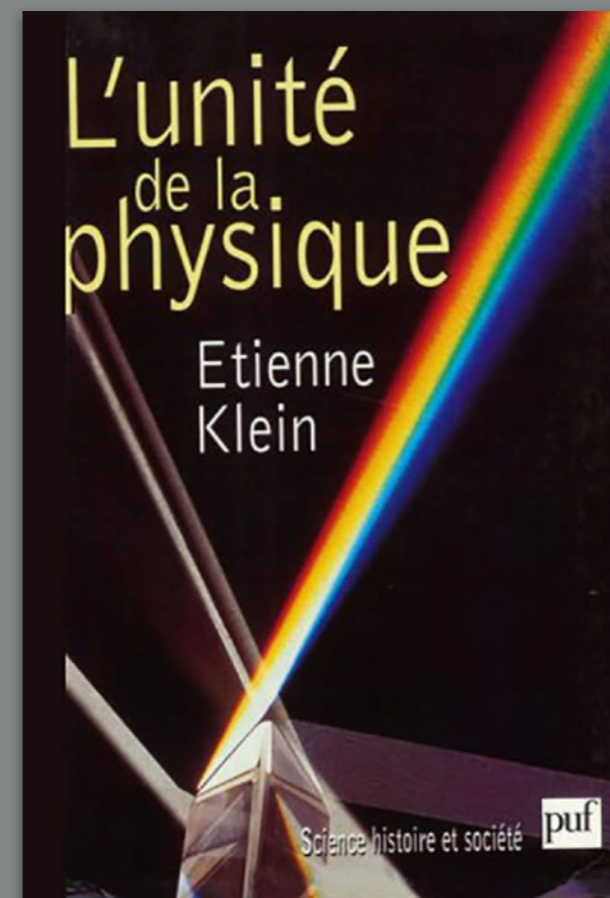
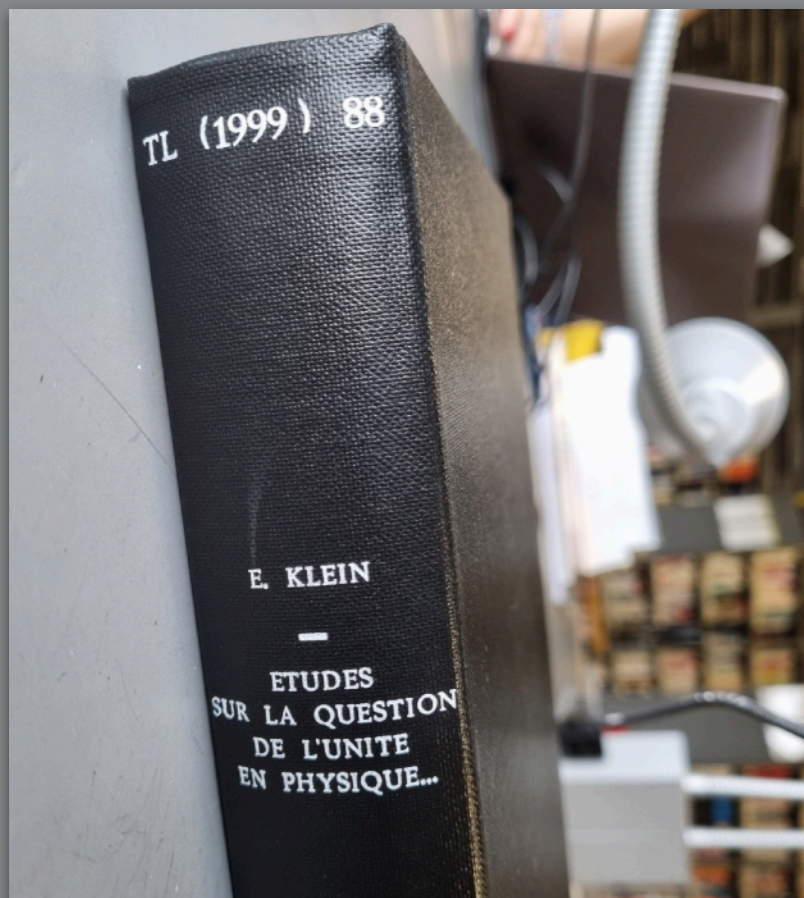


Les copiés-collés d'Étienne Klein dans sa thèse

Thèse soutenue par Étienne Klein en juin 1999 à l'Université Paris-Diderot (Paris VII) ...

... et publiée en 2000 sous le titre « L'unité de la physique » aux Presses Universitaires de France



**Cette thèse
comporte
de très nombreux
copiés-collés et emprunts.**

**Nous avons recensé
plusieurs d'entre eux ici...**

Copié-collé #1

*La présentation
et l'introduction*

L'unité de la physique

ÉTIENNE KLEIN - PUF - 2000

Présentation

L'idée selon laquelle la diversité du réel serait sous-tendue par une unité plus profonde est aussi ancienne que la pensée elle-même. Les grandes mythologies le racontent, les premiers philosophes l'affirment, la science moderne en a repris le programme en unifiant d'abord les conceptions du mouvement, de la matière et de l'espace. C'est que le désir d'intelligibilité ne peut sans doute se passer de l'idée du Un. Toutefois, il ne suffit pas d'inscrire pareille tendance dans la nature humaine pour en valider les réalisations. L'unité qu'on proclame peut très bien se révéler fausse, procéder de la simple incantation, du décret ou du fantasme et exercer une fascination toute dogmatique. Reste que si la pensée parvenait à découvrir, dans les miroirs changeants des phénomènes, des relations éternelles qui puissent les résumer, on pourrait certainement parler d'un bonheur de l'esprit. A défaut d'être une trame nécessaire de la pensée, le désir d'unité correspond à une nostalgie, à un appétit d'absolu, à une impatience ontologique. Mais aussitôt exprimé, il s'oppose à l'irréductible dispersion des choses. De là semble naître un divorce entre l'esprit qui désire et le monde qui déçoit. En cette fin de siècle, la puissance de plus en plus affirmée des théories physiques, leur caractère englobant comme leur visée unitaire, incitent à interroger les fondements de la quête de l'unité que poursuivent les physiciens à cerner ses limites et à envisager ses perspectives actuelles.

Les théories de la connaissance

JEAN-MICHEL BESNIER - FLAMMARION - 1996

« la faculté de ramener à l'unité les règles de l'entendement au moyen de principes ». Peut-on plus nettement suggérer la tendance « moniste » qui habite l'acte de connaître ? Reste qu'il ne suffit évidemment pas d'inscrire pareille tendance dans la nature humaine pour en valider les réalisations. En effet, l'unité peut très bien se révéler fausse, procéder du pur fantasme et exercer une fascination toute dogmatique. C'est bien pourquoi la philosophie critique entreprend de trancher entre le scientifique et le non-

Le Mythe de Sisyphe

ALBERT CAMUS - GALLIMARD - 1942

en termes de pensée. Si l'homme reconnaissait que l'univers lui aussi peut aimer et souffrir, il serait réconcilié. Si la pensée découvrait dans les miroirs changeants des phénomènes, des relations éternelles qui les puissent résumer et se résumer elles-mêmes en un principe unique, on pourrait parler d'un bonheur de l'esprit dont le mythe des bienheureux ne serait qu'une ridicule contrefaçon. Cette nostalgie d'unité, cet appétit d'absolu illustre le mouvement essentiel du drame humain. Mais que cette nostalgie soit un fait n'implique pas qu'elle doive être immédiatement apaisée. Car si,

Les grandes révolutions scientifiques du XXe siècle

DANIEL PARROCHIA - PUF - 1997

La puissance de plus en plus affirmée des théories physiques modernes, leur caractère englobant comme leur visée unitaire permettent désormais au scientifique de tenir, pour une part, la place qui avait été celle du philosophe de l'antiquité jusqu'à l'âge classique. Ce n'est pas là la moindre conséquence de la révolution que nous avons

L'unité de la physique

ÉTIENNE KLEIN - PUF - 1999

Introduction

La science est nécessairement amenée en se développant à introduire dans ses théories des concepts ayant une portée métaphysique, tels que ceux de temps, d'espace, d'objectivité, de causalité, d'unité. Elle cherche à en donner des définitions précises rentrant dans le cadre des méthodes qu'elle emploie, mais préfère souvent éviter à leur sujet toute discussion trop philosophique. En procédant ainsi fait-elle certainement de la métaphysique sans l'avouer, ce qui n'est sans doute pas la meilleure façon d'en faire. Dans les pages qui suivent, c'est du concept d'unité dans la physique que nous avouons vouloir discuter.

Il est difficile de prétendre que, par principe, notre esprit éprouve spontanément qu'il est fait pour l'unité et que l'acte de connaître est incontestablement habité par une tendance moniste. Mais il est tout aussi difficile de penser que le désir d'intelligibilité pourrait se passer de l'idée du Un. On peut sans doute défendre l'idée selon laquelle il y a métaphysique dès que l'esprit en quête d'unité totale se décide à combler les lacunes offertes par le tableau scientifique de l'univers grâce à un liant de son propre fonds, un principe qu'il estime véritablement premier. La métaphysique pourrait donc n'être que la forme la plus pure de ce goût pour l'unité, le moment décisif où l'esprit se résout, non sans appréhension, à rechercher hors du monde l'explication unifiante du monde. La question de l'unité se situe

Au-delà des mouvantes limites de la science

LOUIS DE BROGLIE (PRIX NOBEL) - REVUE DE MÉTAPHYSIQUE ET DE MORALE - PUF - 1947

dramatique incertitude de notre condition, et c'est l'honneur de l'esprit humain de s'élever parfois jusqu'à elles.

Nous n'avons pas l'intention de nous aventurer sur le terrain mouvant des hypothèses métaphysiques, mais nous voudrions montrer que la science, en se développant, est nécessairement amenée à introduire dans ses théories des concepts ayant une portée métaphysique, tels que ceux de temps, d'espace, d'objectivité, de causalité, d'individualité, etc.... Ces concepts, la science cherche à en donner des définitions précises rentrant dans le cadre des méthodes qu'elle emploie, elle cherche à éviter à leur sujet toute discussion philosophique; peut-être, en procédant ainsi, fait-elle souvent de la métaphysique sans l'avouer, ce qui n'est pas la moins dangereuse manière d'en faire. Mais la science, emportée par le courant impétueux de ses progrès, étend sans

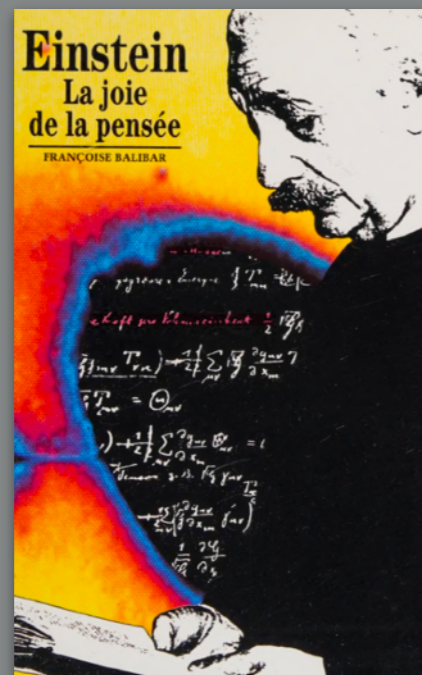
Les grands problèmes métaphysiques

FRANÇOIS GRÉGOIRE - PUF - 1957

nettement une notion primordiale :
Il y a « métaphysique » dès que l'esprit en quête d'unité totale se décide à combler les lacunes qu'offre le tableau « scientifique » de l'univers, grâce à un « liant » tiré de son propre fonds, un « principe » (emprunté à son expérience interne ou externe) qu'il estime véritablement premier. La réflexion dite « métaphysique » n'est donc, au fond, rien d'autre que la forme la plus pure de ce goût pour l'unité qu'est essentiellement la pensée philosophique (1), le moment décisif où l'esprit se résout, non sans appréhension, à rechercher hors du « monde » l'explication unifiante du monde. Ce que souligne bien une définition souvent citée de l'Américain W. James : « la

Copié-collé #2

Françoise Balibar



Einstein : la joie de la pensée
FRANÇOISE BALIBAR

DÉCOUVERTE GALLIMARD - 1993

ÉTIENNE KLEIN

théorique, tous s'efforçaient de saisir cette réalité supérieure, une réalité qui, en raison de sa permanence et de sa transcendance, doit révéler la "vérité" ultime et, en conséquence, servir de base unificatrice pour comprendre l'univers plus large de l'existence humaine dans ses multiples manifestations et y réagir » [15]. L'unité, revendiquée bien au-delà du cercle des physiciens, était l'un des *thêmata* favoris des penseurs de cette époque.

La relativité restreinte

La physique du XIX^e siècle était fondée sur la mécanique newtonienne, c'est-à-dire la science du mouvement des objets dits matériels, et sur l'électromagnétisme, la science de la lumière et de tous les autres phénomènes électromagnétiques. Ces deux théories semblaient également exactes chacune dans son domaine, et pourtant on ne tarda pas à constater que leurs principes fondamentaux respectifs se contredisaient.

La mécanique est fondée sur le principe de relativité, énoncé pour la première fois, non par Albert Einstein, mais par Galilée autour de l'an 1600. En vertu de ce principe, dans un avion volant à sa vitesse de croisière – Galilée ne parlait pas d'avion, mais de navire – les choses se déroulent de la même façon qu'au sol, à l'arrêt : par exemple, si une hôtesse laissait échapper de ses mains un verre d'eau, celui-ci tomberait exactement de la même façon dans le « référentiel galiléen » qu'est l'avion que si l'incident se produisait dans un restaurant. Aucune expérience de physique ne permet en fait de savoir si

FRANÇOISE BALIBAR

parce qu'il ne voit pas à l'extérieur de son référentiel, le rend incapable de penser plus avant.

La physique du XIX^e siècle fait coexister deux théories : la mécanique, science du mouvement des objets dits matériels, et l'électromagnétisme, science de la lumière. Malheureusement, ces deux théories se contredisent sur bien des points. La physique d'alors est comme une maison à deux corps de bâtiment.

elle traite sont donc des objets matériels, c'est-à-dire renfermant une certaine quantité de matière. Elle repose sur le principe de relativité, énoncé pour la première fois, non par Einstein comme on le croit souvent, mais par Galilée, et auquel toutes ses lois, et en particulier les trois lois de la dynamique de Newton, sont soumises.

En vertu de ce principe, dans un avion volant à sa vitesse de croisière – Galilée ne parlait évidemment pas d'avion, mais de navire –, les choses se déroulent de la même façon qu'au sol, à l'arrêt ; si bien que l'on ne peut pas savoir, en

*Tempus plagam cum in generatibus
astra movebatur, motu suo vel corpore
subducitur, vel obliquo oblique adiecit
subiungit determinationem componitur
Lex III.
Actioni contrariam passivam et eorum
corporum duorum actionis in se mutua
in partes contrarias dirigi
Quicquid premittitur vel trahitur alio
premittitur vel trahitur. Sicut lapidum
hujus dignitas a lapide. Si equus lapidem
retrahatur etiam et equus equaliter
hincque distentur, eodem relaxandi se
versus lapidem, ac lapidum versus et
progressum unum quantum premissum
corpus aliquod in corpus aliud impingit
quomodocumque mutaverit, idem quoque
eandem mutationem in partem eorum
equalitatem (proferantur multa) subiecit.*

ÉTIENNE KLEIN

l'on est dans l'avion en vol ou à l'arrêt au sol, du moins tant que l'appareil se déplace à vitesse constante et en ligne droite. Comme le disait Galilée, le mouvement de l'avion, ou du navire, est « comme nul ». Il ne compte pas puisqu'on ne peut pas mettre en évidence ses effets.

Quelle est la conséquence de ce principe de relativité ? Dans un avion, les passagers assis sont immobiles par rapport aux parois de l'appareil mais en mouvement par rapport à la Terre, elle-même en mouvement par rapport au Soleil qui lui-même a un certain mouvement au sein de notre galaxie, laquelle n'est pas non plus immobile. Bref, le principe de relativité implique qu'il n'existe rien qui soit absolument immobile.

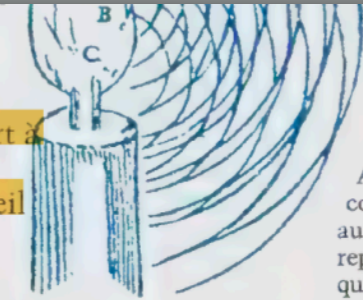
Quant à la théorie de l'électromagnétisme, élaborée dans sa version classique par James Clerk Maxwell dans les années 1850, elle décrit la lumière comme étant formée d'ondes. Une onde, pour un physicien du XIX^e siècle, c'est un phénomène qui progresse en faisant vibrer quelque chose du milieu dans lequel il se propage. Dans le cas d'une vague, archétype d'un phénomène ondulatoire, ce qui vibre, c'est l'eau, ou plus exactement la surface de l'eau. Pour le son, c'est l'air (c'est pourquoi dans le vide, le son ne se propage pas). Dans le cas de la lumière, pensait-on au XIX^e siècle, ce qui vibre, c'est l'« éther ».

Il faut imaginer, explique Maxwell, que le monde est rempli, jusque dans ses moindres recoins, d'un milieu, l'éther, dont l'existence est nécessaire à la propagation de la lumière. De quoi est fait cet éther ? A quoi ressemble-t-il ? A l'eau, à l'air, au verre ? Est-il pesant, solide, liquide, élastique ? La théorie de

FRANÇOISE BALIBAR

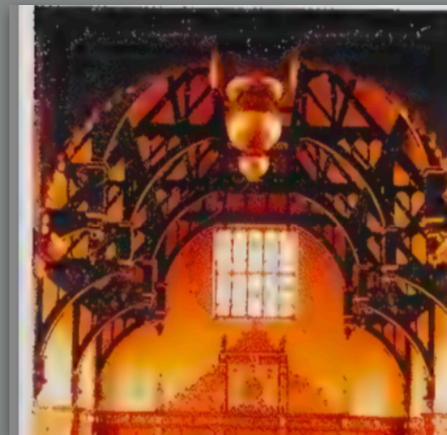
n'observant que ce qui se passe dans la cabine, si l'on est dans un avion en vol ou à l'arrêt au sol – du moins tant que l'appareil se déplace à vitesse constante et en ligne droite. Comme le disait fort bien Galilée, le mouvement de l'avion est « comme nul »; il ne compte pas, puisqu'on ne le « sent » pas.

et en ligne droite. Dans un avion, on est immobile par rapport aux parois de l'appareil mais en mouvement par rapport à la Terre, elle-même en mouvement par rapport au Soleil qui lui-même a un certain mouvement au sein de notre galaxie, laquelle n'est pas non plus immobile, etc. Bref, il n'existe strictement rien qui soit absolument immobile.



Première difficulté : l'éther de Maxwell

La théorie de la lumière
l'électromagnétisme



élaborée dans les années 1850 par le physicien britannique Maxwell crée une fissure dans le bel édifice construit par Newton et ses successeurs. Cette théorie décrit – en termes mathématiques – la lumière comme une onde, c'est-à-dire comme quelque

Il faut s'imaginer, dit Maxwell, que le monde est rempli, jusque dans ses moindres recoins, d'un milieu, l'éther, dont l'existence est nécessaire à la propagation de la lumière. De quoi est fait cet éther ? A quoi ressemble-t-il ? A l'eau, à l'air, au verre ? Est-il pesant, liquide, solide, élastique ? La théorie de Maxwell donne quelques réponses vagues – l'éther est « sans doute » incolore, « probablement » sans poids...

M
à exp
prop
la lu
méca
à l'ai
cons
dent

ÉTIENNE KLEIN

Maxwell donne quelques réponses, mais elles sont plutôt vagues : l'éther est « sans doute » incolore, « probablement » sans poids... En fait, au cours du temps, l'éther fut dépouillé par les physiciens de toutes les propriétés physiques qu'on lui attribuait traditionnellement, jusqu'à ne plus conserver qu'une seule caractéristique : une immobilité absolue, en complète contradiction avec le principe de relativité.

D'où le dilemme. Ou bien on prend au sérieux la théorie de Maxwell, parfaitement conforme à l'expérience, et il faut alors admettre que la lumière se propage dans un éther absolument immobile, c'est-à-dire abandonner le principe de relativité, et donc abattre la mécanique de Newton. Ou bien on prend au sérieux le principe de relativité, mais on abandonne l'éther. Mais alors, comment se propage la lumière ?

Einstein lèvera la contradiction en juin 1905 en exposant les bases de la théorie de la relativité, au sens moderne du terme. Il commence par proclamer la mort de l'éther. La lumière n'est pas produite par la mise en ébranlement d'un milieu : elle se propage dans le vide. Einstein pose en principe l'une des conclusions implicitement contenue dans la théorie de Maxwell : la lumière, quel que soit le mouvement de celui qui l'observe, doit toujours aller à la même vitesse, voisine de $300\,000\text{ km/s}^1$. Lorsqu'une voiture s'approche d'un observateur tous phares allumés, la lumière qu'elle émet se propage à la même vitesse par rapport à l'observateur que si cette voiture était à l'arrêt. La loi d'addition classique des vitesses énoncée par Galilée ne vaut donc pas pour la lumière : la vitesse de la lumière par rapport à moi n'est pas égale à celle de la lumière

FRANÇOISE BALIBAR

pesant, liquide, solide, élastique? La théorie de Maxwell donne quelques réponses vagues – l'éther est « sans doute » incolore, « probablement » sans poids...

semblable à la fameuse « jelly » anglaise. Au cours du temps, on en était même venu à dépouiller l'éther de toutes ses propriétés physiques et à ne lui conserver qu'une seule caractéristique : une immobilité absolue, en flagrante contradiction avec le principe de relativité.

Or, en physique un principe ne souffre pas d'exception ; sinon il faut l'abandonner. Au début du siècle, les physiciens se débattent donc dans le dilemme suivant. Ou ils prennent au sérieux la théorie de Maxwell – comment ne pas le faire ? la théorie est en accord précis avec les résultats expérimentaux –, et alors il leur faut accepter que la lumière se propage dans un éther absolument immobile et donc abandonner le principe de relativité, abattre ce corps de bâtiment qu'est

corps de bâtiment, l'électromagnétisme, mais alors comment expliquer la propagation de la lumière ?

paragraphe de son article de juin. Il résout ainsi la seconde contradiction dont souffrait la théorie physique.

Mais comment supprimer l'éther, qui, si l'on en croit Maxwell, est le milieu dont les vibrations constituent la lumière elle-même ? Einstein déclare que la lumière n'est tout simplement pas produite par la mise en ébranlement d'un milieu, l'éther ou n'importe quel autre.

Comment définir alors la lumière ? Einstein décide de poser en principe l'une des conclusions de la théorie de Maxwell, à savoir que la lumière, quel que soit le mouvement de celui qui l'observe, doit toujours aller à la vitesse c , égale à $300\,000\text{ km/s}$ environ. Si l'on conçoit la lumière comme le

✓ mouvement d'une onde dans

Copié-collé #3

Gerald Holton



*Einstein et les racines culturelles
de la science moderne*

REVUE LE DÉBAT - GALLIMARD - 1998

ÉTIENNE KLEIN

petits corps en suspension qui sont assez gros pour être vus au microscope. Einstein explique ce phénomène par le bombardement de ces corps visibles par le désordre invisible des molécules. Le dernier des travaux en cours qu'il évoque était ce qui allait devenir l'exposé original de la théorie de la relativité et qu'il se contente de présenter comme une évolution reposant sur des « modifications de la théorie de l'espace et du temps ».

Chacun de ces articles paraît relever de trois champs complètement différents. Pourtant, on trouve dans une lettre qu'Einstein avait écrite à Max von Laue, en janvier 1952, le lien caché qui unissait ces trois recherches^[7]. Pour le dire très brièvement, son étude de la théorie de Maxwell, qui l'avait conduit à la théorie de la relativité restreinte, avait aussi convaincu Einstein que le rayonnement a une structure granulaire présentant des phénomènes de fluctuation dans la pression du rayonnement, et que cette fluctuation devrait se manifester dans le mouvement brownien. Les trois articles séparés d'Einstein avaient donc sans doute une origine commune. La motivation de fond de chaque article est d'ailleurs celle qu'il avait annoncée cinq ans plus tôt dans la lettre à Marcel Grossmann où il révélait ce qui allait devenir sa principale préoccupation scientifique pour le restant de sa vie : « C'est un sentiment merveilleux que de reconnaître la possibilité d'unifier [*Einheitlichkeit*] un complexe de phénomènes qui, pour l'expérience directe des sens, apparaissent comme des choses tout à fait séparées. »^[8] L'article sur la nature quantique de la lumière commence ainsi

GERALD HOLTON

par cette *Kultur* étaient disposées à se railler des conventions tout en vénérant les grandes figures culturelles de tous les temps. Quoique volontiers dissidents, ils se considéraient aussi comme les membres loyaux d'une communauté supratemporelle d'esprits d'exception, qui vivaient dans un univers parallèle à celui de la masse des philistins. Si ce mélange n'était pas jugé contradictoire, il faut prendre note ici de ce que l'histoire devait plus tard écrire en lettres de sang : quand ces éléments de rébellion se détachèrent par la suite de leurs contreparties stabilisatrices dans la culture, ils s'embrasèrent un temps dans l'Allemagne du xx^e siècle, jusqu'à transformer et détruire la *Kultur* elle-même. Einstein lui-même en fit l'expérience, avec

revenue après coup.

Chacun de ces articles achevés en 1905 est une contribution éblouissante ; qui plus est, ils ont toujours paru relever de trois champs entièrement différents. Pour ma part, je n'ai jamais pu me défaire de l'idée que, par-delà leurs différences évidentes, il devait y avoir une motivation commune derrière ces articles publiés juste l'un après l'autre. Quelque chose manquait dans cette lettre exubérante à Habicht.

Je devais finir par trouver un indice important dans une lettre qu'Einstein avait écrite à Max von Laue en janvier 1952 et qui indique le lien caché³³. Pour le dire très brièvement, son étude de la théorie de Maxwell, qui l'avait conduit à la théorie de la relativité, avait aussi convaincu Einstein que le rayonnement a une structure atomique (autrement dit, quantique), présentant des phénomènes de fluctuation dans la pression du rayonnement, et que cette fluctuation devrait se manifester dans le mouvement brownien d'un minuscule miroir suspendu. Les trois feux d'artifice séparés — la relativité, le quantum et le mouvement brownien — trouvaient donc leur origine dans une même cartouche.

De surcroît, une fois qu'on a bien compris cela, on retrouve fondamentalement le même

diction et une explication détaillée du mouvement aléatoire, en zigzag, de petits corps en suspension qui sont assez gros pour être vus au microscope : il explique, dans le détail, ce phénomène par le bombardement de ces corps visibles par le désordre submicroscopique et invisible des molécules. (L'existence de ce mouvement, dit brownien, était connue.) Et le dernier des travaux en chantier qu'il évoque était ce qui allait devenir l'exposé original de la relativité d'Einstein — et qu'il se contente de présenter comme une évolution reposant sur des « modifications de la théorie de l'espace et du temps ». À cette fin, dans l'article publié, il devait négligemment se débarrasser de l'éther, qui occupait la vie d'un grand nombre d'émi-

analogue aux axiomes qu'Euclide avait placés en tête de son livre « saint » de géométrie. Puis, dans chaque cas, il montre comment éliminer, par voie de conséquence et déduction, l'une de ses insatisfactions premières ; pour finir, brièvement et avec une apparente désinvolture, il propose quelques expériences susceptibles d'étayer les prédictions découlant de sa théorie. Une fois de plus, il n'y avait qu'un seul Einstein, non pas trois.

Le plus significatif, c'est que la motivation de fond de chaque article est très exactement celle qu'il avait annoncée cinq ans plus tôt dans la lettre à Marcel Grossmann où il révélait ce qui allait devenir sa principale préoccupation scientifique pour le restant de sa vie : « reconnaître l'unité d'un complexe de phénomènes qui apparaissent à l'observation directe comme des choses tout à fait séparées ». L'article sur la nature quantique de la lumière commence ainsi par une phrase typique : « Il existe une profonde différence formelle entre les représentations théoriques que se sont forgées les physiciens à propos des gaz et des autres corps pondérables, et la théorie de Maxwell des processus électromagnétiques dans ce qu'il est convenu d'appe-

ÉTIENNE KLEIN

par une phrase typique : « Il existe une profonde différence formelle entre les représentations théoriques que se sont forgées les physiciens à propos des gaz et des autres corps pondérables, et la théorie de Maxwell des processus électromagnétiques dans ce qu'il est convenu d'appeler l'espace vide. »^[9] En d'autres termes, l'énergie des corps tangibles est concentrée, et non divisible à l'infini, tandis que lorsqu'une onde de lumière se propage, son énergie en un point donné varie constamment. Pourquoi l'atomicité ne vaudrait-elle pas aussi bien pour la matière que pour l'énergie de la lumière ? Dans l'article sur le mouvement brownien, Einstein déclare que, s'il y a un mouvement chaotique, une fluctuation spontanée dans le microcosme de la thermodynamique classique, on doit également le retrouver dans le macrocosme des corps visibles. Et, de fait, l'article sur la relativité élimine les anciennes barrières entre l'espace et le temps, l'énergie et la masse, les visions du monde électromagnétique et mécanique. En fin de compte, tous ces articles s'efforcent de réunir et d'unifier des opposés apparents, et de supprimer les barrières conceptuelles dressées entre eux.

Einstein n'a jamais cessé de chercher à unifier les lois physiques d'un point de vue axiomatique. Ainsi qu'il écrivit dans une lettre de 1916 à l'astronome Willem de Sitter, il s'est toujours senti mû par un « besoin de généraliser »^[10] (*mein Verallgemeinerungsbedürfnis*). Ce besoin persista tel quel de son premier article sur la capillarité jusqu'à ses derniers travaux portant sur l'élaboration d'une théorie générale du champ unifié qui associerait gravité et électromagnétisme, et donnerait

GERALD HOLTON

par une phrase typique : « Il existe une profonde différence formelle entre les représentations théoriques que se sont forgées les physiciens à propos des gaz et des autres corps pondérables, et la théorie de Maxwell des processus électromagnétiques dans ce qu'il est convenu d'appe-

ler l'espace vide³⁴ ». En d'autres termes, l'énergie des corps tangibles est concentrée, et non divisible à l'infini ; mais tandis qu'une onde de lumière se propage, son énergie à un point donné décroît constamment.

