de ces tentatives d'explications qui ne s'élèvent que pour s'écrouler, qui ne s'avancent que pour reculer ; au-dessous, se poursuit le progrès lent et constant de la classification naturelle dont le flux conquiert sans cesse de nouveaux territoires, et qui assure aux doctrines physiques la continuité d'une tradition.**

72/73 SAINT THOMAS D'AQUIN COMMENTE ARISTOTE

Les astronomes se sont efforcés de diverses manières d'expliquer [le mouvement des planètes]. Mais il n'est pas nécessaire que les suppositions qu'ils ont imaginées soient vraies, car peut-être les apparences que les

étoiles présentes pourraient être sauvées par quelque autre mode de mouvement encore inconnu des hommes. Aristote, cependant, usa de telles suppositions relatives à la nature du mouvement comme si elles étaient vraies.

[...]

On peut, de deux manières différentes, rendre raison d'une chose. La première consiste à prouver d'une manière suffisante un certain principe ; c'est ainsi qu'en Cosmologie (*Scientia naturalis*), on donne une raison suffisante pour prouver que le mouvement du ciel est uniforme. En la seconde manière, on n'apporte pas une raison qui prouve d'une manière suffisante le principe ; mais, le principe étant posé d'avance, on montre que ses conséquences s'accordent avec les faits ; ainsi, en Astronomie, on pose l'hypothèse des épicycles et des excentriques, parce que, cette hypothèse faite, les apparences sensibles des mouvements célestes peuvent être sauvegardées ; mais ce n'est pas une raison suffisamment probante, car elles pourraient peut-être être sauvegardées par une autre hypothèse.

75-77 DESCARTES MÉLANGE PHYSIQUE & MÉTAPHYSIQUE

Celui qui a le plus contribué à rompre la barrière entre la méthode physique et la méthode métaphysique, à confondre leurs domaines que la Philosophie péripatéticienne avait nettement distingués, c'est assurément Descartes.

La méthode de Descartes révoque en doute les principes de toutes nos connaissances et les laisse suspendus à ce doute méthodique, jusqu'au moment où elle parvient à en démontrer la légitimité par une longue chaîne de déductions issues du célèbre *Cogito, ergo sum*. Rien de plus contraire qu'une semblable méthode à la conception péripatéticienne selon laquelle une science, telle que la Physique, repose sur des principes évidents par eux-mêmes, dont la Métaphysique peut creuser la nature, mais dont elle ne peut accroître la certitude.

[...]

[extrait du livre des *Principes*]

« je croirai avoir assez fait si les causes que j'ai expliquées sont telles que tous les effets qu'elles peuvent produire se trouvent semblables à ceux que nous voyons dans le monde, sans m'informer si c'est par elles ou par d'autres qu'ils sont produits. Même je crois qu'il est aussi utile pour la vie de connaître les causes ainsi imaginées que si on avait la connaissance des vraies ; car la Médecine, les Mécaniques, et généralement tous les arts à quoi la connaissance de la Physique peut servir, n'ont pour fin que d'appliquer tellement quelques corps sensibles les uns aux autres que, par la suite des causes naturelles, quelques effets sensibles soient produits ; ce que l'on pourrait faire tout aussi bien en considérant la suite de quelques causes ainsi imaginées, quoique fausses, que si elles étaient les vraies, puisque cette suite est supposée semblable en ce qui regarde les effets sensibles. »

81 NEWTON : CONDENSER DES LOIS EXPÉRIMENTALES

dans la célèbre XXXI^e question qui termine la seconde édition de son *Optique*, Newton énonce, avec une grande précision, son opinion au sujet des théories physiques ; il leur assigne pour objet la condensation économique des lois expérimentales :

Expliquer chaque propriété des choses en les douant d'une qualité spécifiques occulte par laquelle seraient engendrés et produits les effets qui se manifestent à nous, c'est ne rien expliquer du tout. Mais tirer des phénomènes deux ou trois principes généraux de mouvement, expliquer ensuite toutes les propriétés et les actions des corps au moyen de ces principes clairs, c'est vraiment, en Philosophie, un grand progrès, lors même que les causes de ces principes ne seraient pas découvertes ; c'est pourquoi je n'hésite pas à proposer les principes du mouvement, tout en laissant de côté la recherche des causes.

84 AMPÈRE : POURQUOI SÉPARER PHYSIQUE & MÉTAPHYSIQUE

Philosophe plus profond que Laplace, Ampère voit avec une parfaite clarté l'avantage qu'il y a à rendre une théorie physique indépendante de toute explication métaphysique ; par là, en effet, on la soustrait aux querelles qui divisent les diverses écoles cosmologiques ; on la rend acceptable, en même temps, à des esprits qui professent des opinions philosophiques incompatibles ; et cependant, bien loin d'entraver les recherches de ceux qui prétendraient donner une explication des phénomènes, on facilite leur tâche ; on condense en un petit nombre de propositions très générales les lois innombrables dont ils doivent rendre compte, en sorte qu'ils leur suffise d'expliquer ces quelques propositions pour que cet immense ensemble de lois ne renferme plus rien de mystérieux.

CHAPITRE IV : LES THÉORIES ABSTRAITES ET LES MODÈLES MÉCANIQUES

90-91 ESPRITS ABSTRAITS/FORTS, ESPRITS IMAGINATIFS/AMPLES

Rendre présents aux yeux de l'imagination un très grand nombre d'objets, de telle façon qu'ils soient saisis tous à la fois, dans leur agencement complexe, et non point pris un à un, arbitrairement séparés de

l'ensemble auquel la réalité des attaches, c'est, pour beaucoup d'hommes, une opération impossible ou, du moins, très pénible. Une foule de lois, toutes mises sur le même plan, sans qu'aucune classification les groupe, sans qu'aucun système les coordonne ou les subordonne les unes aux autres, leur apparaît comme un chaos où leur imagination s'épouvante, comme un labyrinthe où leur intelligence se perd. Par contre, ils conçoivent sans effort une idée que l'abstraction a dépouillée de tout ce qui exciterait la mémoire sensible ; ils saisissent clairement et complètement le sens d'un jugement reliant de telles idées ; ils sont habiles à suivre, sans lassitude ni défaillance, jusqu'à ses dernières conséquences, un raisonnement qui prend pour principes de tels jugements. Chez ces hommes, la faculté de concevoir des idées abstraites et d'en raisonner est plus développée que la faculté d'imaginer des objets concrets.

Pour ces esprits abstraits, la réduction des faits en lois, la réduction des lois en théories, constitueront véritablement des économies intellectuelles ; chacune de ces deux opérations diminuera, à un très haut degré, la peine que leur raison doit prendre pour acquérir la connaissance de la Physique.

Mais tous les esprits vigoureusement développés ne sont pas des esprits abstraits.

Il en est qui ont une merveilleuse aptitude pour rendre présent à leur imagination un ensemble compliqué d'objets disparates ; ils le saisissent d'une seule vue, sans avoir besoin que leur attention myope se porte d'abord sur cet objet, puis sur cet autre ; et cette vue, cependant, n'est pas vague et confuse ; elle est précise et minutieuse ; chaque détail est clairement perçu à sa place et avec son importance relative.

Mais cette puissance intellectuelle est soumise à une condition ; il faut que les objets sur lesquels elle s'exerce soient de ceux qui tombent sous les sens, qui se touchent ou qui se voient. Les esprits qui la possèdent ont besoin, pour concevoir, du secours de la mémoire sensible ; l'idée abstraite, dépouillée de tout ce que cette mémoire peut figurer, leur semble s'évanouir comme un impalpable brouillard ; le jugement générale résonne pour eux comme une formule creuse et vide de sens ; la longue et rigoureuse déduction leur semble le ronflement monotone d'un moulin dont les meules tourneraient sans cesse et ne broieraient que du vent. Doués d'une puissance faculté imaginative, ces esprits sont mal préparés à abstraire et déduire.

À de tels esprits imaginatifs, la constitution d'une théorie physique abstraite semblera-t-elle une économie intellectuelle ? Assurément non. Ils y verront bien plutôt un labeur dont le caractère pénible leur paraîtra beaucoup moins contestable que l'utilité, et, sans doute, ils composeront sur un tout autre type leurs théories physiques.

La théorie physique, telle que nous l'avons conçue, ne sera donc pas acceptable d'emblée comme la forme véritable sous laquelle la nature doit être représentée, sinon par les esprits abstraits. Pascal n'en omet pas la remarque en ce fragment où il caractérise si fortement les deux sortes d'esprits que nous venons de distinguer :

Diverses sortes de sens droit ; les uns dans un certain ordre de choses, et non les autres ordres, où ils extravagent. Les uns tirent bien les conséquences de peu de principes, et c'est une droiture de sens. Les autres tirent bien les conséquences des choses où il y a beaucoup de principes. Par exemple, les uns comprennent bien les effets de l'eau, en quoi il y a peu de principes ; mais les conséquences en sont si fines, qu'il n'y a qu'une extrême droiture d'esprit qui y puisse aller ; et ceux-là ne seraient peut-être pas pour cela grands géomètres, parce que la géométrie comprend un grand nombre de principes, et qu'une nature d'esprit peut être telle qu'elle puisse bien pénétrer peu de principes jusqu'au fond, et qu'elle ne puisse pénétrer le moins du monde les choses où il y a beaucoup de principes. Il y a donc deux sortes d'esprits : l'une, de pénétrer vivement et profondément les conséquences des principes, et c'est là l'esprit de justesse ; l'autre de comprendre un grand nombre de principes sans les confondre, et c'est là l'esprit de géométrie. L'un est force et droiture d'esprit, l'autre est amplitude d'esprit. Or, l'un peut être sans l'autre, l'esprit pouvant être fort et étroit, et pouvant être aussi ample et faible.

La théorie physique abstraite, telle que nous l'avons définie aura sûrement pour elle les esprits forts, mais étroits ; elle doit s'attendre, au contraire, à être repoussée par les esprits amples, mais faibles.

99-100 INTÉGRER L'EXPÉRIENCE EN MATHÉMATIQUE

C'est encore l'amplitude d'esprit qui constitue le génie propre de main géomètre et de maint algébriste. Plus d'un lecteur de Pascal, peut-être, ne l'aura point vu sans étonnement placer les géomètres au nombre des esprits amples, mais faibles ; ce rapprochement n'est pas une des moindres preuves de sa pénétration.

Sans doute, toute branche des Mathématiques traite de concepts qui sont des concepts abstraits au plus haut point, c'est l'abstraction qui fournit les notions de nombre, de ligne, de surface, d'angle, de masse, de force, de pression ; c'est l'abstraction, c'est l'analyse philosophique, qui démêlent et précisent les propriétés fondamentales de ces diverses notions, qui énoncent les axiomes et les postulats ; c'est la déduction la plus rigoureuse qui s'assure que ces postulats sont compatibles et indépendants, qui patiemment, dans un ordre impeccable, déroule la longue chaîne de théorèmes dont ils sont gros. À cette méthode mathématique, nous devons les chefs d'œuvres les plus parfaits dont la justesse et la profondeur d'esprit aient doté l'humanité, depuis les *Éléments* d'Euclide et les traités d'Archimède sur le levier ou sur les corps flottants.

Mais précisément parce que cette méthode fait intervenir presque exclusivement les facultés logiques de l'intelligence, parce qu'elle exige au plus haut degré que l'esprit soit fort et juste, elle paraît extrêmement laborieuse et pénible à ceux qui l'ont ample mais faible. Aussi les mathématiciens ont-ils imaginé des procédés qui substituent à cette méthode purement abstraite et déductive une autre méthode où la faculté d'imaginer ait

plus de part que le pouvoir de raisonner. Au lieu de traiter directement des notions abstraites qui les occupent, de les considérer en elles-mêmes, ils profitent de leurs propriétés les plus simples pour les représenter par des nombres, pour les mesurer ; alors, au lieu d'enchaîner dans une suite de syllogismes les propriétés de ces notions elles-mêmes, ils soumettent les nombres fournis par les mesures à des manipulations opérées suivant des règles fixes, les règles de l'Algèbre ; au lieu de déduire, ils calculent. Or, cette manœuvre de symboles algébrique qu'on peut, dans la plus large acception du mot, nommer le calcul, suppose, chez celui qui la crée comme chez celui qui l'emploie, bien moins la puissance d'abstraire et l'habileté à conduire par ordre ses pensées, que l'aptitude à se représenter les combinaisons diverses et compliquées qui se peuvent former avec certains signes visibles et dessinables, à voir d'emblée les transformations qui permettent de passer d'une combinaison à l'autre ; l'auteur de certaines découvertes algébriques, un Jacobi par exemple, n'a rien d'un métaphysicien ; il ressemble bien plutôt au joueur qui conduit à une victoire assurée la tour ou le cavalier. En maintes circonstances, l'esprit géométrique vient se ranger, auprès de l'esprit de finesse, parmi les esprits amples, mais faibles.

