

La théorie physique son objet, sa structure

Pierre DUHEM

UNE THÉORIE PHYSIQUE *MODELISE* LA RÉALITÉ MAIS NE *L'EXPLIQUE PAS* : L'EXPLICATION EST DU RESSORT DE LA *MÉTAPHYSIQUE*

31 *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.*

44 *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.*

45 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.

60 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.

157 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.

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

190 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.**

209 *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.

Il nous semble pertinent d'éclairer ces premières citations à la lumière du *Tractatus* de L. WITTGENSTEIN, en particulier des points suivants :

4.121 La proposition *montre* la forme logique de la réalité. Elle l'indique.

4.1212 Ce qui *peut* être montré ne *peut* être dit.

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.

6.3 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.

6.371 **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.**

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.** »

LES QUERELLES COSMOLOGIQUES EN PHYSIQUES SONT UN NON-SENS COMPLET

69 ce qui, en [la plupart des doctrines physiques], 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.**

75 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.

84 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

226 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.**

397 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.

412 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**

Commentaire. Le dernier point du *Tractacus* nous semble très bien chapeauter l'esprit des citations qui précèdent : « 7. **Sur ce dont on ne peut parler, il faut garder le silence.** ».

LIBERTÉ DES FORMES D'ESPRIT

146-147 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**

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

151-152 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 un 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*.

[...]

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].

EXPÉRIENCE PHYSIQUE & EXPÉRIENCE VULGAIRE

231/229 Si [...] 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. [...] là est sa véritable et essentielle supériorité.

Commentaire. Ce 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'*idéauté* 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.

DÉFINITION, VÉRITÉ & ACCEPTABILITÉ D'UNE LOI PHYSIQUE

250 **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.**

CARACTÈRE ORGANIQUE / ENTIER DE LA THÉORIE PHYSIQUE

262 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.

263 **L'horloger auquel on sonne une montre qui ne marche pas en sépare tous les rouages et les examine un à un jusqu'à ce qu'il ait trouvé celui qui est faussé ou brisé ; 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 celui-là, que ressemble le physicien chargé de redresser une théorie boiteuse.**

278 **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

PLACE DES EXPÉRIENCES AU SEIN DES THÉORIES

284 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** [...].

LE BON SENS

301 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*.

301 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 trouvant insuffisantes les raisons de l'adversaire.

302 rien ne contribue d'avantage à entraver le bon sens, à en troubler la clairvoyance, que les passions et les intérêts. [...] 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.

SUR LE CHOIX DES HYPOTHÈSES

303-304 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.

306-307 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

351 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 ».

406-407 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

ENSEIGNEMENT

354 La lutte contre l'idée fausse, si prompt à se glisser dans un tel enseignement, sera [...] le constant souci du maître.

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

362 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. »

Commentaire. La réalité mathématique « vécue » 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 est d'une transparence admirable.

DÉMARCHE HISTORIQUE

368 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.

A LA FRONTIÈRE DE LA MÉTAPHYSIQUE

406-407 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**.

415-416 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 !