Pourquoi l'atomicité ne vaudrait-elle pas aussi bien pour la matière que pour l'énergie de la lumière ? Dans l'article sur le mouvement brownien, il déclare que, s'il y a un mouvement chaotique, une fluctuation spontanée dans le microcosme de la thermodynamique classique, on doit aussi le retrouver dans le macrocosme des corps visibles. Et, de fait, l'article sur la relativité élimine les anciennes barrières entre l'espace et le temps, l'énergie et la masse, les visions du monde électromagnétique et mécaniste. En fin de compte, tous ces articles s'efforcent de réunir et d'unifier des opposés apparents, de supprimer les barrières illusives dressées entre eux.

dans la nature. Ainsi qu'il l'écrivit dans une lettre de 1916 à l'astronome Willem de Sitter, il se sentit toujours mû par un « besoin de généraliser » (*mein Verallgemeinerungsbedürfnis*³⁷). Ce besoin persista tel quel de son premier article sur la capillarité à ses derniers portant sur la découverte d'une théorie générale du champ unifié qui associerait gravité et électromagnétisme, et donnerait même une

même une nouvelle interprétation des phénomènes quantiques. Avec trente-deux autres savants issus de différents domaines, de David Hilbert et Ernst Mach à Jacques Loeb, Sigmund Freud, Felix Klein et Ferdinand Tönnis, il s'associa même à la publication, dès 1912, d'un manifeste appelant à la création d'une nouvelle société visant à élaborer, à travers toutes les branches de la recherche, un ensemble d'idées unifiantes et de conceptions unitaires. Plus précisément, l'objectif de cette nouvelle société, peut-on lire dans le deuxième paragraphe de l'*Aufruf*, serait de « rassembler tous les domaines de la science dans une association organique, d'élaborer partout des idées unifiantes et de progresser ainsi vers une conception globale et non contradictoire^[11] ». Selon Gerald Holton, les racines culturelles de cette conception de la science sont sans doute à chercher dans la grande influence qu'eut l'œuvre de Goethe sur les penseurs allemands de cette époque, notamment un aspect central de cette œuvre : le désir d'unité, de totalité, d'interconnexion de toutes les parties de la nature^[12]. Les fragments de poésie de Goethe, rappelle-t-il, étaient monnaie courante dans les conférences de vulgarisation et dans les manuels scientifiques. On ne peut donc nier qu'il y ait eu une forte résonance entre le mouvement gothéen ou faustien vers une intelligence unifiée de la nature et l'ambition analogue des hommes de science : la quête d'une seule et unique image du monde totalement cohérente, d'une *Weltbild* englobant tous les phénomènes. La science physique aspirait elle aussi à progresser par la découverte de lois et de concepts fondamentaux toujours moins nombreux et toujours moins

électromagnétisme, et donnerait même une nouvelle interprétation des phénomènes quantiques — ainsi que cela peut encore arriver, quoique suivant une trajectoire différente de la sienne. Entre-temps, cette préoccupation l'avait

prise sur la fibre centrale de son âme. Avec trente-deux autres savants issus d'un large éventail de domaines, de David Hilbert et Ernst Mach à Jacques Loeb, Sigmund Freud, Felix Klein et Ferdinand Tönnis, il s'associa même à la publication, dès 1912, d'un manifeste public appelant à la création d'une nouvelle société visant à élaborer, à travers toutes les branches de la recherche, un ensemble d'idées unifiantes et de conceptions unitaires. L'objectif de la nouvelle Société, peut-on lire dans le deuxième paragraphe de l'*Aufruf*, serait de « rassembler tous les domaines de la science (*alle Wissenschaften*) dans une association organique, d'élaborer partout les idées unifiantes et de progresser ainsi vers une conception globale et non contradictoire³⁹ ».

gothéen de l'unité de la nature⁴⁶. » Les fragments de poésie de Goethe étaient monnaie courante, dans les conférences de vulgarisation des autres *Kulturträger* ou dans les exhortations des hommes politiques, mais aussi dans les cours et les manuels de science, les écrits de physiciens comme Hermann von Helmholtz, Erwin Schrödinger, Wilhelm Wien et Max Born.

ment la synthèse de larges pans de la physique.

L'essentiel est ici la forte résonance entre le mouvement gothéen ou faustien vers une intelligence fondamentale unifiée de la nature, symbolisée par le Signe du macrocosme, et l'ambition analogue des hommes de science boltzmanniens et de leurs élèves : la quête d'une seule et unique image du monde totalement cohérente, d'une *Weltbild* englobant tous les phénomènes. La science physique aspirait elle

aussi à progresser par la découverte de lois et de concepts fondamentaux toujours moins nom-

ÉTIENNE KLEIN

englobants pour arriver enfin à ce que Max Planck appela, dans le titre de son essai de 1908, *Die Einheit des physikalischen Weltbildes*^[13]. De fait, certains physiciens attendent encore le jour où l'on trouvera une seule équation, une équation universelle, qui subsumera toute la diversité des phénomènes physiques. Cet élan se retrouve dans le discours qu'Einstein prononça en 1918 en l'honneur de Max Planck et intitulé « Principes de recherche »^[14]. Il y déclare solennellement qu'en façonnant une image cohérente du monde tout artiste, philosophe ou homme de science digne de ce nom, chacun à sa façon, « place le centre de gravité de sa vie émotionnelle ». Pour Einstein, cette quête d'une image du monde était « la tâche suprême » du physicien : « arriver à ces lois élémentaires universelles à partir desquelles puisse être édifié le cosmos ».

Typique de nombreux hommes de science allemands de l'époque, alors même que la spécialisation gagnait du terrain, l'intensité de cet élan vers une *Weltbild* unifiée était loin d'être leur apanage. Ainsi lit-on sous la plume de David Cassidy : « L'«esprit d'unification», ainsi qu'on l'a nommé, pénétrait largement la pensée centre-européenne au tournant du siècle. L'idéalisme allemand, le néo-romantisme et l'historicisme, d'Emmanuel Kant et Georg Wilhelm Hegel à Benedetto Croce et Wilhelm Dilthey, tous étaient orientés vers une sorte d'unité supérieure transcendante, l'existence d'idées ou de forces permanentes qui supplantent ou sous-tendent le monde transitoire, éphémère, des phénomènes naturels, les applications pratiques et le combat quotidien de l'existence humaine. Le savant, l'artiste, le poète, le spécialiste de physique

breux mais toujours plus englobants pour arriver enfin à ce que Max Planck appela, dans le titre de son essai de 1908, « Die Einheit des physikalischen Weltbildes⁵¹ ». De fait, certains physiciens attendent encore le jour où l'on trouvera une seule équation, une équation universelle, qui subsumera toute la diversité des phénomènes physiques. Alors nous aurons bel et bien sous les yeux le Signe du macrocosme.

jamais le dos à son objectif implicite.

Son expression la plus éloquente apparaît peut-être dans son discours de 1918, « Principes de recherche », donné en l'honneur de Max Planck⁵². Il y déclare solennellement qu'en

façonnant une image cohérente du monde tout artiste, philosophe ou homme de science digne de ce nom, chacun à sa façon, « place le centre de gravité de sa vie émotionnelle ». Pour Einstein, cette quête d'une image du monde était « la tâche suprême » du physicien : « arriver à ces lois élémentaires universelles à partir desquelles puisse être édifié le cosmos... ».

Si typique de nombreux hommes de science allemands de l'époque — alors même que la spécialisation gagnait du terrain — l'intensité de cet élan vers une *Weltbild* unifiée était loin d'être leur apanage. Ainsi lit-on sous la plume de David Cassidy : « L'«esprit d'unification», ainsi qu'on l'a nommé, pénétrait largement la pensée centre-européenne au tournant du siècle. L'idéalisme allemand, le néo-romantisme et l'historicisme, d'Emmanuel Kant et Georg Wilhelm Hegel à Benedetto Croce et Wilhelm Dilthey, tous étaient orientés vers une sorte d'unité supérieure transcendante, l'existence d'idées ou de forces permanentes qui supplantent ou sous-tendent le monde transitoire, éphémère, des phénomènes naturels, les applications pratiques et le combat quotidien de l'existence humaine. Le savant, l'artiste, le poète, le spécialiste de physique théorique, tous s'efforçaient de

GERALD
HOLTON

ÉTIENNE KLEIN

théorique, tous s'efforçaient de saisir cette réalité supérieure, une réalité qui, en raison de sa permanence et de sa transcendance, doit révéler la "vérité" ultime et, en conséquence, servir de base unificatrice pour comprendre l'univers plus large de l'existence humaine dans ses multiples manifestations et y réagir »^[15]. L'unité, revendiquée bien au-delà du cercle des physiciens, était l'un des *thêmata* favoris des penseurs de cette époque.

La relativité restreinte

La physique du XIX^e siècle était fondée sur la mécanique newtonienne, c'est-à-dire la science du mouvement des objets dits matériels, et sur l'électromagnétisme, la science de la lumière et de tous les autres phénomènes électromagnétiques. Ces deux théories semblaient également exactes chacune dans son domaine, et pourtant on ne tarda pas à constater que leurs principes fondamentaux respectifs se contredisaient.

La mécanique est fondée sur le principe de relativité, énoncé pour la première fois, non par Albert Einstein, mais par Galilée autour de l'an 1600. En vertu de ce principe, dans un avion volant à sa vitesse de croisière – Galilée ne parlait pas d'avion, mais de navire – les choses se déroulent de la même façon qu'au sol, à l'arrêt : par exemple, si une hôtesse laissait échapper de ses mains un verre d'eau, celui-ci tomberait exactement de la même façon dans le « référentiel galiléen » qu'est l'avion que si l'incident se produisait dans un restaurant. Aucune expérience de physique ne permet en fait de savoir si

GERALD HOLTON

pratiques et le combat quotidien de l'existence humaine. Le savant, l'artiste, le poète, le spécialiste de physique théorique, tous s'efforçaient de saisir cette réalité supérieure, une réalité qui, en raison de sa permanence et de sa transcendance, doit révéler la "vérité" ultime et, en conséquence, servir de base unificatrice pour comprendre l'univers plus large de l'existence humaine dans ses multiples manifestations et y réagir⁵³. »

Je ne puis qu'ajouter, pour finir, que des

Copié-collé #4

Jan Willem van Holten



Théorie de jauge et unification des interactions fondamentales
dans « Le Vide. Univers du tout et du rien »

EDITION COMPLEXE - 1998

ÉTIENNE KLEIN

physicien ne peut s'empêcher de considérer ces deux particules, aux caractéristiques très différentes (notamment leurs masses), comme essentiellement distinctes.

La symétrie qu'invoque la théorie électrofaible réunit celle de l'électromagnétisme et celle de l'interaction faible. Appliquée de la manière la plus simple, elle imposerait l'existence de quatre bosons médiateurs, tous de masse nulle. Or, si le photon est bien dépourvu de masse, ce n'est pas le cas des bosons intermédiaires responsables des interactions faibles, que fabriquent les accélérateurs. Ces trois médiateurs de l'interaction faible ont une masse élevée. Pour comprendre une telle différenciation, il est nécessaire de compliquer fortement la théorie en lui adjoignant de manière *ad hoc* quelques ingrédients supplémentaires.

Quelques physiciens ont ainsi proposé, dans les dernières décennies, que la symétrie fondamentale de la nouvelle théorie ait été « brisée spontanément » selon un mécanisme très particulier ^[16] qui se serait déroulé très tôt dans l'histoire de l'univers. Ce mécanisme aurait détruit la symétrie préalablement existante, dont il ne subsisterait qu'un fantôme, ayant la forme d'une symétrie résiduelle. Du même coup, ce mécanisme, en dissociant les deux interactions, pourrait rendre compte des masses des bosons W et Z⁰. ^[17]

Pour comprendre comment ce mécanisme agit, il faut revenir un instant sur la définition d'un champ scalaire. En physique classique, un champ scalaire est caractérisé par son amplitude en chaque point de l'espace et du temps. A ce nombre ne correspond pas de direction. Par suite, les ondes scalaires n'ont

J. W. VAN HOLTEN

extrêmement légères en regard de l'échelle de masse et d'énergie de notre scénario d'unification ?

L'une des idées très intéressantes de la physique moderne est qu'il pourrait exister un lien entre ces deux questions. Ce lien nous est fourni par la physique des champs scalaires. En physique classique, un champ scalaire est caractérisé par son amplitude (un nombre pur sans dimension) en chaque point de l'espace et du temps ; à ce nombre ne correspond pas de direction, et par suite les ondes scalaires n'ont pas

ÉTIENNE KLEIN

pas de polarisation spatiale. De ce point de vue, les ondes scalaires sont différentes des ondes électromagnétiques qui, étant spécifiées par une amplitude et une direction du champ, ont les caractéristiques d'un vecteur et non celles d'un nombre. Puisque le vecteur du champ électromagnétique est toujours perpendiculaire à la direction de propagation, les ondes électromagnétiques ont deux états de polarisation indépendants. Par contre, les champs scalaires n'ont pas d'état de polarisation. La propriété qui, en théorie quantique des champs, correspond à la polarisation est le spin. Celui-ci, comme on l'a vu, est quantifié. Si on prend le spin du photon comme unité, les particules vectorielles comme les gluons ou les bosons intermédiaires ont un spin unité. Les fermions élémentaires comme les leptons ou les quarks ont un spin égal à une demi-unité. Les particules scalaires, qui sont les quanta des champs scalaires, n'ont quant à elles pas de spin. En raison de cette absence de spin, les champs scalaires ne doivent pas s'annuler dans le vide, même si celui-ci est l'état de plus faible énergie. Qui plus est, un champ scalaire constant non nul n'altère pas la symétrie de translation et de rotation de l'espace vide, comme le ferait un champ électrique ou magnétique. Mais en général, un champ scalaire dans le vide produit des effets observables. En particulier, si le champ scalaire produit une charge d'un type donné, sa valeur dans le vide engendre des densités de charge non nulles et constantes dans l'espace et dans le temps. Toute autre particule avec une charge semblable, ou un boson de jauge qui interagit avec cette sorte de charge, sera alors affectée dans son mouvement. Bien sûr, des densités

J. W. VAN HOLTEN

L'une des idées très intéressantes de la physique moderne est qu'il pourrait exister un lien entre ces deux questions. Ce lien nous est fourni par la physique des champs scalaires. En physique classique, un champ scalaire est caractérisé par son amplitude (un nombre pur sans dimension) en chaque point de l'espace et du temps; à ce nombre ne correspond pas de direction, et par suite les ondes scalaires n'ont pas de polarisation spatiale. Sous ce rapport, les ondes scalaires sont différentes des ondes électromagnétiques, qui sont spécifiées par une amplitude et une direction du champ: le champ électromagnétique a les caractéristiques d'un vecteur, plutôt que celles d'un nombre. Puisque le vecteur du champ électromagnétique est toujours perpendiculaire à la direction de propagation, les ondes électromagnétiques ont deux états de polarisation indépendants. On peut les décrire comme des ondes polarisées circulairement à droite, si le vecteur du champ tourne dans le sens

polarisées circulairement à gauche, si le vecteur du champ tourne dans le sens inverse. Par contre, les champs scalaires n'ont pas d'état de polarisation.

La propriété qui, en théorie quantique des champs, correspond à la polarisation est la rotation intrinsèque ou spin. Comme la charge, ce dernier se quantifie en unités fixes. Si nous prenons le spin du photon comme unité, les particules vectorielles comme les gluons et les bosons W^\pm et Z ont une unité de spin. Les fermions comme les quarks et les leptons portent une demi-unité de spin. Les particules scalaires, qui sont les quanta des champs scalaires, par contre, n'ont pas de spin. En raison de cette absence de polarisation spatiale, ou spin, les champs scalaires ne doivent pas s'annuler dans le vide, même si celui-ci est l'état de plus faible

Jan-Willem van Holten

énergie. Qui plus est, un champ scalaire constant non nul n'altère pas la symétrie de translation et de rotation de l'espace vide, comme le ferait un champ électrique ou magnétique. Mais en général un champ scalaire dans le vide produit des effets observables. En particulier, si le champ scalaire porte une charge d'un type donné, sa valeur dans le vide engendre des densités de charge et d'anticharge égales et non nulles, constantes dans l'espace et le temps. Toute autre particule avec une charge semblable, ou un boson de jauge qui interagit avec cette sorte de charge, sera alors affecté dans son mouvement. Bien sûr, des densités de charge constantes n'engendrent pas de différence de potentiel et des particules qui interagissent avec

ÉTIENNE KLEIN

de charge constantes n'engendrent pas de différence de potentiel, de sorte que des particules qui portent des charges ne seront pas accélérées par le champ du vide. Mais le champ peut exercer une résistance qui affectera la facilité avec laquelle les particules répondront à d'autres forces. Il participera donc effectivement à la masse des particules chargées ainsi qu'à celle des bosons de jauge. C'est ce mécanisme de génération d'une masse pour les particules, due à leur interaction avec la densité de charge sous-jacente dans le vide, qui est connu sous le nom de mécanisme de Higgs. Il implique l'existence d'un champ scalaire qui n'a pas encore été observé, auquel est associée une particule neutre à découvrir, le boson de Higgs, dont le comportement est fixé par la théorie. Sa masse ne devant pas dépasser l'équivalent d'un TeV, il devrait pouvoir être détecté grâce au futur collisionneur à protons du CERN ^[18].

Notes du chapitre

[1] † Lorsque la résolution spatiale d'une expérience atteint 10^{-17} m, on distingue nettement des points durs à l'intérieur des hadrons, de la même façon que Rutherford avait distingué en 1911 un point dur, le noyau, dans l'atome : ce sont les quarks.

[2] † Les hadrons les plus célèbres sont le proton et le neutron, constitutifs des noyaux atomiques et donc de la matière ordinaire, ou encore le pion, aussi appelé méson π , que les protons et les neutrons s'échangent en permanence à l'intérieur du noyau. On connaît plus de 350 hadrons, qui ont tous été détectés, soit dans le rayonnement cosmique, soit par des expériences à haute énergie menées auprès des grands accélérateurs de particules. Certains hadrons sont électriquement chargés, d'autres non. Ils sont tous instables, à l'exception du proton, c'est-à-dire qu'ils finissent toujours par se désintégrer. Leurs durées de vie peuvent être très courtes (certaines sont de l'ordre de 10^{-20} seconde, voire moins). Les hadrons se répartissent en deux catégories distinctes, en fonction de la valeur de leur spin (le spin est une

J. W. VAN HOLTEN

sera alors affecté dans son mouvement. Bien sûr, des densités de charge constantes n'engendrent pas de différence de potentiel et des particules qui portent des charges ne seront pas accélérées par le champ du vide. Mais le champ peut exercer une résistance, qui affectera la facilité avec laquelle les particules répondront à d'autres forces, et donc il contribuera effectivement à la masse des particules chargées et des bosons de jauge. Ce mécanisme de génération d'une masse effective pour les particules, due à leur interaction avec la densité de charge sous-jacente dans le vide, est connu sous le nom de mécanisme de Brout-Englert-Higgs, ses promoteurs. L'importance du frottement, et par suite de la masse, dépend de la grandeur des densités de charge. Qui plus est, la réponse des particules aux autres forces externes dépend de la fréquence ou de la longueur d'onde du champ de force externe. Si les différences de potentiel produites par le champ externe sont beaucoup plus grandes

ÉTIENNE KLEIN

constante de Planck h , et de la distance entre les deux miroirs. En ce sens, elle a un caractère universel.

Il a par ailleurs été établi que les fluctuations du vide sont « polarisées », dans un sens que nous allons définir.

Considérons une particule chargée, par exemple un électron, en mouvement à travers l'espace vide. Le mot « vide » signifie en l'occurrence qu'aucune autre particule observable n'est présente. Mais il y a toujours, comme nous l'avons vu, la mer de particules et d'antiparticules virtuelles, qui font partie de la configuration du champ dans son état fondamental. Ces particules sont sensibles à la charge de l'électron, qui exerce donc une force répulsive sur les particules virtuelles dont la charge a le même signe, et une force attractive sur les particules dont la charge électrique a un signe opposé. La densité de charges positives du vide est donc en moyenne plus élevée près de l'électron et tend à occulter la charge négative de ce dernier. Par suite, lorsque la charge de l'électron est observée d'une certaine distance, elle semble plus petite que la charge « nue » qu'on ne peut observer qu'à courte distance. Dans de telles conditions, on ne peut plus parler de la charge de l'électron, mais seulement de la charge telle qu'elle est observée à distance infinie, ou à une distance finie donnée ^[11].

Comme on voit, le vide quantique, qui repose sur un espace-temps donné *a priori*, ne ressemble guère au vide de la relativité générale, constitué d'une base de points d'espace-temps dénuée de toute structure métrique. La différence radicale entre ces deux sortes de vide illustre de façon spectaculaire l'incompatibilité des principes de la relativité

J. W. VAN HOLTEN

Le fait qu'un champ quantique, même dans l'état correspondant au vide, présente encore un comportement observable et non trivial résultant de fluctuations des particules et des charges, permet de conclure à la réalité physique de ces champs. Ce fait a des conséquences très étendues sur les propriétés des particules et sur les processus physiques qui leur sont associés.

Considérons une particule chargée comme un électron, en mouvement à travers l'espace vide. Le mot « vide » signifie ici qu'aucune autre particule observable et localisée n'est présente. Mais il y a toujours la mer de particules et d'antiparticules virtuelles, qui font partie de la configuration vide de ce champ. Ces particules sentent la charge de l'électron physique, qui exerce une force répulsive sur les particules virtuelles dont la charge a le même signe, et une force attractive sur celles dont la charge est de signe opposé. Les fluctuations du vide sont donc polarisées : la densité de charges positives du vide est en moyenne plus élevée près de l'électron, et tend à occulter la charge négative de ce dernier. Par suite, lorsque celle-ci est observée d'une certaine distance, elle est plus petite que la charge « nue » telle qu'on peut l'observer à de très courtes distances. Dans de telles conditions il n'est plus possible de parler de la charge de l'électron, mais seulement de la charge telle qu'elle est observée à une distance infinie, ou à une distance finie donnée⁶.

Et en effet, la polarisation du vide implique pour la force électrostatique entre deux charges nues une valeur inférieure à celle que prédit la loi de Coulomb. Mais il est plus utile et plus courant de présenter cet effet comme une renormalisation de

ÉTIENNE KLEIN

être une distance pour laquelle les intensités de toutes les forces seront voisines les unes des autres, du moins s'il n'y a pas de changement radical de la physique aux très petites distances. Autrement dit, il se peut qu'à une échelle donnée, toutes les forces aient des grandeurs comparables. Dès lors, il est tentant de se demander s'il est possible pour toutes les forces de devenir égales en même temps, c'est-à-dire pour une distance universelle donnée. Il est remarquable de constater que pour les particules connues du modèle standard (quarks, leptons et bosons de jauge), cela est presque vrai dès lors que l'on ajoute l'effet des bosons scalaires, comme le boson de Higgs. Ce constat ouvre la voie à une extension possible du modèle standard, par ajout d'autres champs scalaires et d'autres champs de fermions de sorte que l'ensemble de la théorie obéisse à une symétrie plus large, appelée supersymétrie. Celle-ci impose certaines relations rigoureuses entre les propriétés des bosons et celles des fermions. Elle ne constitue encore qu'une idée spéculative, mais il s'avère qu'elle ajuste la variation des diverses constantes de couplage de façon qu'elles deviennent « naturellement » égales à une échelle de distance commune. L'échelle universelle à laquelle se réalise l'égalité des forces est d'environ 10^{-32} m, ce qui correspond à une énergie de l'ordre de 10^{16} GeV. Cette échelle découle spontanément de l'extension supersymétrique du modèle standard.

Supposons que les forces électromagnétique, faible et forte deviennent effectivement égales à cette échelle universelle. Nous serions alors tentés de leur attribuer une origine commune. Cette origine pourrait résider dans un champ de

J. W. VAN HOLTEN

qui peut être observé à cette échelle, comme je l'ai expliqué ci-dessus. Mais cela ne met pas en cause l'observation fondamentale: les variations des diverses charges effectives impliquent qu'à une échelle donnée elles doivent devenir de grandeur comparable.

L'on pourra se demander s'il est possible pour toutes les charges de devenir égales en même temps, c'est-à-dire pour une distance universelle donnée. Il est remarquable que pour les particules connues du modèle standard (quarks, leptons et bosons de jauge) cela soit presque vrai, si l'on ajoute l'effet d'un autre type de particule que nous n'avons pas rencontré jusqu'ici: les bosons scalaires, dont l'on prédit qu'ils jouent un rôle dans le domaine des interactions faibles du modèle standard. Dans le paragraphe suivant, je discuterai plus en détail cet aspect important des interactions faibles. Il constitue aussi la base d'une extension ultérieure du modèle standard avec d'autres champs scalaires et champs de fermions et introduit une nouvelle propriété, que l'on appelle *supersymétrie*. Celle-ci impose certaines relations rigoureuses entre les propriétés des bosons et des fermions; elle ne constitue qu'une idée spéculative, mais il s'avère que c'est exactement l'idée qu'il nous faut pour ajuster la variation des diverses sortes de charges effectives de façon à ce qu'elles deviennent égales à une échelle de distance commune. Cette échelle universelle à laquelle se réalise l'égalité est petite à l'extrême, même en regard des échelles de la physique des particules subatomiques et subnucléaires que nous avons considérées jusqu'ici: environ 10^{-30} cm. Mais il est enrichissant pour l'esprit que cela soit tout simplement possible avec les outils relativement simples que proposent le modèle standard et son extension supersymétrique.

Supposons à présent pour les besoins de la cause que toutes les forces subatomiques deviennent effectivement égales à cette échelle universelle. Quelles en seront les implications? La possibilité la plus intéressante est que cela signifierait que les trois forces discutées ici ont une origine commune. Cette origine pourrait résider

ÉTIENNE KLEIN

auge ayant un nombre élevé de charges, toutes mises sur un pied d'égalité, comme les trois charges de couleur de l'interaction forte. Sur des distances plus petites que l'échelle universelle de 10^{-32} m, ce champ de jauge unifié devrait fournir une description convenable des phénomènes microscopiques. Mais sur des distances plus importantes, la symétrie entre les diverses charges serait rompue de manière que les divers sous-ensembles d'interactions de jauge dépendent différemment de la distance, avec pour effet qu'à l'échelle des distances aujourd'hui accessibles, soit environ 10^{-18} m, les intensités des forces faible, électromagnétique et forte deviennent très différentes les unes des autres, conformément à ce qui est observé.

La supersymétrie associe à chaque particule ordinaire un « superpartenaire », dont les propriétés sont identiques à l'exception du spin, qui diffère d'une demi-unité. En d'autres termes, la supersymétrie établit une relation entre fermions et bosons et prévoit une sorte de dédoublement de la matière. Toute symétrie se comprend, nous l'avons dit, comme une invariance par rapport à un certain type de transformations. La transformation correspondant à la supersymétrie est celle qui associe à chaque fermion un boson et réciproquement. Cette transformation jouit d'une propriété remarquable : la composition de deux transformations supersymétriques successives équivaut à une translation. Ce résultat suggère que la supersymétrie pourrait être une symétrie plus fondamentale que l'invariance par translation. Cette dernière pourrait même – fait remarquable – en être la conséquence.

J. W. VAN HOLTEN

trois forces discutées ici ont une origine commune. Cette origine pourrait résider dans un champ de jauge quantique avec un nombre plus élevé de charges – au moins de 5 types – toutes directement liées et sur un pied d'égalité, comme pour les trois charges de couleur des interactions fortes. Sur des distances plus petites que cette échelle universelle proche des 10^{-30} cm, ce champ de jauge unifié devrait fournir une description convenable des phénomènes dynamiques ultra-microscopiques. Mais sur des distances plus importantes, la symétrie entre ces diverses charges serait rompue de manière à ce que divers sous-ensembles d'interactions de jauge dépendent différemment de la distance, avec pour effet qu'à

THÉORIES DE JAUGE ET UNIFICATION DES INTERACTIONS FONDAMENTALES

l'échelle des distances aujourd'hui accessibles aux expériences de la physique des particules, soit environ 10^{-16} cm, les intensités des forces faible, électromagnétique et de couleur deviennent très différentes. On expliquera ci-dessous comment cette brisure de symétrie entre les diverses charges et interactions peut se produire. Mais ce qui mérite d'être souligné ici, c'est que le scénario présenté est réaliste, et que l'on peut présenter en sa faveur des évidences circonstanciées. Il y aura alors à découvrir, au delà du modèle standard, de nombreux phénomènes physiques nouveaux et intéressants.

Copié-collé #5

Bertrand Saint-Sernin



La raison au XXe siècle

ÉDITIONS DU SEUIL - 1994

ÉTIENNE KLEIN

multiple : pourquoi l'espace-temps et tout ce qu'il contient n'auraient-ils pas le droit de se « révolter » contre l'action organisatrice des idées ?

L'unité a parfois été critiquée comme étant un mythe. Antoine Augustin Cournot, par exemple, a défendu au milieu du XIX^e siècle la thèse selon laquelle l'historicité foncière des sciences rend la raison incapable d'embrasser la constitution et l'ordre des choses sous une configuration unique de concepts. Et la

cause de cette impossibilité d'unifier réellement le savoir n'est pas à ses yeux méthodologique, mais ontologique : l'essence même des choses est radicalement diverse et segmentée ; la réalité se compose d'ensembles dont certains sont fortement reliés, alors que d'autres n'ont entre eux que des liens lâches ou inexistantes. « Il ne saurait être donné à une intelligence telle que la nôtre, ni même à une intelligence finie, d'embrasser dans un seul système les phénomènes et les lois de la nature entière, écrit Cournot en réponse à Pierre Simon de Laplace ; et lors même que nous en serions capables, nous distinguerions encore dans cet ensemble des parties qui se détachent et qui font l'objet de théories indépendantes les unes des autres, quoique pouvant se rattacher à une commune origine. »^[3] Il n'y aurait donc pas un ordre des choses, ni un champ universel de l'expérience possible auquel un seul système de catégories pourrait donner sens et intelligibilité.

D'autres esprits ont cédé à la tentation exactement inverse. Toute discipline ou activité intellectuelle s'expose, de par sa nature même, à céder à ce que Blaise Pascal appelle dans ses

BERTRAND SAINT-SERNIN

tales nouvelles. Comparant l'astronomie de Ptolémée à celle qui allait naître avec Copernic, Cournot note : « Un jour devait venir, jour bien éloigné, où le progrès scientifique réclamerait des postulats immenses, excessifs, aussi bien sur l'article du temps que sur l'article de l'espace, et où il faudrait que la raison fît une provision nouvelle d'intrépidité¹⁰. »

L'historicité foncière des sciences rend la raison incapable d'embrasser sous une configuration unique de concepts (c'est-à-dire à l'aide d'un seul système de catégories) la constitution et l'ordre des choses. Mais cette impossibilité d'unifier réellement le savoir a une autre cause, qui n'est pas méthodologique mais ontologique : l'essence même des choses est radicalement diverse et segmentée ; la réalité se compose d'ensembles dont certains sont fortement reliés entre eux, alors que d'autres n'ont entre eux que des liens lâches ou inexistantes. « Il ne saurait être donné à une intelligence telle que la nôtre, ni même à aucune intelligence finie, d'embrasser dans un seul système les phénomènes et les lois de la nature entière ; et lors même que nous en serions capables, nous distinguerions encore dans cet ensemble des parties qui se détachent et qui font l'objet de théories indépendantes les unes des autres, quoique pouvant se rattacher à une commune origine. » Et Cournot ajoute : « De là une autre cause d'insuffisance de la connaissance théorique, et une autre part nécessairement réservée à l'élément historique de la connaissance¹¹. » Trente ans plus tard, nous le verrons, Dilthey arrivera au même résultat que Cournot : il n'y a pas un ordre des choses, un champ unifiable de l'expérience possible, auquel un seul système de catégories puisse donner son intelligibilité et son sens.