102-103 OMISSION DANS LA MÉTHODE CARTÉSIENNE

Quelle est la préface par laquelle Descartes ouvre son œuvre ? Un *Discours de la méthode*. Quelle est la méthode de cet esprit fort, mais étroit ? Elle consiste à « conduire par ordre ses pensées, en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu, comme par degrés, jusqu'à la connaissance des plus composés ; et supposant même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement les uns aux autres ».

[...]

Dans l'emploi de cette méthode si précise, si rigoureuse, quelle est la seule cause d'erreur que redoute Descartes ? L'omission, car il sent qu'il a l'esprit étroit, qu'il a peine à se figurer un ensemble complexe ; à l'égard de celle-là seule il met en garde, il prépare une contre-épreuve, se proposant « de faire de temps en temps des dénombrements si entiers et des revues si générales qu'il soit assuré de ne rien omettre ».

114-115 / 122-123 / 129-130

LES MODÈLES MÉCANIQUES DE L'ANGLAIS, AMPLE MAIS FAIBLE D'ESPRIT

Les corps avec lesquels le physicien anglais construit ses modèles ne sont pas des conceptions abstraites élaborées par le Métaphysique ; ce sont des corps concrets, semblables à ceux qui nous entourent, solides ou liquides, rigides ou flexibles, fluides ou visqueux ; et par solidité, fluidité, rigidité, flexibilité, viscosité, il ne faut pas entendre des propriétés abstraites, dont la définition se tirerait d'une certaine Cosmologie ; ces propriétés ne sont nullement définies, mais imaginées au moyen d'exemples sensibles : la rigidité évoque l'image d'un bloc d'acier ; la flexibilité, celle d'un fil de cocon ; la viscosité, celle de la glycérine. Pour exprimer d'une manière plus saisissante ce caractère concret des corps avec lesquels il fabrique ses mécanismes, W. Thompson ne craint pas de les désigner par les termes les plus vulgaires ; il les appelle des renvois de sonnette, des ficelles, de la gelée. Il ne saurait marquer d'une manière plus nette qu'il ne s'agit pas de combinaisons destinées à être conçues par la raison, mais de mécaniques destinées à être vues par l'imagination.

Il ne saurait, non plus, nous avertir plus clairement que les modèles qu'il nous propose ne doivent pas être pris pour des explications des lois naturelles ; celui qui leur attribuerait une telle signification s'exposerait à d'étranges surprises.

[...]

Cette unité de la théorie, cet enchaînement logique entre toutes les parties qui la constituent, sont des conséquences tellement naturelles, tellement nécessaires de l'idée que la force d'esprit conçoit d'une théorie physique que, pour elle, troubler cette unité ou rompre cet enchaînement, c'est violer les principes de la Logique, c'est commettre une absurdité.

Il n'en est nullement ainsi pour l'esprit ample, mais faible, du physicien anglais.

La théorie n'est pour lui ni une explication, ni une classification rationnelle des lois physiques, mais un modèle de ces lois ; elle n'est pas construite pour la satisfaction de la raison, mais pour le plaisir de l'imagination ; dès lors, elle échappe à la domination de la Logique, il est loisible au physicien anglais de construire un modèle pour représenter un groupe de lois, et un autre modèle, tout différent du précédent, pour représenter un autre groupe de lois, et cela lors même que certaines lois seraient communes aux deux groupes. Pour un géomètre de l'École de Laplace ou d'Ampère, il serait absurde de donner d'une même loi deux explications théoriques distinctes, et de soutenir que ces deux explications sont valables simultanément, pour un physicien de l'École de Thompson ou de Maxwell il n'y a aucune contradiction à ce qu'une même loi se laisse figure par deux modèles différents. Il y a plus : la complication ainsi introduite dans la science ne choque nullement l'Anglais ; elle a bien plutôt pour lui le charme de la variété ; car son imagination, bien plus puissante que la nôtre, ignore notre besoin d'ordre et de simplicité ; elle se retrouve aisément là où la nôtre se perdrait.

De là, dans les théories anglaises, ces disparates, ces incohérences, ces contradictions que nous sommes portés à juger sévèrement parce que nous cherchons un système rationnel là où l'auteur n'a voulu donner qu'une œuvre d'imagination.

[...] Ces diverses théories partielles, dont chacune se développe isolément, sans souci de celle qui l'a précédée, recouvrant parfois une partie du champ que celle-ci a déjà couvert, s'adressent bien moins à notre raison qu'à notre imagination. Ce sont des tableaux, et l'artiste, en composant chacun d'eux, a choisi avec une entière liberté les objets qu'il représentait et l'ordre dans lequel il les grouperait ; peu importe si l'un de ses personnages a déjà posé, dans une attitude différente, pour un autre portrait ; **le logicien serait mal venu de s'en choquer ; une galerie de tableaux n'est pas un enchaînement de syllogismes.**

141-144 FAIBLE CONTRIBUTION DES MODÈLES À L'ANGLAISE AU PROGRÈS DE LA PHYSIQUE

Avant [...] d'attribuer l'invention d'une théorie aux modèles mécaniques qui l'encombrent aujourd'hui, il convient de s'assurer que ces modèles ont vraiment présidé ou aidé à sa naissance, qu'ils ne sont point venus, comme une végétation parasite, se cramponner à un arbre déjà robuste et plein de vie.

Il convient également, si l'on veut apprécier avec exactitude la fécondité que peut avoir l'emploi de *modèles*, de ne point confondre cet emploi avec l'usage de l'*analogie*.

[...]

L'histoire de la Physique nous montre que la recherche des analogiques entre deux catégories distinctes de phénomènes a peut-être été, de tous les procédés mis en œuvre pour construire des théories physiques, la méthode la plus sûre et la plus féconde.

[...]

Si nous voulons éviter d'attribuer à l'emploi des modèles les découvertes qui sont dues, en réalité, aux théories abstraites ; si nous prenons garde, également, de ne point confondre l'usage de tels modèles avec l'usage de l'analogie, quelle sera la part exacte des théories imaginative dans les progrès de la Physique ?

Cette part nous semble assez faible.

146-147 LIBERTÉ DES FORMES D'ESPRIT

Les esprits forts, ceux qui n'ont pas besoin, pour concevoir une idée abstraite, de l'incarner dans une image concrète, ne sauraient raisonnablement dénier aux esprits amples, mais faibles, à ceux qui ne peuvent aisément concevoir ce qui n'a ni forme ni couleur, le droit de dessiner et de peindre aux yeux de leur imagination les objets des théories physiques. **Le meilleur moyen de favoriser le développement de la Science, c'est de permettre à chaque forme intellectuelle de se développer suivant ses propres lois et de réaliser pleinement son type ; c'est de laisser les esprits forts se nourrir de notions abstraites et de principes généraux et les esprits amples s'alimenter de choses visibles et tangibles**

148-153 DES MODÈLES CONTRADICTOIRES VERS L'UNITÉ DE LA THÉORIE PHYSIQUE. VIA LE SENS COMMUN

Comment répondrons-nous à cette question qui, à l'heure actuelle, se pose à nous d'une manière si pressante : *Est-il permis de symboliser soit plusieurs groupes distincts de lois expérimentales, soit même un groupe unique de lois, au moyen de plusieurs théories dont chacune repose sur des hypothèses inconciliables avec les hypothèses qui portent les autres ?*

À cette question, nous n'hésitons pas à répondre ceci : *SI L'ON S'ASTREINT À N'INVOKER QUE DES RAISONS DE LOGIQUE PURE, on ne peut empêcher un physicien de représenter par plusieurs théories inconciliables soit des ensembles divers de lois, soit même un groupe unique de lois ; on ne peut condamner l'incohérence dans la théorie physique.*

[...] La logique n'impose évidemment au physicien qu'une seule obligation : c'est de ne pas confondre l'un avec l'autre les divers procédés de classification qu'il emploie ; c'est, lorsqu'il établit entre deux lois un certain rapprochement, de marquer d'une manière précise quelle est celle des méthodes proposées qui justifie ce rapprochement. C'est ce qu'exprimait M. Poincaré en écrivant ces mots que nous avons déjà cités : « Deux théories contradictoires peuvent, en effet, *pourvu qu'on ne les mêle pas*, et qu'on n'y cherche pas le fond des choses, être toutes deux d'utiles instruments de recherche ».

La logique ne fournit donc point d'argument sans réplique à qui prétend imposer à la théorie physique un ordre exempt de toute contradiction ; cet ordre, trouvera-t-on des raisons suffisantes pour l'imposer si l'on prend comme principe la tendance de la Science vers la plus grande économie intellectuelle ? Nous ne le croyons pas.

[...]

Ni le principe de contradiction, ni la loi de l'économie de la pensée ne nous permettent de prouver d'une manière irréfutable qu'une théorie physique doit être logiquement coordonnée ; d'où tirerons-nous donc argument en faveur de cette opinion ?

Cette opinion est légitime parce qu'elle résulte en nous d'un sentiment inné, qu'il n'est pas possible de justifier par des considérations de pure logique, mais qu'il n'est pas possible, non plus, d'étouffer complètement.

[...]

Tout physicien aspire naturellement à l'unité de la science ; c'est pourquoi l'emploi de modèles disparates et incompatibles n'a été proposé que depuis un petit nombre d'années. La raison, qui réclame une

théorie dont toutes les parties soient logiquement unies, et l'imagination, qui désire incarner ces divers parties de la théorie dans des représentations concrètes, eussent vu, l'une et l'autre, leurs tendances aboutir, s'il eût été possible d'atteindre une explication mécanique, complète et détaillée, des lois de la Physique ; de là, l'ardeur avec laquelle, pendant longtemps, les théoriciens se sont efforcés vers une semblable explication. **Lorsque l'inanité de ces efforts eut clairement prouvé qu'une telle explication était une chimère, les physiciens, convaincus qu'il était impossible de satisfaire à la fois aux exigences de la raison et aux besoins de l'imagination, durent faire un choix** ; les esprits forts et justes, soumis avant tout à l'empire de la raison, cessèrent de demander l'explication des lois naturelles à la théorie physique, afin d'en sauvegarder l'unité et la rigueur ; les esprits amples, mais faibles, entraînés par l'imagination, plus puissante que la raison, renoncèrent à construire une système logique, afin de pouvoir mettre les fragments de leur théorie sous une forme visible et tangible. Mais la renonciation de ces derniers, au moins de ceux sont la pensée mérite de compter, ne fut jamais complète et définitive ; ils **ne donnèrent jamais leurs constructions isolées et disparates que pour des abris provisoires, pour des échafaudages destinés à disparaître** ; ils ne désespèrent pas de voir un architecte de génie élever un jour un édifice dont toutes les parties seraient agencées suivant un plan de d'une parfaite unité. **Seuls, ceux qui affectent de mépriser la force d'esprit pour faire croire qu'ils en ont l'amplitude, se sont mépris au point de prendre ces échafaudages pour un monument achevé.**

Ainsi, tous ceux qui sont capables de réfléchir, de prendre conscience de leurs propres pensées, sentent en eux-mêmes une aspiration, impossible à étouffer, vers l'unité logique de la théorie physique. [...] Prouver par arguments convaincants que ce sentiment est conforme à la vérité serait une tâche au-dessus des moyens de la Physique. [...] Et cependant ce sentiment surgit en nous avec une force invincible ; celui qui n'y voudrait voir qu'un leurre et une illusion ne saurait être réduit au silence par le principe de contradiction ; mais il serait excommunié par le *sens commun*.

[...] les vérités que ce sens commun nous révèle sont si claires et si certaines que nous ne pouvons ni le méconnaître, ni les révoquer en doute ; bien plus, toute clarté et toute certitude scientifique sont un reflet de leur clarté et un prolongement de leur certitude.

La raison n'a donc point d'argument logique pour arrêter une théorie physique qui voudrait briser les chaînes de la rigueur logique, mais la « nature soutient la raison impuissante et l'empêche d'extravaguer jusqu'à ce point » [Pascal, *Pensées*, éd. Havet, art. 8].

SECONDE PARTIE

LA STRUCTURE DE LA THÉORIE PHYSIQUE

CHAPITRE I : QUANTITÉ ET QUALITÉ

157/168 RÉSUMÉ

Une théorie physique sera donc un système de propositions logiquement enchaînées, et non pas une suite incohérente de modèle mécaniques ou algébriques ; ce système n'aura pas pour objet de fournir une explication, mais une représentation et une classification naturelle d'un ensemble de lois expérimentales.

[...]

La Physique théorique ne saisit pas la réalité des choses ; elle se borne à représenter les apparences sensibles par des signes, par des symboles.