En histoire et en philosophie des sciences, Cournot peut être crédité de deux apports majeurs qui ont eu un effet direct sur

ÉTIENNE KLEIN

entre la matière et l'antimatière. En particulier, elle prévoit que la masse et la durée de vie des particules sont rigoureusement égales à celles de leurs antiparticules.

Processus unificateurs

Le constant souci d'unification à l'œuvre dans les sciences se manifeste au-delà du seul mode opératoire. D'après Pierre Duhem^[41], la raison n'a pas accès aux secrets de la nature, de sorte qu'il ne reste au savant qu'une seule voie : concevoir entre les lois empiriques des relations intelligibles ; les tirer de leur indépendance logique ou de leur morcellement ; faire en sorte que toutes les lois relatives à un même domaine forment un système. Si une telle opération aboutit, son bénéfice sera double : d'abord, elle donnera une présentation plus économique des lois empiriques ; ensuite, elle en fournira une classification logique dans la mesure où ces lois empiriques figureront en tant que théorèmes ou en tant que principes. Selon Pierre Duhem encore, une telle classification, si elle embrasse tous les phénomènes connus et si elle se montre capable, à l'usage, d'en distinguer de nouveaux, ne sera pas arbitraire ou artificielle. Elle tendra à être « naturelle ». Finalement, la configuration logique de la théorie physique suggère qu'il s'agit d'un reflet de l'ordre réel des choses, bien qu'il n'y ait à attendre de la théorie physique aucune ontologie positive.

Dans la pratique, la cohésion d'une discipline physique se manifeste essentiellement par l'unité formelle des lois qui la

BERTRAND SAINT-SERNIN

LA RAISON AU XX^e SIÈCLE

Et, pourtant, la théorie physique n'est ni une collection de faits bien établis ni une collection de lois empiriques bien confirmées. En quoi consiste-t-elle donc ? Comme la raison n'a pas accès aux secrets de la nature, il ne reste au savant qu'une voie : concevoir entre les lois empiriques des relations intelligibles ; les tirer de leur indépendance logique ou de leur morcellement ; faire en sorte que toutes les lois relatives à un même domaine forment un système. Le bénéfice d'une telle opération sera double : il donnera une présentation plus économique des lois empiriques ; il en fournira une classification logique et artificielle, dans la mesure où ces lois empiriques figureront en tant que théorèmes ou en tant que postulats dans un système hypothético-déductif. Or, pense Duhem, et c'est là pour lui une conviction métaphysique mais irrésistible, une telle classification, si elle embrasse tous les phénomènes connus et si, à l'usage, elle se montre capable d'en distinguer de nouveaux, ne sera pas arbitraire ou artificielle ; elle tendra à être « naturelle ». La configuration logique de la théorie physique peut donc, en droit, suggérer comme un reflet de l'ordre réel ou ontologique des choses, bien qu'il n'y ait à attendre de la théorie physique aucune ontologie positive.

L'opération qui transforme une classification artificielle en une classification naturelle repose sur deux bases : des lois empiriques bien établies ; une intuition de géomètre. La première condition, à elle seule, est radicalement insuffisante, car, d'un même ensemble de faits empiriques, on peut donner une infinité d'interprétations théoriques et symboliques distinctes. Il faut, parmi toutes les interprétations possibles, en découvrir une qui ait une propriété que ne possèdent pas les autres, à savoir de constituer l'esquisse d'une classification naturelle. Il convient donc que la raison se comporte comme une puissance de tri. L'instrument de sa décision, c'est l'intuition géométrique qui agit à la façon de la lumière naturelle chez Pascal. C'est dire qu'elle n'a pas pour but de fabriquer des entités imaginaires, mais d'initier l'esprit à l'ordre des choses.

ÉTIENNE KLEIN

régissent. Les lois de la dynamique, de la thermodynamique, de la physique quantique définissent, par leurs champs d'application, chacune de ces branches de la physique, en assurent l'unification et en garantissent le statut. Parfois, la validité de telle ou telle loi peut même les transcender : la loi de conservation de l'énergie, par exemple, s'applique à la physique entière.

Il resterait à comprendre comment s'est forgée, dans l'esprit des physiciens, l'idée de telle ou telle loi unificatrice. Le sujet qui produit le savoir constitue-t-il un « je » transcendantal auquel toutes les connaissances peuvent être référées comme à leur source ou bien les découvertes scientifiques sont-elles à attribuer à des agents multiples ? Dans la première hypothèse, les œuvres, malgré leur diversité empirique, procèdent en droit d'un unique sujet, qui en est comme l'assise, même s'il s'incarne au cours du temps en de nombreux individus. Dans la seconde, la multiplicité des agents demeure irréductible et, ce qui compte en définitive, ce sont les travaux et leurs contenus, et non les artisans précaires qui les ont produits.

En tout état de cause, de très nombreux auteurs ont souligné le rôle décisif de l'imagination dans les phases de création. Selon Kant, l'imagination forme avec la raison un couple indissociable. Toujours en éveil, elle organise, au moins dans ses grandes lignes, le monogramme des concepts de l'entendement. L'imagination ne saurait donc se réduire, comme le voulait la tradition classique, au regrettable égarement d'esprits en attente de vérité. Elle représente plutôt une dimension irréductible de l'être humain, et constitue le

BERTRAND SAINT-SERNIN

nature, ils en éprouvent de la déception et de la tristesse⁵. Là se trouverait une des sources du nihilisme. Parmi les philosophes contemporains de cette rupture, deux, l'un français, l'autre allemand, Cournot et Dilthey, sont d'une particulière importance, en raison de l'acuité et de l'ampleur de leur vision.

Cournot

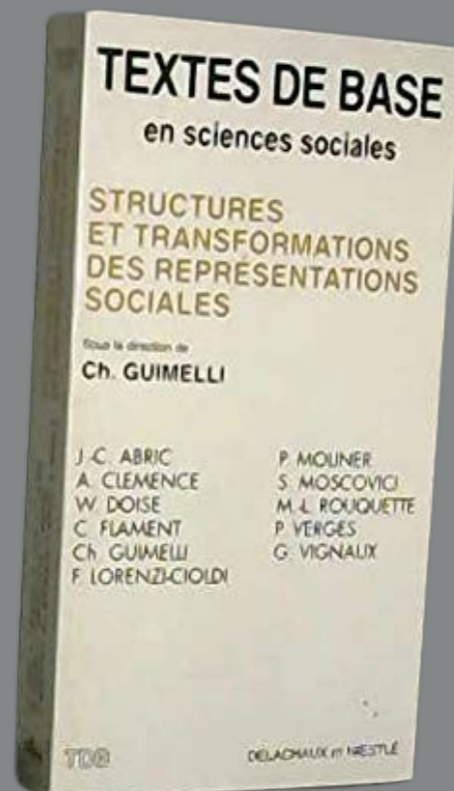
Les questions posées par Kant soulevaient deux dilemmes : l'un relatif à l'objet des sciences, et l'autre au sujet qui les fonde et les développe. Le premier pouvait se formuler ainsi : les théories scientifiques sont-elles destinées à décrire le monde ou à l'expliquer ? Si les théories ont une valeur explicative, atteignent-elles jusqu'à la racine des choses ou ne font-elles saisir du réel qu'un aspect limité ? Quant au second, il portait sur le sujet qui produit le savoir : constitue-t-il un « je » transcendantal auquel toutes les connaissances peuvent être référées comme à leur source ? Ou bien les découvertes scientifiques sont-elles à attribuer à des agents multiples ? Dans la première hypothèse, les œuvres, malgré leur diversité empirique, procèdent en droit d'un unique sujet, qui en est comme l'assise, même s'il s'incarne au cours du temps en de nombreux individus. Dans la seconde, la multiplicité des agents demeure irréductible et, ce qui compte, ce sont les travaux et leurs contenus, non les artisans précaires qui les ont produits.

Alors que pour Kant la révolution en science est une fondation, et que cette fondation est en droit définitive, Cournot établit que la révolution en tant que fondation n'exclut pas la révolution en tant

5. Cette évolution, dit en substance Simmel, conduit à regarder les lois de la nature comme indifférentes à tous les êtres, en particulier à l'homme, à nier que le monde soit aménagé en fonction de son bien-être. Dès lors, aucune vue optimiste des choses n'est plus possible. En effet, la vision qui se met à prévaloir, c'est qu'il n'y a aucun lien originaire entre les aspirations des hommes et les forces qui accordent ou dénie à ces derniers leur protection (*op. cit.*, p. 86).

Copié-collé #6

Georges Vignaux



*Le concept de Thémata
dans « Structures et transformations des
représentations sociales »*

DELACHAUX ET NIESTLÉ - 1994

ÉTIENNE KLEIN

indéniable, dans les processus de découverte. Lorsqu'elle s'invente, la science semble toujours trouver sa source en partie hors d'elle-même.

Kepler ou l'harmonie pensée comme reflet de la perfection divine

Sans doute est-ce Kepler qui incarne le mieux la transition entre l'exploration mystique de l'harmonie du monde d'une part, et l'approche scientifique et mathématique d'autre part. Il entreprit d'unifier la représentation du monde héritée de l'Antiquité en tentant de faire appel au concept d'une force physique universelle, et en se référant constamment à un

principe unitaire, l'immanente omniprésence d'harmonies mathématiques. S'il échoua, en définitive, dans son projet initial d'apporter l'explication mécanique du mouvement des planètes, tel qu'il apparaît à l'observation, il parvint néanmoins à jeter un pont entre l'ancienne conception du monde – celle du cosmos immuable – et la nouvelle – celle d'un théâtre voué au jeu de lois mathématiques^[2]. Ce faisant, il réunit les indications dont Newton se servira ensuite pour asseoir la conception moderne du mouvement des planètes.

L'harmonie à laquelle croyait Kepler devait se manifester sous différentes formes, plus ou moins métaphoriques. Elle devait apparaître tout d'abord sous une forme géométrique avec, encore et toujours, les sphères et les orbites circulaires. Mais Kepler fit intervenir la géométrie d'une manière extrêmement

GEORGES VIGNAUX

15

Son premier projet est d'unifier la représentation du monde héritée de l'antiquité en faisant appel au concept d'une *force* physique universelle puisque fondée sur une figure unitaire - le soleil régissant le monde depuis son centre - et sur un principe unitaire : l'immanente omniprésence d'harmonies mathématiques. Il ne peut apporter une explication mécanique du mouvement des planètes, mais il parvient à relier entre elles, deux conceptions du monde - l'ancienne: celle d'un cosmos immuable - et la nouvelle - celle d'un théâtre voué au jeu des lois dynamiques et mathématiques. Et c'est presque incidemment qu'il va réunir les indications dont Newton plus tard usera pour établir définitivement nos conceptions modernes.

Il est en effet, le premier à rechercher une loi physique fondée sur la mécanique

Copié-collé #7

Jean-Michel Besnier



Les théories de la connaissance

JEAN-MICHEL BESNIER - FLAMMARION - 1996

ÉTIENNE KLEIN

créatrice. » Pour lui, la raison qui organise l'univers est la « dérivation » d'une raison divine transcendante ; l'ordre du monde tient son être et son unité de la simplicité divine puisqu'il imite, en la multipliant et en la déroulant, la plénitude que Dieu concentre en lui-même.

Quant à Nicolas de Cues, le rôle qu'il accordait au travail actif de l'intellect, l'usage qu'il fit d'une dialectique laissant une place au négatif (annonçant parfois la dialectique hégélienne), permettent de voir en lui un esprit très « moderne ». Il sut dégager les critères requis pour penser l'efficacité de l'acte de connaître, et cela contre la théologie qui les occultait à son profit. Dans *La Docte Ignorance*^[1], Nicolas de Cues explique qu'on ne connaît qu'en séparant et en opposant les phénomènes, grâce aux mots et aux concepts. C'est pourtant la recherche de l'unité qui mobilise le sujet de la connaissance, de sorte que l'homme se découvre en quelque sorte enfermé dans la sphère de l'intelligible et, en même temps, habité du désir d'investir celle de l'inintelligible pour lui, celle de l'infini et du divin qui se situe par-delà les oppositions qui donnent seules matière à connaître. Par là s'explique qu'il ne soit d'accès à Dieu que négatif et qu'on doive parler d'une connaissance négative (d'une « docte ignorance »), sur le modèle de la théologie négative : Dieu se donne à connaître dans la mesure de ce qui dépasse le pouvoir humain de connaître.

Cette situation contribue à rendre autonome le point de vue de la science. En effet, si Dieu est incommensurable avec notre faculté de connaître, on ne saurait en déduire les êtres singuliers qui peuplent l'univers et dont nous voudrions faire la

JEAN-MICHEL BESNIER

Mais, avant Descartes, l'œuvre de Nicolas de Cues (1401-1464) est emblématique de cette valorisation de la connaissance qui débouchera plus tard sur une revendication d'autonomie et de maîtrise sur l'univers. Ernst Cassirer n'hésitait pas à décrire le Cusain, ainsi qu'on le nomme, comme « le fondateur et le champion de la Philosophie moderne ». La raison principale en est qu'il dégage les critères requis pour penser l'efficacité de l'acte de connaître, et cela contre la théologie qui les occultait à son profit. En évoquant quelques principes développés par l'auteur de *La Docte Ignorance*, on comprendra au prix de quelles ruptures le pouvoir humain de connaître s'est trouvé valorisé.

II. Docte ignorance

On ne connaît, selon Nicolas de Cues, qu'en séparant et en opposant les phénomènes, grâce aux mots et aux concepts. C'est pourtant la recherche de l'unité suprême qui mobilise le sujet de la connaissance. De sorte que l'homme se découvre en quelque sorte enfermé dans la sphère de l'intelligible et, en même temps, habité du désir d'investir celle de

l'inintelligible pour lui – celle de l'infini et du divin qui se situe par-delà les oppositions qui donnent seules matière à connaître. Par là s'explique qu'il ne soit d'accès à Dieu que négatif et qu'on doive parler d'une connaissance négative (d'une « docte ignorance » ^[1]), sur le modèle de la théologie négative : Dieu se donne à connaître dans la mesure de ce qui dépasse le pouvoir humain de connaître.

Loin que cette situation accorde l'avantage au point de vue théologique, elle contribue à rendre autonome celui de la science. En effet, si Dieu est incommensurable avec notre faculté de connaître, on ne saurait en déduire les êtres singuliers qui peuplent l'univers et dont nous voudrions faire la

ÉTIENNE KLEIN

science. Les individus sont en ce sens strictement « casuels », c'est-à-dire contingents. Faute de pouvoir les dériver de l'unité suprême, force est de chercher à les connaître en eux-mêmes et à partir d'eux-mêmes. Chacun des objets à connaître sera donc conçu comme autosuffisant et c'est en tant que tel qu'il sera confié à l'intelligence humaine chargée de le comprendre dans ses caractères spécifiques. Dans ce contexte, l'absolu reste le but du savoir, mais il est localisé dans les créatures et non plus dans l'au-delà de notre connaissance ; l'infini dessine l'horizon du savoir comme la somme des objets finis soumis à l'intelligence humaine. La créature est désormais comprise comme l'autoprésentation du Créateur, et c'est à ce titre qu'elle offre la perspective d'une connaissance du divin. La science des hommes peut donc s'attacher au monde visible sans s'exposer à l'impiété ou à l'indignité, puisque c'est en le faisant qu'elle « scrute » le Créateur invisible : « Nous connaissons l'unité de la vérité inatteignable dans l'altérité des conjectures. » Ainsi *La Docte Ignorance* donne-t-elle congé à la théologie tout en sauvegardant le caractère édifiant de la volonté de savoir. Aux yeux du Cusain, le savoir des hommes est à l'absolu ce que le polygone est au cercle, c'est-à-dire une approximation virtuellement déterminable.

Dans un autre de ses livres, le *Dialogue sur la genèse*, daté de 1447, Nicolas de Cues aborde le problème de l'un et du multiple. A l'unité substantielle ou essentielle du monde, il propose, bien avant Kepler, de substituer l'idée d'harmonie, selon laquelle l'unité du monde se fonderait sur des rapports et des rapports de rapports. En lieu et place d'un système abstrait de « nature »,

JEAN-MICHEL BESNIER

science. N'en déplaise aux théologiens, les individus sont en ce sens strictement « casuels », c'est-à-dire contingents*. Faute de pouvoir les dériver de l'unité suprême, force est de chercher à les connaître en eux-mêmes et à partir d'eux-mêmes. Chacun des objets à connaître sera donc conçu comme autosuffisant, et c'est en tant que tel qu'il sera confié à l'intelligence humaine chargée de le comprendre dans ses caractères spécifiques. Telle est l'amorce des théories de la connaissance qui voient le jour dans le contexte désenchanté de la Renaissance : l'absolu reste le but du savoir, mais il est localisé dans les créatures et non plus dans l'au-delà de notre connaissance ; l'infini dessine l'horizon du savoir, non pas comme l'indétermination que les Anciens rejetaient de leur Cosmos, mais comme la somme des objets finis soumis à l'intelligence humaine. En bref, la créature est désormais comprise comme l'autoprésentation du Créateur, et c'est à ce titre qu'elle offre la perspective d'une connaissance du divin.

La science des hommes peut donc s'attacher au monde visible, sans s'exposer à l'impiété ou à l'indignité ; c'est en le faisant qu'elle prospecte le Créateur invisible. Nicolas de Cues a cette belle formule : « Nous connaissons l'unité de la vérité inatteignable dans l'altérité des conjectures. » Ainsi *La Docte Ignorance* donne-t-elle congé à la théologie, tout en sauvegardant le caractère édifiant de la volonté de savoir. La connaissance

de connaître devient une source essentielle d'efficacité pour cette ouverture. Aux yeux du Cusain, le savoir des hommes est à l'absolu ce que le polygone est au cercle, c'est-à-dire l'objet d'une approximation illimitée mais virtuellement déterminable (en termes mathématiques). La quadrature du cercle et le concept de limite constituent en quelque sorte les métaphores pour justifier l'effort que déploieront les philosophes sur le terrain des théories de la connaissance.

ÉTIENNE KLEIN

le processus semble sans fin. Pourtant, les physiciens n'ont jamais renoncé à l'ambition de dominer l'état des connaissances. A l'heure où les disciplines scientifiques paraissent se multiplier ou, du moins, nouer des relations hybrides, le projet d'unifier le champ de la connaissance demeure vivace. En 1944, Erwin Schrödinger écrivait : « Nous sentons nettement que ce n'est que depuis peu que nous

seconde main pour certaines d'entre elles – et au risque de se rendre ridicules. »^[25] Mais une question se pose alors : jusqu'à quel point un tel projet demeure-t-il dans les cadres de la science, sachant qu'il traduit d'abord, de toute façon, un mobile d'ordre métaphysique ? La recherche méthodologique de l'unité passe-t-elle par l'affirmation ontologique de l'unité dans le monde ?

A la fin des années 20, alors qu'il élaborait sa théorie dite des

JEAN-MICHEL BESNIER

rien perdu de sa pertinence dans le contexte contemporain, ainsi qu'on voudrait encore le suggérer.

À l'heure où les disciplines scientifiques paraissent se multiplier ou, du moins, nouer des relations hybrides, le projet d'unifier le champ de la connaissance demeure en effet vivace. Une question générale à son sujet achèvera notre enquête au pays des théories de la connaissance : jusqu'à quel point un tel projet demeure-t-il dans les cadres de la science, sachant qu'il traduit d'abord, de toute façon, un mobile d'ordre métaphysique ? En d'autres mots, qui anticiperont la réponse qu'on esquissera : la recherche méthodologique de l'unité dans la connaissance est-elle à l'abri de l'affirmation ontologique de l'unité dans le monde ?

On nomme généralement « réductionnisme »^[13] la stratégie épistémologique consistant à mettre en œuvre les concepts et les méthodes destinés à réunifier un savoir qui a dû se fragmenter et se diversifier pour comprendre ses objets. Sous ce terme, qu'on fait souvent à tort rimer avec «

ÉTIENNE KLEIN

quarks et des gluons), la biologie par la chimie moléculaire, la chimie par la physique. Pareille démarche ramène finalement plusieurs domaines – et leurs lois afférentes – à un seul, jugé plus fondamental. En ce sens, tout réductionnisme est en principe unificateur.

L'exemple le plus souvent invoqué est celui des relations entretenues, au sein de la physique du xx^e siècle, par la thermodynamique et la mécanique : la première décrivait la chaleur comme une substance évoluant spontanément du chaud vers le froid ; la seconde rendait compte de la manière dont les corps, qu'ils soient au repos ou en mouvement, exercent une action les uns sur les autres. La démarche réductionniste rendit possible l'unification de ces deux théories : une fois admis, en effet, que la matière est composée de particules (atomes ou molécules) dont les mouvements sont régis par les lois de la mécanique, il suffit d'identifier la chaleur au degré d'agitation de ces particules pour que les thèses de la thermodynamique deviennent un cas particulier de celles offertes par la mécanique, le transfert de chaleur s'expliquant à partir des lois régissant la transmission du mouvement des atomes et des molécules. Ainsi la thermodynamique pouvait-elle être dite « réduite » à la mécanique.

On considère souvent que c'est Robert Boyle qui a jeté les bases modernes de la chimie en substituant une chimie mécaniste à celle d'Aristote et de Paracelse. « Il n'y a ni éléments ni principes ; il n'existe que la matière qualitativement neutre de la philosophie mécaniste, divisée en particules différenciées seulement par la taille, la forme et le mouvement. Leurs

JEAN-MICHEL BESNIER

ou à une théorie générale des systèmes (systémisme). Cette dernière entreprise, qui opère la réduction au profit d'une discipline exclusive, peut en outre inviter à privilégier une théorie au sein de cette discipline. Exemple souvent invoqué, celui des relations entretenues, au sein de la physique du xix^e siècle, par la thermodynamique et la mécanique : la première décrivait la chaleur comme une substance évoluant du plus au moins, selon la composition matérielle des corps qu'elle habite ; la seconde rendait compte, à la suite de Newton, de la manière dont les corps, qu'ils soient en mouvement ou bien en repos, exercent une action les uns sur les autres. La démarche réductionniste rend possible l'unification de ces deux théories : une fois admis, en effet, que la matière est composée de particules dont les mouvements sont régis par les lois de la mécanique, il suffit d'identifier la chaleur au degré d'activité ou de vibration de ces particules. Par là même, les thèses de la thermodynamique devenaient un cas particulier de celles offertes par la mécanique, et le transfert de chaleur s'expliquait facilement à

partir des lois régissant la transmission du mouvement des atomes et des molécules. Ainsi la thermodynamique pouvait-elle être dite « réduite » à la mécanique.

Le réductionnisme continue de paraître l'obsession majeure des scientifiques d'aujourd'hui qui annoncent sans cesse la conquête de la loi

ÉTIENNE KLEIN

temps ») et de reconnaître que très peu de réductions majeures ont jamais eu un succès complet.

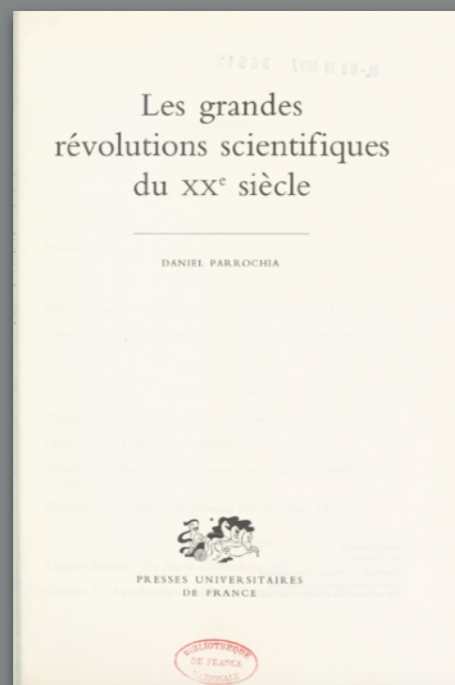
Il est ici nécessaire de faire la distinction entre, d'une part, un réductionnisme méthodologique, indispensable car toute science progresse en réduisant ses principes explicatifs et en cherchant l'unité d'un modèle, et d'autre part un réductionnisme ontologique, résultat du passage à la limite d'une science qui prétend que toute chose émane d'une entité ultime dont elle posséderait la vérité. Le programme réductionniste, mêlant ces deux composantes, a sous-tendu toute la démarche de la physique au moins jusqu'au début de ce siècle. Il vise à expliquer tous les phénomènes, à analyser tous les corps en termes des seules qualités premières de la matière, tels que la consistance, l'extension, la forme, le mouvement, le nombre. Il s'agit donc, d'une part de découvrir les éléments ultimes de la réalité porteurs de ces qualités premières, c'est-à-dire les « atomes » de la matière au sens large du terme, et d'autre part de montrer comment leurs combinaisons mutuelles et leurs interactions avec nos sens expliquent les qualités secondes (couleurs, saveurs, sons) par lesquelles ils se manifestent. Mais tout réductionnisme conséquent se présente nécessairement de façon duale, dans la mesure où il doit faire suivre une première phase d'analyse empirique (la « descente » vers l'élémentaire) d'une seconde phase de synthèse théorique (la « remontée » vers le complexe). Cet idéal reste implicitement celui de la physique contemporaine.

JEAN-MICHEL BESNIER

À l'heure où les résultats de la biologie sont considérables, la tentation est certes forte de vouloir les exploiter pour élucider ce qui, dans l'homme, a toujours échappé : par exemple, ses attitudes morales ou esthétiques, ses rêves et ses folies. Nul doute que la neurobiologie impliquée dans les programmes de recherches en sciences cognitives n'ouvre de passionnantes perspectives (par exemple, la compréhension des comportements altruistes permise par la récente découverte des « neurones-miroirs »). Reste que la compréhension du tout de l'humain n'est encore qu'un idéal régulateur pour la science. Appliquée aux promesses suscitées par les découvertes contemporaines, une théorie de la connaissance héritée du criticisme la tâche de distinguer entre, d'une part, un réductionnisme méthodologique, souhaitable car toute science progresse en réduisant ses principes explicatifs et en cherchant l'unité d'un modèle, et, d'autre part, un réductionnisme ontologique, résultat du passage à la limite d'une science qui prétend que toute chose émane d'une entité ultime dont elle possède la vérité.

Copié-collé #8

Daniel Parrochia



*Les grandes révolutions
scientifiques du XXe siècle*

DANIEL PARROCHIA - PUF - 1997

ÉTIENNE KLEIN

Pour comprendre ce que désigne cette expression, il faut évoquer brièvement ce que l'on appelle le « problème de la mesure » en physique quantique.

Le problème de la mesure en physique quantique

En physique quantique, l'état d'un système est représenté par une entité mathématique que l'on suppose soumise au principe dit de superposition^[32] : si a et b sont deux états possibles du système physique considéré, alors l'état $(a + b)$ est lui aussi un état possible de ce système. Si l'on considère une observation sur un système quantique dans un état donné, le résultat, en général, restera indéterminé au sens où, si l'expérience est

répétée plusieurs fois dans des conditions identiques, des résultats différents seront obtenus. Cependant, si l'expérience est répétée un grand nombre de fois, chaque résultat particulier pourra être obtenu dans une fraction bien précise du nombre total des épreuves. On dit que les états se superposent et la prise en compte de superposition amène une théorie mathématique dans laquelle les équations qui déterminent l'évolution d'un état sont linéaires. Les entités qui représentent les états des systèmes physiques appartiennent donc à un espace vectoriel. On les appelle les « vecteurs d'état ». Le formalisme quantique opère donc au sein d'espaces vectoriels fort éloignés de l'espace physique où ont lieu les phénomènes qu'il permet de décrire. Cette émancipation vis-à-vis de l'espace ordinaire instaure une sorte de distance entre la représentation des phénomènes et les

DANIEL PARROCHIA

1 / Le premier principe qu'on rencontre en mécanique quantique formalisée est le *principe de superposition*¹ qui s'énonce ainsi : étant donné une observation sur un système atomique dans un état donné, le résultat, en général, restera indéterminé, au sens où, si l'expérience est répétée plusieurs fois sous des conditions identiques, des résultats différents seront obtenus. Cependant, si l'expérience est répétée un grand nombre de fois, chaque résultat particulier pourra être obtenu dans une fraction bien précise du nombre total des épreuves, de sorte qu'il y a une *probabilité bien définie* pour que ce résultat soit obtenu. On dit que les états se *superposent* et la prise en compte de ces relations de *superposition* amène une théorie mathématique où les équations qui définissent un état sont

1. Cf. P. A. M. Dirac, *op. cit.*, p. 10 s.

De Dirac à Gell-Mann

linéaires pour les inconnues. Si on représente alors les états d'un système quantique dynamique par les contravecteurs d'un espace vectoriel infini, ces contravecteurs, notés par le symbole spécial $|>$, peuvent s'additionner et être multipliés par des nombres complexes, donnant d'au-

ÉTIENNE KLEIN

similitudes et des analogies existant entre différents domaines de la connaissance ne relevant pas d'une conception mécanique de la nature. Dans sa conférence d'août 1932, faite au Congrès international de protonthérapie tenu à Copenhague, il avait déjà expliqué comment il concevait ce qu'il appelait « une recherche des conditions d'applicabilité cohérente de notre appareil verbal »^[39]. La complémentarité plaça tout naturellement la physique quantique en regard de domaines de recherche en apparence assez éloignés d'elle, tels la biologie ou la psychologie, mais qui se heurtaient au même problème de la conciliation de l'observation du réel et de sa représentation. Pourtant, Niels Bohr est resté très circonspect quant aux liens explicites à tresser entre la physique atomique et la biologie, par exemple. Même si certains phénomènes biologiques sont, au plan le plus élémentaire, de nature quantique (c'est par exemple le cas de la vision), Bohr affirme qu'aucun lien direct ne peut être imaginé entre le quantum d'action et la vie. Ce qu'il envisage, néanmoins, c'est une extension du concept de complémentarité qu'on pourrait définir comme une relation générale et analogique entre l'ensemble des lois de la physique

quantique et l'ensemble des lois de la biologie. On devrait considérer, explique-t-il, « l'existence de la vie elle-même, en ce qui concerne sa définition aussi bien que son observation, comme un postulat de base de la biologie que nous ne pouvons analyser en soi, de même que l'existence du quantum d'action, avec la structure atomique ultime de la matière, forment les bases élémentaires de la physique atomique »^[40].