CHAPITRE II : LES QUALITÉS PREMIÈRES

180/183 « SIMPLE » ET « PRIMAIRE » SONT RELATIFS

Pour nous, qui ne prétendons point expliquer les propriétés des corps, mais seulement en donner la représentation algébrique condensée ; qui ne nous réclavons, dans la construction de nos théories, d'aucun principe métaphysique, mais entendons faire de la Physique une doctrine autonome, où prendrions-nous un critère qui nous permît de déclarer telle qualité vraiment simple et irréductible, telle autre complète et destinée à une plus pénétrante dissection ?

En regardant une propriété comme première et élémentaire, nous n'entendons nullement affirmer que cette qualité est, par nature, simple et indécomposable ; nous déclarons que tous nos efforts pour réduire cette

qualité à d'autres ont échoué, qu'il nous a été impossible de la réduire cette qualité à d'autres ont échoué, qu'il nous a été impossible de la décomposer.

[...]

Le Physicien qui demande à une doctrine métaphysique les principes selon lesquels il développera ses théories de cette doctrine les marques auxquelles il reconnaîtra qu'une qualité est simple ou complexe ; ces deux mots ont pour lui un sens absolu. Le physicien qui cherche à rendre ses théories autonomes et indépendantes de tout système philosophique attribue aux mots : qualité simple, propriété première, un sens tout relatif ; ils désignent simplement pour lui une propriété qu'il lui a été impossible résoudre en d'autres qualités.

187- UNIFORMISATION ET DIVERSIFICATION

Les progrès mêmes des théories peuvent amener les physiciens à réduire le nombre des qualités qu'ils avaient d'abord considérées comme premières, à prouver que deux propriétés regardées comme distinctes ne sont que deux aspects divers d'une même propriété.

[...] Mais, d'autre part, le progrès incessant de la Physique expérimentale amène fréquemment la découverte de nouvelles catégories de phénomènes, et, pour classer ces phénomènes, pour ne grouper les lois, il est nécessaire de douer la matière de propriétés nouvelles.

De ces deux mouvements contraires dont l'un, réduisant les qualités les unes aux autres, tend à simplifier la matière, dont l'autre, découvrant de nouvelles propriétés, tend à la compliquer, quel est celui qui l'emportera ? [...] Chacune de ces deux sciences [la Chimie et la Physique] s'efforce de réduire autant qu'il se peut le nombre de ses éléments, et cependant, au fur et à mesure qu'elle progresse, elle voit ce nombre grandir.

CHAPITRE III : LA DÉDUCTION MATHÉMATIQUE ET LA THÉORIE PHYSIQUE

190 TRADUCTION MATHÉMATIQUE DE/VERS LE FAIT

à son point de départ, comme à son point d'arrivée, **le développement mathématique d'une théorie physique ne peut se souder aux faits observables que par une traduction.**

Commentaire. Il nous semble pertinent d'éclairer ces premières citations à la lumière du *Tractatus* de WITTGENSTEIN, en particulier du point 6.124 : « **Les propositions logiques décrivent l'échafaudage du monde**, ou plutôt elles le figurent. **Elles ne « traitent » de rien.** Elles présupposent que les noms ont une signification et les propositions élémentaires un sens : et c'est là leur connexion au monde. ».

203 APPROXIMATION MATHÉMATIQUE

une déduction mathématique n'est pas utile au physicien tant qu'elle se borne à affirmer que telle proposition, *rigoureusement* vraie, a pour conséquence l'exactitude *rigoureuse* de telle autre proposition. Pour être utile au physicien, il lui faut encore prouver que la seconde proposition reste *à peu près* exacte lorsque la première est seulement *à peu près* vraie. Et cela ne suffit pas encore : il lui faut délimiter l'amplitude de ces deux à-peu-près ; il lui faut fixer les bornes de l'erreur qui peut être commise sur le résultat, lorsque l'on connaît le degré de précision des méthodes qui ont servi à mesurer les données ; il lui faut définir le degré d'incertitude qu'on pourra accorder aux données lorsqu'on voudra connaître le résultat avec une approximation déterminée.

Telles sont les conditions rigoureuses qu'on est tenu d'imposer à la déduction mathématique si l'on veut que cette langue, d'une précision absolue, puisse traduire, sans le trahir le langage du physicien ; car les termes de ce dernier langage sont et seront toujours vagues et imprécis, comme les perceptions qu'ils doivent exprimer. À ces conditions, mais ces conditions seulement, on aura une représentation mathématique de l'*à-peu-près*.

CHAPITRE VI : L'EXPÉRIENCE DE PHYSIQUE

205-206 VÉRITÉ THÉORIQUE & CONCORDANCE

Le but de toute théorie physique est la représentation des lois expérimentales ; les mots *vérité*, *certitude*, n'ont, au sujet d'une telle théorie, qu'une seule signification : ils expriment la concordance entre les conclusions de la théorie et les règles établies par les observateurs.

209 EXPÉRIENCE PHYSIQUE & TRADUCTION SYMBOLIQUE

Une expérience de Physique est l'observation précise d'un groupe de phénomènes accompagnée de l'INTERPRÉTATION de ces phénomènes ; cette interprétation substitue aux données concrètes réellement

recueillies par l'observation des représentations abstraites et symboliques qui leur correspondent en vertu des théories admises par l'observateur.

Commentaire. Le terme « interprétation », qui désigne l'opération fondant la réalité en symboles, nous paraît très malheureux car il nous semble désigner l'opération en sens *exactement* opposé : interpréter, c'est *donner du sens* à des symboles. Symboliser le sens, c'est le dénaturer afin de pouvoir en tenir un discours rationnel : l'on obtient alors un *modèle* de ce sens. Nous préférons par conséquent parler de *modélisation* pour la traduction réalité→symboles, réservant, comme en musique, l'*interprétation* pour la traduction symboles→réalité.

214-215 FAIT CONCRET & FAIT THÉORIQUE : FORMULATION & INTERPRÉTATION

Cette disparité entre le *fait pratique*, réellement observé, et le *fait théorique*, c'est-à-dire la formule symbolique et abstraite énoncée par le physicien, s'est manifestée à nous par cela que des faits concrets très différents peuvent se fondre les uns dans les autres lorsqu'ils sont interprétés par la théorie, ne plus constituer qu'une même expérience, et s'exprimer par un énoncé symbolique unique : *À un même fait théorique peuvent correspondre une infinité de faits pratiques distincts.*

Cette même disparité se traduit encore à nos yeux par cette autre conséquence : *À un même fait pratique peuvent correspondre une infinité de faits théoriques logiquement incompatibles* ; à un même ensemble de faits concrets, on peut faire correspondre, en général, non pas un seul jugement symbolique, mais une infinité de jugements différents les uns les autres et qui, logiquement, se contredisent l'un l'autre.

[...]

Entre le fait théorique, précis et rigoureux, et le fait pratique aux contours vagues et indécis comme tout ce que nous révèlent nos perceptions, il ne peut y avoir adéquation ; voilà pourquoi un même fait pratique, peut correspondre à une infinité de faits théoriques. [...]

Un fait théorique unique peut donc se traduire par une infinité de faits pratiques disparates ; un fait pratique unique correspond à une infinité de faits théoriques incompatibles ; cette double constatation fait éclater aux yeux la vérité que nous voulions mettre en évidence : *Entre les phénomènes réellement constatés au cours d'une expérience et le résultat de cette expérience, formulée par le physicien, s'intercale une élaboration intellectuelle très complexe qui, à un récit de faits concrets, substitue un jugement abstrait et symbolique.*

217 USAGE DES INSTRUMENTS : NÉCESSITÉ DE TRADUIRE THÉORIQUEMENT LES PHÉNOMÈNES

L'exemple choisi est emprunté à l'un des instruments les plus simples et les plus grossiers de la Physique : néanmoins, est-il bien vrai qu'on puisse user de cet instrument sans faire aucun appel aux théories de la Dioptrique ? Les objets vus à la loupe paraissent cernés des couleurs de l'arc-en-ciel ; n'est-ce pas la théorie de la dispersion qui nous apprend à regarder ces couleurs comme créées par l'instrument, à en faire abstraction lorsque nous décrivons l'objet observé ? Et combien cette remarque devient plus grave s'il s'agit non plus d'une simple loupe, mais d'un microscope puissant ! À quelles singulières erreurs on s'exposerait parfois, si l'on attribuait naïvement aux objets observés la forme et la couleur que l'instrument nous révèle, si une discussion, tirée des théories optiques, ne nous permettait de faire la part des apparences et de la réalité !

220 NÉCESSITÉ DE TRADUIRE THÉORIQUEMENT LES INSTRUMENTS

Lorsqu'un physicien fait une expérience, deux représentations bien distinctes de l'instrument sur lequel il opère occupent simultanément son esprit : l'une est l'image de l'instrument concret qu'il manipule en réalité ; l'autre est un type schématique du même instrument, construit au moyen de symboles fournis par les théories ; et c'est sur cet instrument idéal et symbolique qu'il raisonne, c'est à lui qu'il applique les lois et les formules de la Physique.

221 CORRECTION DES INSTRUMENTS

L'instrument schématique n'est pas et ne peut pas être l'exact équivalent de l'instrument réel ; mais on conçoit qu'après avoir raisonné sur un instrument schématique trop simple et trop éloigné de la réalité, le physicien cherche à lui substituer un schéma plus compliqué, mais plus ressemblant ; ce passage d'un certain instrument schématique à un autre qui symbolise mieux l'instrument concret, c'est essentiellement l'opération que désigne, en Physique, le mot *correction*.

226 QUERELLES INUTILES & INSENSÉES

Que de discussions scientifiques où chacun des deux tenants prétend écraser son adversaire sous le témoignage irrécusable des faits ! On s'oppose l'un à l'autre dans des observations contradictoires. *La contradiction n'est pas dans la réalité, toujours d'accord avec elle-même* ; elle est entre les théories par lesquelles chacun des deux champions exprime cette réalité. Que de propositions regardées comme de monstrueuses erreurs dans les écrits de ceux qui nous ont précédés ! On les célébrerait peut-être comme de grandes vérités, si l'on

voulait bien s'enquérir des théories qui donnent leur vrai sens à ces propositions, si l'on prenait soin de les traduire dans la langue des théories prônées aujourd'hui.

227-229 DEGRÉ D'APPROXIMATION D'UNE EXPÉRIENCE = DEGRÉ D'INDÉTERMINATION DE LA TRADUCTION

L'expérimentateur a employé, pour interpréter ses observations, des théories que nous acceptons comme lui, il a correctement appliqué, au cours de cette interprétation, les règles que prescrivent ces théories ; il a minutieusement étudié et décrit l'appareil dont il a fait usage ; il a éliminé les causes d'erreur systématiques ou en a corrigé les effets ; ce n'est pas encore assez pour que nous puissions accepter le résultat de son expérience. Les propositions abstraites et mathématiques que les théories font correspondre aux faits observés ne sont pas, nous l'avons dit, entièrement déterminés, aux mêmes faits peuvent correspondre une infinité de propositions différentes, aux mêmes mesures une infinité d'évaluations s'exprimant par des nombres différents ; **le degré d'indétermination de la proposition abstraite, mathématique, par laquelle s'exprime le résultat d'une expérience, c'est ce qu'on nomme le degré d'approximation de cette expérience.** [...]

L'appréciation du degré d'approximation d'une expérience est donc une œuvre d'une extrême complexité ; souvent il est difficile d'y tenir un ordre entièrement logique ; le raisonnement doit alors faire place à cette qualité rare et subtile, à cette sorte d'instinct ou de flair qui se nomme sens expérimental, apanage de l'esprit de finesse plutôt que l'esprit géométrique.

229/231 EXPÉRIENCE PHYSIQUE & EXPÉRIENCE VULGAIRE

Le résultat d'une expérience de Physique n'a pas une certitude de même ordre qu'un fait constaté par des méthodes non scientifiques, par la simple vue ou le simple toucher d'un homme sain de corps et d'esprit ; moins immédiatement, soumise à des discussions auxquelles échappe le témoignage vulgaire, **cette certitude demeure toujours subordonnée à la confiance qu'inspire tout un ensemble de théories.**

[...]

Le profane croit que le résultat d'une expérience scientifique se distingue de l'observation vulgaire par un plus haut degré de certitude ; il se trompe, car la relation d'une expérience de Physique n'a pas la certitude immédiate et relativement facile à contrôler du témoignage vulgaire et non scientifique. Moins certaine que ce dernier, elle a le pas sur lui par le nombre et la précision des détails qu'elle nous fait connaître ; là est sa véritable et essentielle supériorité

[...]

Si donc l'interprétation théorique enlève aux résultats de l'expérience de Physique la certitude immédiate que possèdent les données de l'observation vulgaire, en revanche, c'est l'interprétation théorique qui permet à l'expérience scientifique de pénétrer bien plus avant que le sens commun dans l'analyse détaillée des phénomènes, d'en donner une description dont la précision dépasse de beaucoup l'exactitude du langage courant.