Ainsi en même temps qu'elle brisait un idéal d'unité

DANIEL PARROCHIA

Dans la conférence d'août 1932, faite au Congrès international de photothérapie tenu à Copenhague, le caractère de totalité du quantum d'action est le point de départ d'une exploration des similitudes existant entre différents domaines de la connaissance ne relevant pas d'une conception mécanique de la nature. « Il ne s'agit pas ici d'analogies plus ou moins vagues, observe le physicien, mais d'une recherche des conditions d'applicabilité cohérente de notre appareil verbal. »² Problèmes biologiques, anthropologiques, et questions de civilisation,

observation »². Cette nouvelle épistémologie, cette épistémologie de la complémentarité, place alors tout naturellement la physique quantique en regard de domaines de recherches en apparence assez éloignée d'elle, comme, par exemple, la psychologie ou même la philosophie orientale (Bouddha, Lao Tsé), mais qui se heurtent au même problème épistémologique: la conciliation entre nos conditions d'acteur et de spectateur dans le « grand drame » de l'existence. Malgré ces propos, Bohr est cependant très circonspect quant aux liens à tresser entre la physique quantique et ces autres domaines. Ainsi, pour la biologie, et malgré ce qui a été dit de la sen-

sibilité de la perception visuelle aux quanta lumineux ou de la production de mutations génétiques par radiations pénétrantes, il affirme qu'aucun lien immédiat ne peut être imaginé entre le quantum d'action et la vie. D'une part, le caractère statistique des lois quantiques obscurcit plus qu'il n'éclaire la compréhension des lois biologiques ;

tio-temporelles de leurs particules constituantes mais la relation générale susceptible d'exister entre l'ensemble des lois de la physique quantique et l'ensemble des lois de la biologie. Dans l'esprit de Bohr, une

telle complémentarité paraît alors reposer sur une analogie. On devrait considérer, explique-t-il, « l'existence de la vie elle-même, en ce qui concerne sa définition aussi bien que son observation, comme un postulat de base de la biologie que nous ne pouvons analyser en soi, de même que l'existence du quantum d'action, avec la structure atomique ultime de la matière, forment les bases élémentaires de la physique atomique »². A une complémentarité physique purement interne, de nature intra-quantique, se surajoute donc une complémentarité

ÉTIENNE KLEIN

Par exemple, Einstein se demandait si les effets électromagnétiques pouvaient être regardés comme une propriété géométrique de l'espace-temps. Une telle idée avait bien fonctionné pour la gravitation. Or l'électromagnétisme et la gravitation ont quelque ressemblance, ne serait-ce que parce leur loi de force est en l'inverse du carré de la distance. Dans ce dessein, Theodor Kaluza et Oscar Klein proposèrent au début des années 1920 une théorie où l'électromagnétisme et la gravitation pouvaient être réunies. Ils remarquèrent que l'écriture des équations de la relativité générale dans un espace-temps à cinq dimensions permettait, après projection dans l'espace-temps habituel à quatre dimensions, d'obtenir les équations normales de la relativité générale plus une équation supplémentaire équivalente aux équations de Maxwell. Une force unique dans un espace-temps à cinq dimensions serait

donc équivalente à deux interactions (gravitation et électromagnétisme) dans un espace-temps à quatre dimensions. L'unification des interactions passerait donc par un « enrichissement » de la topologie de l'espace-temps, à charge pour les physiciens d'expliquer ensuite pourquoi nous ne décelons pas les dimensions spatiales supplémentaires. Kaluza et Klein suggérèrent que la cinquième dimension de leur théorie était enroulée sur elle-même à une échelle infime^[12] et était donc imperceptible, de la même manière qu'un tissu (objet à trois dimensions) nous apparaît comme un objet à seulement deux dimensions du fait de l'extrême minceur relative des fils qui le constituent. En apparence, l'espace-temps pourrait donc perdre une dimension pourtant tout à fait réelle. Cette théorie de Kaluza et Klein, qui envisageait pour la première fois la possibilité de « compactifier » certaines dimensions de l'espace, a bénéficié d'un regain d'intérêt lorsque les théories modernes de « grande unification », telle la théorie des supercordes, postulèrent elles aussi des espace-temps de dimension bien supérieure à quatre.

D'autres tentatives d'unifications furent proposées dans la

DANIEL PARROCHIA

ans, totalement en vain. Aux alentours de 1920, une tentative intéressante fut faite par Theodor Kaluza (1885-1954), qui remarqua que l'écriture des équations d'Einstein du champ de gravitation dans un espace à cinq dimensions permettait, après projection dans l'espace habituel à quatre dimensions, d'obtenir les équations normales d'Einstein plus une équation supplémentaire équivalente aux équations du champ électromagnétique de Maxwell. Autrement dit, une unique force définie dans un espace à cinq dimensions est équivalente à deux forces (gravitation et force électromagnétique) dans un espace à quatre dimensions. Ce résultat suggère évidemment que l'unification des forces ne peut se réaliser qu'au moyen d'un espace à plus de quatre dimensions, à charge pour le physicien d'expliquer ensuite comment il se fait que nous ne décelons pas, dans notre expérience habituelle, les dimensions supplémentaires qui semblent se dissimuler dans l'espace. Un premier élément de réponse fut apporté par Oskar Klein (1894-1977) qui trouva une raison pour laquelle la cinquième dimension ne nous était pas perceptible. Selon Klein, la cinquième dimension pouvait être, en quelque sorte, enroulée sur elle-même, et passer ainsi inaperçue, tout comme un tuyau cylindrique peut sembler, de loin, une

ligne. Chaque point de l'espace à trois dimensions était ainsi, en réalité, un cercle. Klein put même relier la dimension de cette circonférence à la constante de Newton de la gravitation et à la charge électrique e , et il obtint pour elle une valeur voisine de 10^{-33} cm, valeur évidemment hors de portée de nos appareils actuels. Cette théorie, qui utilisait pour la première fois la possibilité de « compactifier » les dimensions de l'espace, allait retrouver un regain d'intérêt quand les récentes théories de grande unification postulèrent, elles aussi, des espaces de dimension très supérieure à 4 (espace à 10 ou à 26 dimensions de la théorie des supercordes), ce qui suppose, bien entendu, la compactification d'un très grand nombre de dimensions (respectivement 6 et 22).

Il nous reste maintenant à parler plus brièvement des deux autres forces à unifier, qui sont les forces nucléaires faible et forte.

ÉTIENNE KLEIN

commune, mais on ne peut pas en conclure qu'elles soient équivalentes. Esthétisant la science, Feyerabend ne parvient pas à convaincre que science et mythe sont une seule et même chose. Comme le note Jean Ladrière, évoquant les origines spéculatives de la science : « S'il est vrai que la science continue à s'enraciner dans ces formes fondatrices du savoir, il n'en reste pas moins qu'elle a conquis son originalité en se détachant de façon réfléchie des modes purement spéculatifs ou interprétatifs de connaissance et en élaborant des procédures propres d'acquisition de connaissance. »^[14] Si discutables que soient certaines théories scientifiques, on ne saurait en vérité faire fi de la rationalité et de ses coordinations fécondes. Comme dit Gaston Bachelard : « On peut discuter sans fin sur le progrès moral, sur le progrès poétique, sur le progrès du bonheur ; il y a cependant un progrès qui échappe à toute discussion, c'est le progrès scientifique dès qu'on le juge dans la hiérarchie des connaissances, en son aspect spécifiquement

intellectuel. »^[15] C'est certainement ce détail que Feyerabend a trop voulu laisser de côté.

Nous notions plus haut que, dès après la naissance de la mécanique, la physique s'est vue promise assez rapidement à

DANIEL PARROCHIA

parvient à donner d'assez bonnes explications de l'attrait constant que nous pouvons encore manifester pour d'anciennes formes d'art, il échoue à rendre compte de façon valable de l'expérience scientifique. Esthétisant la science, il ne parvient pas à convaincre, comme il le souhaiterait, que science et mythe sont une seule et même chose, tous deux « coiffant le sens commun d'une superstructure théorique »³. Feyerabend, probablement parce qu'il vivait dans l'univers protégé d'un campus américain, avait une singulière tendance à oublier que l'enjeu des querelles autour de la

nom et la présentation d'une contre-théorie incommensurable avec celle-ci. Car si discutables que soient certaines théories scientifiques, on ne saurait, en vérité, faire fi, avec une telle désinvolture, de la rationalité et de ses coordinations fécondes. Comme dit Bachelard : « On peut discuter sans fin sur le progrès moral, sur le progrès social, sur le progrès poétique, sur le progrès du bonheur ; il y a cependant un progrès qui échappe à toute discussion, c'est le progrès scientifique dès qu'on le juge dans la hiérarchie des connaissances, en son aspect spécifiquement intellectuel. »¹ Mais peut-être Feyerabend manquait-il ici de critères et, surtout, d'une pensée véritablement philosophique.

ÉTIENNE KLEIN

macroscopiques déterminées empiriquement, ou à partir de principes généraux opérant à une échelle plus adaptée, se révèlent plus maniables. Aujourd'hui encore, soixante-dix ans après la déclaration de Dirac, on ne peut obtenir de solutions exactes de l'équation de Schrödinger, sauf dans des cas très particuliers, comme celui des atomes ou ions à un seul électron. Cela reflète-t-il l'impuissance de nos calculateurs ou bien cela révèle-t-il l'existence d'une barrière plus fondamentale ?

L'un des grands problèmes du réductionnisme est donc celui du lien existant entre les objets non individualisés de la physique quantique et les systèmes complexes qui, à l'autre bout de la chaîne, en sont pourtant le résultat. Pour comprendre ce lien, il faudrait pouvoir montrer comment la physique quantique peut légitimement prétendre à une explication globale de la réalité. Tous les systèmes, en effet, sont censés être quantiques, bien que, dans certaines conditions, certains d'entre eux puissent être décrits approximativement à l'aide des lois de la physique classique.

Au cours d'un colloque sur les fondements de la mécanique quantique tenu à Tokyo en 1983, un physicien spécialiste de la matière condensée, A. J. Leggett, déclarait : « Même dans les cas où selon une croyance largement répandue une théorie "de niveau supérieur" peut être réduite à une théorie "de niveau inférieur", par exemple la physique du solide à la théorie atomique et à l'électromagnétisme, il s'agit d'une complète illusion. Par exemple, je défie quiconque dans cette salle de prouver rigoureusement la loi d'Ohm^[10], pour un échantillon

DANIEL PARROCHIA

Comme le montre Murray Gell-Mann, le formalisme de Feynman permet encore de poursuivre le projet d'une théorie de champs unifiée qui avait été le rêve d'Einstein et de contribuer à construire une mécanique quantique élargie permettant d'établir des liens convaincants entre la microphysique et la macrophysique. Nous nous contenterons ici de suivre et de commenter les chapitres centraux du livre que l'auteur a consacré à cette question.

L'un des grands problèmes soulevés par Murray Gell-Mann est celui du lien existant entre les objets non individualisés de la physique quantique et les systèmes adaptatifs complexes qui, à l'autre bout de la chaîne, en sont pourtant le résultat. Pour comprendre ce lien, il faut montrer comment la mécanique quantique, sans être absolument une théorie de tout, peut légitimement prétendre à une explication globale de l'ensemble de la réalité. Tous les systèmes, en effet, sont quantiques, bien que, dans certaines conditions, certains d'entre eux puissent être décrits approximativement à l'aide des lois de la physique classique.

1. *Ibid.*, p. 17.

2. Sur l'effet Zénon, cf. D. Wineland, *Physical Review*, A 41, 2295-2300, 1990.

ÉTIENNE KLEIN

qu'est-ce que cette durée pure qu'invoque Bergson, et comment la saisir ? Bergson lui-même reconnaissait la difficulté : « Nous éprouvons une incroyable difficulté à nous représenter la durée dans sa pureté originelle. »^[24] Ni la science, ni le langage, ni même la saisie des idées par une conscience délivrée de l'obsession de l'espace ne peut réussir à en rendre compte. Gaston Bachelard prit acte de cette impuissance, dans *L'intuition de l'instant* : « Quand nous avons encore foi en la durée bergsonienne et que, pour l'étudier, nous nous efforcions

d'en épurer et par conséquent d'en appauvrir la donnée, nos efforts rencontraient toujours le même obstacle : nous n'arrivions jamais à vaincre le caractère de prodigue hétérogénéité de la durée (...). Nous aurions voulu un devenir qui fût un vol dans un ciel limpide, un vol qui ne déplaçât rien, auquel rien ne fit obstacle, l'élan dans le vide, bref le devenir dans sa pureté et dans sa simplicité, le devenir dans sa solitude. »^[25] Mais le philosophe avait beau analyser des fragments de moins en moins étendus, « c'était toujours le même échec : la durée ne se bornait pas à durer, elle vivait ! Si petit que soit le fragment considéré, un examen microscopique suffisait pour y lire une multiplicité d'événements ; toujours des broderies, jamais l'étoffe ; toujours des ombres et des reflets sur le miroir mobile de la rivière, jamais le flot limpide »^[26]. Il faut donc abandonner l'espoir de saisir un continu à l'état pur, ce à quoi invite d'ailleurs la théorie de la relativité qui met en avant l'idée d'événement, c'est-à-dire de point dans l'espace-temps, sans toutefois révéler comment les tic-tac répétitifs et esseulés qui constituent le temps monotone des physiciens peuvent devenir la pâte du temps de la vie.

DANIEL PARROCHIA

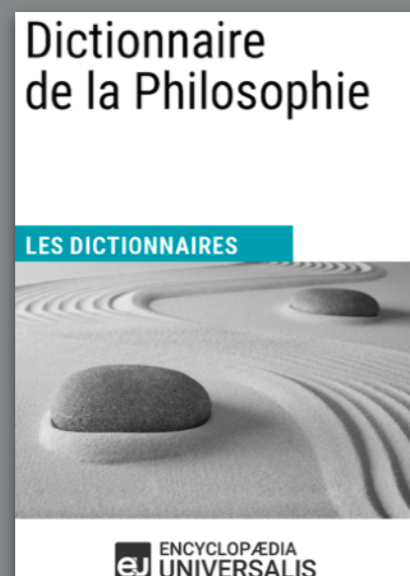
l'instant comme différentielle d'espace-temps. Il continue de défendre l'idée d'un temps philosophique qualitatif, différent du temps physique, et d'où tout espace, comme toute géométrie, serait absent |

Mais qu'est-ce que cette durée pure et comment la saisir ? Bergson lui-même reconnaissait la difficulté : « Nous éprouvons une incroyable difficulté à nous représenter la durée dans sa pureté originelle. »³. Ni la science, ni le langage, ni même la saisie des idées à l'état naturel par une conscience délivrée de l'obsession de l'espace ne peut réussir à en

rendre compte¹. Bachelard, dans *L'intuition de l'instant*, avouera son impuissance : « Quand nous avons encore foi en la durée bergsonienne et que, pour l'étudier, nous nous efforcions d'en épurer et par conséquent d'en appauvrir la donnée, nos efforts rencontraient toujours le même obstacle : nous n'arrivions jamais à vaincre le caractère de prodigue hétérogénéité de la durée (...). Nous aurions voulu un devenir qui fût un vol dans un ciel limpide, un vol qui ne déplaçât rien, auquel rien ne fit obstacle, l'élan dans le vide, bref le devenir dans sa pureté et dans sa simplicité, le devenir dans sa solitude. »² Mais le philosophe avait beau analyser des fragments de moins en moins étendus, « c'était toujours le même échec : la durée ne se bornait pas à durer, elle vivait ! Si petit que soit le fragment considéré, un examen microscopique suffisait pour y lire une multiplicité d'événements ; toujours des broderies, jamais l'étoffe ; toujours des ombres et des reflets sur le miroir mobile de la rivière, jamais le flot limpide »³. Il faut donc renoncer à saisir un continu à l'état pur. Et Bachelard peut le faire d'autant plus aisément que la théorie de la relativité d'Einstein, qui privilégie l'instant, vient résonner avec les thèses existentielles de la *Siloë* de Roupnel. La critique einsteinienne de la durée objective « détruit l'absolu de

Copié-collé #9

L'Encyclopædia Universalis



*Articles de l'Encyclopædia
Universalis : Aristote, Thomas
d'Aquin et Philosophie de l'Un*

ÉTIENNE KLEIN

Comme nous le verrons plus loin, la théorie scientifique de l'atome a été à l'origine des grandes unifications de la physique du xx^e siècle.

L'unité plurielle d'Aristote

Dans son *Traité du Ciel*, Aristote se consacre à une étude générale de l'Univers et des éléments qui constituent les corps. C'est dans cet ouvrage que se trouvent la plupart des thèses dont le commentaire et l'interprétation occuperont la « physique » médiévale : unicité et perfection de l'Univers, qui est comparable à un organisme vivant ; finitude de l'Univers dans l'espace, mais infinité de l'Univers dans le temps (thèse dirigée contre le récit de la genèse du monde dans le *Timée* de Platon et que les philosophes médiévaux, à commencer par Thomas d'Aquin, auront le plus grand mal à concilier avec une théologie de la création)^[53] ; unicité et sphéricité du Ciel, en dehors duquel il n'y a rien, même pas de lieu ni de vide.

Le *Traité du Ciel* est dominé par cette idée dualiste, qui sera fatale à l'évolution de la physique médiévale, que les lois de la physique sublunaire sont différentes par nature de celles qui régissent le monde sidéral : alors que celles-ci sont exactes et mathématisables, les lois de la physique sublunaire se contentent de relever ce qui se produit « le plus souvent ». C'est cette idée qui inspire la théorie aristotélicienne des éléments : aux quatre éléments retenus par Empédocle (terre, eau, air, feu), Aristote superpose un cinquième élément, qui sera plus tard la « quintessence » des scolastiques et qu'il appelle pour sa

PIERRE AUBENQUE, auteur de l'entrée sur « Aristote »

• L'Univers

L'œuvre physique d'Aristote est loin de se limiter à l'ouvrage intitulé *Physique*, qui n'est, à vrai dire, que l'introduction théorique à un vaste programme d'investigations cosmologiques, météorologiques et biologiques. Le traité *Du Ciel* n'est pas essentiellement consacré, contrairement à ce que l'on pourrait attendre, à une étude des phénomènes astronomiques, mais plutôt à une étude générale de l'univers et des éléments qui constituent les corps (étude qui sera reprise et complétée dans le traité *De la génération et de la corruption*). C'est dans le traité *Du Ciel* que se trouvent la plupart des thèses dont le commentaire et l'amplification occuperont principalement la « physique » médiévale : perfection de l'univers, qui est comparable à un organisme vivant ; finitude de l'Univers dans l'espace, mais infinité de l'Univers dans le temps (thèse dirigée contre le récit

de la genèse du monde dans le *Timée* de Platon et que les philosophes médiévaux, à commencer par Thomas d'Aquin, auront le plus grand mal à concilier avec une théologie de la création) ; unicité et sphéricité du Ciel, en dehors duquel il n'y a rien, même pas de lieu ni de vide.

Le traité *Du Ciel* est dominé par cette idée, qui sera fatale à l'évolution de la physique médiévale, que les lois de la physique sublunaire sont différentes par nature de celles qui régissent le monde sidéral : alors que celles-ci sont exactes et mathématisables, les lois de la physique sublunaire se contentent de relever ce qui se produit « le plus souvent ». C'est cette idée qui inspire la théorie aristotélicienne des éléments : aux quatre éléments retenus par Empédocle (terre, eau, air, feu), Aristote superpose un cinquième élément, qui sera plus tard la

ÉTIENNE KLEIN

part « premier corps » ou « éther »^[54]. Alors que la génération circulaire des éléments, rendue possible par le fait qu'ils communiquent un à un par l'une de leurs qualités (le froid pour la terre et l'eau, l'humide pour l'eau et l'air, le chaud pour l'air et le feu, le sec pour le feu et la terre), rend compte des changements au niveau du monde sublunaire, l'éther, substance constitutive des astres, est immuable, encore que cette immuabilité soit celle d'un mouvement éternel. La doctrine du cinquième élément, inaltérable et qui ne se mélange en aucune façon aux quatre autres, permet à Aristote d'affirmer la transcendance du Ciel : il s'oppose par là, avant la lettre, à la physique moderne, dont l'acte de naissance coïncidera avec la suppression par Galilée de la distinction aristotélicienne entre physique céleste et physique terrestre.

C'est dans sa *Métaphysique* qu'Aristote s'est appliqué à analyser de façon très précise les différentes modalités de l'Un : « L'Un, écrit-il, se dit autant de fois : le continu par nature, le tout, le particulier et l'universel ; et tous ces modes sont un par indivisibilité, les uns dans l'ordre du mouvement, les autres dans l'ordre de la pensée ou de l'énonciation. »^[55] Aristote explique par exemple que le tout ne se réduit pas à la continuité, mais concerne également les différents modes de rassemblement, comme l'universel le plus strict ou, à l'inverse, une totalité chaotique, par exemple un tas de sable (qui n'est pas continu). Par ailleurs, il explique que le savoir reconnaît quatre types d'unité. A l'unité numérique il faut adjoindre l'unité spécifique, l'unité générique et même l'unité par analogie, qui s'accorde mieux que les autres au Multiple : « Ce

PIERRE AUBENQUE, auteur de l'entrée sur « Aristote »

Le traité *Du Ciel* est dominé par cette idée, qui sera fatale à l'évolution de la physique médiévale, que les lois de la physique sublunaire sont différentes par nature de celles qui régissent le monde sidéral : alors que celles-ci sont exactes et mathématisables, les lois de la physique sublunaire se contentent de relever ce qui se produit « le plus souvent ». C'est cette idée qui inspire la théorie aristotélicienne des éléments : aux quatre éléments retenus par Empédocle (terre, eau, air, feu), Aristote superpose un cinquième élément, qui sera plus tard la « quintessence » des scolastiques et qu'il appelle pour sa part « premier corps » ou « éther ». Alors que la génération circulaire des éléments, rendue possible par le fait qu'ils communiquent un à un par l'une de leurs qualités (le froid pour la terre et l'eau, l'humide pour l'eau et l'air, le chaud pour l'air et le feu, le sec pour le feu et la terre), rend compte des changements au niveau du monde sublunaire, l'éther, substance constitutive des astres, est immuable, encore que cette immuabilité soit celle d'un mouvement éternel. La doctrine du cinquième élément, inaltérable et qui ne se mélange en aucune façon aux quatre autres, permet à Aristote d'affirmer la transcendance du Ciel : il s'oppose par là, avant la lettre, non seulement à la physique moderne, dont l'acte de naissance coïncidera avec la suppression par Galilée de la distinction entre physique céleste et physique terrestre, mais aussi à la physique stoïcienne, pour qui le

ÉTIENNE KLEIN

C'est un premier critère permettant de juger les fruits de l'intellect. Il est certes critiquable, mais grâce à lui, la théologie a trouvé peu à peu sa limite, autorisant la séparation des pouvoirs sur laquelle la science bâtit son autonomie ; l'idée de « loi de la nature » put apparaître avec sa consistance spécifique. C'est parce qu'il y a une *phusis*, avec la nécessité de ses lois, que la science peut se construire en un *logos*. Thomas d'Aquin écarte ainsi la tentation de sacrifier les forces de la nature dans une sensibilité ingénue au merveilleux ou dans un recours automatique à la providence de Dieu. A sa suite, tout un monde surnaturel qui projetait son mirage sur les choses s'estompe dans les imaginations. La nature apparaît dans sa réalité profane. Mais son autonomie est ménagée : « Soustraire quelque chose à la perfection de la créature, ajoute Thomas d'Aquin, c'est soustraire à la perfection même de la puissance

créatrice. » Pour lui, la raison qui organise l'univers est la « dérivation » d'une raison divine transcendante ; l'ordre du monde tient son être et son unité de la simplicité divine puisqu'il imite, en la multipliant et en la déroulant, la plénitude que Dieu concentre en lui-même.

MARIE-DOMINIQUE CHENU, auteur de l'entrée sur « Thomas d'Aquin »

4. La nature

Il était dans la logique de ce rationalisme chrétien de reconnaître aux lois de la nature leur consistance spécifique, jusque dans la vie de la grâce : c'est parce qu'il y a une *phusis*, avec la nécessité de ses lois, que la science peut se construire en un *logos*. Telle est la cohérence de toute renaissance, celle du XIII^e siècle comme celle du Quattrocento. Thomas écarte ainsi la tentation de sacrifier les forces de la nature, dans une sensibilité ingénue au merveilleux et dans un recours infantile à la providence de Dieu. Tout un monde surnaturel qui projetait son mirage sur les choses et sur les hommes, à travers l'art roman et les mœurs sociales, s'estompe dans les imaginations ; c'est par d'autres voies que la nature, découverte en sa réalité profane, prendra sa valeur religieuse et conduira à Dieu.

leur intelligibilité à ces hautes valeurs chrétiennes, dans la ligne de saint Augustin ; mais, contre lui, il ménage l'autonomie de la nature et de la liberté. « Soustraire quelque chose à la perfection de la créature, dit-il, c'est soustraire à la perfection même de la puissance créatrice. » Axiome métaphysique, mais aussi principe mystique, qui est la clef de la spiritualité de saint Thomas.

XI. Perspectives unitaires dans la physique contemporaine

Il est encore un mal que j'ai vu sous le soleil, peut-être le plus grand de tous, c'est la présomption de l'esprit qui veut expliquer l'univers en quatre paroles, enfermer le bleu du ciel dans un lécythe, faire tenir l'infini dans un cadre de trois doigts.

L'Écclésiaste.

L'utopie d'une théorie de Tout

Les doctrines de la totalité, nous l'avons vu, trouvaient une place naturelle parmi les philosophies monistes. En leur sein, il faut distinguer celles qui croient que cette totalité suffit à se réaliser elle-même de celles qui lui infusent l'unité par le rayonnement d'un principe transcendant. L'Univers est de lui-même une unité, pensaient certains philosophes présocratiques. Si, comme eux, on estime que la totalité tient d'elle seule son unité et son être, on sera porté à réduire la part de sa multiplicité interne. A la limite, on soutiendra que celle-ci n'a de place que dans une optique subalterne et provisoire. Ce n'est pas ce que retient la science moderne, qui considère que l'unité de l'univers vient plutôt des lois qui le régissent.

JEAN TROUILLARD, auteur de l'entrée sur « Philosophies de l'Un »

de Léon Brunschvicg, mort en 1944, qui composait chaque affirmation d'une loi d'intériorité et d'une fonction d'extériorité.

On peut se demander d'ailleurs si le dualisme n'est pas originellement un *monisme de la relation*. Il s'appuierait sur une oscillation dialectique entre deux extrêmes aussi irréductibles qu'inséparables puisqu'ils tiendraient leur sens de leur corrélation. Dans ce cas, l'unité résiderait dans la médiation qui les lie et les oppose à la fois.

Parmi les philosophies monistes prennent place les doctrines de la totalité. Mais il faut tout de suite distinguer celles qui croient que cette totalité suffit à se réaliser elle-même et celles qui lui infusent l'unité par le rayonnement d'un Principe transcendant.

Si l'on estime que la totalité tient d'elle seule son unité et son être, on sera porté à réduire la part de sa multiplicité interne. À la limite, on soutiendra que celle-ci n'a de place que dans une optique subalterne et provisoire. Tel semble avoir été le sentiment de Parménide qui identifiait l'Être et la Pensée dans un Tout parfaitement un. Plus intrépides encore, certaines doctrines hindoues affirment que l'individu est une illusion

Copié-collé #10

Bernard Ribémont



Le Moyen Âge et la symbolique des nombres

BERNARD RIBÉMONT - ARTICLE DU MAGAZINE « LA RECHERCHE » - ÉTÉ 1995

ÉTIENNE KLEIN

La conception pythagoricienne d'un univers fondé sur le nombre fut très vivante au Moyen Age. Le nombre est investi d'une dimension symbolique, doué de propriétés originelles intervenant dans la création de l'univers et de la matière, si bien que par la pratique et l'examen des nombres et de leurs combinaisons, l'homme est appelé à tenter de retrouver les propriétés du monde et de la nature. La théologie chrétienne n'eut aucune difficulté à reprendre à son propre compte ces conceptions, notamment par la bouche de saint Augustin. Le XII^e siècle vit même apparaître ce que l'on pourrait appeler une « science arithmologique chrétienne », fondée explicitement sur le réalisme des nombres et orientée vers la lecture des textes sacrés. Cette arithmologie se distinguait de l'arithmétique en ce que, plutôt que d'établir des formules, elle visait à extraire des nombres le maximum d'informations pouvant être utilisées dans les correspondances symboliques, avec l'idée que plus on extrait de matière du nombre lui-même, et plus on pourra comprendre de choses signifiées par le nombre, mais extérieures au domaine mathématique. C'est ainsi que le nombre trois, étant premier et donc indécomposable, correspondait à une perfection renvoyant nécessairement à la divinité, par exemple au mystère de la divine trinité, elle-même associée au ciel ; quant au nombre deux, moins parfait puisque partageable en deux, il symbolisait la dualité de l'âme et du corps, incarnant du même coup l'imperfection associée à la terre. Comme on le voit sur cet exemple simple, une telle façon de faire ne doit pratiquement rien aux mathématiques, si ce n'est l'emprunt de quelques éléments de la suite (infinie) des

BERNARD RIBÉMONT

considérer de manière disjointe la mathématique et le symbolisme.

Or depuis les pythagoriciens, dont la pensée en matière d'arithmétique fut largement reprise par Platon, le nombre est investi d'une dimension symbolique. Il apparaît comme existant en soi, doué de propriétés originelles intervenant dans la création de l'Univers et de la matière. C'est pourquoi, dans la pratique et l'examen des nombres et de leurs combinaisons, l'homme est appelé à tenter de retrouver les propriétés constitutives du monde et de la nature. Le nombre est alors investi d'une triple dimension : ma-

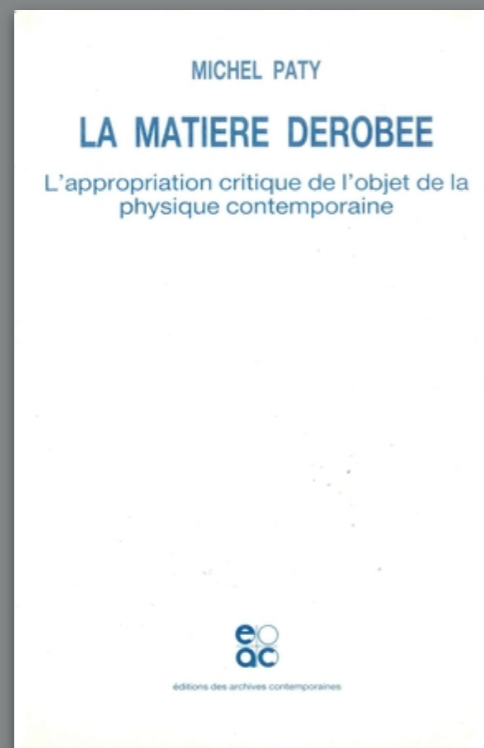
pairs, paires de nombres impairs, etc. C'est bien ici que l'on voit la différence fondamentale entre arithmétique et arithmologie. Dans le premier cas, il s'agit d'établir une formule, dans le second d'extraire le maximum d'informations pou-

vant être utilisées dans les correspondances symboliques.