Commentaire. Le dernier paragraphe possède une pénétrante généralité qui dépasse le simple cadre de la Physique. Le discours rationnel est dénué de sens s'il porte sur les *phénomènes* ; son utilisation n'est légitimée que par l'*idéalité* des objets dont il traite. Tout le problème vient du lien entre les données sensibles, que l'on souhaite connaître, et leurs idéalizations, seuls objets qu'un discours rationnel peut prétendre atteindre.

CHAPITRE V : LA LOI PHYSIQUE

237-238 / 241 / 246-247 / 249-251 DÉFINITION, VÉRITÉ & ACCEPTABILITÉ D'UNE LOI PHYSIQUE

Une loi physique est une relation symbolique dont l'application à la réalité concrète exige que l'on connaisse et que l'on accepte tout un ensemble de théories.

[...]

or, un symbole n'est, à proprement parler, ni vrai ni faux ; il est plus ou moins bien choisi pour signifier la réalité qu'il représente, il a figure d'une manière plus ou moins précisée, plus ou moins détaillée ; mais, appliqués à un symbole, les mots vérité, erreur, n'ont plus sens ; aussi, **à celui qui demande si telle loi de Physique est vraie ou fausse, le logicien qui a souci du sens stricte des mots sera obligé de répondre : Je ne comprends pas votre question.** [...]

Le physicien préférera surtout un loi à une autre lorsque la première découlera des théories qu'il admet ; il demandera, par exemple, à la théorie de l'attraction universelle quelles formules il doit préférer parmi toutes celles qui pourraient représenter le mouvement du Soleil ; mais les théories physiques ne sont qu'un moyen de classer et de relier entre elles les lois approchées auxquelles les expériences sont soumises, **les théories ne peuvent donc modifier la nature de ces lois expérimentales, elles ne peuvent leur conférer la vérité absolue.**

Ainsi, toute loi physique est une loi approchée ; par conséquent, pour le strict logicien, elle ne peut être ni vraie ni fausse ; toute autre loi qui représente les mêmes expériences avec la même approximation peut

prétendre, aussi justement que la première, au titre de loi véritable ou, pour parler plus exactement, de loi acceptable.

[...] Une telle loi est toujours provisoire ; non pas qu'il faille entendre par là qu'une loi de Physique est vraie pendant un certain temps et fausse ensuite, car elle n'est à aucun moment ni vraie ni fausse, elle est provisoire parce qu'elle représente les faits auxquels elle s'applique avec une approximation que les physiciens jugent actuellement suffisante, mais qui cessera quelque jour de les satisfaire. Une telle loi est toujours relative ; non pas qu'elle soit vraie pour un physicien et fausse pour un autre, mais parce que l'approximation qu'elle comporte suffit à l'usage qu'en veut faire le premier physicien et point à l'usage qu'en veut faire le second.

Le symbole mathématique forgé par la théorie s'applique à la réalité comme l'amure au corps d'un chevalier bardé de fer ; plus l'armure est compliquée, plus le métal rigide semble prendre de souplesse ; la multitude des pièces qui s'imbriquent comme des écailles assure un contact plus parfait entre l'acier et les membres qu'il protège, mais, si nombreux que soient les fragments qui la composent, jamais l'armure n'épousera exactement le modelé du corps humain.

[...]

Les lois de la Physique sont donc provisoires en ce que les symboles sur lesquels elles portent sont trop simples pour représenter complètement la réalité ; toujours il se trouve des circonstances où le symbole cesse de figurer les choses concrètes, où la loi cesse d'annoncer exactement les phénomènes, l'énoncé de la loi doit donc être accompagné de restrictions qui permettent d'éliminer ces circonstances ; ces restrictions, ce sont les progrès de la Physique qui les font connaître, jamais il n'est permis d'affirmer qu'un en possède l'énumération complète, que la liste dressée ne subira aucune addition ni aucun retouche.

[...] à toute loi que formulera la Physique, la réalité opposera, tôt ou tard, le brutal démenti d'un fait ; mais, infatigable, la Physique retouchera, modifiera, compliquera la loi démentie, pour la remplacer par une loi plus compréhensive, où l'exception soulevée par l'expérience, aura, à son tour, trouvé sa règle.

C'est par cette lutte incessante, c'est par ce travail qui, continuellement, complète les lois afin d'y faire rentrer les exceptions, que la Physique progresse. [...] La Physique ne progresse pas comme la Géométrie, qui ajoute de nouvelles propositions définitives et indiscutables aux propositions définitives et indiscutables qu'elle possédait déjà ; elle progresse parce que, sans cesse, l'expérience fait éclater de nouveaux désaccords entre les lois et les faits, et que, sans cesse, les physiciens retouchent et modifient les lois pour qu'elles représentent plus exactement les faits.

[...]

Les lois scientifiques, fondées sur les expériences de Physique, sont des relations symboliques dont le sens demeurerait inintelligible à qui ignorerait les théories physiques. Étant symboliques, elles ne sont jamais ni vraies ni fausses, comme les expériences sur lesquelles elles reposent, elles sont approchées. L'approximation d'une loi, suffisante aujourd'hui, deviendra insuffisante dans l'avenir, par le progrès des méthodes expérimentales ; suffisante pour les besoins d'un physicien, elle ne satisfait pas au désir d'un autre ; en sorte qu'une loi de Physique est toujours provisoire et relative ; elle est provisoire aussi, en ce qu'elle ne relie pas des réalités, mais des symboles, et qu'il est toujours des cas où le symbole ne correspond plus à la réalité ; les lois de la Physique ne peuvent être maintenues que par un travail continu de retouches et de modifications.

[...]

L'homme peut jurer de dire la vérité ; mais il n'est pas en son pouvoir de dire toute la vérité, de ne dire rien que la vérité. « La vérité est une pointe si subtile que nos instruments sont trop émoussés pour y toucher exactement. S'ils y arrivent, ils en cachent la pointe, et appuient tout autour, plus sur le faux que sur le vrai » [Pascal, *Pensées*, éd. Havet, art. III, N°3].

CHAPITRE VI : LA THÉORIE PHYSIQUE ET L'EXPÉRIENCE

254-257 L'ŒIL OBSERVATEUR DOIT ÊTRE IMPARTIAL MAIS LES INSTRUMENTS DE MESURE NE PEUVENT L'ÊTRE

tant que dure l'expérience, la théorie doit demeurer à la porte, sévèrement consignée, du laboratoire ; elle doit garder le silence et laisser, sans le troubler, le savant face à face avec les faits, ceux-ci doivent être observés sans idée préconçue, recueillis avec la même impartialité minutieuse, soit qu'ils confirment les prévisions de la théorie, soit qu'ils les contredisent ; la relation que l'observateur nous donnera de son expérience doit être un décalque fidèle et scrupuleusement exact des phénomènes, elle ne doit pas même nous laisser deviner quel est le système en lequel le savant a confiance, lequel est celui dont il se méfie.

[...]

[extrait de Claude Bernard, *Introduction à la Médecine expérimentale*]

« La conclusion de tout ceci est qu'il faut effacer son opinion aussi bien que celle des autres devant les décisions de l'expérience, ... qu'il faut accepter les résultats de l'expérience tels qu'ils se présentent, avec tout leur imprévu et leurs accidents. »

[...]

Une telle règle n'est point aisée à suivre : elle exige du savant un détachement absolu de son propre sentiment, une complète absence d'animosité à l'encontre de l'opinion d'autrui ; la vanité comme l'envie de

doivent pas monter jusqu'à lui ; comme dit Bacon, « il ne doit jamais avoir l'œil humecté par les passions humaines ». La liberté d'esprit qui constitue, selon Claude Bernard, le principe unique de la méthode expérimentale, ne dépend pas seulement de conditions intellectuelles, mais aussi de conditions morales qui en rendent la pratique plus rare et plus méritoire

Mais [...] [en physique], il ne peut plus être question de laisser à la porte du laboratoire la théorie qu'on veut éprouver, car, sans elle, il n'est pas possible de régler un seul instrument, d'interpréter une seule lecture [...]. Cette impossibilité radicale, qui empêche de dissocier les théories de la Physique d'avec les procédés expérimentaux propres à contrôler ces mêmes théories, complique singulièrement ce contrôle et nous oblige à en examiner minutieusement le sens logique.

[...] Au point de vue logique, la différence est de peu d'importance ; pour le physiologiste, pour le chimiste, comme pour le physicien, l'énoncé du résultat d'une expérience implique, général, un acte de fois en tout un ensemble de théories.

259-260 / 262-263 / 278 CARACTÈRE ORGANIQUE / ENTIER DE LA THÉORIE PHYSIQUE

Un physicien se propose de démontrer l'inexactitude d'une proposition, pour déduire de cette proposition la prévision d'un phénomène, pour instituer l'expérience qui doit montrer si ce phénomène se produit ou ne se produit pas, pour interpréter les résultats de cette expérience et constater que le phénomène prévu ne s'est pas produit, il ne se borne pas à faire usage de la proposition en litige ; il emploie encore tout un ensemble de théories, admises par lui sans conteste ; la prévision du phénomène dont la non-production doit trancher le débat ne découle pas de la proposition litigieuse prise isolément, mais de la proposition litigieuse jointe à tout cet ensemble de théories ; **si le phénomène prévu ne se produit pas, ce n'est pas la proposition litigieuse seule qui est mise en défaut, c'est tout l'échafaudage théorique dont le physicien a fait usage** ; la seule chose que nous apprenne l'expérience, c'est que, parmi toutes les propositions qui ont servi à prévoir ce phénomène et à constater qu'il ne se produisait pas, il y a au moins une erreur ; mais où gît cette erreur, c'est ce qu'elle ne vous dit pas. Le physicien déclare-t-il que cette erreur est précisément contenue dans la proposition qu'il voulait réfuter et non pas ailleurs ? C'est qu'il admet implicitement l'exactitude de toutes les autres propositions dont il a fait usage ; tant vaut cette confiance, tant vaut sa conclusion.

[...]

En résumé, le physicien ne peut jamais soumettre au contrôle de l'expérience une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble d'hypothèses ; lorsque l'expérience est en désaccord avec ses prévisions, elle lui apprend que l'une au moins des hypothèses qui constituent cet ensemble est inacceptable et doit être modifiée ; mais elle ne lui désigne pas celle qui doit être changée.

[...] la science physique, c'est un système que l'on doit prendre tout entier ; c'est un organisme dont on ne peut fonctionner une partie sans que les parties les plus éloignées de celle-là entrent en jeu, les unes plus, les autres moins, toutes à quelque degré ; si quelque gêne, quelque malaise se révèle, dans ce fonctionnement, c'est par l'effet produit sur le système tout entier que le physicien devra deviner l'organe qui a besoin d'être redressé ou modifié, sans qu'il lui soit possible d'isoler cet organe et de l'examiner à part. [...] le médecin auquel on présente un malade ne peut le disséquer pour établir son diagnostic ; il doit deviner le siège et la cause de mal par la seule inspection des désordres qui affectent le corps entier. C'est à celui-ci, non à [l'horloger], que ressemble le physicien chargé de redresser une théorie boiteuse.

[...]

Chercher à séparer chacune des hypothèses de la Physique théorique des autres suppositions sur lesquelles repose cette science, afin de la soumettre isolément au contrôle de l'observation, c'est poursuivre une chimère ; car la réalisation et l'interprétation de n'importe quelle expérience de Physique impliquent adhésion à tout un ensemble de propositions théoriques.

Le seul contrôle expérimental de la théorie physique qui ne soit pas illogique consiste à comparer le SYSTÈME TOUT ENTIER DE LA THÉORIE PHYSIQUE A TOUTE L'ENSEMBLE DES LOIS EXPÉRIMENTALES, et à juger si celui-ci est représenté par celui-là d'une manière

Commentaire. Un peu de vécu, un oral de physique aux ÉNS. On me demande la masse d'une planète à partir d'une loi de Képler. Après application numérique : « c'est ça qu'on doit trouver mais en fait la vraie masse est deux fois moindre : comment expliquez-vous cela ? ». Et moi de répondre : « et bien c'est votre modèle qui est faux ». Réponse attendue : la planète avait des trous. Ben voyons.

266 PAS DE SHERLOCK HOLMES EN PHYSIQUE

La contradiction expérimentale n'a pas, comme la réduction à l'absurde employée par les géomètres, le pouvoir de transformer une hypothèse physique en une vérité incontestable ; pour le lui conférer, il faudrait énumérer complètement les diverses hypothèses auxquelles un groupe déterminé de phénomènes peut donner lieu, or, le physicien, n'est jamais sûr d'avoir épuisé toutes les suppositions imaginables ; la vérité d'une théorie physique ne se décide pas à croix ou pile.

274-275 MODÉLISER

Les faits d'expérience, pris dans leur brutalité native, ne sauraient servir au raisonnement mathématique ; pour alimenter ce raisonnement, ils doivent être transformés et mis sous forme symbolique. [...]