Prenons un exemple très élémentaire. En arithmétique, 3 est premier et impair. En arithmologie, 3 étant premier, il est indécomposable et correspond donc à une perfection qui renvoie à la divinité. Mais $3 = 1 + 1 + 1$ représente le mystère de la Trinité. De même $3 = 2 + 1$ est l'union du pair et de l'impair et, lui-même étant impair, cette union se fait dans l'impair. Le pair étant partageable en deux, il est moins parfait, issu du deux qui représente la dualité de l'homme (corps et âme) et associé au terrestre. L'impair est

Copié-collé #11

Michel Paty



La matière dérobée

MICHEL PATY - ÉDITIONS DES ARCHIVES
CONTEMPORAINES - 1988

ÉTIENNE KLEIN

disciplines qui présentent chacune un certain degré d'unification, mais dont la juxtaposition ne suffit pas à faire l'unité globale de la physique. Nous ne disposons pas aujourd'hui d'une vision du monde véritablement unifiée, c'est-à-dire porteuse d'une image univoque du monde physique. Chaque discipline se spécialise pour explorer un versant de ce monde, mais n'offre pas toujours de piste pour relier ses hypothèses, ses concepts de base, ses résultats à ceux des autres disciplines. La rigueur scientifique semble se payer d'un morcellement des perspectives et des statuts. Il convient donc de discuter d'abord de l'unification des objets de la physique, ensuite de celle de ses diverses sous-disciplines.

L'unification des objets de la physique

Science des corps en général et donc d'objets qui n'avaient entre eux de commun avant le XVII^e siècle que des analogies hasardeuses et tâtonnantes, la physique s'est vue promise assez rapidement à une unité de droit sous le signe de la théorisation mathématique, dès après la naissance de la mécanique. L'ambitieux programme cartésien faisait déborder la physique hors des frontières qui lui furent assignées ensuite (dès le XVIII^e siècle), à la faveur du développement et de la spécification des sciences de la vie, effectuées sans recours aux mathématiques. Ainsi, dans sa classification encyclopédique des sciences, d'Alembert distinguait-il les sciences physico-mathématiques⁽¹⁾, hautement rationalisées, et les physiques particulières qui ne concernaient que des phénomènes empiriques et des données

MICHEL PATY

leur sujet nous sont ici négligés... que pour situer les «objets» qui nous occupent par rapport à l'objet de la physique considéré dans sa généralité.

Science des corps en général et donc d'objets qui n'avaient entre eux de commun, au temps de la révolution scientifique du 17^{ème} siècle, que les analogies hasardées et tâtonnantes de la classification baconienne — ou, sinon, l'unité postulée de la matière, sublunaire aussi bien que céleste depuis Copernic — la physique s'est vue ensuite promise assez vite à une unité de droit sous le signe de la théorisation mathématique après la naissance de la mécanique galiléenne. Ambitieux mais réducteur, le programme cartésien faisait déborder la physique hors des frontières qui lui furent assignées ensuite dès le dix-huitième siècle à la faveur de la spécification et du développement des sciences de la vie, effectués selon des modalités distinctes de la physique et de la mécanique, en dehors en tout cas de la constitution-application toute puissante des mathématiques. Dans sa classification encyclopédique des sciences, d'Alembert, à la même époque, distinguait les sciences physico-mathématiques (2), hautement rationalisées, et les physiques particulières qui concernaient des phénomènes empiriques, des données simplement factuelles. Les objets des unes et des autres étaient considérés de manière spécifique par

ÉTIENNE KLEIN

simplement factuelles. Les objets des unes et des autres étaient considérés de manière spécifique par l'entendement, qui devait les envisager « de la manière la plus simple et la plus abstraite qu'il se puisse » ; et qui devait « ne rien supposer, ne rien admettre dans cet objet, que les propriétés que la science même qu'on y traite y suppose »^[2]. Les objets qui se laissaient ainsi traiter de la manière la plus abstraite étaient les plus aptes à une intelligibilité complète. « Ce privilège des sciences rationnelles, remarque Michel Paty, allait s'étendre beaucoup plus loin que d'Alembert ne le pensait : l'électricité, le magnétisme, l'optique physique, la thermodynamique, la chimie elle-même pouvaient quelque temps plus tard prétendre à ce même statut. Les "physiques particulières" au sens de d'Alembert n'existent d'ailleurs plus qu'en dehors de la physique, au sens moderne. Les diverses branches de connaissances qui appartiennent à cette dernière semblent bien avoir aujourd'hui en commun ce caractère d'être fortement mathématisées, du moins quant à leurs concepts et à la forme générale de leurs lois. »^[3]

Il est donc généralement admis que les différents objets que considèrent les diverses branches de la physique n'en constituent en réalité qu'un seul, du moins en droit et dans la perspective d'une connaissance achevée. Cet objet unique, c'est la matière. Chaque discipline l'aborde selon un certain point de vue, mais il est admis que tous ces points de vue, pris ensemble, donnent une vue complète de l'objet de la physique. C'est donc l'unité de la matière telle que représentée par la physique moderne qu'il nous faudra interroger.

MICHEL PATY

des données simplement factuelles. Les objets des unes et des autres étaient considérés de manière spécifique par l'entendement, qui devait les envisager « de la manière la plus simple et la plus abstraite qu'il se puisse » ; et qui

devait « ne rien supposer, ne rien admettre dans cet objet, que les propriétés que la science même qu'on y traite y suppose »⁽³⁾. Les objets qui se laissaient ainsi traiter de la manière la plus abstraite — et corrélativement, la plus générale — étaient les plus aptes à une intelligibilité complète : ce privilège des sciences rationnelles allait très vite s'étendre beaucoup plus loin que d'Alembert ne le pensait : l'électricité, le magnétisme, l'optique physique, la thermodynamique, la chimie elle-même pouvaient quelque temps plus tard prétendre à ce même statut. A tel point que les « physiques particulières » au sens de d'Alembert n'existent tout au plus qu'en dehors de la physique au sens moderne ; les diverses branches de connaissances qui appartiennent à cette dernière semblent bien avoir aujourd'hui en commun ce caractère d'être fortement mathématisées, du moins quant à leurs concepts et à la forme générale de leurs lois (4).

d'objet et, d'une manière générale, la notion même de l'objet d'une discipline. Il est généralement admis que ces objets des diverses branches de la physique en constituent un seul, en droit et dans la perspective idéale d'une connaissance achevée : ce qu'il est convenu d'appeler la matière. Chaque branche est considérée l'aborder sous un point de vue, voire à un niveau de structuration, donnés, et il est admis que ces points de vue et ces niveaux entretiennent des rapports les uns avec les autres et que, peut-être, pris ensemble, ils donnent une vue totale de l'objet de la physique. Cette unité de l'objet de la physique est, d'une certaine façon, déjà réalisée dans la pratique, de manière approchée, par le recours simultané et interactif aux

diverses disciplines de la physique dans l'étude de chacune d'elles. C'est l'évidence quant à l'aspect expérimental. Il suffit d'énumérer les connaissances physiques et

L'unification des disciplines de la physique

La façon dont l'unité de la physique et sa visée sont perçues diffère radicalement selon les époques. Max Planck, en 1908, considérait que la physique était pour l'essentiel ramenée à deux branches principales : la mécanique d'une part, l'électrodynamique d'autre part. Chacune de ces branches avait effectivement réalisé une « unification horizontale », pour reprendre l'expression d'Edoardo Amaldi^[4]. Planck se posait alors la question de leur lien. Le phénomène de l'émission ou de l'absorption de rayonnement électromagnétique par les corps semblait manifester qu'elles en avaient effectivement un. Le problème de l'émission de rayonnement par les atomes relevait ainsi de celui de l'unification de la physique. Mais une telle unification ne pouvait résulter d'une réduction d'une branche à l'autre ou de leur simple juxtaposition. Cependant, Max Planck cherchait encore la solution dans le cadre de la théorie acquise, en évitant de donner une importance fondamentale au *quantum* d'action^[5] qu'il avait lui-même introduit en 1900. En définitive, l'unification ne sera réalisée qu'au prix d'un renversement complet du point de vue théorique et d'une modification des concepts.

Cet exemple montre qu'à un certain stade de l'unification horizontale, c'est-à-dire de la fusion de branches de la physique jusque-là séparées, une faille se présente, qui ne peut être franchie qu'au prix d'un bouleversement en profondeur. Ce bouleversement débouche sur une unité explicative pour la

pensée physique est sous-tendue constamment par le projet de ramener la physique — c'est-à-dire ses phénomènes et leurs explications — à l'unité. Mais la façon dont cette unité

et sa visée sont perçues diffère radicalement selon les époques, selon le type des synthèses réussies ou de la diversification non réduite encore, ainsi que selon la possibilité même — telle qu'elle est envisagée — d'accomplir la réduction des éléments qui demeurent dispersés.

Planck, en 1908, considérait que la physique était pour l'essentiel ramenée à deux branches principales : la mécanique — ou physique de la matière selon son expression — et l'électrodynamique — qu'il appelait encore physique de l'éther (5). Chacune de ces branches avait effectivement réalisé peu ou prou une « unification horizontale », pour reprendre l'expression d'Amaldi (6). Planck se posait alors la question de leur lien. Le phénomène de l'émission ou de l'absorption de rayonnement par les corps manifestait qu'elles en avaient effectivement un ; et Planck était parmi les mieux placés pour réaliser la difficulté de ce problème et l'importance de sa solution. Le problème de l'émission relevait ainsi en quelque sorte de celui de l'unification de la physique. Mais une telle unification — par l'explication profonde du phénomène — ne pouvait résulter d'une réduction d'une branche à l'autre ou d'une simple juxtaposition. Planck cherchait encore cependant la solution dans le sens de la théorie acquise, donc, d'une réduction, en essayant d'éviter de donner une importance trop fondamentale au *quantum* d'action qu'il avait lui-même introduit en 1900 (7). Or, comme on le verra, l'unification ne devait être réalisée qu'au prix d'un renversement complet du point de vue théorique et d'une modification des concepts.

Cet exemple montre combien, à un certain stade de l'« unification horizontale » ou fusion de branches jusque-là séparées de la physique, une « faille » se présente qui rend nécessaire, pour que son franchissement soit possible, un bouleversement en profondeur. Qu'un tel remaniement ait pu être, d'une certaine façon, mené à bien avec la mécanique

ÉTIENNE KLEIN

problématique antérieure : la physique quantique unifiera dans une même représentation la matière et le rayonnement. Cette unification s'est faite en profondeur, en ce sens que les concepts qu'elle conduit à définir se trouvent aussi à l'œuvre dans des champs aussi divers que la physique du solide ou celle des particules élémentaires, aboutissant à une unification en quelque sorte « verticale » cette fois.

Peut-on parler d'une universalité de la science ?

Il est certainement encourageant de parler d'une « universalité de la science » mais il faut se garder d'une interprétation trop enthousiaste de cette expression. Il n'existe pas de vérités fondamentales ou d'idées surpuissantes, d'où dériveraient toutes les découvertes ; pas de concept central dont l'accès expliquerait atomes et galaxies, gènes et cellules, etc. La raison ne pense plus le monde à l'aide d'un système unique.

L'universalité de la science dont il est souvent question repose en premier lieu sur l'existence d'une communauté de scientifiques, sur une manière consensuelle de travailler, de poser les questions et d'envisager les solutions aux problèmes. C'est une universalité méthodologique.

Une autre universalité, toute pratique celle-là (mais peut-être moins anecdotique qu'elle ne paraît être au premier abord), a émergé tout récemment. Jusqu'au troisième quart du xx^e siècle en effet, chacune des sciences était facilement repérable. « Si, entré dans une salle, remarque Michel Serres, l'inexpert y

MICHEL PATY

48

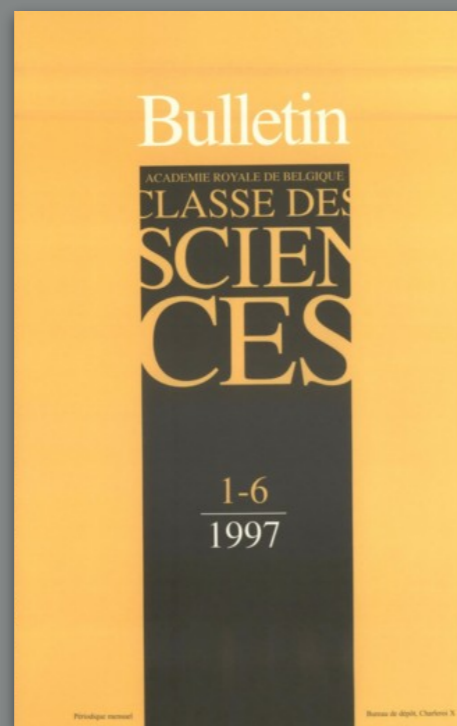
LA MATIÈRE DÉROBÉE

physique et de son objet. Ce que la mécanique quantique a apporté, c'est une unité explicative dans la problématique antérieure : celle de la matière et du rayonnement. Cette unification s'est faite en profondeur, en ce sens que les mêmes concepts fondamentaux se trouvent désormais à l'œuvre dans des phénomènes aussi différents que la physique du solide, la physique atomique et moléculaire, la physique nucléaire et celle des particules élémentaires, aboutissant à son unification en quelque sorte « verticale » (8).

Le bouleversement théorique...

Copié-collé #12

Dominique Lambert



L'efficacité des mathématiques est-elle déraisonnable ?
dans « Bulletin de la Classe des sciences »

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE - 1997

ÉTIENNE KLEIN

évidemment l'assimiler pour la comprendre ; soit, à l'inverse, il est pensé comme le langage de l'homme, et c'est dans ce langage-là que devront être traduits les faits de la nature pour devenir compréhensibles. Choisir entre ces deux explications, c'est en quelque sorte décider de la réalité des objets mathématiques.

On est donc inmanquablement conduit à s'interroger sur les causes de l'efficacité des mathématiques en physique, dont le constat inspire toujours une sorte d'étonnement, aujourd'hui renforcé par les confirmations expérimentales très précises apportées à la physique quantique, à l'électrodynamique quantique, à la théorie électrofaible (qui a permis la découverte des bosons intermédiaires) ou encore à la théorie cosmologique standard. La question est notamment de savoir si l'on doit voir dans la mathématique la description correcte des liens existant entre des choses conceptuellement premières par rapport à elle, ou s'il faut y contempler l'essence même des choses. Ces interrogations (presque) aussi vieilles que les mathématiques elles-mêmes, firent l'objet d'un article célèbre écrit dans les années soixante de ce siècle par le physicien Eugene Wigner, intitulé « La déraisonnable efficacité des mathématiques dans les sciences de la nature »^[18]. Wigner y expliquait que cette efficacité ne peut être qualifiée qu'en termes de « miracles » ou de « don magnifique que nous ne comprenons ni ne méritons », comme si ses raisons profondes étaient situées au-delà des limites de notre compréhension des phénomènes. L'efficacité des mathématiques en physique est indéniable et elle est effectivement susceptible de susciter l'émerveillement de toute

DOMINIQUE LAMBERT

les plus classiques de la philosophie. Il a été épinglé de manière particulièrement brillante par E.P. Wigner en 1960 dans un article où cette efficacité est qualifiée de « déraisonnable »¹⁶. En effet, le célèbre physicien estime que cette efficacité ne peut être qualifiée qu'en termes de « miracles » ou de « don magnifique » situés au-delà des limites de notre compréhension des phénomènes. Il nous semble que l'efficacité des mathématiques en physique est indéniable et qu'elle est susceptible de susciter l'émerveillement de toute personne qui a

ÉTIENNE KLEIN

personne qui a pratiqué un tant soit peu cette discipline. Cependant, comme le souligne Dominique Lambert, il est peu conforme à la dynamique de la raison scientifique de cacher la difficulté de ce problème sous le voile du miracle avant d'avoir envisagé toutes les possibilités d'explication^[19]. Or celles-ci sont nombreuses, même si elles ne sont pas toutes également satisfaisantes. Après quelques remarques préliminaires, nous examinerons différentes solutions apportées par l'histoire récente ou ancienne de la philosophie.

Remarquons d'abord que la notion d'efficacité des mathématiques recouvre plusieurs significations. Il peut s'agir d'abord d'une capacité de prédiction ou de rétrodiction. Une théorie mathématique sera dite efficace dans un domaine des sciences si elle peut anticiper les résultats d'expérimentation ou reproduire les données obtenues précédemment. Elle doit être capable de fournir des résultats numériques qui, dans les limites d'une certaine borne d'erreur tolérée, reproduisent les données expérimentales. Mais l'efficacité ne se mesure pas seulement à cette possibilité de « sauver les phénomènes ». L'efficacité d'une théorie mathématique peut venir également du fait qu'elle met en évidence des structures « explicatives ». Ainsi, la théorie de jauge par laquelle on décrit aujourd'hui l'interaction électrofaible ne manifeste pas seulement son efficacité par le fait qu'elle reproduit les courbes expérimentales recueillies auprès des détecteurs de particules ; elle est qualifiée d'efficace parce que son formalisme donne un schéma expliquant l'existence de cette interaction électrofaible. En effet, celle-ci dérive d'un concept profond de symétrie, en

DOMINIQUE LAMBERT

indéniable et qu'elle est susceptible de susciter l'émerveillement de toute personne qui a pratiqué un tant soit peu cette discipline. Cependant, il nous semble peu conforme à la dynamique de la raison scientifique de cacher la difficulté de ce problème de l'efficacité des mathématiques sous le voile du miracle avant d'avoir sérieusement envisagé toutes les possibilités d'explication. Or, celles-ci sont nombreuses, même si elles ne sont pas toutes également satisfaisantes. Après avoir formulé quelques remarques préliminaires, nous allons donc risquer une approche du problème qui se base sur un examen des différentes solutions apportées par l'histoire récente ou ancienne de la philosophie.

Il nous faut remarquer d'emblée que la notion d'efficacité recouvre plusieurs significations. Il peut s'agir, tout d'abord, d'une capacité de prédiction ou de rétrodiction. Une théorie mathématique est dite efficace dans un domaine des sciences si elle peut anticiper les résultats d'expérimentations ou reproduire les données obtenues précédemment. Mais, l'efficacité ne se mesure pas seulement à cette possibilité de « sauver » les phénomènes. En effet, une théorie mathématique est dite efficace également si elle permet de mettre en évidence des structures « explicatives ». La théorie de jauge qui décrit les interactions électro-faibles ne manifeste pas seulement son efficacité par le fait qu'elle reproduit les

courbes expérimentales qui sont obtenues à partir des détecteurs de particules (qui mettent en évidence l'existence de bosons vectoriels intermédiaires). Elle est qualifiée d'efficace parce que son formalisme donne un schéma expliquant l'existence de cette interaction

ÉTIENNE KLEIN

l'occurrence l'invariance sous une transformation de jauge locale. La structure de la théorie possède donc, en plus de l'efficacité strictement prédictive, une efficacité explicative. Nous retrouvons ici les remarques de René Thom qui souligne la nécessité de ne pas confondre les fonctions prédictives et explicatives de toute science de la nature^[20]. L'efficacité des mathématiques peut également être considérée à un troisième niveau, celui de la générativité : une théorie mathématique est efficace si elle permet d'engendrer de nouvelles idées, de nouveaux concepts, des stratégies inédites ou des solutions originales à des problèmes anciens. L'importance de cette définition a été notamment soulignée par Alain Connes^[21], et également par le physicien théoricien Freeman Dyson, qui rappelle ceci : « Un facteur constant à travers les méandres de l'histoire de la physique est l'importance décisive de l'imagination mathématique. A chacune des périodes où de grands progrès ont été accomplis, le développement de la compréhension des phénomènes a été guidé par une combinaison des observations expérimentales et de l'intuition purement mathématique. Pour le physicien, les mathématiques ne sont pas seulement un outil permettant de calculer les phénomènes, c'est la source principale des principes et des concepts qui permettent d'élaborer de nouvelles théories. »^[22] A la suite de Roger Penrose, on peut même être tenté d'établir une classification des théories mathématiques en fonction de leur capacité prédictive en physique^[23]. Penrose qualifie de *superb* les théories qui sont les plus efficaces de ce point de vue, citant en exemple la mécanique classique, la relativité,

DOMINIQUE LAMBERT

électro-faible. En effet, celle-ci dérive d'un concept profond de symétrie : l'invariance sous une transformation locale de jauge. La structure de la théorie possède donc, en plus de l'efficacité strictement prédictive, une efficacité explicative. Nous retrouvons ici les remarques de René Thom qui souligne, de manière judicieuse, la nécessité de ne pas confondre les fonctions prédictives et explicatives de toute science de la nature¹⁷. L'efficacité des mathématiques peut être vue à un troisième niveau : celui de la générativité¹⁸. Une théorie mathématique est efficace si elle permet d'engendrer de nouvelles idées, de nouveaux concepts ou des solutions originales de problèmes anciens. Ces

ÉTIENNE KLEIN

l'électromagnétisme de Maxwell, l'électrodynamique quantique. Il qualifie de *useful* les théories qui, tout en ayant une bonne confirmation expérimentale, ne possèdent pas le niveau de prédictivité et la cohérence interne des *superb* théories. Parmi ces théories figurent la théorie électrofaible, la chromodynamique quantique, le modèle standard de la cosmologie. Enfin, Penrose introduit le concept de *tentative theory* qui renvoie à des théories élégantes et séduisantes qui ne sont confirmées par aucune donnée expérimentale.

Les trois types d'efficacité que nous venons d'explicitier doivent être pris en considération si l'on ne veut pas mutiler la notion d'efficacité des mathématiques dans les sciences. En 1918, la théorie élaborée par Hermann Weyl tentait par exemple d'unifier la gravitation et l'électromagnétisme en étendant la relativité générale : elle ne fut pas directement efficace au niveau des prédictions expérimentales, mais elle ouvrit la voie à ce qui allait devenir les théories de jauge. De même, il est clair que l'actuelle théorie des supercordes n'est pas prédictivement efficace, pour l'instant du moins, mais cela ne veut pas dire qu'elle ne possède pas d'efficacité du tout. En effet, cette théorie suggère un ensemble d'idées sur la manière dont on doit changer notre conception des particules élémentaires pour arriver à une unification des quatre interactions fondamentales. Par exemple, elle invite à abandonner l'idée que les particules seraient des entités ponctuelles. Elle est donc un parfait exemple de *tentative theory* au sens de Penrose. Il en va de même pour les géométries non commutatives : le fait qu'elles fournissent, dans certains cas, une explication

DOMINIQUE LAMBERT

Une théorie mathématique est efficace si elle permet d'engendrer de nouvelles idées, de nouveaux concepts ou des solutions originales de problèmes anciens. Ces trois niveaux d'efficacité doivent être pris en considération si l'on ne veut pas mutiler la notion d'efficacité des mathématiques dans les sciences. Par exemple il est clair que la théorie des supercordes n'est pas (encore ?) prédictivement efficace, mais cela ne

la théorie des supercordes n'est pas (encore ?) prédictivement efficace, mais cela ne veut pas dire qu'elle ne possède pas d'efficacité du tout. En effet, cette théorie suggère une série d'idées sur la manière dont on doit changer notre conception des particules élémentaires pour arriver à une unification des quatre interactions fondamentales (par exemple l'abandon des entités ponctuelles). Il en va de même de la géométrie non-commutative. Le fait qu'elle fournisse, dans certains cas particuliers, une explication intrinsèque du phénomène de brisure de symétrie (nécessaire pour donner de

ÉTIENNE KLEIN

intrinsèque du phénomène de brisure de symétrie, censé conférer une masse à certains messagers des interactions fondamentales, leur donnent une indéniable efficacité ^[24]. Ces quelques exemples suffisent à montrer que le concept d'efficacité est beaucoup plus riche que ce que pourrait laisser croire une application superficielle des mathématiques dans les sciences.

Il faut également noter que l'efficacité des mathématiques, aux trois sens que nous venons d'évoquer, est très différente selon qu'il s'agit de sciences comme la physique, la chimie, voire la biologie, ou de sciences humaines comme l'économie, la sociologie ou l'histoire. Il est certain qu'en biologie contemporaine, les méthodes mathématiques utilisées ont acquis une importance et une efficacité que nul ne pouvait soupçonner il y a quelques dizaines d'années. Par exemple, les mathématiques apportent des résultats surprenants au niveau de la compréhension des dynamiques de population en écologie (par l'usage de la théorie des systèmes dynamiques) ou au niveau de la classification des formes qui ornent les ailes des papillons. Ces résultats dépassent de loin les applications mathématiques conventionnelles qui se résument souvent à une simple analyse statistique des données. Cependant, on peut se demander si l'explication des phénomènes biologiques passera un jour par une complète mathématisation de cette discipline, analogue à celle qui a cours en physique. De la même façon, si certaines théories mathématiques se révèlent efficaces en économie ^[25], on ne peut pas prétendre que toutes les explications des phénomènes économiques se coulent avec le

DOMINIQUE LAMBERT

cation intrinsèque du phénomène de brisure de symétrie (nécessaire pour donner de la masse à certains messagers d'interaction), lui confère une efficacité (relative mais réelle). Toutes ces réflexions montrent que le concept d'efficacité est beaucoup plus complexe que ce que pourrait laisser croire une analyse superficielle des applications des mathématiques dans les sciences.

Il nous faut souligner aussi que l'efficacité des mathématiques semble très différente (aux trois niveaux que nous venons de décrire) lorsqu'il s'agit des sciences comme la physique, la chimie voire la biologie ou lorsqu'il s'agit de sciences humaines comme l'économie, la sociologie ou l'histoire. Il est certain qu'en biologie contemporaine, les méthodes mathématiques ont acquis une importance et une efficacité que nul ne pouvait soupçonner il y a seulement quelques dizaines d'années. Cependant, on peut se demander si l'explication des phénomènes biologiques passera un jour par une complète mathématisation de cette discipline à l'instar de ce qui se passe en physique ? De la même façon, si certaines théories mathématiques se révèlent efficaces en économie (théorie des jeux non-coopératifs, ...), il est clair que toutes les explications de phénomènes économiques ne se coulent pas

ÉTIENNE KLEIN

même succès dans le moule des formalismes mathématiques. Toute mathématisation ne signifie pas nécessairement un accroissement de la maîtrise que l'on peut avoir des phénomènes décrits par les sciences humaines.

Historiquement, une première réponse à la question du rôle des mathématiques avait été proposée par les pythagoriciens, pour qui l'essence du monde est le nombre. Si on la transcrit en langage moderne, cette conception revient à admettre que la structure profonde du monde est de nature mathématique, que le monde est « fait de mathématiques », ce qui explique pourquoi les mathématiques sont si utiles et si efficaces dans le domaine des sciences de la nature. Dès lors, faire des mathématiques revient à emprunter le langage même du monde matériel et la physique n'est mathématique que parce que le monde lui-même l'est. Cette thèse n'est toutefois pas pleinement convaincante, car on sait bien que le monde mathématique ne correspond pas exactement au monde physique, en tout cas pas de façon biunivoque. Comme l'a très bien montré Jean-Marc Lévy-Leblond, un même formalisme mathématique peut décrire un grand nombre de systèmes physiques tout à fait différents les uns des autres^[26]. Par exemple, une même équation différentielle du deuxième ordre peut décrire aussi bien des circuits RLC que des systèmes mécaniques de boules reliées par des ressorts ; l'équation différentielle de Poisson gouverne aussi bien l'électrostatique que la théorie statique de la gravitation, la diffusion de la chaleur, l'équilibre d'une membrane élastique déformée, l'écoulement laminaire d'un fluide à deux dimensions. De plus,

DOMINIQUE LAMBERT

mathématiques se révèlent efficaces en économie (théorie des jeux non-coopératifs, ...), il est clair que toutes les explications de phénomènes économiques ne se coulent pas nécessairement, avec le même succès, dans le moule des formalismes mathématiques¹⁹. Certaines applications artificielles de la théorie des catastrophes ou de la théorie des systèmes dynamiques chaotiques à la sociologie montrent d'ailleurs que toute mathématisation ne signifie pas nécessairement un accroissement de maîtrise des phénomènes décrits par les sciences humaines²⁰.

Historiquement, une des premières tentatives d'explication de l'efficacité des mathématiques nous est donnée par le pythagorisme qui assimile l'essence du monde au nombre. Dans cette perspective et d'un point de vue plus contemporain, on pourrait dire que l'efficacité des mathématiques est liée au fait que la structure profonde du monde est justement de nature mathématique. Dès lors, faire des mathématiques revient à emprunter le langage même du monde matériel. Cette conception est critiquable à bien des égards. Une des objections majeures à cette thèse est le constat que le monde mathématique ne correspond pas adéquatement et biunivoquement au monde physique. Comme l'a très bien montré Jean-Marc Lévy-Leblond, un même formalisme physique peut décrire un grand nombre de systèmes physiques tout à fait différents (par exemple une même équation différentielle du second ordre décrit des circuits RLC ou des systèmes mécaniques de boules reliées par des ressorts,...)²¹. De plus, les équations de la physique engendrent, en plus des solutions

ÉTIENNE KLEIN

les équations de la physique engendrent, en plus des solutions correspondant aux phénomènes, des solutions sans aucune signification physique directe. Un doute très sérieux plane donc sur l'idée d'un isomorphisme entre le langage mathématique et la nature.

Quant à l'explication platonicienne de la réussite des mathématiques, elle consiste à admettre que les mathématiques constituent un langage intermédiaire qui permet de passer du monde sensible au monde des Idées, qui forme la réalité profonde des choses. Si les mathématiques sont efficaces, dira un platonicien, c'est parce qu'elles permettent de viser les structures profondes du monde. Ce schéma rend bien compte de l'autonomie du développement des mathématiques et de la nécessité de certains de leurs développements : les constructions mathématiques ne sont pas entièrement le fruit de choix arbitraires faits par le mathématicien puisqu'elles dérivent d'une sorte de nécessité interne aux mathématiques, un peu comme si les concepts étaient « déjà là », comme s'ils étaient toujours à découvrir et jamais à inventer. Mais cette conception pose deux questions. La première concerne le statut de ce monde des Idées, qui reste très énigmatique. La deuxième question consiste à se demander comment le monde des Idées entre en contact avec le monde des phénomènes. Par quel biais parvenons-nous à le rejoindre ? Identifier ces deux mondes reviendrait à retomber dans le pythagorisme. Si par contre nous les séparons, nous devons expliquer comment nous pouvons passer de l'un à l'autre. Faut-il supposer, comme Descartes le fit, que le cerveau fait office d'organe de contact

DOMINIQUE LAMBERT

des ressorts,...)²¹. De plus, les équations de la physique engendrent, en plus des solutions correspondant aux phénomènes, des solutions sans aucune signification physique directe (certaines solutions sont rejetées, par exemple, parce qu'elles violent la causalité usuelle). La correspondance entre les mathématiques et la physique n'est donc pas biunivoque et naturelle. Ceci laisse donc planer un doute sur une sorte d'isomorphisme entre le langage (mathématique) et la nature.

L'explication platonicienne de la réussite des mathématiques peut être divisée en deux thèses. La première pourrait être qualifiée de « platonisme faible » (celui qui peut être trouvé dans des dialogues tels que la *République*). Selon cette conception, les mathématiques constituent un langage intermédiaire qui permet de passer du sensible au monde des Idées qui constitue la réalité profonde des choses. Les mathématiques sont efficaces ici parce qu'elles offrent un moyen de viser les véritables structures du monde. Une autre version du platonisme (qui est plus conforme à la lecture de Platon telle qu'Aristote nous la livre), que nous pourrions appeler le « platonisme fort », identifie les mathématiques au monde des Idées lui-même. Dans une version contemporaine défendue par Albert Lautman, les théories mathématiques constituent des schémas d'incarnation des Idées²². L'unité des Idées (réalisée chez Platon par l'Idée du Bien) explique ici l'unité des mathématiques. En positif, ces deux thèses ont le mérite de souligner le fait que les constructions mathématiques ne sont pas entièrement le fruit de choix arbitraires faits par le mathématicien. Si l'on en croit l'expérience des mathématiciens, on se rend compte qu'il est légitime de parler, en partie, d'une découverte (plutôt que d'une invention) de nouveaux concepts. Certaines parties des mathématiques semblent découler, non d'une volonté arbitraire du mathématicien, mais d'une sorte de nécessité interne aux mathématiques, un peu comme si les concepts étaient déjà-là. Cependant, on ne voit pas comment cette expérience devrait être nécessairement liée à l'existence d'un monde des Idées dont le statut reste quelque peu énigmatique. Il pourrait très bien se faire que cette nécessité soit liée à la structure même de notre cerveau ou de nos schémas inférentiels et non à celle du monde des Idées. Une des grandes difficultés du platonisme consiste aussi à expliquer comment le monde des Idées entre en contact avec le monde des phénomènes. Si nous identifions ces deux mondes, nous retompons dans le pythagorisme. Si par contre nous les séparons, nous devons expliquer comment nous pouvons passer de l'un à l'autre et nous retrouvons ici toutes les difficultés liées aux dualismes philosophiques. En effet, comme Descartes ou comme Gödel, nous devons

ÉTIENNE KLEIN

entre deux mondes, l'un matériel et l'autre non ? Le problème consiste alors à expliquer comment ce qui n'est pas matériel peut agir sur ce qui l'est. Les thèses platoniciennes montrent que la solution du problème de l'efficacité des mathématiques doit probablement passer par la considération du fait que l'origine de celles-ci ne peut être située uniquement au niveau d'une simple construction libre de l'esprit, mais dans un ensemble de sources qui s'imposent à l'entendement. Mais ces sources doivent-elles être placées aussi « haut » que ce que le platonisme suppose ?

Aristote, lui, place la source des mathématiques dans cette capacité que possède l'esprit humain à extraire des formes du sensible et à les analyser sous l'angle de la quantité. Pour lui, toutes les mathématiques ont une origine empirique. Si elles sont si efficaces, c'est simplement parce que nous ne faisons que nous servir en mathématiques des structures qui nous ont été livrées par le monde physique lui-même. Tout ce qui constitue les mathématiques a été emprunté à la nature physique. Cette thèse n'est pas entièrement défendable, même s'il est vrai qu'un grand nombre de concepts élémentaires des mathématiques nous ont été suggérés par le monde empirique. Il est évident en effet que la grande majorité des théories mathématiques contemporaines ont été développées sans le moindre recours à des impulsions empiriques. Or, ce sont souvent ces mathématiques « abstraites » qui constituent la base des applications les plus efficaces. La conception aristotélicienne ne rend pas compte de la relative autonomie de la production des concepts mathématiques vis-à-vis que tout ce

DOMINIQUE LAMBERT

supposer que le cerveau est une sorte d'organe de contact entre deux mondes l'un matériel et l'autre non. Le problème consiste alors, tout en restant dans le cadre d'une philosophie des sciences, à expliquer comment ce qui n'est pas matériel peut agir sur ce qui l'est. Les thèses platoniciennes montrent que la solution du problème de l'efficacité des mathématiques doit probablement passer par la considération du fait que l'origine de celles-ci ne peut être située uniquement au niveau d'une simple construction libre de l'esprit, mais dans un ensemble de sources qui s'imposent à l'entendement. Cependant ces sources ne doivent peut-être pas être placées aussi « haut » que ce que le platonisme aurait souhaité.

La conception aristotélicienne place, quant à elle, la source des mathématiques dans cette capacité que possède l'esprit humain d'extraire des formes du sensible et de les analyser sous l'angle de la quantité. Toutes les mathématiques relèvent donc d'une source empirique. L'efficacité des mathématiques a donc une explication triviale consistant à dire que nous ne faisons que nous servir en mathématiques des structures qui nous ont été livrées par le monde physique lui-même. Nous ne pouvons pas défendre entièrement une telle conception. Il est vrai qu'un grand nombre de concepts élémentaires des mathématiques nous ont été suggérés par le monde empirique. En revanche, il est évident que la grande majorité des théories mathématiques contemporaines ont été développées sans faire le moindre recours à des impulsions empiriques. Pour rendre compte de ce qui se passe effectivement dans les mathématiques contemporaines, il est important de reconnaître une certaine autonomie (relative) de la production des concepts mathématiques par rapport à tout apport directement empirique. L'aspect positif de la conception aristotélicienne réside dans le fait qu'elle souligne le fait que l'efficacité des mathématiques pourrait être due à une source liée à la description des régularités phénoménales. Cela est très important, car si nous devons admettre une certaine autonomie de l'acte créateur de nouvelles mathématiques, il ne faudrait pas sous-estimer les stimulations engendrées par les problèmes venus des sciences empiriques et qui soutiennent, de temps à autres, la progression de l'histoire des mathématiques.

ÉTIENNE KLEIN

qu'apporte directement l'expérience. Elle a toutefois ceci de positif qu'elle souligne la capacité des mathématiques à décrire les régularités des phénomènes.

On trouve une autre explication de l'efficacité des mathématiques s'appuyant sur des considérations kantienne. Pour Kant, tout phénomène est constitué, pour nous, dans l'espace et dans le temps, qui sont des formes *a priori* de la sensibilité, de sorte qu'il présente une structure immédiatement homogène aux mathématiques, ce qui résout le problème de l'efficacité de ces dernières. Les mathématiques ne sont pas rapportées à un monde d'idées séparées, comme dans le platonisme, ou à des structures empiriques, comme c'est le cas pour l'aristotélisme, mais bien plutôt à une activité du sujet. Elles ne sont donc plus « désincarnées ». Mais cette thèse présente elle aussi certaines faiblesses. Tout d'abord, elle rive les mathématiques à une structure innée et rigide inhérente au sujet. Or, les mathématiques procèdent aussi de processus de création contingents et libres qui apportent réellement de nouveaux concepts, dont l'origine n'est ni le monde extérieur ni l'entendement pur, mais plutôt la nécessité interne des formalismes eux-mêmes. Ensuite, les formes spatio-temporelles de Kant sont envisagées comme des structures rigides. Or, les phénomènes microphysiques ou cosmologiques nécessitent une description à l'aide d'espaces ou de variétés qui n'ont que peu de liens avec l'espace et le temps ordinaires (Kant, s'inspirant de Newton, n'envisageait qu'un espace euclidien) et qui semblent démentir le fixisme de la perspective kantienne.

DOMINIQUE LAMBERT

Une autre explication de l'efficacité des mathématiques peut être trouvée dans la philosophie kantienne. Pour Kant les phénomènes sont constitués dans les formes *a priori* de la sensibilité que sont l'espace et le temps. Ceux-ci engendrent respectivement la géométrie et l'arithmétique. Tout phénomène (et pour Kant nous ne connaissons que le phénomène et non la « chose-en-soi », le noumène) présente donc une structure immédiatement homogène aux mathématiques, ce qui permet de résoudre le problème de l'efficacité qui nous occupe ici. L'apport positif de Kant réside dans le fait qu'il met en évidence le rôle constitutif du sujet mathématicien. Les mathématiques ne sont pas rapportées à un monde d'idées séparées, comme dans le platonisme, ou à des structures empiriques comme c'est le cas pour l'aristotélisme, mais bien plutôt à une activité d'un sujet. Cependant, l'explication kantienne possède certaines faiblesses. Tout d'abord les mathématiques ne sont pas vues comme une science qui invente de nouveaux concepts, leur spécificité propre consiste à « construire » les concepts dans les cadres spatiaux et temporels. Or aujourd'hui, il nous faut bien reconnaître que les mathématiques sont génératrices d'une série de concepts nouveaux dont l'origine est suggérée non pas de l'extérieur ou par l'entendement pur mais bien par les nécessités internes des formalismes eux-mêmes²³. Ensuite les formes

spatio-temporelles de Kant sont envisagées comme des structures rigides.

ÉTIENNE KLEIN

Le problème de l'efficacité des mathématiques est tout aussi difficile à analyser si l'on se fait des mathématiques une conception purement formaliste, qui consisterait à considérer que les mathématiques constituent un pur jeu formel défini à partir d'un certain nombre de symboles. A moins d'invoquer une mystérieuse harmonie préétablie, il est difficile d'imaginer qu'un jeu arbitrairement défini puisse avoir des applications très précises dans un domaine des sciences empiriques. La thèse d'une harmonie préétablie relève donc plutôt d'une métaphysique *a priori*, qui semble d'ailleurs démentie par l'histoire : les grands mathématiciens ont rarement effectué des découvertes importantes en se livrant simplement à une manipulation aveugle des symboles.

On pourrait également considérer à la suite de Niels Bohr que les mathématiques sont une sorte de « réservoir » de toutes les relations formalisées entre concepts. Comme écrit Bohr : « Nous ne considérons pas, dans notre discussion, les mathématiques pures comme une branche séparée de la connaissance, mais plutôt comme un raffinement du langage commun auquel elles fournissent les moyens appropriés d'énoncer des relations pour lesquelles l'expression verbale ordinaire est imprécise ou mal commode. »^[27] Si les mathématiques sont efficaces dans les sciences de la nature, ce serait donc simplement par le fait qu'elles traduisent formellement les relations entre mesures expérimentales, grâce à une sorte de sténographie appropriée. Mais il faut alors se demander comment il se fait que les théories inventées par les mathématiciens à une certaine époque sont souvent celles qui trouvent rapidement des

DOMINIQUE LAMBERT

Le problème de l'efficacité des mathématiques ne peut être envisagé correctement au niveau d'une conception purement formaliste des mathématiques. En effet, suivant celle-ci, les mathématiques constituent un pur jeu formel défini à partir d'un certain nombre de symboles. Il est donc incompréhensible, à moins d'évoquer une mystérieuse harmonie préétablie, qu'un jeu arbitrairement défini puisse avoir des applications très précises dans un domaine des sciences empiriques. Tout se passerait comme si je définissais les règles d'un jeu de cartes et que les résultats des différentes parties servent à décrire subitement avec une précision extrême la charge de l'électron par exemple ! La thèse d'une harmonie préétablie, comme celle de l'existence d'un monde d'entités mathématiques séparées, relève de la science-fiction ou d'une métaphysique *a priori* plutôt que d'une méthodologie philosophique compatible avec les exigences de la démarche scientifique. Remarquons également que la conception purement formaliste des mathématiques est démentie par l'histoire. En effet, rarement les grands mathématiciens ont effectué des découvertes importantes en faisant simplement de la manipulation « aveugle » de symboles.

On pourrait aussi considérer, à la suite de Bohr²⁵, les mathématiques comme un « réservoir » de toutes les relations formalisées entre concepts. Les mathématiques seraient alors efficaces dans les sciences de la nature, par le simple fait qu'elles traduiraient formellement les relations entre mesures expérimentales. Cette conception est intéressante, mais elle se heurte à l'objection suivante. Pourquoi les théories inventées par les mathématiciens à une certaine époque, sont-elles souvent celles qui trouvent des applications en physique par exemple. Ou pour le dire autrement : pourquoi les mathématiques semblent-elles suivre de si près le développement de la physique. Si les mathématiques sont constituées

ÉTIENNE KLEIN

applications en physique, par exemple. Pourquoi les mathématiques semblent-elles suivre de si près le développement de la physique ? Si les mathématiques étaient constituées par l'invention de relations arbitraires, la probabilité de tomber à une époque donnée sur une relation efficace serait très faible. Or, c'est souvent le contraire qui se produit^[28]. Le point important de la conception de Bohr, qui fait des mathématiques l'outil d'un certain « relationnisme », est l'insistance sur le fait que les mathématiques ne donnent pas accès à des objets (elles ne fournissent aucune ontologie) mais à des relations. Cela explique assez bien pourquoi la physique peut être complètement mathématisée, car tous les résultats empiriques s'énoncent effectivement sous la forme de relations. Il est donc possible de décrire les mathématiques comme étant un vaste réservoir de relations entre concepts formalisés, mais en général, ce ne sont pas les relations en tant que telles qui intéressent les mathématiciens. Des relations arbitraires entre symboles n'apporteraient que des mathématiques le plus souvent « vides », pour reprendre le vocable de Jean Dieudonné^[29]. Ce qui semble polariser l'attention du mathématicien, ce sont des relations qui sont caractérisées par une grande variété d'invariants relatifs à diverses transformations. Ces invariants peuvent être des nombres, des variétés, des structures, des classes d'équivalence, la forme d'une équation. Ainsi que l'avait noté Dirac, la richesse en invariants est souvent un indice de la profondeur de la théorie, de sorte qu'un bon critère de l'applicabilité d'un

DOMINIQUE LAMBERT

par exemple. Ou pour le dire autrement : pourquoi les mathématiques semblent-elles suivre de si près le développement de la physique. Si les mathématiques sont constituées par l'invention de relations arbitraires, la probabilité de tomber à une époque donnée sur une relation efficace serait très faible. Or c'est souvent le contraire qui se produit²⁶. Le point important de la conception de Bohr que l'on pourrait appeler : « relationnisme », est l'insistance sur le fait que les mathématiques ne donnent accès à aucun « objet » mais à des relations. Les mathématiques ne fournissent donc aucune ontologie²⁷. Le problème du relationnisme n'est donc pas situé au niveau de sa conception de la nature relationnelle

Ceci rejoindrait les thèses originales et fondamentales de Dehaene. Mais nous pouvons pousser la réflexion un peu plus loin. En effet, une analyse précise des mathématiques contemporaines montre que celles-ci peuvent être décrites comme un vaste « réservoir » de relations entre concepts formalisés (ces relations peuvent être définies en utilisant le langage des structures de Bourbaki ou celui des catégories par exemple). Mais, en général, ce ne sont pas les relations comme telles qui intéressent les mathématiciens. Des relations arbitraires entre symboles n'apporteraient que des mathématiques le plus souvent « vides »³⁴, pour reprendre le vocable de Dieudonné. Ce qui polarise l'attention du mathématicien ce sont les relations qui sont caractérisées par une grande variété d'invariants relatifs à diverses transformations (homomorphismes, homéomorphismes, foncteurs, transformations naturelles,...). Ces invariants peuvent être des nombres, des variétés, des structures... La richesse en invariants est d'ailleurs souvent un indice de « profondeur » de la théorie.

ÉTIENNE KLEIN

formalisme mathématique est l'existence de groupes assez riches de transformations ^[30].

Dans la physique contemporaine, la structure de l'activité théorique semble ainsi dominée par la recherche de couple relations/invariants. La description du monde physique se réalise par l'intermédiaire de la recherche de grandeurs qui se conservent lorsque l'on effectue certaines transformations. Dans le cas où ces transformations sont des groupes, on parle de « symétries » ^[31]. La présence d'invariants associés à certaines transformations est lue comme la trace de l'existence même d'un « élément de réalité », d'une « chose » qui possède une indépendance relative, de la même façon que dans la perception usuelle, nous parvenons à reconnaître une « réalité » à un objet en voyant comment il se comporte lorsque nous changeons notre position par rapport à lui. Ces opérations peuvent d'ailleurs être virtuelles. Par exemple, nous imaginons que si nous tournions autour de cet objet, nous pourrions encore le voir. Ainsi que Schrödinger l'avait très bien noté, notre perception du réel résulte d'un complément du sensible par du virtuel : « Compléter les faits dans la pensée est indispensable pour leur imprimer leur marque de réalité à quelque ensemble de faits que ce soit : voilà la réalité qui nous entoure : quelques perceptions et sensations actuelles sont automatiquement complétées par un grand nombre de perceptions virtuelles et apparaissent liées en complexes indépendants que nous appelons objets existants. » ^[32]

Par prolongement, on peut dire que la covariance des lois physiques (c'est-à-dire l'invariance de leur forme) ou

DOMINIQUE LAMBERT

Si nous passons en physique maintenant, nous voyons que la structure de l'activité théorique est aussi dominée par la recherche de couple « relations-invariants ». Toute la description du monde physique se réalise par l'intermédiaire de la recherche de grandeurs qui se conservent lorsqu'on effectue certaines transformations (dans le

cas où ces transformations sont des groupes, on parle alors de « symétries » ; dans le cas des groupes de Lie, on se souvient du théorème de Noether qui lie l'existence des symétries continues aux invariants caractéristiques : énergie, quantité de mouvement,...). Pourquoi en est-il ainsi ? La réponse est simple : la présence d'invariants associés à certaines transformations est la trace de l'existence même d'un « élément de réalité », d'une « chose » (res) qui possède une indépendance (relative). La covariance des lois (invariance de la forme des lois physiques) ou l'invariance de certaines grandeurs caractéristiques (qui est d'ailleurs la condition de possibilité de toute mesure³⁶)

ÉTIENNE KLEIN

l'invariance de certaines grandeurs caractéristiques sont certainement la condition de possibilité de toute mesure^[33], et on peut supposer que si elles apparaissent en physique, c'est parce qu'elles traduisent justement des conditions nécessaires à la manifestation d'éléments de réalité.

Dans la physique contemporaine, la description du monde physique se réalise effectivement par l'intermédiaire de la recherche de grandeurs qui se conservent lorsque l'on effectue certaines transformations. La présence d'invariants associés à certaines transformations est toujours lue comme la trace de l'existence même d'un « élément de réalité », d'une « chose » qui possède une indépendance relative, de la même façon que dans la perception usuelle, nous parvenons à reconnaître une « réalité » à un objet en voyant comment il se comporte lorsque nous changeons notre position par rapport à lui. Ce lien probable entre invariance et réalité mérite d'être davantage évoqué. La réponse à la question « qu'est-ce qu'une réalité ? » relève évidemment de la métaphysique. Cependant, elle concerne aussi le scientifique qui doit faire constamment la différence entre la réalité et l'illusion ou l'artefact. Pour cela il doit faire appel à des critères de réalité, et non directement à un concept de réalité. Parmi ces critères, quels sont ceux qui semblent les moins discutables aux yeux des physiciens ? D'abord, on admettra facilement qu'il n'existe pas de réalité sans que subsiste ou persiste quelque chose dans le flux temporel ou dans les changements de points de vue ou d'instruments d'observation. Un premier critère de réalité est

DOMINIQUE LAMBERT

réalité », d'une « chose » (*res*) qui possède une indépendance (relative). La covariance des lois (invariance de la forme des lois physiques) ou l'invariance de certaines grandeurs caractéristiques (qui est d'ailleurs la condition de possibilité de toute mesure³⁶) apparaissent en physique parce qu'elles traduisent justement des conditions nécessaires de la manifestation d'éléments de réalité.

ÉTIENNE KLEIN

réalité, ce n'est pas une forme générale, une catégorie ou un type abstrait que j'appréhende, mais un objet particulier : « Cet objet-ci et pas un autre. » Autrement dit, lorsque nous attribuons une charge de réalité à quelque chose, c'est toujours au sein d'une tension irréductible entre l'universel et le singulier. L'universel est cette dimension de la cognition qui nous aide à comprendre l'élément de réalité et le singulier est cette autre dimension de la cognition qui est la signature de sa particularité. Le concept moderne de brisure spontanée de symétrie trouve ici tout son intérêt. En établissant un lien entre des symétries très générales et des objets singuliers ou exceptionnels, il permet de signifier la particularité et donc de traduire l'un des critères de réalité.

Les mathématiques essentiellement orientées vers la recherche de relations caractérisées par de riches classes d'invariants spécifiques semblent donc formellement adaptées à la physique et y contribuent de façon essentielle. L'efficacité indiscutable, étonnante et bien réelle des mathématiques « évoluées » en physique des particules ou en cosmologie n'est donc sans doute pas le fruit d'un miracle ou d'une harmonie préétablie. Elle ne se produit en tout cas pas spontanément.

Les mathématiques possèdent des phases de développement autonomes, mais celles-ci sont souvent entrecoupées de périodes d'interaction très fortes avec d'autres domaines de la connaissance qui contribuent à stimuler ou à restimuler certaines branches particulières des mathématiques. Aujourd'hui, des mathématiques très évoluées permettent de décrire et de résoudre des problèmes posés par les physiciens,

DOMINIQUE LAMBERT

Nous voyons donc que les mathématiques sont adaptées formellement à la physique, puisqu'elles sont essentiellement orientées vers la recherche de relations caractérisées (dans les cas les plus significatifs) par de riches classes d'invariants spécifiques. Nous avons justifié plus haut la réussite des mathématiques élémentaires en utilisant le fait qu'elles étaient couplées directement à la perception usuelle d'objets macroscopiques. Comment justifier maintenant l'efficacité de mathématiques plus évoluées, faisant appel à des concepts qui ne se relient plus directement à des caractéristiques d'objets perçus directement ? Nous pensons que cette justification n'est pas immédiate et naturelle. Autrement dit, il n'y a peut-être pas de justification naturelle et immédiate parce qu'il n'y a justement pas d'efficacité naturelle et immédiate dans les situations que traite la physique des particules élémentaires ou la cosmologie physique par exemple. Il y a bien une efficacité indiscutable et étonnante des mathématiques « évoluées » en physique, mais celle-ci n'est pas le fruit d'un miracle ou d'une harmonie préétablie et, de plus, elle ne se produit pas spontanément.

Lorsqu'on étudie en détail l'histoire des sciences modernes et contemporaines, on s'aperçoit vite qu'il existe un tissu très dense de relations bilatérales entre les mathématiques et la physique ou d'autres sciences naturelles et humaines. Les mathématiques possèdent des phases de développement autonomes mais celles-ci sont souvent entrecoupées de périodes d'interactions très fortes avec d'autres domaines de la connaissance qui contribuent à stimuler ou à restimuler certaines branches particulières des mathématiques. Aujourd'hui, les mathématiques permettent de décrire et de résoudre des problèmes posés par les physiciens, mais en plus, des descriptions

ÉTIENNE KLEIN

mais en plus, des descriptions de phénomènes empiriques peuvent servir à donner des intuitions pour résoudre des problèmes de mathématiques pures^[35]. Les mathématiques s'adosent en quelque sorte à la connaissance empirique et se laissent peu à peu « in-former » par cette dernière. Se produit donc progressivement, au cœur même des mathématiques, une sorte d'infiltration empirique. Celle-ci ne se fait pas naturellement : le mathématicien ou le physicien théoricien doit constamment adapter les mathématiques à la physique. Il suffira de donner comme exemples de cette adaptation le travail de Grossmann pour l'introduction de la géométrie différentielle en relativité générale, et les travaux d'Elie Cartan et de Hermann Weyl pour retrouver, par-delà l'équation de Dirac, la théorie des spineurs qui « dormait » dans les travaux de Cartan depuis 1913. Il faut remarquer également que l'introduction de mathématiques très évoluées en physique se fait souvent de façon progressive : les physiciens théoriciens développent les mathématiques à partir de théories qui ont déjà réussi et celles-ci les guident pour étendre pas à pas le formalisme, lorsque cela est possible, c'est-à-dire pas toujours. Dans son livre consacré aux théories unitaires, Marie-Antoinette Tonnelat rend fort bien compte des multiples essais qui ont été tentés, de façon souvent infructueuse, pour étendre le champ d'efficacité du formalisme mathématique de la relativité générale^[36]. L'efficacité n'est donc pas un miracle survenant d'un seul coup. Elle présuppose une lente démarche qui se fonde sur les mécanismes ayant déjà fait leurs preuves et un processus d'adaptation entre mathématiques et sciences

DOMINIQUE LAMBERT

et de résoudre des problèmes posés par les physiciens, mais en plus, des descriptions de phénomènes empiriques peuvent servir également à donner des intuitions pour résoudre des problèmes de mathématiques pures³⁷. Il y a donc engrènement mutuel des mathématiques par les autres disciplines des sciences. Nous avons vu que les mathématiques étaient formellement adaptées au projet de la physique ou d'autres sciences, puisque celles-ci tentent de décrire des « éléments de réalité matérielle » et que les conditions nécessaires à la description de ces éléments sont exprimées par des couples « relations-invariants » qui font justement l'objet de la recherche mathématique. Au cours de son histoire, les mathématiques s'adosent à la connaissance empirique et petit-à-petit se laissent « in-former » par cette dernière. Il y a donc progressivement, au cœur des mathématiques, une sorte « d'infiltration empirique ». Autrement dit, progressivement, des structures relationnelles caractéristiques de la description formelle des phénomènes empiriques sont incluses dans le corps des

connaissances mathématiques. On pourrait dire plus. En effet, cette « infiltration empirique » ne se fait pas naturellement, le mathématicien ou le physicien théoricien doit à tout moment « adapter » les mathématiques à la physique. On oublie souvent le travail de traduction, de réécriture qu'ont dû faire les scientifiques pour rendre les

(38) Nous pensons par exemple au travail de Grossmann pour l'introduction de la géométrie différentielle en relativité générale, au travail de Cartan, Weyl, Van Der Waerden,... pour retrouver, par-delà l'équation de Dirac, la théorie des spineurs qui « dormait » dans les travaux de Cartan depuis 1913 ou encore au travail des physiciens qui ont reliés la théorie des ondelettes à celle des états cohérents et à celle de Caldéron et Sygmund,...

le travail de traduction, de réécriture qu'ont dû faire les scientifiques pour rendre les mathématiques efficaces³⁸. Il faut remarquer aussi que l'introduction de mathématiques évoluées en physique se fait souvent de manière progressive : les physiciens théoriciens développent les mathématiques à partir de théories qui ont déjà réussi et celles-ci les guident pour étendre pas-à-pas le formalisme. Il suffit de consulter le remarquable ouvrage de Madame Tonnelat sur les théories unitaires³⁹ pour se rendre compte des multiples essais qui ont été tentés, souvent infructueux, pour étendre le champ d'efficacité du formalisme mathématique de la relativité générale. L'efficacité n'est pas un miracle survenant d'un coup. Elle présuppose une lente démarche qui se fonde sur les formalismes ayant déjà fait leurs preuves et un processus complexe de « co-adaptation » impliquant des relations bilatérales entre les mathématiques et les sciences empiriques.

ÉTIENNE KLEIN

empiriques. Cette adaptation progressive injecte dans les mathématiques des structures formelles caractéristiques de la description de phénomènes empiriques et qui in-forme les descriptions théoriques des sciences par les mathématiques existant à une époque donnée. C'est sans doute cela qui expliquerait pourquoi les mathématiques semblent toujours suivre ou précéder d'assez près les développements des sciences empiriques telle la physique. Mais le véritable mystère réside dans l'origine de cette capacité que possède le langage mathématique à produire des structures riches en invariants, autrement dit des symétries généralisées.

Le rôle déterminant des symétries

La notion de symétrie est l'une des rares pour laquelle on n'exige pas d'explication extérieure, puisque bien souvent elle est elle-même considérée comme porteuse d'explication : les choses sont ainsi parce que, de la sorte, « elles sont symétriques », comme s'il n'y avait rien d'autre à ajouter.

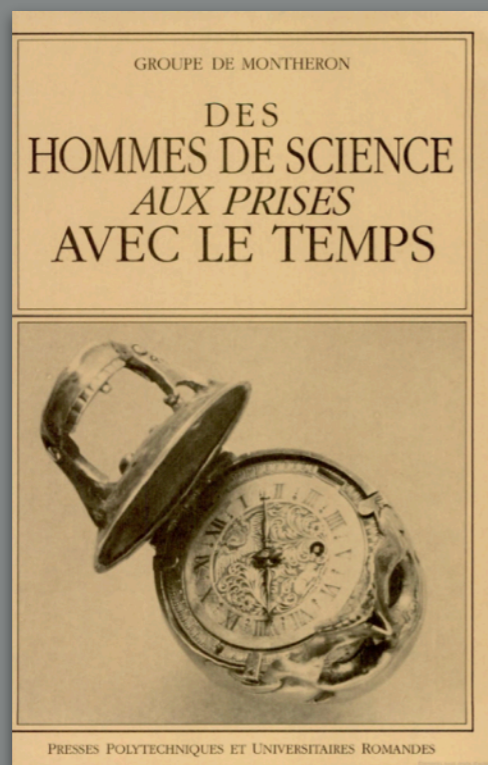
C'est Pierre Curie qui, l'un des premiers, fit une étude systématique des symétries des états physiques. En 1894, il remarque notamment : « Lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits. Lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui lui ont donné naissance. »^[37] A partir de l'étude de la symétrie des états physiques, les physiciens en sont finalement venus à celle des lois de la

DOMINIQUE LAMBERT

(5) L'efficacité des mathématiques « évoluées » s'expliquerait, en étendant la justification relative à celle des mathématiques « élémentaires ». On évoquerait pour ce faire, d'une part, le fait que celles-ci fournissent des couples « relations-invariants » nécessaires à la description formelle de tout « élément de réalité » et, d'autre part, une coadaptation historique progressive qui injecte dans les mathématiques des structures formelles caractéristiques de la description de phénomènes empiriques et qui « in-forme » les descriptions théoriques des sciences par les mathématiques existantes à une époque donnée. C'est cela qui expliquerait pourquoi les mathématiques semblent toujours suivre ou précéder d'assez près les développements des sciences empirico-formelles.