La nécessité où se trouve le physicien de traduire symboliquement les faits d'expérience avant de les introduire dans ses raisonnements lui rend impraticable la voie purement inductive qu'Ampère a tracée ; cette voie lui est également interdite parce que chacune des lois observées n'est point exacte, mais simplement approchée.

276-277 DE INTUITION (ET NON DE L'EXPÉRIENCE) POUR CRÉER UNE THÉORIE

Des expériences aussi peu précises laissent au physicien le soin de choisir entre une infinité de traductions symboliques également possibles ; elles ne confèrent aucune certitude à un choix qu'elles n'imposent nullement ; seule, l'intuition, qui devine la forme de la théorie à établir, dirige ce choix. Ce rôle de l'intuition est particulièrement important dans l'œuvre d'Ampère ; il suffit de parcourir les écrits de ce grand géomètre pour reconnaître que sa formule fondamentale de l'Électrodynamique a été trouvée tout entière par une sorte de divination, que les expériences invoquées par lui ont été imaginées après coup, et combinées tout exprès, afin qu'il pût exposer selon la méthode newtonienne une théorie qu'il avait construite par une série de postulats.

[...] Bien loin donc que la théorie électrodynamique d'Ampère ait été *entièrement déduite de l'expérience*, l'expérience n'a eu qu'une part très faible à sa formation ; elle a été simplement l'occasion qui a éveillé l'intuition du physicien de génie, et cette intuition a fait le reste.

280-281 EXPÉRIENCE FICTIVE

Obligé d'invoquer un principe qui, en réalité, n'a point été tiré des faits, qui n'a point été engendré par l'induction ; répugnant, d'ailleurs, à donner ce principe pour ce qu'il est, c'est-à-dire pour un postulat, le physicien imagine une expérience qui, si elle était exécutée et si elle réussissait, pourrait conduire au principe qu'on souhaite de justifier.

Invoquer une telle expérience fictive, c'est donner une expérience à faire pour une expérience faite ; c'est justifier un principe non pas au moyen de faits observés, mais de faits dont on prédit la réalisation ; et cette prédiction n'a d'autre fondement que la croyance au principe à l'appui duquel on l'invoque, un tel procédé de démonstration entraîne celui qui s'y fie dans un cercle vicieux ; et celui qui l'enseigne sans préciser que l'expérience citée n'a pas été faite comme un acte de mauvaise foi.

282-284 POSTULATS FICTIFS

Prenons cette proposition : « Il n'y a aucune électricité à l'intérieur d'un corps conducteur lorsque l'équilibre électrique est établi », et demandons-nous s'il est possible de la regarder comme l'énoncé d'un fait d'expérience. [...] De peur de fonder l'Électrostatique sur un postulat, on la fonde sur un calembour.

[...] L'enseignement de la Physique par la méthode purement inductive, telle que l'a définie Newton, est une chimère. Celui qui prétend saisir cette chimère se leurre et leurre ses élèves. Il leur donne pour faits vus des faits simplement prévus ; pour observations précises, les constatations grossières ; pour précédés réalisables, des expériences purement idéales ; pour lois expérimentales, des propositions dont les termes ne peuvent, sans contradiction, être pris comme exprimant des réalités. La physique qu'il expose est une Physique faussée et falsifiée.

[...] Si l'interprétation de la moindre expérience de Physique suppose l'emploi de tout un ensemble de théories, si la description même de cette expérience exige une foule d'expressions abstraites, symboliques, dont les théories seules fixent le sens et marquent la correspondance avec les faits, il faudra bien que le physicien se résolve à développer une longue chaîne d'hypothèses et de déductions avant de tenter la moindre comparaison entre l'édifice théorique et la réalité concrète [...].

Que le professeur développe donc, en premier lieu, les théories essentielles de la Science ; sans doute, en présentant les hypothèses sur lesquelles reposent ces théories, il est nécessaire qu'il en prépare l'acceptation ; il est bon qu'il signale les données du sens commun, les faits recueillis par l'observation vulgaire, les expériences simples ou encore peu analysées qui ont conduit à formuler ces hypothèses ; sur ce point, d'ailleurs, nous reviendrons avec insistance au prochain Chapitre ; mais il doit proclamer bien haut que ces faits, suffisants pour suggérer les hypothèses, ne le sont pas pour les vérifier ; c'est seulement après qu'il aura constitué un corps étendu de doctrine, après qu'il aura construit une théorie complète, qu'il pourra comparer à l'expérience les conséquences de cette théorie.

L'enseignement doit faire saisir à l'élève cette vérité capitale : **Les vérifications expérimentales ne sont pas la base de la théorie ; elles en sont le couronnement** [...].

À l'élève qui n'aura pas aperçu cette vérité, la Physique apparaîtra comme un monstrueux fatras de pétitions de principes et de cercles vicieux ; si son esprit est doué d'une grande justesse, il repoussera avec horreur ces perpétuels défis à la logique ; si la justesse de son intelligence est moindre, il apprendra par cœur ces

mots au sens imprécis, ces descriptions d'expériences irréalisées et irréalisables, ces raisonnements qui sont des tours de passe-passe, perdant à ce travail de mémoire irraisonnée le peu de sens droit et d'esprit critique qu'il possédait.

285-289 NAISSANCE ET DÉVELOPPEMENT D'UNE THÉORIE PHYSIQUE : CARACTÈRE EXCLUSIVEMENT ET PLEINEMENT MATHÉMATIQUE, À L'EXCEPTION DE SES CONCLUSIONS À CONFRONTER À LA RÉALITÉ

Les matériaux avec lesquelles [la théorie physique] se construit sont, d'un côté, les symboles mathématiques qui lui servent à représenter les diverses quantités et les diverses qualités du monde physique ; de l'autre côté, les postulats généraux qui lui servent de principes. Avec ces matériaux, elle doit bâtir un édifice logique, elle est donc tenue, en traçant le plan de cet édifice, de respecter scrupuleusement les lois que la Logique impose à tout raisonnement déductif, les règles que l'Algèbre prescrit à toute opération mathématique.

[...]

La théorie a pour principe des *postulats*, c'est-à-dire des propositions qu'il lui est loisible d'énoncer comme il lui plaît, pourvu qu'il n'y ait contradiction ni entre les termes d'un même postulat, ni entre deux postulats distincts. Mais **une fois ces postulats posés, elle est tenue de les garder avec une jalouse rigueur**. Si, par exemple, elle a placé le principe de la conservation de l'énergie à la base de son système, elle doit s'interdire toute affirmation en désaccord avec ce principe.

[...] *AU COURS DE SON DÉVELOPPEMENT, une théorie physique est libre de choisir la voie qui lui plaît, pourvu qu'elle évite toute contradiction logique ; en particulier, elle est libre de ne tenir aucun compte des faits d'expérience.*

Il n'en est plus de même LORSQUE LA THÉORIE A ATTEINT SON ENTIER DÉVELOPPEMENT. Lorsque l'édifice logique est parvenu au faite, il devient nécessaire de comparer l'ensemble des propositions mathématiques, obtenues comme conclusions de ces longues déductions, à l'ensemble des faits d'expérience ; moyennant l'emploi des procédés de mesure adaptés, il faut s'assurer que le second ensemble trouve, dans le premier, une image suffisamment ressemblante, un symbole suffisamment précis et complet. Si cet accord entre les conclusions de la théorie et les faits d'expérience ne se manifestait pas avec une approximation satisfaisante, la théorie pourrait bien être logiquement construite ; elle n'en devrait pas moins être rejetée, parce qu'elle serait contredite par l'observation, parce qu'elle serait *physiquement* fautive.

Cette comparaison entre les conclusions de la théorie et les vérités d'expérience est donc indispensable, puisque seul le contrôle des faits peut donner à la théorie une valeur physique ; mais ce contrôle des faits doit frapper exclusivement les conclusions de la théorie, car, seules, elles se donnent pour image de la réalité ; **les postulats qui servent de points de départ à la théorie, les intermédiaires par lesquels on passe des postulats aux conclusions n'ont pas à lui être soumis.**

[...] [une autre erreur] consiste à exiger que toutes les opérations faites par le mathématicien au cours de déductions qui relient les postulats aux conclusions aient *un sens physique* ; à ne vouloir « raisonner que sur des opérations réalisables », à « n'introduire que des grandeurs accessibles à l'expérience ».

[...]

En exigeant que les opérations mathématiques par lesquelles les postulats produisent leurs conséquences aient toujours un sens physique, on impose au géomètre d'insupportables entraves qui paralysent toutes ses démarches ; avec G. Robin, il en vient jusqu'à redouter l'emploi du calcul différentiel ; en fait, s'il se piquait de satisfaire sans cesse et scrupuleusement à cette exigence, il ne pourrait presque plus développer aucun calcul ; dès ses premiers pas, la déduction théorique se trouverait arrêtée. **Une idée plus exacte de la méthode physique, une plus juste démarcation entre les propositions qui ont à se soumettre au contrôle des faits et celles qui en sont dispensés, rendront au géomètre toute sa liberté et lui permettront d'user, pour le plus grand développement des théories physiques, de toutes les ressources de l'Algèbre.**

291 LANGUE SCIENTIFIQUE ET LANGUE DU SENS COMMUN

Les mots « chute libre d'un corps grave » ont maintenant deux sens distincts. Pour l'homme ignorant des théories physiques, ils ont leur signification *réelle*, ils signifient ce que le sens commun entend en les prononçant ; pour le physicien, ils ont un sens *symbolique*, ils signifient : « chute uniformément accélérée ». **La théorie n'aurait pas rempli son but si le second sens n'était point signe du premier**, si une chute, regardée comme libre par le sens commun, n'était pas également une chute d'accélération uniforme, ou à peu près uniforme, les constatations du sens commun étant essentiellement, nous l'avons dit, des constatations dénuées de précision.

Commentaire. Il en est évidemment de même avec la langue *mathématique* et la langue usuelle : le mot « vecteur », par exemple, doit en mathématique évoquer le sens commun de « ce qui porte », « ce qui donne une direction ». (Ce parallèle n'a de sens qu'à supposer l'existence d'un monde de « phénomènes » mathématiques, ce qui ne semble poser aucun problème à ceux qui identifient confusément ces phénomènes aux écritures symboliques les signifiant, pratique apparemment universelle avant l'avènement de la logique et encore très répandue aujourd'hui.)

298 NON-SENS DE LA DENSITÉ DES RATIONNELS DANS LES RÉELS

Un énoncé mathématique n'a de sens physique que s'il garde une signification lorsqu'on y introduit les mots : *à peu près*. Ce n'est pas le cas des énoncés que nous venons de rappeler. Ils ont, en effet, pour objet d'affirmer que certains rapports sont des nombres *commensurables*. Ils dégénéreraient en simples truismes si on leur faisait déclarer que ces rapports sont *à peu près commensurables* ; car un rapport incommensurable quelconque est toujours à peu près commensurable ; il est même aussi près qu'on veut d'être commensurable.

300 LES ÉNONCÉS NON INTERPRÉTABLES DANS LA RÉALITÉ SONT QUAND MÊME TESTÉS PAR CETTE DERNIÈRE

En vérité, les hypothèses qui n'ont par elles-mêmes aucun sens physique subissent le contrôle de l'expérience exactement de la même manière que les autres hypothèses. Quelle que soit la nature d'une hypothèse, jamais, nous l'avons vu au début de ce Chapitre, elle ne peut être isolément contredite par l'expérience, la contradiction expérimentale porte toujours, en bloc, sur tout un ensemble théorique, sans que rien ne puisse désigner quelle est, dans cet ensemble, la proposition qui doit être rejetée.

Ainsi s'évanouit ce qui aurait pu sembler paradoxal en cette affirmation : Certaines théories physiques reposent sur des hypothèses qui n'ont, par elles-mêmes, aucun sens physique.

300-302 LE BON SENS

Lorsque l'expérience frappe de contradiction certaines conséquences d'une théorie, celle nous enseigne que cette théorie doit être modifiée, mais elle ne nous dit pas ce qu'il y faut changer. Elle laisse à la sagacité du physicien le soin de rechercher la tare qui rend boiteux tout le système. Aucun principe absolu ne guide cette recherche que des physiciens différents peuvent mener de manières fort diverses, sans avoir le droit de s'accuser réciproquement d'illogisme. L'un, par exemple, peut s'obliger à sauvegarder certaines hypothèses fondamentales, tandis qu'il s'efforce, en compliquant le schéma auquel ces hypothèses s'appliquent, en invoquant des causes d'erreur variées, en multipliant les corrections, de rétablir l'accord entre les conséquences de la théorie et les faits. L'autre, dédaignant ces chicanes compliquées, peut se résoudre à changer quelque une des suppositions essentielles qui portent le système entier. Le premier n'a point le droit de condamner d'avance l'audace du second, ni le second de traiter d'absurde la timidité du premier. Les méthodes qu'ils suivent ne sont justiciables que de l'expérience et, s'ils parviennent tous deux à satisfaire aux exigences de l'expérience, il est *logiquement* permis à l'un comme à l'autre de se déclarer content de l'œuvre qu'il accomplit.