Copié-collé #13

Dominique Rivier



*Du temps dans la physique
dans « Les hommes de sciences en prise
avec le temps »*

PRESSES POLYTECHNIQUES ET ROMANDES -
1992

ÉTIENNE KLEIN

d'un macro-état peu probable vers un macro-état plus probable. La croissance de l'entropie d'un système isolé exprimerait simplement la tendance moyenne, manifestée par ce système, d'évoluer vers des états de plus en plus probables à l'échelle des molécules, c'est-à-dire vers des états de plus en plus désordonnés. La flèche thermodynamique du temps ne serait autre que celle qui va de l'ordre vers le désordre.

Ainsi l'irréversibilité semble-t-elle surgir au bout des calculs.

DOMINIQUE RIVIER

les multiples états qui, à l'échelle de la molécule, correspondent à ce même état du système à notre échelle.

C'est ainsi que la constante croissance de l'entropie d'un système isolé – la flèche du temps en thermodynamique – exprime simplement la tendance moyenne, manifestée par ce système, d'évoluer vers des états de plus en plus probables à l'échelle des molécules, ou, ce qui revient au même, vers des états de plus en plus désordonnés à cette échelle.

Comme l'expérience courante le démontre en effet, le désordre

l'univers primordial^[21]. En effet, admettre le modèle du *Big Bang*, pour un physicien, c'est reconnaître l'impossibilité d'extrapoler indéfiniment vers le passé à l'aide des lois de la physique. Une telle extrapolation conduirait infailliblement à une impasse, c'est-à-dire à un état de l'univers dans lequel les lois de la physique telles que nous les connaissons entreraient en conflit les unes avec les autres, à cause de l'incompatibilité des principes de la physique quantique avec ceux de la relativité générale. Cette situation rendant tout calcul vain et toute conjecture chimérique, nous ne savons rien de l'origine de l'univers, rien non plus de l'origine du temps, que le terme

majorité des experts ont tous un point commun, à savoir «le Grand Boum» qui situe à quelque quinze milliards d'années le cataclysme originel d'où seraient issus espace, temps, gravitation et toutes choses, mesurables ou non. Or, pour un physicien, admettre l'existence d'un tel «Grand Boum», c'est reconnaître l'impossibilité d'extrapoler indéfiniment vers le passé à l'aide des lois de la physique. Pour la majorité des physiciens une telle extrapolation conduirait infailliblement à l'impasse, c'est-à-dire à un état de l'univers dans lequel les lois de la physique telles que nous les avons établies entreraient en conflit les unes avec les autres, ou – ce qui revient au même – ne seraient plus applicables sans contradiction [6, 12].

Les recherches les plus récentes ne font que le confirmer: bien avant d'atteindre le cataclysme originel du «Grand Boum», l'extrapolation rigoureuse vers le passé des principes et des lois de la

Copié-collé #14

Clément Rosset



Le réel : Traité de l'idiotie

ÉDITIONS DE MINUIT - 1978

Une démonstration par l'exemple : *Eurêka*, d'Edgar Allan Poe

La puissance des théories physiques peut toutefois susciter des enthousiasmes allant bien au-delà de ce qu'offrent les théories elles-mêmes. Ainsi la physique de la fin du XIX^e siècle a-t-elle

suscité un grand nombre d'ouvrages qui annonçaient la révélation du sens général de toutes choses, en une synthèse hétéroclite mettant en correspondance les éléments les plus disparates, et utilisant en général de façon désordonnée les plus récentes acquisitions de la science. On trouve une telle synthèse dans le livre d'Edgar Poe, intitulé *Eurêka*, que nous voudrions ici rapidement analyser, car il suffira à illustrer notre propos. « J'ai résolu le secret de l'Univers »^[8], déclare Poe à son éditeur en lui apportant son manuscrit. Mais la lecture du livre ne comble nullement l'attente ainsi créée chez le lecteur. Le rappel des principes de la gravitation, de l'attraction et de la répulsion, la pensée vague de la « ténébreuse et profonde unité » de toutes choses constituent l'essentiel des thèmes évoqués dans l'ouvrage, de sorte que le lecteur finit par sérieusement se demander ce qu'Edgar Poe a précisément découvert d'original. Le plus remarquable de cet *Eurêka* est peut-être qu'il n'y ait rien de découvert alors que son auteur est persuadé d'avoir fait une découverte immense et de révéler au lecteur un secret fabuleux. Car il n'y a dans *Eurêka* pas même de théorie fautive, ni de doctrine fantaisiste, ni d'hypothèse d'illuminé : il n'y a pas de théorie du tout, seulement une succession de fulgurances évoquant le plus souvent l'unité, comme celle-ci : « Efforçons-nous maintenant de concevoir ce qu'a pu et ce qu'a dû être la Matière dans sa condition absolue de simplicité. Ici, la Raison vole d'un seul coup vers l'Imparticularité, vers une particule, une particule unique, une particule une dans son espèce, une dans son caractère, une dans sa nature, une par son volume, une par sa forme, une particule qui soit particule à tous égards,

accueillie comme une nouvelle bribe du sens que l'on cherche, une nouvelle pièce du puzzle qui doit être complété tôt tard. D'où le grand nombre d'œuvres qui annoncent alors révélation du sens général de toutes choses, en une synthèse hétéroclite qui met en correspondance les éléments les plus disparates, mélange questions et niveaux les plus différents s'autorisant généralement d'une utilisation désordonnée des plus récentes acquisitions scientifiques, notamment celles qui intéressent les domaines de l'attraction newtonienne, magnétisme et de l'électricité. On trouve une de ces étranges synthèses dans un ouvrage peu lu d'Edgar Poe, *Eureka* « Eurêka » : c'est-à-dire « j'ai trouvé ». « J'ai résolu secret de l'Univers », déclare Poe à son éditeur Putnam lui apportant son manuscrit. Mais la lecture du texte d'*Eurêka* ne comble nullement l'attente ainsi créée chez lecteur : le rappel des principes de la gravitation, de l'attraction (entropie) et de la répulsion (différenciation), la pensée vague de ce que Baudelaire, qui traduit *Eurêka*, appellera plus tard la « ténébreuse et profonde unité » de toutes choses, en constituent l'essentiel. Une fois le livre lu, se demanderait en vain ce qu'a découvert Edgar Poe. J'ai trouvé, soit, – mais trouvé quoi ? Le plus remarquable de cet *Eurêka* est qu'il n'y ait précisément rien de découvert alors que son auteur est persuadé d'avoir fait une découverte immense et de révéler au lecteur un secret fabuleux. Car il n'y a dans *Eurêka*, pas même de théorie fautive, de doctrine fantaisiste, d'hypothèse d'illuminé : il n'y a pas de théorie du tout, il n'y a exactement rien de dit. Cette bizarrerie, de s'imaginer

ÉTIENNE KLEIN

donc, une particule amorphe et idéale, particule absolument unique, individuelle, non divisée, mais *non pas divisible*, simplement parce que Celui qui la créa par la force de sa Volonté peut très naturellement la diviser par un exercice infiniment moins énergique de la même volonté. Donc, l'*Unité* est tout ce que j'affirme de la Matière originairement créée ; mais je me propose de démontrer que *cette Unité est un principe largement suffisant pour expliquer la constitution, les phénomènes actuels et l'anéantissement absolument inévitable au moins de l'Univers matériel.* »^[9]

Cette bizarrerie qu'il y a à s'imaginer avoir trouvé quelque chose alors qu'on serait incapable soi-même de préciser de quoi il s'agit n'est certainement pas propre à Poe. Elle n'est d'ailleurs une bizarrerie qu'en apparence. A y regarder de plus près on s'aperçoit qu'elle est de règle chaque fois que l'on entreprend de faire des révélations sur le sens général du réel (« tout est onde », « tout est énergie », « tout est espace », « tout est champ quantique » ...). Rien de très précis n'étant à dire sur pareil sujet, celui qui croit de bonne foi avoir quelque chose à dire est très logiquement contraint de parler à vide. Car il ne s'agit alors que d'un sentiment, qui ne s'embarrasse pas d'un contenu précis, du sentiment qu'il y a un sens, qu'il y a un secret à élucider, et même qu'on a élucidé le secret. Tout cela se passe fort bien de toute précision et doit même nécessairement s'en passer. C'est pourquoi Poe peut croire de bonne foi qu'il livre au lecteur d'*Eureka* la clef du secret de l'univers, tout en omettant de lui préciser de quelle clef il s'agit, et aussi de quel secret. Le mécanisme de la révélation du secret laisse ainsi apparaître

CLÉMENT ROSSET

tout, il n'y a exactement rien de dit. Cette bizarrerie, de s'imaginer avoir trouvé quelque chose (alors qu'on serait incapable soi-même de préciser de quoi s'agit, n'est pas propre à Poe ; elle n'est d'ailleurs

une bizarrerie qu'en apparence. À y regarder de plus près on s'aperçoit qu'elle est de règle, chaque fois que l'on entreprend de faire des révélations sur le sens général du réel : rien n'étant à dire sur pareil sujet, celui qui croit de bonne foi avoir quelque chose à en dire est très logiquement contraint de parler à vide, de dire rien. Car il ne s'agit alors que d'un sentiment, et d'un sentiment de nature purement formelle, qui ne s'embarrasse pas d'un contenu ou d'un objet quelconques, Sentiment qu'il y a un sens, qu'il y a un secret à élucider, et même qu'on a élucidé le secret : tout cela se passe fort bien de toute précision, doit même nécessairement s'en passer. C'est pourquoi Poe peut croire de bonne foi qu'il livre au lecteur d'*Eureka* la clef du secret de l'univers, tout en omettant de lui préciser de quelle clef il s'agit, et de quel secret. Comme on pouvait s'y attendre, le mécanisme de la révélation du secret laisse apparaître une

ÉTIENNE KLEIN

une structure analogue à celle de toute croyance : ce qui la caractérise est le simple fait de croire, considéré en lui-même, indépendamment de tout contenu de croyance. Car croire n'implique pas du tout qu'on croie à quelque chose ; tout au contraire la présence d'un complément d'objet, dans le cas du verbe croire, fait figure de contre-indication. De même, le sentiment du sens est d'autant plus violent qu'il est plus incertain quant à la question de savoir, non pas s'il y a du sens, mais quel il est.

La critique de Nietzsche

Lors même que toutes les questions scientifiques possibles sont résolues, notre problème n'est pas encore abordé.

Ludwig Wittgenstein ^[10]

Comme nous l'avons dit, les excès du réductionnisme ont montré qu'à trop vouloir unifier la réalité, on peut très bien la mutiler. D'où le reproche que Nietzsche adressait dans *Le Gai Savoir* à ceux qui prétendaient expliquer l'existence de toute chose par les seules lois physiques : « Il en va de même de cette foi dont se satisfont aujourd'hui tant de savants matérialistes qui croient que le monde doit avoir sa mesure dans nos petites échelles, et son équivalent dans notre petite pensée ; ils croient à un "monde du vrai" dont notre petite raison humaine pourrait finalement venir à bout... Eh quoi voudrions-nous vraiment laisser ainsi dégrader l'existence ? La rabaisser au

CLÉMENT ROSSET

le mécanisme de la révélation du secret laisse apparaître une structure analogue à celle de toute croyance : ce qui la caractérise est le simple fait de croire, considéré en lui-même, indépendamment de tout contenu de croyance. Car croire n'implique pas du tout qu'on croie à quelque chose ; tout au contraire la présence d'un complément d'objet, dans le cas du verbe croire, fait figure de contre-indication majeure. De même le sentiment du sens, chez Poe comme chez tout autre, est d'autant plus violent qu'il est plus incertain quant à la question de savoir, non pas s'il y a du sens, mais quel il est.

Nous disons : toute réalité est nécessairement quelconque, À la

ÉTIENNE KLEIN

qu'il se sera évaporé. A quoi bon dès lors parler du contenu de matière d'une étoile si cette notion n'a plus aucun sens lorsqu'une étoile s'effondre sous son propre poids ?

Un formalisme délicat à ontologiser

De quelle sorte de réel la matière procède-t-elle ? Que faut-il ontologiser ? On a l'impression que les formalismes sont de mauvais conducteurs de la réalité, comme si le sort de toute représentation du réel était de laisser le réel à la traîne : plus la représentation se précise, plus on constate que le réel, au sens ordinaire du mot, s'est perdu en cours de route. Les médiations n'aboutissent pas : chaque médiation diffère de ce qu'elle est censée médiatiser, c'est-à-dire de la « chose en elle-même ». C'est ce en quoi elle constitue une différence, mais aussi une « différance », en ce que la chose est à jamais différée.

Il en va pour ainsi dire du réel (et de la matière) en physique comme de la Loi chez Kafka : tous deux sont donnés comme infiniment proches, mais aussi toujours différés, remis au lendemain. Souvenons-nous de l'homme de la parabole du *Procès*, qui attend d'avoir accès à la Loi : « Une sentinelle se tient postée devant la Loi ; un homme vient un jour la trouver et lui demande la permission de pénétrer. Mais la sentinelle lui dit qu'elle ne peut pas le laisser entrer en ce moment. L'homme réfléchit et demande alors s'il pourra entrer plus tard. "C'est possible, dit la sentinelle, mais pas maintenant." (...) La sentinelle lui donne un escabeau et le fait asseoir à côté de la porte. Il reste là de longues années. »^[24] L'homme de Kafka est

CLÉMENT ROSSET

qu'il y a le réel, et qu'il y a l'historique ; qu'il y a la réalité, l'événement de la réalité, et qu'il y a l'histoire. » Ce que Péguy appelle ici l'histoire est de manière générale la représentation, dont le sort le

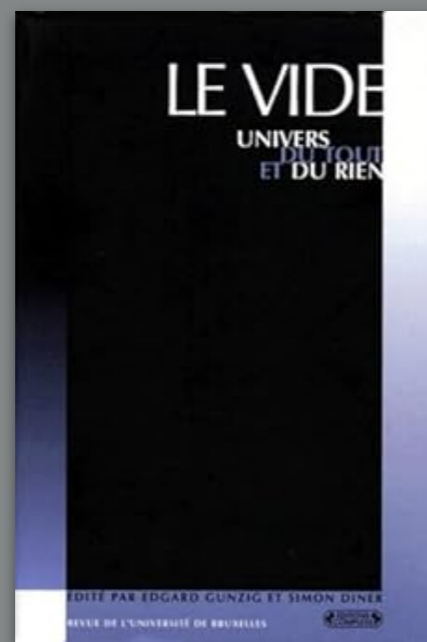
plus ordinaire est de laisser le réel à la traîne : plus la représentation se précise, plus on constate que le réel s'est perdu en cours de route. Ce brouillage du réel dans sa représentation, qui aboutit à un

médiations aboutissaient, convergeaient vers l'octroi d'un sens, *hic et nunc*, et la « réconciliation » avec le présent. Chez les hégéliens modernes, en revanche, les médiations n'aboutissent pas : encore et toujours en train de médiatiser, chaque médiation diffère de ce qu'elle est censée finalement médiatiser, c'est-à-dire de la « chose elle-même » comme dirait Hegel (en quoi elle constitue chaque fois une « différence », au sens où l'entend la dialectique hégélienne, mais constitue aussi une « différance », selon l'expression de Derrida, en ce que la chose y est à jamais différée). Il s'agit là, si on peut dire, d'un hégélianisme malheureux car sans issue ; mais d'un

de tous bouquets ». On remarque aussi une parenté entre le Signifiant chez Lacan et la Loi chez Kafka : l'un et l'autre sont donnés comme infiniment proches, mais aussi toujours différés, remis au lendemain. L'auditeur du séminaire rappelle assez l'homme de la célèbre parabole du *Procès*, qui attend d'avoir accès à la Loi : « Une sentinelle se tient postée devant la Loi ; un homme vient un jour la trouver et lui demande la permission de pénétrer. Mais la sentinelle lui dit qu'elle ne peut pas le laisser entrer en ce moment. L'homme réfléchit et demande alors s'il pourra entrer plus tard. "C'est possible, dit la sentinelle, mais pas maintenant. " (...) La sentinelle lui donne un escabeau et le fait asseoir à côté de la porte. Il reste là de longues années {22}. » Il n'est pas jusqu'à la fin de l'apologue qui n'évoque

Copié-collé #15

Edgard Gunzig



Invitation

dans « Le Vide. Univers du tout et du rien »

EDITION COMPLEXE - 1998

ÉTIENNE KLEIN

fondamentaux de tous les champs associés à toutes les particules existantes (électrons, quarks, photons, neutrinos...), est donc un vide qui apparaît très rempli. Il n'a de vide que le nom. On pourrait dire que la physique quantique donne au vide un statut proche de celui qu'Aristote donne à sa matière, celui d'un support sans forme, d'un état de référence en puissance d'objets. Sa démarche permet en effet de décrire les manifestations du monde en termes d'excitations par rapport à un état fondamental, tout comme la musique cherche à se référer à un son fondamental, le diapason. Le vide quantique n'est donc pas à l'extérieur de la matière. C'est l'état de base de la matière, dont la matière émerge sans couper son cordon ombilical. En définitive, la matière contient le vide et le vide contient la matière.

Le vide quantique correspond ainsi à une sorte de nouvel éther^[6] auquel nous confions le soin de répondre par ses propriétés à toutes les exigences que nos théories entendent lui faire porter. Plutôt qu'une proto-matière, il est un médiateur à l'intelligible dont la légalité mathématique est censée gager l'authenticité du statut. Le vide est devenu un pur « construit » théorique, auquel on attribue les propriétés de symétrie des équations qui décrivent la matière. Marc Lachièze-Rey, prenant acte de ce nouveau statut du vide, va jusqu'à proposer l'idée d'un vide informatif, défini par sa capacité de stocker l'information relative aux lois physiques^[7] : « Ce serait en "interrogeant le vide" que les particules (ou les champs, ou ce que l'on veut) seraient informées de ce que telles lois de la physique doivent être respectées, que la constante de la

EDGARD GUNZIG

vide, polarisation du vide, supraconduction, dissimulations de symétrie, transitions de phase, défauts topologiques, instabilités du vide...

La mécanique quantique donne en fait au vide le même statut qu'Aristote donne à sa matière (*hylé*), celui d'un support sans forme, d'un état de référence en puissance d'objets. Une démarche qui permet de décrire les manifestations du monde en termes d'excitations par rapport à un état fondamental. Tout comme la musique cherche à se référer à un son fondamental, le diapason. Le vide n'est donc pas l'extérieur de la matière. C'est l'état de base dont la matière émerge sans couper son cordon ombilical. Il n'y a pas d'autonomie de la matière par rapport au vide : la matière contient le vide et le vide contient la matière.

La problématique du vide fournit pour la réflexion philosophique un matériau d'une richesse et d'une complexité sans précédent. Mais malgré de nombreuses études

Copié-collé #16

Bernard Pire et Jean-Pierre Pharabod



Le rêve des physiciens

ODILE JACOB - 1993

ÉTIENNE KLEIN

Postulons par exemple que les lois de la physique sont invariantes par translation du temps. Cela consiste à dire que les lois régissant toute expérience de physique ne sauraient dépendre du moment particulier où l'expérience est réalisée : tout instant en vaut un autre. L'application du théorème de Noether établit que cet énoncé a pour corollaire direct la conservation de l'énergie. Cette loi ne fait donc rien d'autre que garantir la pérennité des lois physiques, c'est-à-dire leur invariance dans le temps.

De la même façon, l'invariance des lois physiques par translation d'espace, qui signifie qu'elles sont les mêmes en tous lieux, a pour conséquence la conservation de l'impulsion. Cette loi de conservation interdit en particulier toute modification spontanée du mouvement, conformément au principe d'inertie. Elle revient à dire que l'espace est homogène, c'est-à-dire que ses propriétés ne peuvent pas différer d'un point à un autre.

De façon plus générale, c'est en recherchant les symétries auxquelles obéissent les interactions fondamentales (gravitationnelle, électromagnétique, nucléaire) que des progrès importants ont été accomplis ces dernières décennies. Des concepts nouveaux, notamment la notion de symétrie de jauge évoquée plus haut, ont élargi le domaine d'application de la théorie des groupes, en même temps qu'ils ont révolutionné la façon de décrire les interactions fondamentales.

Les symétries discrètes P, C et T

PHARABOD PIROD

132

LE RÊVE DES PHYSICIENS

C'est en recherchant les symétries auxquelles obéissent les quatre forces fondamentales que les physiciens ont accompli des progrès décisifs ces dernières décennies. La notion de symétrie interne s'est révélée très féconde dans la perspective d'une description unifiée des interactions. Les concepts de symétrie de jauge, puis celui de symétrie spontanément brisée (voir chapitres suivants) ont élargi le domaine d'application de la théorie des groupes. Leurs succès ont révolutionné la façon d'aborder les problèmes physiques, en donnant la priorité à l'examen des symétries auxquelles obéit un système matériel.

qu'elles « engluent » les quarks au sein des hadrons. Leur existence fut avérée à la fin des années 1970, grâce à des expériences mettant en jeu des collisions à très haute énergie entre des électrons et des antiélectrons, les positrons.

Les gluons sont sensibles à la couleur des quarks. En fait, les gluons se couplent à la couleur un peu comme le photon, responsable de la force électromagnétique, se couple à la charge électrique. Mais il y a une différence fondamentale entre le photon et les gluons. Tandis que le photon ne porte pas de charge électrique, de sorte qu'un photon émis ou absorbé par une particule ne change pas la charge électrique de celle-ci, les gluons, eux, transportent de la couleur, de sorte que lors de leur émission ou de leur absorption par les quarks, ils changent la couleur de ces derniers. Les gluons sont au nombre de huit, tous colorés. Les six plus simples portent en fait une couleur et une anticouleur : par exemple, rouge et antibleu, mais pas rouge et antirouge, qui serait blanc. Lorsque un quark rouge émet un gluon rouge-antibleu, il devient bleu. Si ce gluon rouge-antibleu est absorbé par un quark bleu, celui-ci vire au rouge. Sans arrêt les quarks d'un hadron échangent de tels gluons colorés, selon un ballet réglé par la chromodynamique quantique. Par la même occasion, ils changent de couleur, mais la couleur globale du hadron reste blanche. C'est cet échange incessant de couleur qui assure la stabilité (provisoire) des hadrons.

Parce qu'ils ne sont pas sans couleur, les gluons interagissent entre eux différemment des photons, ce qui donne naissance dans la théorie des quarks et des gluons à des termes qui n'ont

PHARABOD PIROD

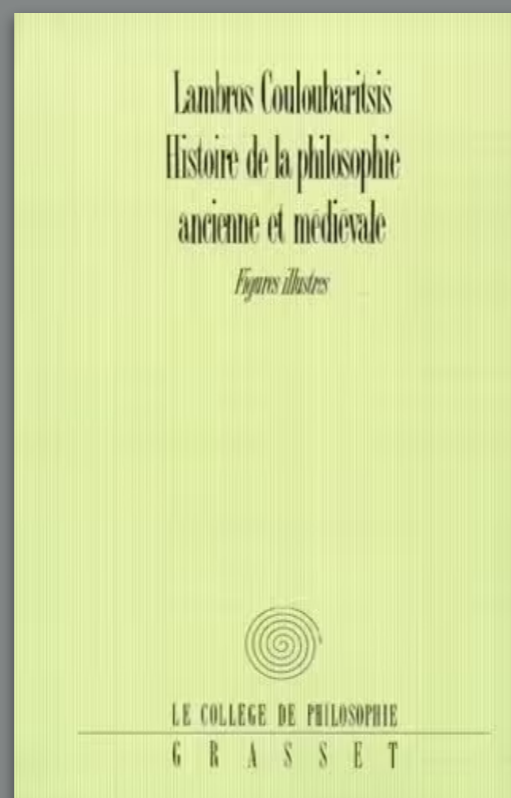
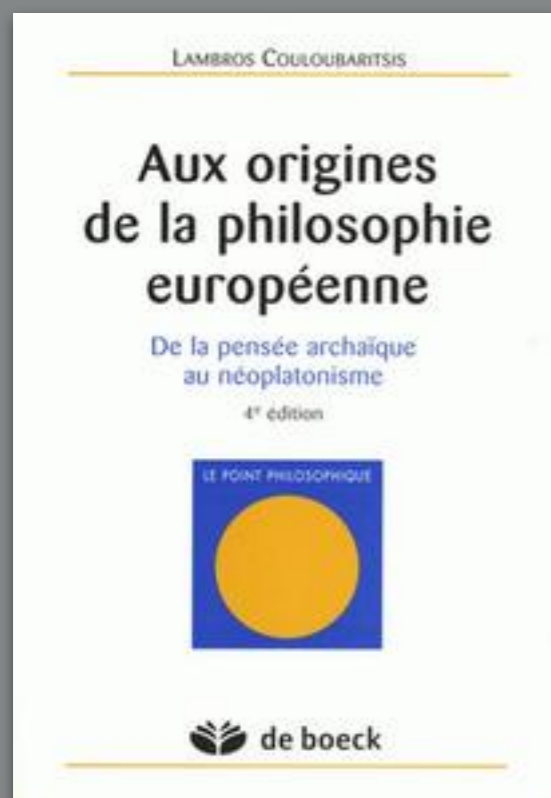
(ou antivert, ou antirouge).

Quant aux « grains de champ » de l'interaction forte, ce sont huit *gluons* « colorés », dont les six plus simples portent juste une couleur et une « anti-autre couleur » : par exemple, rouge et antibleu, mais pas rouge et antirouge, qui serait « blanc ». Sans arrêt les quarks d'un baryon ou d'un méson échangent de tels gluons, et par la même occasion (sauf quand il s'agit des deux gluons « compliqués ») changent de couleur, la couleur globale restant blanche. C'est cet échange permanent qui assure la stabilité (au moins provisoire) des baryons et des mésons.

Tout cela est formalisé autour de 1973 dans une

Copié-collé #17

Lambros Couloubaritsis



*Histoire de la philosophie
ancienne et médiévale*

GRASSET - 1998

*Aux origines de la philosophie
européenne*

DE BOECK - 1993

ÉTIENNE KLEIN

Thalès de Milet ou l'aube de l'esprit de système

Il est raisonnable de soutenir que Thalès de Milet (624-548 av. J.-C.) a été le premier savant-philosophe. Si l'on met entre parenthèses les multiples anecdotes que la tradition a rapportées à son propos, la doxographie s'accorde généralement sur sa conception de la naissance du monde à partir d'une entité unique, l'Eau. Aristote insistera sur cette dimension de sa pensée pour la rapporter à l'idée que c'est lui qui a inauguré le discours sur la nature (la « physique »), en identifiant l'eau avec la *physis*, c'est-à-dire ce fondement à partir duquel s'épanouit le monde. Il faut toutefois éviter de croire que lui ou les Milésiens ont réalisé un système

l'Un dans son rapport à la multiplicité des choses qui deviennent. La dialectique de l'Un et du multiple semble en effet plus apte à éclairer le monde présocratique que la question de l'Être, souvent abusivement projetée sur ce monde. Cet Un ne concerne aucune réalité divine transcendante (comme il le fera chez Plotin et dans le christianisme). Il s'inscrit dans un mode particulier qui éclaire le rapport de l'homme au monde selon des schèmes d'unification et de régulation de l'expérience humaine.

Revenons plus précisément à Thalès de Milet, qui se demande quelle est l'origine des choses. Il la trouve dans une substance très ordinaire, l'eau^[8]. Celle-ci est la cause matérielle de toutes choses. N'est-ce pas elle qui fait pousser les végétaux, désaltère

LAMBROS COULOUBARITSIS

fut le premier à porter le nom de « sage », et associe à son nom les apophtegmes « Connais-toi toi-même » et « Rien de trop ». Cela confirme son lien également avec la tradition delphique. Si l'on met entre parenthèses les multiples anecdotes que la tradition a rapportées à son propos, la doxographie s'accorde généralement sur sa conception de la naissance du monde (y compris la naissance des dieux et des démons) à partir d'une entité unique, l'Eau. Aristote insistera sur cette dimension de sa pensée pour la rapporter à l'idée que c'est lui qui a inauguré le discours sur la nature (la « physique »), en identifiant l'eau avec la *physis*, c'est-à-dire ce fondement à partir duquel s'épanouit (*phyei*) le monde. Pourtant, cela ne l'empêchera pas d'associer cette découverte avec les loges des généalogistes qui sont, selon lui, des

une analyse métaphysique, seul le concept de l'Un (et de la multiplicité) semble apte à l'éclairer. Mais cet Un ne concerne aucune réalité divine transcendante (comme il le fera chez Plotin et dans le christianisme) ; il s'inscrit dans un mode transcendantal particulier qui éclaire le rapport de l'homme au monde selon des schèmes d'unification et de régulation de l'expérience humaine, comme l'est, on vient de le voir, le schème de la parenté. Et c'est par la pratique de tels schèmes, comme celui du chemin,

ÉTIENNE KLEIN

substances dont est fait le monde qui nous entoure, si ou en quel sens elles sont encore constituées par de l'eau. Croyait-il que la chaise sur laquelle il s'asseyait, que le pain qu'il mangeait étaient faits d'eau ? »^[18] Il semble en réalité que la seule question qu'ait posée et résolue Thalès était celle de savoir ce qui est venu en premier, et que celle de savoir comment ou en quel sens la substance primordiale persiste dans les objets que nous voyons autour de nous est une question qui ne se posa qu'à la suite de recherches ultérieures.