Cela ne veut point dire qu'on ne puisse très justement préférer l'œuvre de l'un à l'œuvre de l'autre : la pure logique n'est point la seule règle de nos jugements ; certaines opinions, qui ne tombent point sous le coup du principe de contradiction sont, toutefois, parfaitement déraisonnables ; ces motifs qui ne découlent pas de la logique et qui, cependant, dirigent notre choix, ces « raisons que la raison ne connaît pas », qui parlent à l'esprit de finesse et non à l'esprit géométrique, constituent ce qu'on appelle proprement le *bon sens*.

Or, il se peut que le *bon sens* nous permette de décider entre nos deux physiciens. Il se peut que nous ne trouvions point sensées la hâte avec laquelle le second bouleverse les principes d'une théorie vase et harmonieusement construite, alors qu'une modification de détail, une légère correction auraient suffi à mettre ces théories d'accord avec les faits. Il se peut, au contraire, que nous trouvions puérile et déraisonnable l'obstination avec laquelle le premier physicien maintient coûte que coûte, au prix de continuelles réparations et d'un fouillis d'états enchevêtrés, les colonnes vermoulues d'un édifice qui branle de toutes parts, alors qu'en jetant bas ces colonnes, il serait possible de construire, sur de nouvelles hypothèses, un système simple, élégant et solide.

Mais ces raisons de bon sens ne s'imposent par avec la même implacable rigueur que les prescriptions de la logique ; elles ont quelque chose de vague et de flottant ; elles ne se manifestent pas en même temps, avec la même clarté, à tous les esprits. De là, la possibilité de longues querelles entre les tenants d'un ancien système et les partisans d'une doctrine nouvelle, chaque camp prétendant avoir le bon sens pour lui, chaque parti fournissant les raisons de l'adversaire. De ces querelles, l'histoire de la Physique nous fournirait d'innombrables exemples, à toutes les époques, dans tous les domaines. Bornons-nous à rappeler la ténacité et l'ingéniosité avec lesquelles Biot, par un continuel apport de corrections et d'hypothèses accessoires, maintenait en Optique la doctrine émissionniste, tandis que Fresnel opposait sans cesse à cette doctrine de nouvelles expériences favorables à la théorie ondulatoire.

Toutefois, cet état d'indécision n'a jamais qu'un temps. Un jour vient où le bon sens se déclare si clairement en faveur d'un des deux partis que l'autre parti renonce à la lutte, alors même que la pure logique n'en interdirait pas la continuation. Après que l'expérience de Foucault eut montré que la lumière se propageait plus vite dans l'air que dans l'eau, Biot renonça à soutenir l'hypothèse de l'émission ; en toute rigueur, la pure logique ne l'eût point contraint à cet abandon, car l'expérience de Foucault n'était point l'*experimentum crucis* qu'Arago y croyait reconnaître ; mais en résistant plus longtemps à l'Optique vibratoire, Biot aurait *manqué de bon sens*.

Puisque le moment où une hypothèse insuffisante doit céder la place à une supposition plus féconde n'est pas marqué avec une rigoureuse précision par la logique, puisqu'il appartient au bon sens de reconnaître ce moment, les physiciens peuvent hâter ce jugement et accroître la rapidité du progrès scientifique en s'efforçant de rendre eux-mêmes le bon sens plus lucide et plus vigilant. Or, rien ne contribue d'avantage à entraver le bon sens, à en troubler la clairvoyance, que les passions et les intérêts. Rien donc ne retardera la décision qui doit, en

une théorie physique, déterminer une heureuse réforme, comme la vanité qui rend le physicien trop indulgent à son propre système, trop sévère au système d'autrui. Nous sommes ainsi ramenés à cette conclusion, si clairement formulée par Claude Bernard : La saine critique expérimentale d'une hypothèse est subordonnée à certaines conditions morales ; **pour apprécier exactement l'accord d'une théorie physique avec les faits, il ne suffit pas d'être bon géomètre et expérimentateur habile, il faut encore être juge impartial et loyal.**

CHAPITRE VII : LE CHOIX DES HYPOTHÈSES

303-305 SUR LE CHOIX TOTALEMENT LIBRE DES HYPOTHÈSES

La logique exige-t-elle que nos hypothèses soient les conséquences de quelque système cosmologique ou, du moins qu'elles s'accordent avec les conséquences d'un tel système ? Nullement. **Nos théories physiques ne se piquent point d'être des explications ; nos hypothèses ne sont point des suppositions sur la nature même des choses matérielles. Nos théories ont pour seul objet la condensation économique et la classification des lois expérimentales ; elles sont autonomes et indépendantes de tout système métaphysique. Les hypothèses sur lesquelles nous les bâtissons n'ont donc pas besoin d'emprunter leurs matériaux à telle ou telle doctrine philosophique ; elles ne se réclament point de l'autorité d'une École métaphysique et ne craignent rien de ses critiques.**

[...]

Quelles sont donc les conditions qui s'imposent logiquement au choix des hypothèses sur lesquelles doit reposer la théorie physique ? Ces conditions sont de trois sortes.

En premier lieu, une hypothèse ne sera pas une proposition contradictoire en soi, car le physicien entend ne pas énoncer de non-sens.

En second lieu, les diverses hypothèses qui doivent porter la Physique ne se contrediront pas les unes les autres [...].

En troisième lieu, les hypothèses seront choisies de telle manière que, de *leur ensemble*, la déduction mathématique puisse tirer des conséquences qui représentent, avec une approximation suffisante, *l'ensemble* des lois expérimentales. [...]

À ces trois conditions se réduisent les exigences imposées par la logique aux hypothèses qui doivent porter une théorie physique ; pourvu qu'il les respecte, le théoricien jouit d'une entière liberté ; il peut jeter comme bon lui semblera les fondations du système qu'il va construire.

306-307, 348-349, 351 LIBERTÉ RELATIVE : MATURATION D'UNE THÉORIE, MAGES DU POUSSIN, DU POLLEN

L'homme peut-il user utilement d'une liberté à ce point illimitée ? Son intelligence est-elle assez puissante pour créer de toutes pièces une théorie physique ?

Assurément non ? Aussi l'histoire nous montre-t-elle qu'aucune théorie physique n'a jamais été créée de toutes pièces. La formation de toute théorie physique a toujours procédé par une suite de retouches qui, graduellement, à partir des premières ébauches presque informes, ont conduit le système à des états plus achevés ; et, en chacune de ces retouches, la libre initiative du physicien a été conseillée, soutenue, guidée, parfois impérieusement commandée par les circonstances les plus diverses, par les opinions des hommes comme par les enseignements des faits. **Une théorie physique n'est point le produit soudain d'une création ; elle est le résultat lent et progressif d'une évolution.**

Lorsque quelques coups de bec brisent la coquille de l'œuf et que le poussin d'échappe de sa prison, l'enfant peut s'imaginer que cette masse rigide et immobile, semblable aux cailloux blancs qu'il ramasse au bord du ruisseau, a soudainement pris vie et produit l'oiseau qui court et piaille [...].

Le profane vulgaire juge de la naissance des théories physiques comme l'enfant juge de l'éclosion du poulet. Il croit que cette fée à laquelle il donne le nom de Science a touché de sa baguette magique le front d'un homme de génie et que la théorie s'est aussitôt manifestée, vivante et achevée, telle Pallas Athéna sortant tout armée du front de Zeus. [...]

quelque rapide et condensée que soit l'évolution d'une théorie physique, il est toujours possible de constater qu'une longue préparation en a précédé l'apparition ; entre la première ébauche et la forme parfaite, les intermédiaires peuvent nous échapper à tel point que nous pensions contempler une libre et soudaine création ; mais un labeur préalable a constitué le terrain favorable où est tombé le premier germe ; il a rendu possible ce développement accéléré ; et ce labeur se laisse suivre au cours des siècles.

[...]

La contemplation d'un ensemble de lois d'expérience ne suffit [...] pas à suggérer au physicien quelles hypothèses il doit choisir pour donner, de ces lois, une représentation théorique ; il faut encore que les pensées habituelles à ceux au milieu desquels il vit, que les tendances imprimées à son propre esprit par ses études antérieures viennent le guider et restreindre la latitude trop grande que les règles de la Logique laissent à ses démarches. Combien de parties de la Physique gardent, jusqu'à ce jour, la forme purement empirique, attendant

que les circonstances préparent le génie d'un physicien à concevoir les hypothèses qui les organiseront en théorie !

En revanche, quand les progrès de la science universelle ont suffisamment préparé les esprits à la recevoir, la théorie naît d'une manière presque forcée et, bien souvent, des physiciens qui ne se connaissent pas, qui poursuivent leurs méditations bien loin les uns des autres, l'enfantent presque en même temps ; on dirait que l'idée flotte dans l'air, portée d'un pays à l'autre par le vent qui souffle, prête à féconder tout génie qui se trouve en état de l'accueillir et de la développer, semblable au pollen qui engendre un fruit partout où il rencontre un calice mûr.

[...]

Cet exemple [que l'idée d'onde évanescence se présenta presque simultanément à l'esprit de quatre géomètres différentes, trop éloignés les uns des autres pour se communiquer les pensées qui les hantaient] nous paraît bien propre à mettre en pleine lumière la conclusion à laquelle nous nous arrêtons : **La Logique laisse une liberté presque absolue au physicien qui voudrait faire choix d'une hypothèse ; mais cette absence de tout guide et de toute règle ne saurait le gêner, car, en fait, le physicien ne choisit pas l'hypothèse sur laquelle il fondera une théorie ; il ne la choisit pas plus que la fleur ne choisit le grain de pollen qui la fécondera ; la fleur se contente d'ouvrir toute grande sa corolle à la brise ou à l'insecte qui porte la poussière génératrice du fruit ; de même, le physicien se borne à ouvrir sa pensée, par l'attention et la méditation, à l'idée qui doit germer en lui, sans lui.** À quelqu'un qui lui demandait comment il s'y prenait pour faire une découverte Newton répondait : « Je tiens le sujet de ma recherche constamment devant moi, et j'attends que les premières lueurs commencent à s'ouvrir lentement et peu à peu, jusqu'à se changer en une clarté pleine et entière ».

353-354 ENSEIGNEMENT

Cette impossibilité pratique d'exposer le système de la Physique, sous la forme même qu'exigerait la rigueur logique, cette nécessité de tenir une sorte d'équilibre entre ce que réclame cette rigueur et ce que peut assimiler l'intelligence de l'élève, rendent particulièrement délicat l'enseignement de cette science. Il est bien permis au maître, en effet, de donner une leçon où le logicien pointilleux trouverait à redire ; mais cette tolérance est subordonnée à certaines conditions ; l'élève doit savoir que la leçon recueillie par lui n'est exempte ni de lacunes ni d'affirmations non encore justifiées ; il doit voir clairement où se trouvent ces lacunes et quelles sont ces affirmations ; il faut, en un mot, que l'enseignement, forcément boiteux et incomplet, dont il se doit contenter ne fasse point germer d'idées fausses en son esprit.

La lutte contre l'idée fausse, si prompte à se glisser dans un tel enseignement, sera donc le constant souci du maître.

354 INDUCTION & SUGGESTION D'HYPOTHÈSES

Aucun système d'hypothèses ne peut être tiré par induction de la seule expérience ; l'induction, cependant, peut indiquer, en quelque sorte, la voie qui conduit à certaines hypothèses ; il ne sera point interdit de le remarquer ; il ne sera point interdit, par exemple, au début d'un exposé de la Mécanique céleste, de prendre les lois de Képler et de montrer comment la traduction mécanique de ces lois conduit à des énoncés qui semblent appeler l'hypothèses de l'attraction universelle ; mais, ces énoncés une fois obtenus, il faudra attentivement observer à quel point ils diffèrent des hypothèses qu'on leur substitue.

En particulier, toutes les fois qu'on demandera à l'induction expérimentale de suggérer une hypothèse, on devra bien se garder de donner une expérience irréaliste pour une expérience faite, une expérience purement fictive pour une expérience faisable ; on devra surtout, cela va de soi, proscrire avec rigueur l'appel à l'expérience absurde.

355-356 DOUBLE TRANCHANT DES HYPOTHÈSES FORMULÉES SELON LE SENS COMMUN

Il peut arriver qu'une hypothèse trouve, dans les enseignements du sens commun, des analogies ou des exemples ; **il peut même arriver qu'elle soit une proposition de sens commun**, rendue plus claire et plus précise par l'analyse ; dans ces divers cas, **le maître pourra, cela va de soi, mentionner ces rapprochements entre les hypothèses sur lesquelles repose la théorie et les lois que nous révèle l'expérience de chaque jour ; le choix de ces hypothèses en paraîtra d'autant plus naturel, d'autant plus satisfaisant pour l'esprit.**

Mais de tels rapprochements exigent les plus minutieuses précautions ; il est fort aisé de se méprendre sur la ressemblance réelle entre une proposition de sens commun et un énoncé de Physique théorique ; **bien souvent, l'analogie est toute superficielle, elle est entre les mots et non pas entre les idées** ; elle s'évanouirait si, prenant l'énoncé symbolique que formule la théorie, on en faisait la traduction ; si l'on transformait chacun des termes qu'emploie cet énoncé en substituant, selon le conseil de Pascal, la définition au défini ; on verrait alors à quel point, entre les deux propositions qu'on avait imprudemment rapprochées, la ressemblance est artificielle et purement verbale.

[...]

Naguère encore, ceux qui se complaisent en de telles piperies déploraient que le principe de l'accroissement de l'entropie fût beaucoup plus abstrus et difficile à comprendre que le principe de la conservation de l'énergie ; les deux principes, cependant, exigent du géomètre des calculs tout semblables ; mais le terme d'entropie n'a de sens que dans la langue du physicien ; il est inconnu au langage vulgaire ; il ne prête pas aux équivoques. Depuis peu, on n'entend plus ces doléances à l'égard de l'obscurité où demeurerait plongé le second principe de la Thermodynamique, il passe aujourd'hui pour clair et vulgarisable. Pourquoi ? Parce qu'on en a changé le nom. On l'appelle maintenant principe de la dissipation ou de la dégradation de l'énergie ; or, ceux qui ne sont pas physiciens, mais le veulent paraître, entendent aussi ces mots-là ; ils leur prêtent, il est vrai, un sens qui n'est point celui que les physiciens leur attribuent ; mais que leur importe ? Voilà la porte ouverte à maints discours spécieux qu'ils donnent pour raisonnements, et qui ne sont que jeux de mots. C'est justement là ce qu'ils souhaitent.

362-363 CLARTÉ LOGIQUE & VÉRITÉ VÉCUE : LES DEUX PÔLES ANTAGONISTES DE LA SCIENCE

Le dessein de tirer des connaissances du sens commun la démonstration des hypothèses sur lesquelles reposent les théories physiques a pour mobile le désir de construire la Physique à l'imitation de la Géométrie ; en effet, les axiomes d'où la Géométrie se tire avec une si parfaite rigueur, les demandes qu'Euclide formule au début de ses *Éléments*, sont des propositions dont le sens commun affirme l'évident vérité. [...]

Mais les sciences mathématiques sont des sciences fort exceptionnelles ; elles seules ont ce bonheur de traiter d'idées qui jaillissent de nos quotidiennes perceptions par un travail spontané d'abstractions et de généralisation, et qui, cependant, se montrent de suite nettes, pures et simple.

[...] Tout ce [que les hommes de génie qui ont créé la Physique théorique] ont pu faire, c'est de se placer en face de la foule de lois tirées directement de l'observation, lois confuses, complexes, désordonnées, mais douées d'une certitude qui se constate directement, et de tracer une représentation symbolique de ces lois, représentation admirablement claire et ordonnée, mais dont on ne peut même plus dire proprement qu'elle soit vraie

[...]

Ce double mouvement qui, seul, permet à la Physique d'unir les certitudes des constatations de sens commun aux clartés des déductions mathématiques, a été dépeint en ces termes par M. Édouard Le Roy :

« Bref, nécessité et vérité sont les deux pôles extrêmes de la science. Mais ces deux pôles ne coïncident pas ; c'est le rouge et c'est le violet du spectre. Dans la continuité intercalaire, seule réalité effectivement vécue, vérité et nécessité varient en sens inverses l'une de l'autre suivant celui des deux pôles vers lequel on s'oriente et se dirige... Si l'on choisit de marcher vers le nécessaire, on tourne le dos au vrai, on travaille éliminer tout ce qui est expérience et intuition, on tend au schématisme, au discours pur, aux jeux formels de symboles sans signification. Pour conquérir la vérité, au contraire, c'est l'autre sens de marche qu'il faut adopter ; l'image, la qualité, le concret, reprennent leurs droits prééminents, et l'on voit alors la nécessité discursive se fondre graduellement en contingence vécue. Finalement, ce n'est point par les mêmes parties que la Science est nécessaire et que la Science est vraie, qu'elle est rigoureuse et qu'elle est objective. »

La vigueur de ces termes excède peut-être quelque peu la pensée même de l'auteur ; en tous cas, pour qu'elle exprime fidèlement la nôtre, il suffit de substituer les mots *ordre* et *clarté* aux mots *rigueur* et *nécessité* employés par M. Le Roy.

Il est très juste, alors, de déclarer que la science physique est issue de deux sources ; l'une, de certitude, qui est le sens commun ; l'autre, de clarté, qui est la déduction mathématique ; et la science physique est à la fois certitude et clarté parce que les flux qui naissent de ces deux sources concourent et mêlent intimement leurs eaux.

En Géométrie, la connaissance claire produite par la logique déductive et la connaissance certaine issue du sens commun sont si exactement juxtaposées qu'on ne saurait apercevoir cette zone mixte où s'exercent simultanément et à l'envie tous nos moyens de connaître ; voilà pourquoi le géomètre, lorsqu'il traite des sciences physiques, est exposé à méconnaître l'existence de cette zone ; pourquoi il veut construire la Physique, à l'imitation de sa science préférée, sur des axiomes immédiatement tirés de la connaissance vulgaire ; à la poursuite de cet idéal, que M. Ernst Mach nomme si justement une *fausse rigueur*, il risque fort de n'atteindre que des démonstrations hérissées de paralogismes et tissées de pétitions de principes.

Commentaire. La citation LE ROY se distingue doublement au milieu des propos de DUHEM que nous avons rougis.

Floué sans doute par la mathématique traditionnelle kantienne qui confondait encore (!) les signifiants et signifiés dans le discours logique (seul à pouvoir attribuer légitimement propriétés et théorèmes à toute interprétation de ses symboles satisfaisant l'interprétation correspondante de ses axiomes), Duhem décrit en termes exquis la « fausse rigueur » d'un mathématicien traditionnel qui s'adonnerait à la physique, donnant par là même l'image de ce même mathématicien explorant une théorie mathématique « moderne » qui admettrait plusieurs modèles (la géométrie, les entiers, les ensembles...).

La réalité mathématique paraîtra sans doute plus discutable que celle physique ; lisons cependant Alain CONNES répondant à Jean-Pierre CHANGEUX dans *Matière à pensée* :

« Rien ne prouve, dis-tu, la réalité de ces objets en dehors de notre cerveau ». Comparons la réalité mathématique au monde matériel qui nous entoure. Qu'est-ce qui prouve la réalité de ce monde matériel en dehors de la perception que notre cerveau en a ? Principalement, la cohérence de nos perceptions, et leur permanence. Plus précisément, la cohérence du toucher et de la vue pour

un seul et même individu. Et la cohérence entre la perception de plusieurs individus. La réalité mathématique est de même nature. Un calcul effectué de plusieurs manières différentes donne le même résultat, qu'il soit fait par un seul individu ou par plusieurs. [...] On a commencé par explorer la réalité mathématique dans des zones où l'imagerie mentale liée au réel est très simple. C'est le cas pour la géométrie euclidienne. Ensuite, grâce aux procédés axiomatiques ou aux problèmes concrets posés par la théorie des nombres, on a pu accéder à des régions beaucoup plus éloignées de la réalité matérielle. Il n'empêche que **la réalité à laquelle on est alors confronté est tout aussi solide que la réalité quotidienne. La frustration éprouvée par un mathématicien qui ne parvient pas à voir ce qui se passe dans cette réalité est tout à fait comparable à celle d'un aveugle qui cherche son chemin.** »

Ces propos nous permettent d'entrevoir un parallèle entre le monde des phénomènes physiques (la réalité sensible) et le monde des « idées » mathématiques (la réalité phénoménale des objets mathématiques) d'une part, entre les modélisations mathématiques des phénomènes physiques et les modélisations logiques des objets mathématiques d'autre part. La thèse de Duhem se retrouve alors toute entière – mutatis mutandis – transportée au sein de la pratique mathématique, éclairant de cette manière « son objet, sa structure ».

Il en est de même pour la citation de LE ROY qui, de par sa transparence admirable, se retrouve ainsi à paver la voie pour sortir DUHEM des égarements mathématiques qu'il décrit si bien et dont il souhaitait préserver la physique. Il est par ailleurs piquant que les propos de LE ROY, cités par DUHEM afin de clarifier le fossé séparant les démarches physique et mathématique, ne permettent que de mieux identifier ces dernières. De là le caractère doublement distingué de ces propos.

366-368 DÉMARCHE HISTORIQUE

La méthode légitime, sûre, féconde, pour préparer un esprit à recevoir une hypothèse physique, c'est la méthode historique. **Retracer les transformations par lesquelles la matière empirique s'est accrue, tandis que la forme théorique s'ébauchait, décrire la longue collaboration par laquelle le sens commun et la logique déductive ont analysé cette matière et modelé cette forme jusqu'à ce que l'une s'adaptât exactement à l'autre,** c'est le meilleur moyen, voire le seul moyen, de donner à ceux qui étudient la Physique une idée juste et une vue claire de l'organisation si complexe et si vivante de cette science.

[...]

En Géométrie, où les clartés de la méthode déductive se soudent directement aux évidences du sens commun, l'enseignement peut se donner d'une manière entièrement logique ; il suffit qu'un postulat soit énoncé pour que l'étudiant saisisse aussitôt les données de la connaissance commune que condense un tel jugement ; il n'a pas besoin, pour cela, de connaître la voie par laquelle ce postulat a pénétré dans la science. L'histoire des Mathématiques est, assurément, l'objet d'une curiosité légitime ; mais elle n'est point essentielle à l'intelligence des Mathématiques.

Il n'en est pas de même en Physique. Là, nous l'avons vu, il est interdit à l'enseignement d'être purement et pleinement logique. Dès lors, le seul moyen de relier les jugements formels de la théorie à la matière des faits que ces jugements doivent représenter, et cela tout en évitant la subreptice pénétration des idées fausses, c'est de justifier chaque hypothèse essentielle par son histoire.

[...]

En lui retraçant la longue série des erreurs et des hésitations qui ont précédés la découverte de chaque principe, elle met [le physicien] en garde contre les fausses évidences [...], elle le fait souvenir que les plus séduisants systèmes ne sont que des représentations provisoires et non des explications définitives.

Commentaire. (cf. précédent) Les propos rougis témoignent d'une conception kantienne de la mathématique. Transporter les propos de DUHEM du couple physique / modèle mathématique vers le couple mathématique / modèle logique permet de comprendre l'intérêt de la démarche historique en mathématique : assurément point besoin d'histoire pour pousser des symboles logiques ; mais quel manque alors à comprendre la riche évolution des idées mathématiques !

ANNEXES

PHYSIQUE DE CROYANT

389 PHYSIQUE ET MÉTAPHYSIQUE

les doctrines métaphysiques et religieuses sous des jugements touchant la réalité objective, tandis que les principes de la théorie physique sont des propositions relatives à certains signes mathématiques dénués de toute existence objective ; n'ayant aucune terme commun, ces deux sortes de jugements ne peuvent ni s'accorder ni se contredire.

393 RÉSUMÉ

Qu'est-ce qu'une théorie physique ? Un ensemble de propositions mathématiques dont les conséquences doivent représenter les données de l'expérience ; la valeur d'une théorie se mesure au nombre de lois expérimentales qu'elle représente et au degré de précision avec lequel elle les représente ; si deux théories différentes représentent les mêmes faits avec la même approximation, la méthode physique les considère comme ayant absolument même valeur ; entre ces deux théories équivalentes, elle n'a pas le droit de dicter notre choix, elle est tenue de le laisser libre.

397 PHYSIQUE ET MÉTAPHYSIQUE

Lorsque le théoricien pénètre sur le territoire de la Métaphysique ou du Dogme, soit qu'il se propose de les attaquer, soit qu'il veuille les défendre, l'arme dont il usait victorieusement en son propre domaine demeure, en ses mains, inutile et sans force ; la logique de la Science positive, qui a forgé cette arme, a marqué avec précision les frontières au-delà desquelles la trempe qu'elle lui a donnée s'amollirait, au-delà desquelles son tranchant s'émousserait.

401-402 VERS L'UNITÉ LOGIQUE

M. Henri Poincaré a proclamé le premier et enseigné d'une manière formelle que le physicien pouvait user successivement de théories, incompatibles en elles, en tel nombre qu'il jugerait bon ; et je ne sache pas que M. Henri Poincaré partage les croyances religieuses de M. Édouard Le Roy.