L'air, la terre, et puis le feu

Au VI^e siècle avant J.-C., Anaximène fonda une cosmogonie différente de celle de Thalès, basée sur l'idée que c'est l'air qui est le principe de l'univers. Bien qu'il soit invisible et illimité, l'air peut néanmoins devenir visible et limité en subissant un certain nombre de processus, comme la condensation et le rassemblement ou la raréfaction et la dilatation (« sous l'effet du froid, du chaud, de l'humide et du mû », dira le doxographe Hippolyte). Ainsi, il peut être transformé en corps solides et en corps ténus, manifestant une variation à partir d'une unité fondamentale. Le « souffle » au sens d'air chaud était souvent conçu par les Grecs comme un principe de vie. Avant de rendre notre dernier « souffle » justement, ne passons-nous pas notre temps à respirer l'air vital qui nous entoure, selon des rythmes qui organisent les échanges entre le monde extérieur et nous-mêmes ? Selon Anaximène, le monde tout entier est enveloppé d'un souffle qui anime ses formes et coordonne ses diverses

LAMBROS COULOUBARITSIS

ANAXIMÈNE

Anaximène (585-525 ?) défendit une position intermédiaire entre celle de Thalès et celle de son maître, Anaximandre : il choisit l'Air comme fondement parce que, bien qu'il soit invisible et illimité, il peut néanmoins devenir visible et limité en subissant un certain nombre de processus, comme la condensation et le rassemblement ou la raréfaction et la dilatation (« sous l'effet du froid, du chaud, de l'humide et du mû », dit le doxographe Hippolyte). Ainsi il peut être transformé en corps solides ou en corps ténus, manifestant une variation à partir d'une unité fondamentale. Englobant (illimité) comme l'Apeiron d'Anaximandre, l'Air se prête mieux à l'analogie, comme le fit voir Anaximène en le rapportant à l'âme : « De même que notre âme qui est d'air nous contient (c'est-à-dire nous domine et nous soutient), de même le souffle (pneuma) et l'air enveloppent le tout de l'Univers » (fr. B 2). Le « souffle » au sens d'air chaud est souvent conçu par les Grecs comme un principe de vie. Le stoïcisme, nous le verrons, y puisera le fondement même de sa physique, bien avant que le christianisme lui confère le caractère

ÉTIENNE KLEIN

nature, explique Héraclite, parvient à organiser les contraires en harmonie, tout comme la musique qui naît de la lyre a pour condition la lutte des tensions entre les cordes et le bois. Ainsi, les contraires s'accordent pour réaliser une activité précise, harmonieuse et efficace. L'harmonie, qui ne naît que de ce qui diffère, règle en définitive un mode particulier de l'Un. En multipliant le jeu des oppositions, Héraclite impose l'idée que de toutes les choses advient l'Un et de l'Un toutes choses, le Logos réalisant sans cesse dans ce jeu un rassemblement des opposés toujours envisagés de façon symétrique : accordé et désaccordé, consonant et dissonant, mortel et immortel, divisé et indivisé, engendré et inengendré... Héraclite ne cesse d'insister sur l'origine conflictuelle de toutes choses qui ne sont

LAMBROS COULOUBARITSIS

l'ordonnance des choses, tandis que lorsque l'Univers s'embrase, elle s'enrichit en entraînant la destruction de tout. En plus de l'idée d'un cycle du devenir, courante dans l'École ionienne, la thèse introduit l'idée d'une harmonie invisible plus belle que l'harmonie visible (fr. B 54), car elle accorde le différent avec lui-même, comme pour l'arc ou la lyre où des forces opposées s'accordent pour réaliser une activité précise, harmonieuse et efficace. Aussi trouve-t-on le jeu des opposés dans un cas aussi significatif que la justice et l'injustice (la justice n'ayant pas de sens sans l'injustice), de sorte que l'harmonie règle en quelque sorte un mode particulier d'Un. En multipliant le jeu d'oppositions dont l'unité est assurée par le Logos, s'impose l'idée que de toutes les choses advient l'Un et de l'Un toutes choses, entraînant, dans son sillage, Tout et non-touts, accordé et désaccordé, consonant et dissonant, mortel et immortel, divisé et indivisé, engendré et inengendré, père et fils, etc.). Ces termes éclairent cette pratique hénologique dominée par l'« harmonie » : le Logos devient le lieu qui se décentre d'une façon permanente, et qui réalise sans cesse un rassemblement d'opposés mesurant, par des forces opposées, toutes choses de l'invisible d'où il se tient. C'est ce type d'unité qui désigne ce qui est sage : « Est sage d'entendre, non moi, mais le Logos, pour convenir que tout est un » (fr. B 50). Nous retrouvons bien ici

ÉTIENNE KLEIN

ce qui rend toute chose justiciable d'une explication mécaniste. Anaxagore distingue deux sortes d'êtres : d'un côté, les éléments en général, qui sont des mélanges car « en toute chose, il y a une parcelle de toute chose » ; de l'autre, l'entendement, architecte du monde. Ce dernier seul est à part, pur et sans mélange ; venu dans le chaos des éléments, il l'a mis en ordre. L'illimité forme une plénitude de matière hétérogène de particules (*chrèmata*) où tout est dans tout, c'est-à-dire où toute particule possède en elle toutes les autres particules existantes et toutes les qualités¹³⁷¹. Cette approche spéculative, qui se réfère à un chaos matériel infini dans lequel les particules sont divisibles à l'infini, cherchait à surmonter les difficultés soulevées par les pensées du discontinu. Elle avait également le mérite de chercher une solution à la diversité des choses en faisant intervenir une autre matière, l'intellect, qui se caractérise, à l'opposé, par son homogénéité absolue. Celui-ci devient la mesure de toute chose, non pas en tant qu'intellect de l'homme, mais en tant qu'intellect cosmique auquel l'homme participe matériellement et intellectuellement.

A la même époque, Anaximandre (610-546 av. J.-C.), pourtant élève de Thalès, avait nié que la substance primordiale fût l'eau ou toute autre substance connue. Comment admettre en effet que le feu puisse provenir de l'eau, alors que l'expérience courante montre l'incompatibilité de ces deux éléments ? Aucun des éléments n'étant à privilégier, il est impossible d'assigner à l'un plutôt qu'à l'autre le rôle de substrat. Par ailleurs, il est fort possible qu'Anaximandre se soit rendu compte du fait que la conception de Thalès et celles qui lui

LAMBROS COULOUBARITSIS

cœur de la pensée d'Anaxagore de Clazomenes (500-428), dans un sens toutefois opposé à celui défendu par les atomistes et Mélissos. Pour lui, l'illimité forme une plénitude de matière hétérogène de particules (*chrèmata*) où tout est dans tout, c'est-à-dire où toute particule possède en elle toutes les autres particules existantes et toutes les qualités, ce qui se manifeste sur le mode d'un chaos absolu. En ce sens, l'illimité se présente non seulement selon une extension, mais également, si j'ose dire, selon une « intension », chaque particule comprenant toutes les autres particules quelle que soit la division accomplie, celle-ci s'accomplissant sans limite. Plus exactement, ces « chrèmes » (*chrèmata*) comportent en eux tous les autres chrèmes et en même temps toutes les qualités. Le caractère hétérogène de ces chrèmes rend impossible tout vide, le Tout se manifestant comme une fluidité continue. Cette approche spéculative qui se réfère à un chaos matériel infini où les particules sont divisibles à l'infini cherche à surmonter les difficultés soulevées par les pensées du discontinu. Elle a le mérite de chercher également une solution à la diversité phénoménale des choses, en faisant intervenir une autre matière, un autre type de chrème, l'« intellect », qui se caractérise, à l'opposé, par son homogénéité absolue. Ainsi la « matière »

Nous découvrons par là, chez Anaxagore, la première tentative véritable d'une intelligibilité des choses à travers une forme de similitude, voire d'identité entre pensée et délimitation des choses. L'intellect devient la mesure de toutes choses, non plus en tant qu'intellect de l'homme, mais en tant qu'Intellect cosmique auquel l'homme participe matériellement et intellectuellement. Cependant, la façon dont Anaxagore introduit cette problématique de l'intellect, c'est-à-dire à partir d'une origine qui émerge au

ÉTIENNE KLEIN

Anaximandre explique comment l'*apeiron* peut contenir en lui-même tout le futur concret des choses : il est la cause matricielle de tout ce qui naît, devient et meurt, la suprême origine d'où sont issus tous les individus qui s'en sont exilés, mais auquel ils finissent par retourner lors de leur dissolution finale. Il se transforme en donnant les diverses substances qui nous sont familières. Dans le seul fragment qui nous est resté de son ouvrage *Sur la Nature*, Anaximandre écrit « Ce d'où toutes les choses tirent leur existence est aussi ce à quoi elles retournent à leur destruction selon l'ordre de la Nécessité. Les choses se rendent justice et réparation les unes aux autres de leurs injustices selon l'ordre du temps »^[39]. Ce fragment, qui a été beaucoup discuté, notamment par Nietzsche et par Heidegger, montre que les choses qui sont dans le présent sont en fait éphémères et périssent en revenant à la nature à partir

de laquelle elles adviennent, à la terre pour les choses terrestres, à l'eau pour les choses aquatiques. Elles sont elles-mêmes des entités provenant de genèses successives qui remontent jusqu'à l'*Apeiron*. Anaximandre pense donc l'existence comme une perte, comme l'abandon d'une source primitive. Les choses, en naissant, c'est-à-dire en se détachant de l'unité primordiale pour atteindre à leur être particulier, ont

LAMBROS COULOUBARITSIS

naissent les choses présentes et qui sont aussi celles vers où elles périssent selon la nécessité, car elles rendent entre elles justice et réparation de leur injustice selon l'ordre du temps » (fr. B 1). Ce fragment, qui a été beaucoup discuté (surtout dans la tradition nietzschéenne, reprise par Heidegger qui le considère comme le texte historial par excellence de la pensée présocratique avant l'émergence de la métaphysique avec Platon), montre que les choses qui sont dans le présent, qui sont présentes (*eonta*), sont en fait éphémères et périssent en revenant à la nature à partir de laquelle elles adviennent, à la terre pour les choses terrestres, à l'eau pour les choses aquatiques, etc., et qui sont

elles-mêmes des entités provenant de genèses successives qui remontent jusqu'à la *Physis* primordiale, l'*Apeiron*. Cette analyse ne doit pas nous tromper : comme l'a indiqué Simplicius, il s'agit là d'une approche

ÉTIENNE KLEIN

qu'à la contradiction, c'est-à-dire à l'erreur : « On ne peut connaître ce qui n'est pas, ni l'énoncer ; car ce qui peut être pensé et ce qui peut exister sont une même chose. »^[42] Seul l'Un, nécessaire, éternel et non engendré existe, et il n'y a ni devenir ni disparition^[43]. Avec des arguments de cet ordre, Parménide niait aussi l'existence du vide, assimilé à du non-être. Il rejetait aussi le changement et le mouvement au motif qu'il n'est pas possible d'envisager un devenir à partir du non-être, dans la mesure où le non-être n'est rien. Pour Parménide, tout changement contredit la tendance spontanée de la raison à l'identité et à la permanence. L'exclusion du néant paraîtra toutefois paradoxale à certains successeurs de Parménide. On ne saurait en effet écarter le non-être sans faire une concession : l'affirmer comme *étant* le néant. C'est sur cette subtilité logique que Platon fondera son acte « parricide » à l'égard du « père » de la philosophie, affirmant qu'il existe une modalité du non-être (dont le sens peut aller depuis le néant absolu jusqu'à l'idée d'un Un comme non-être au-delà de l'Être), qui peut se réaliser sous certaines formes (l'image d'une chose, le simulacre, l'erreur ou même la notion de négation). Dans la deuxième partie du *Parménide*, Platon analyse très en détail le problème de l'Un, s'interroge sur ses diverses manifestations, qui aboutissent selon lui à neuf possibilités théoriques. Il montre d'abord que l'étude concernant la participation des choses sensibles aux essences conduit en fait à une impasse. En effet, si l'on cherche à établir le rapport entre le sensible et l'intelligible, il faut nécessairement introduire une troisième structure pour expliquer ce rapport, ce qui entraîne aussitôt la

LAMBROS COULOUBARITSIS

identité en toute plénitude), la question qui vient à l'esprit est celle de savoir si le devenir ne pourrait pas provenir de ce qui n'est pas, du non-être. Ici encore, Parménide innove et montre qu'il n'est pas possible d'envisager un devenir à partir du non-être, dans la mesure où le non-être n'est rien, (il est) du néant. Cette exclusion du « néant » paraîtra paradoxale, ensuite, car on ne saurait écarter le non-être sans faire une concession : l'affirmer comme *étant* le néant. Cette subtilité logique sur laquelle, nous le verrons, Platon fonde son acte « parricide » à l'égard du « père » de la philosophie, pour affirmer qu'il existe une modalité du « non-être » qui peut exister sous une certaine forme (par exemple, l'image d'une chose, le simulacre, l'erreur ou même la notion de « négation »), entraînera une réflexion sur le statut du non-être qui

des Idées entre elles, qui requièrent, l'une et l'autre, deux pratiques différentes de l'Un et du Multiple. D'où la nécessité de s'interroger sur diverses manifestations de l'Un, qui aboutissent à neuf possibilités théoriques. L'étude concernant la participation des choses sensibles aux essences conduit en fait à une impasse. Même abordée trivialement, la question des essences et

l'argument de la troisième grandeur (devenu chez ce dernier l'argument célèbre du « troisième homme »). Selon cet argument, si l'on cherche à établir le rapport entre le sensible et l'intelligible, il faut introduire une troisième structure pour l'expliquer, ce qui entraîne aussitôt la nécessité d'élucider en

ÉTIENNE KLEIN

nécessité d'élucider en plus le rapport entre cette structure et les deux précédentes, ce qui multiplie les rapports et donc suppose une quatrième structure explicative, et ainsi de suite jusqu'à l'infini. Il apparaît ainsi que si l'idée est introduite pour réduire la multiplicité des choses sensibles à une unité qui en soit le modèle, on en arrive paradoxalement à supposer une infinité de mondes intelligibles pour expliquer la multiplicité du sensible. Platon en conclut que le problème de la connaissance et des essences requiert avant tout la clarification de l'Un et du Multiple. Cela l'oblige à engager l'analyse de l'Un. Il s'interroge d'abord sur son existence (si l'Un est) et sur son inexistence (si l'Un n'est pas) et cherche ce qui en résulte. Cela donne huit possibilités, couplées deux à deux. Cependant, Platon en ajoute une neuvième, qui est la synthèse des deux premières. Comment s'élaborent ces différentes hypothèses ? La première considère l'Un en lui-même, de façon absolue, et refuse de lui attribuer quoi que ce soit, pas même l'être : on nie toutes les qualifications pour établir que l'Un est purement Un, sa transcendance lui interdisant de participer à quoi que ce soit. Dans sa deuxième hypothèse, Platon envisage encore l'Un en lui-même, mais il lui accorde tous les attributs niés dans la première hypothèse. Pouvant dès lors participer à tout, l'Un est pensé comme un *étant*. Cette présence de l'Être associé à l'Un conduit à une dualité, l'Être et l'Un devant être envisagés comme différents. Autrement dit, dire « l'Un est » peut être interprété en deux sens selon que l'on accentue l'unité de l'Un ou sa *réalité*. Si l'Un est, dans le plein sens du verbe être, il n'est pas tout à fait Un, puisque de la réalité s'attache à lui ; et si l'Un

LAMBROS COULOUBARITSIS

l'argument de la troisième grandeur (devenu chez ce dernier l'argument célèbre du « troisième homme »). Selon cet argument, si l'on cherche à établir le rapport entre le sensible et l'intelligible, il faut introduire une troisième structure pour l'expliquer, ce qui entraîne aussitôt la nécessité d'élucider en plus le rapport entre cette structure et les deux précédentes, ce qui multiplie les rapports et donc suppose une quatrième structure explicative, et ainsi de suite jusqu'à l'infini. Il apparaît ainsi que si l'idée est introduite pour réduire la multiplicité des choses sensibles à une unité (identique à elle-même) qui en soit le modèle, on en arrive paradoxalement à supposer une infinité de mondes intelligibles pour expliquer la multiplicité du sensible. C'est pourquoi il apparaît aussitôt à Platon que le problème de la connaissance et des essences requiert avant tout la clarification de l'Un et du Multiple. Cela l'oblige à engager, dans la seconde partie du dialogue, l'analyse de l'Un. Bien

Platon s'interroge sur l'existence de l'Un (si l'Un est) et sur son inexistence (si l'Un n'est pas), et cherche ce qui en résulte (pour lui et pour les autres). Cela donne huit possibilités, couplées deux à deux. Cependant Platon en ajoute une neuvième, qui est la synthèse des deux premières. Cette troisième hypothèse joue un rôle historique majeur car elle est sans cesse interpellée

multiplicité, la stabilité et le devenir, l'éternité et le temps). Voyons de plus près la façon dont s'élaborent les différentes hypothèses.

La 1^{re} hypothèse considère l'Un en lui-même et d'une façon absolue et refuse d'attribuer quoi que ce soit à l'Un, pas même l'être : on *nie* toutes les qualifications (tout, partie, limité, illimité, identité, différence, ressemblance, dissemblance, égalité, inégalité, âge, temps, science, opinion, différence, sensation, nom...), pour établir que l'Un (est) purement Un, Un pur et simple. La transcendance de l'Un signifie que l'Un ne peut participer à quoi que ce soit. Lorsque Plotin fonde le néoplatonisme hellénique et païen, il reprend

que le *Parménide* de Platon se limite à une hypothèse sans plus, sans aucune référence déductive à la seconde. Dans cette 2^e hypothèse, Platon envisage l'Un encore en lui-même, mais selon une position opposée à la première : il accorde à l'Un tous les attributs précédemment niés. Pouvant dès lors participer à tout, l'Un est pensé comme *étant*. Or, deux modes lient aussitôt l'Un qui est : dans *l'Un qui est*, il situe côte à côte l'Un et l'Être, et dans *l'Un*

ÉTIENNE KLEIN

Cette production de l'identité par le jeu aléatoire d'une différence initiale entre atomes a son analogie la plus frappante dans le fonctionnement du langage. Comme les phonèmes, qui n'existent que par la différence qui les sépare, se réunissent en syllabes, en mots, en phrases, pour produire l'identité du sens, les mouvements atomiques s'entrelacent et se combinent pour engendrer l'identité de la nature. Mais seuls les atomes et le vide constituent le *réel* comme tel, les choses variées étant conventionnelles, déterminées par l'homme. En effet, l'unité constitutive des choses produites n'est pas une réalité en soi, mais le résultat de processus dominés par les lois de la nature, qui sont pour Démocrite celle d'une spontanéité des chocs entre les atomes et celle de la nécessité régie par la ressemblance des formes des atomes, les seules susceptibles de produire des liaisons. Mais chaque atome, quoique différent selon sa configuration, est toujours identique à lui-même, insécable et ultime, tout comme le vide demeure toujours identique à lui-même.

Il est inutile, sans doute, de souligner les traces (au moins langagières) de l'atomisme démocritéen dans la physique moderne. Basés sur l'hypothèse des atomes corporels et du vide spatial, les progrès récents de la chimie et de la physique appellent la comparaison avec l'histoire de l'atomisme ancien. Mais de cette comparaison il ressort que les atomes qu'envisage la science moderne n'ont presque rien en commun avec ceux de la conception ancienne. En fait, dans cette comparaison, l'attraction exercée par le modèle contemporain l'emporte largement sur les préoccupations d'ordre historique, et la

LAMBROS COULOUBARITSIS

les choses selon une limite de possibles, dont chacun manifeste des propriétés propres, auxquelles on confère un nom et un sens par convention. Seuls les atomes et le vide constituent le *réel* comme tel, les choses variées étant « conventionnelles », déterminées par l'homme. L'unité constitutive des choses produites n'est donc pas une réalité en soi, mais le résultat de processus dominés par les lois de la nature, qui sont pour Démocrite celle d'une spontanéité des chocs entre les atomes et celle de la nécessité régie par la ressemblance des formes des atomes, les seules susceptibles de produire des liaisons. En revanche, chaque atome, quoique différent selon sa configuration, est toujours identique à lui-même, insécable et ultime, tout

comme le vide demeure toujours identique à lui-même, ce qui explique que les atomes constituent le « réel ». Dans l'entre-deux, le jeu mené par la spontanéité du mouvement (*automaton*) et la nécessité des formes est tributaire des trois variables réglant les combinaisons. Le tout met en œuvre

ÉTIENNE KLEIN

part « premier corps » ou « éther »^[54]. Alors que la génération circulaire des éléments, rendue possible par le fait qu'ils communiquent un à un par l'une de leurs qualités (le froid pour la terre et l'eau, l'humide pour l'eau et l'air, le chaud pour l'air et le feu, le sec pour le feu et la terre), rend compte des changements au niveau du monde sublunaire, l'éther, substance constitutive des astres, est immuable, encore que cette immuabilité soit celle d'un mouvement éternel. La doctrine du cinquième élément, inaltérable et qui ne se mélange en aucune façon aux quatre autres, permet à Aristote d'affirmer la transcendance du Ciel : il s'oppose par là, avant la lettre, à la physique moderne, dont l'acte de naissance coïncidera avec la suppression par Galilée de la distinction aristotélicienne entre physique céleste et physique terrestre.

C'est dans sa *Métaphysique* qu'Aristote s'est appliqué à analyser de façon très précise les différentes modalités de l'Un : « L'Un, écrit-il, se dit autant de fois : le continu par nature, le tout, le particulier et l'universel ; et tous ces modes sont un par indivisibilité, les uns dans l'ordre du mouvement, les autres dans l'ordre de la pensée ou de l'énonciation. »^[55] Aristote explique par exemple que le tout ne se réduit pas à la continuité, mais concerne également les différents modes de rassemblement, comme l'universel le plus strict ou, à l'inverse, une totalité chaotique, par exemple un tas de sable (qui n'est pas continu). Par ailleurs, il explique que le savoir reconnaît quatre types d'unité. A l'unité numérique il faut adjoindre l'unité spécifique, l'unité générique et même l'unité par analogie, qui s'accorde mieux que les autres au Multiple : « Ce

LAMBROS COULOUBARITSIS

apparaît, de ce point de vue, particulière parmi les multiples pratiques hénologiques que nous ont léguées les penseurs de l'Antiquité et du Moyen Age.

« L'Un, dit Aristote, se dit autant de fois : le continu par nature, le tout, le particulier et l'universel ; et tous ces modes sont un par indivisibilité, les uns dans l'ordre du mouvement, les autres dans l'ordre de la pensée ou de l'énonciation » (Iota 1, 1052a34-b1). Ces quatre modes *premiers* de l'Un par soi n'excluent pas un certain nombre de nuances, comme on peut le déceler dans l'ensemble des formes possibles de continu, par exemple le continu réalisé artificiellement, les différents modes d'assemblage, comme l'ensemble, le contact, l'entre-deux, le consécutif et le contigu, qui appartiennent plutôt au Multiple (cf. Phys. V, 3-4). On peut discerner ces nuances également à propos du tout : il y a le tout dont les parties sont des parties réelles ou le tout dont les parties sont par homonymie (comme dans le cas du mot « cercle », qui renvoie au cercle géométrique, à l'anneau ou au cycle de la tragédie). Du reste, Aristote dit que le tout ne se réduit pas à la continuité, mais concerne également les différents modes de rassemblement, comme l'universel le plus strict ou, à l'inverse, une totalité même chaotique, comme un tas (de sable).

Le tout par excellence est sans doute celui qui correspond à la spécificité propre à l'étance, et qui constitue l'unité proprement dite. Pour ce qui est de l'unité selon la pensée, il est certain que l'on ne peut confondre l'unité produite dans la pensée discursive entre un sujet et ses attributs et l'unité produite par l'intelligible comme tel pour les différents types d'indivisibles (cf. De l'âme III, 6). Aristote précise même que « c'est la chose particulière qui est numériquement indivisible, et c'est la chose qui est indivisible par la connaissance et la science qui est spécifiquement indivisible ; de sorte que serait un au sens premier, ce qui est cause de l'unité des étances » (*Métaph.* I, 1, 1052a29-34). D'autre part, à l'unité numérique il faut adjoindre, pour le savoir, l'unité spécifique, l'unité générique et même l'unité par analogie, qui constituent quatre types fort différents d'unité, ce dernier s'accordant

davantage au Multiple. « Ce qui est un, dit Aristote, l'est, ou selon le nombre,

ÉTIENNE KLEIN

qui est Un, écrit-il, l'est, ou selon le nombre, ou selon la spécificité, ou selon le genre, ou par analogie ; selon le nombre, ce sont les choses dont la matière est une ; selon le genre, les choses qui appartiennent à la même figure de la catégorie ; enfin, par analogie, toutes les choses qui sont l'une à l'autre comme une troisième chose est à une quatrième. »^[56] Aristote rend ainsi possible une forme d'unité très étendue des choses objectivement dissemblables, diamétralement opposée à l'unité numérique et même à l'unité spécifique, exprimée par la définition. Le fait que l'Un se manifeste ainsi selon des modes bien différents révèle que le réel est fort complexe. Mais, d'une manière générale, il apparaît qu'il faut toujours tenir compte de l'Un et du Multiple, ce dernier se manifestant d'une façon plus étendue encore que l'Un, bien qu'il doive toujours être rapporté à l'Un en tant que la visée ultime de toute recherche. Cela signifie que les étants, indépendamment de leur appartenance à telle ou telle catégorie, se manifestent selon différents modes d'unité et que, de plus, leur articulation selon diverses formes de rapports suppose toujours un type d'unité, d'où cette affirmation capitale d'Aristote : « L'Un est la mesure de toutes choses. »^[57] Cela signifie qu'il ne suffit pas d'étudier le réel selon les catégories, mais qu'il faut aussi discerner comment chaque chose s'unifie pour traduire son caractère d'étant et comment elle se rapporte à une autre chose pour situer son rôle dans l'économie du Tout. Aristote n'accorde en définitive aucune réalité objective à l'Un, sans quoi il serait de l'ordre de l'étant. Il le considère, en tant que mesure de toutes choses, comme ce qui marque le mode par lequel se détermine la

LAMBROS COULOUBARITSIS

davantage au Multiple. « Ce qui est un, dit Aristote, l'est, ou selon le nombre, ou selon la spécificité, ou selon le genre, ou par analogie ; selon le nombre, ce sont les choses dont la matière est une ; selon la spécificité, les choses dont la notion-définition est une ; selon le genre, les choses qui appartiennent à la même figure de la catégorie ; enfin, par analogie, toutes les choses qui sont l'une à l'autre comme une troisième chose est à une quatrième » (Delta 6,

considère qu'on peut les appliquer, par analogie, à tous les phénomènes en devenir. Par là il rend possible une forme d'unité très étendue des choses objectivement dissemblables, diamétralement opposée à l'unité numérique et même à l'unité spécifique, exprimée par la définition. D'où la distinction qu'il

exemples peuvent être multiples.

Bref, l'un par soi se manifeste selon des modes bien différents qui révèlent que le réel est fort complexe. Mais, d'une façon générale, il apparaît qu'il faut toujours tenir compte de l'Un et du Multiple, ce dernier se manifestant d'une façon plus étendue encore que l'Un, bien qu'il doive être toujours rapporté à l'Un en tant que la visée ultime de toute recherche, selon Aristote, demeure l'unité, quelle qu'elle soit. Cela signifie aussi que les étants, indépendamment

l'unité, quelle qu'elle soit. Cela signifie aussi que les étants, indépendamment de leur appartenance à telle ou telle catégorie, se manifestent selon différents modes d'unité et que, de plus, leur articulation selon diverses formes de rapports suppose toujours un type d'unité, qui confirme, nous le verrons, que

qu'appartenant à toutes les catégories, l'Un se manifeste adretement dans chacune d'elles. D'où cette affirmation capitale d'Aristote : « L'Un est la mesure de toutes choses » (Iota, 1, 1053a18-19).

l'Un est la mesure de toutes choses... Cela veut dire qu'il ne suffit pas d'étudier le réel selon les catégories, mais qu'il faut aussi discerner comment chaque chose s'unifie pour traduire son caractère d'étant, et comment elle se rapporte à une autre chose pour situer son rôle dans l'économie du Tout. Cette

qu'elle se tient au-delà de l'Être même. Par contre, Aristote n'accorde aucune réalité objective à l'Un, sans quoi il serait de l'ordre de l'étant. Il le considère, en tant que mesure de toutes choses, comme ce qui marque le *mode* par lequel se détermine la multiplicité dans le réel et ce grâce à quoi l'homme peut

ÉTIENNE KLEIN

multiplicité dans le réel et ce grâce à quoi l'homme peut accéder à la connaissance de cette réalité variable et multiple.

Nous verrons dans quelle mesure cette conception se retrouve dans la physique contemporaine.

Le pythagorisme ou l'unité par le nombre

Les méditations des Pythagoriciens sur les nombres, autour du v^e siècle avant J.-C., concernaient elles aussi la question de l'unité. A partir du concept de Un, ils tirèrent l'esquisse d'une procession intégrale des choses. En effet, si les choses sont assimilées aux nombres, alors tout part de l'Un, et l'affirmation même du multiple devient une manière de poser l'unité. Chaque nombre étant l'unité qui se multiplie, la multiplication peut ainsi recouvrir en principe la totalité des nombres et des choses. Le multiple vit caché, « enroulé » en l'Un. L'Un est donc le principe de toutes choses, alors qu'au départ il ne semblait être que l'opposé du multiple. Ainsi, alors que les Milésiens avaient choisi comme réalités primordiales des substances matérielles, les Pythagoriciens concentraient leur attention sur l'aspect formel des phénomènes, conférant d'entrée de jeu une stabilité et une universalité au savoir. Ils prennent ainsi rang de premiers théoriciens à avoir tenté de donner à la connaissance de la nature un fondement quantitatif, mathématique. Ce trait les met au point de départ de ce qui allait être pour la pensée un développement de la plus haute importance, au point que Hegel vit en Pythagore « le premier maître universel » ^[58]

LAMBROS COULOUBARITSIS

se détermine la multiplicité dans le réel et ce grâce à quoi l'homme peut accéder à la connaissance de cette réalité variablement multiple. D'après lui, il

ÉTIENNE KLEIN

s'affirme nettement ici, puisque les choses ne rendent plus seulement entre elles justice et réparation de leur injustice selon l'ordre du temps, mais, une fois qu'elles naissent, elles meurent aussitôt, dominées par la discorde permanente qui régit le devenir. Cela suppose que les opposés ne doivent pas être compris selon leur opposition éphémère, mais doivent être considérés selon leur unité même : le bien et le mal sont un tout (frag. 58) ; aussi est-ce la maladie qui rend la santé agréable, le mal qui engendre le bien, la faim qui fait désirer la satiété et la fatigue le repos (frag. 111). Le devenir se ramène donc

finalement à l'harmonie des contraires, et l'harmonie se décompose en ses termes contraires. Sa loi est celle du cycle : « Le chemin qui monte et celui qui descend sont un et identique » (frag. 60), la seule différence étant une différence de sens de parcours.

Ainsi la philosophie d'Héraclite évite-t-elle de conduire à une harmonie conçue comme une somme ou une alliance, comme l'ont fort bien montré Jean Bollack et Heinz Wismann^[27]. Insistant sur le thème de la séparation, ces deux auteurs dressent un parallèle très significatif entre le penseur éphésien

LAMBROS COULOUBARITSIS

le plus beau du monde est comme un tas d'ordures rassemblées au hasard" (fr. 124). Cela suppose que les opposés ne doivent pas être compris selon leur opposition éphémère, mais doivent être considérés selon leur unité même : le bien et le mal sont un tout (fr. 58) ; aussi est-ce la maladie qui rend la santé agréable, le mal qui engendre le bien, la faim qui fait désirer la satiété et la fatigue le repos (fr. 111). Le devenir se ramène donc finalement à l'harmonie des contraires, et l'harmonie se décompose en ses termes contraires. Sa loi profonde est celle du cycle, du retour éternel : "le chemin qui monte et celui qui descend sont un et identique" (fr. 60). Voilà pourquoi il faut atteindre cela même qui régit cette loi du devenir, la *physis*, le Feu et l'envisager comme Un : "de toutes choses résulte l'Un et de l'Un résultent toutes choses" (fr. 10) ou encore : "toutes choses s'échangent pour du feu et le feu pour toutes choses, comme les objets pour de l'or et de l'or pour des objets" (fr. 90).