Il est certain que M. Henri Poincaré, aussi bien que M. Édouard Le Roy, était pleinement autorisé par l'analyse logique de la méthode physique à prétendre ce qu'il a avancé ; il est non moins certain que cette doctrine d'allure sceptique scandalise la plupart de ceux qui travaillent au progrès de la Physique. Bien que l'étude purement logique des procédés qu'ils emploient ne leur fournisse aucun argument convaincant à l'appui de leur manière de voir, ils sentent que cette manière de voir est la bonne ; ils ont l'intuition que l'unité logique s'impose à la théorie physique comme un idéal auquel elle doit tendre sans cesse ; ils sentent que tout illogisme, tout incohérence est, en cette théorie, une tare ; que les progrès de la Science doivent, peu à peu, faire disparaître cette tare.

Et cette conviction est, au fond du cœur, partagée par ceux-là mêmes qui affirment le droit de la théorie à l'incohérence logique. Est-il un seul d'entre eux qui hésite, même un instant, à préférer une théorie physique rigoureusement coordonnée à un ramassis de théories inconciliables ?, qui, pour critiquer la doctrine d'un adversaire, ne s'efforce d'y découvrir les illogismes et des contradictions ? Ce n'est donc pas de leur plein gré qu'ils proclament le droit à l'incohérence logique ; comme tous les physiciens, ils regardent la théorie physique qui représenterait toutes les lois expérimentales au moyen d'un système unique, logiquement coordonné, comme la théorie idéale ; et s'ils tentent d'étouffer leurs aspirations vers cet idéal, c'est uniquement parce qu'ils le croient irréalisable, parce qu'ils désespèrent de l'atteindre.

Or, est-il juste de regarder cet idéal comme une utopie ? C'est à l'histoire de la Physique de répondre à cette question ; c'est à elle de nous dire si les hommes, depuis que la Physique a pris la forme scientifique, se sont épuisés en vains efforts pour réunir en un système coordonné les lois innombrables que découvraient les expérimentateurs ; ou bien, au contraire, si ces efforts, par un progrès lents, mais continu, ont contribué à souder les uns aux autres les fragments de théorie qui se trouvaient d'abord isolés, afin de produire un système de plus en plus un, de plus en plus ample. C'est là selon nous, le grand renseignement que nous devons obtenir lorsque nous retraçons l'évolution des doctrines physiques, et M. Abel Rey a fort bien vu que c'était la principale leçon que nous demandions à l'étude des théories du passé.

Ainsi interrogée, quelle réponse l'Histoire nous donne-t-elle ? Le sens de cette réponse n'est point douteux, et voici comment M. Rey l'interprète :

« La Physique théorie ne nous présente nullement un ensemble d'hypothèses divergentes ou contradictoires. Elle offre, au contraire, à qui en suit attentivement les transformations, un *développement continu*, une *véritable évolution*. La théorie qui paraît suffisante à un moment donné de la Science ne tombe pas intégralement, dès que le champ de la Science s'est élargi. Bonne pour expliquer un certain nombre de faits, elle continue à rester valable pour ces faits. Seulement, elle ne l'est plus pour des faits nouveaux ; elle n'est pas ruinée ; elle est devenue insuffisante. Et pourquoi ? Parce que notre esprit ne peut saisir le complexe qu'après le simple, le plus général qu'après ce qui l'était moins. Aussi avait-il, pour ne pas se perdre dans les détails trop compliqués qui lui masquaient les relations exactes des choses, négligé certaines modalités, restreint les conditions de l'examen, réduit le champ de l'observation et de l'expérimentation. La découverte scientifique, si l'on sait bien la comprendre, ne fait qu'élargir à mesure ce champ, lever peu à peu certaines restrictions, réintégrer les considérations jugées d'abord négligeables. »

404-407 ACTE DE FOI DU PHYSICIEN : APPEL NÉCESSAIRE À LA MÉTAPHYSIQUE

Si [...] [le physicien] cède à la nature de l'esprit humain, qui répugne aux extrêmes exigences du positivisme, il voudra connaître la raison de ce qui l'entraîne ; il franchira la muraille devant laquelle s'arrêtent, impuissants, les procédés de la Physique ; il posera une affirmation que ces procédés ne justifient pas ; il fera de la Métaphysique.

Quelle est-elle, cette proposition métaphysique que le physicien affirmera, en dépit de la réserve imposée à la méthode dont il a coutume d'user, et comme par force ? Il affirmera que, sous les données sensibles, seules accessibles à ses procédés d'étude, se cachent des réalités dont l'essence est insaisissable à ces mêmes procédés ; que ces réalités se rangent dans un certain ordre dont la science physique ne saurait avoir la contemplation directe, mais que la théorie physique, par ses perfectionnements successifs, tend à ranger les lois expérimentales en un ordre de plus en plus analogue à l'ordre transcendant, selon lequel se classent les réalités ; que, par là, la théorie physique s'achemine graduellement vers sa forme limite qui est celle d'une *classification naturelle* ; enfin que l'unité logique est un caractère hors duquel la théorie physique ne saurait prétendre à ce rang de classification naturelle.

Le physicien est donc conduit à excéder les pouvoirs que lui confère l'analyse logique de la Science expérimentale et à justifier la tendance de la théorie vers l'unité logique par cette affirmation métaphysique : la forme idéale de la théorie physique est une classification naturelle des lois expérimentales. Cette affirmation, des considérations d'une autre nature le pressent également de la formuler.

[...]

cette indifférence parfaite au sujet du résultat de l'épreuve, cette absence de toute prévision sur le sens de ce résultat, en quel physicien la rencontre-t-on alors qu'il s'agit de comparer aux faits une loi que la théorie a prédite ? Le physicien sait fort bien que la rigoureuse logique ne lui permet absolument que cette indifférence, qu'elle n'autorise aucun espoir d'accord entre la prophétie théorique et les faits ; et cependant cet accord, il l'attend, il y compte, il le regarde comme plus probable que le démenti ; la probabilité qu'il lui attribue est d'autant plus grande que la théorie soumise à l'épreuve est plus parfaite et lorsqu'il appuie sa confiance à une théorie où de nombreuses lois expérimentales ont trouvé une représentation satisfaisante, cette probabilité lui paraît confiner à la certitude.

Aucune des règles qui président au maniement de la méthode expérimentale ne justifie cette confiance en la prescience de la théorie ; et, cependant, cette confiance ne nous semble pas ridicule. Si d'ailleurs, nous avons quelque velléité d'en blâmer la présomption, l'histoire de la Physique ne tarderait guère à nous contraindre de réformer notre jugement ; elle nous citerait en effet d'innombrables circonstances où l'expérience a confirmé, jusque dans les moindres détails, les plus surprenantes prévisions de la théorie.

[...]

Tout [...] presse le physicien à poser cette affirmation : *Au fur et à mesure qu'elle progresse, la théorie physique devient plus semblable à une classification naturelle, qui est son idéal et sa fin.* Cette affirmation, la méthode physique est impuissante à prouver qu'elle est fondée ; mais si elle ne l'était pas, la tendance qui dirige tout le développement de la Physique demeurerait incompréhensible. Ainsi, pour trouver les titres qui établissent sa légitimité, la théorie physique les doit réclamer de la Métaphysique.

408-412 UN LIEN ENTRE PHYSIQUE ET MÉTAPHYSIQUE : L'ANALOGIE QUI PERSUADE MAIS NE CONVAINC

Les méditations du cosmologiste et du physicien ont un point de départ commun ; ce commun point de départ, ce sont les lois expérimentales que découvre l'observation appliquée aux phénomènes du monde inanimé. Seule l'orientation qu'elles suivent à partir de ce point distingue les recherches du physicien des recherches du cosmologiste ; le premier veut, des lois qu'il a découvertes, acquérir une connaissance de plus en plus précise, de plus en plus détaillée ; le second analyse ces mêmes lois afin de mettre à nu, s'il est possible, les rapports essentiels qu'elles manifestent à notre raison.

[...] la théorie physique ne peut jamais ni démontrer ni contredire une affirmation de la Cosmologie, car les propositions qui constituent l'une de ces doctrines ne portent jamais sur les mêmes termes que les propositions dont l'autre se compose, et entre deux propositions qui ne portent pas sur les mêmes termes, il ne peut y avoir ni accord, ni contradiction ; mais entre deux proposition qui portent sur des termes de natures différentes, il se peut cependant qu'il y ait analogie ; et c'est une telle analogie qui doit relier la Cosmologie à la Physique théorique.

C'est grâce à cette analogie que les systèmes de la Physique théorique peuvent venir en aide aux progrès de la Cosmologie ; cette analogie peut suggérer au philosophe tout un ensemble d'interprétation ; sa présence nette et saisissante, peut accroître la confiance du penseur en une certaine doctrine cosmologique ; son absence, le mettre en défiance contre une autre doctrine.

[...] Une analogie se sent ; elle ne se conclut pas ; elle ne s'impose pas à l'esprit de tout le poids du principe de contradiction. Là où un penseur voit une analogie, un autre, plus vivement frappé par les contrastes des termes à comparer que par leurs ressemblances, peut fort bien voir une opposition ; pour amener celui-ci à changer sa négation en affirmation, celui-là ne saurait user de la force irrésistible du syllogisme ; tout ce qu'il peut faire, c'est, par ses discours, d'attirer l'attention de son adversaire sur les similitudes qu'il juge importantes, de la détourner des divergences qu'il croit négligeables ; il peut souhaiter de persuader celui avec qui il discute ; il ne saurait prétendre à le convaincre.

[...] Ces quelques remarques suffisent, croyons-nous, à recommander au cosmologiste d'user avec une prudence extrême de l'analogie entre la doctrine qu'il professe et la théorie physique ; il ne devra jamais oublier que l'analogie la plus claire à ses yeux peut s'obscurcir aux yeux d'autrui, au point de cesser d'être aperçue ; il devra craindre surtout que l'analogie invoquée en faveur de l'explication qu'il propose relie seulement cette

explication à quelque échafaudage théorique provisoire et caduque, et non point à une partie inébranlable et définitive de la Physique ; il devra songer, enfin, que toute argumentation fondée sur une analogie aussi difficile à apprécier est une argumentation infiniment frêle et délicate, bien incapable de réfuter ce qu'une démonstration directe aurait prouvée.

Commentaire. Le langage du *Tractacus* nous semble résonner dans ces paragraphes. Il y a des faits qui peuvent se dire, à travers l'image logique du monde (4.121 : « La proposition *montre* la forme logique de la réalité. Elle l'indique. »), les autres sont indicibles (c'est le Mystique) mais peuvent toutefois se *montrer* (4.1212 : « Ce qui *peut* être montré ne *peut* être dit. »). L'aspect théorique (mathématique) de la physique de Duhem correspondrait à la logique chez Wittgenstein, l'aspect cosmologique (la métaphysique) au Mystique, à l'indicible. L'illégitimité à user d'arguments physiques pour discourir sur la métaphysique est clairement décriée dans le dernier point (7 : « [Sur ce dont on ne peut parler, il faut garder le silence.](#) »).

415-416 RÉSUMÉ

Entre la forme idéale vers laquelle s'achemine lentement la théorie physique et la Cosmologie, il doit y avoir analogie ; cette affirmation n'est nullement une conséquence de la méthode positive, bien qu'elle s'impose au physicien, elle est essentiellement une affirmation de la Métaphysique.

Le procédé intellectuel par lequel nous apprécions l'analogie plus ou moins grande qui existe entre une théorie physique et une doctrine cosmologique est tout à fait distinct de la méthode par laquelle se développent les démonstrations convaincantes ; [les conclusions d'une telle appréciation se proposent ; elles ne s'imposent pas.](#)

Cette analogie doit relier la Philosophie naturelle non pas à l'état que présente actuellement la théorie physique, mais à l'état idéal vers lequel elle tend ; or cet état idéal n'est point donné d'une manière manifeste et incontestable ; il se soupçonne par une divination infiniment délicate et aléatoire, alors même qu'elle est guidée par une connaissance approfondie de la théorie et de son histoire.

Les renseignements que le philosophe peut tirer de la théorie physique, soit en faveur, soit au préjudice d'une doctrine cosmologique, sont donc des indications à peine esquissées ; bien fou serait celui qui les prendrait pour démonstrations scientifiques assurées, qui s'étonnerait de les voir discutées et contestées !

Commentaire. Poursuivons l'analogie avec le *Tractacus*. La fin de deuxième paragraphe aurait pu être énoncée « [les conclusions se montrent, elles ne se disent pas](#) ». Le troisième paragraphe nous semble exemplifier le point 6.36 : « S'il y avait une loi de causalité, elle pourrait se formuler : « Il y a des lois de la nature. » Mais à la vérité on ne peut le dire : [cela se montre.](#) »