

## **Pourquoi une telle complexité pour décrire la physique ! (03/11/21)**

*Ce post est un extrait de la page : Espace-temps. Coordonnées : celles de type nul, conduisent à un nouveau paradigme. Géodésiques principales nulles. Quelle réalité physique révélée ? Mise à jour 10/08/21*

On ne peut être que frappé par la complexité mathématique qu'il faut mettre en œuvre pour établir des théories qui tentent de rendre compte des phénomènes tels qu'on les observe. L'exemple donné dans les chapitres précédents n'en donne qu'un pâle reflet. Les théories comme celles des cordes, des twisteurs, de la gravitation à boucles et dans une moindre mesure de la relativité, de la mécanique quantique et de la théorie des champs quantiques demandent des connaissances très approfondies en mathématiques pour y comprendre quelque chose, ce qui n'est pas à la portée de " l'homme de rue".

Pourtant l'homme de la rue, comme tous les autres, subit ces lois de manière naturelle.

Quelle disproportion flagrante ! On se demande pourquoi les lois de la nature que nous subissons nous paraissent aussi compliquées ! Y-a-t-il une raison à cela ? Ne seraient-elles pas aussi efficaces si elles étaient bien plus simples ?

Doit-on attribuer cela à la complexité intrinsèque de la nature elle-même, du moins telle qu'elle nous apparaît (les phénomènes), ou à l'indigence relative de notre esprit [0] et de nos sens, puisque cette complexité est appréciée par eux. Ce serait comme regarder un

objet avec un très mauvais instrument qui en donnerait des images éclatées, déformées et floues.

Faisant partie de l'univers, nous sommes soumis à ces lois, y compris notre esprit et nos sens, ce sont elles qui sont à l'œuvre dans notre raisonnement et les validations "physiques" qu'on peut en faire. On conçoit que cela impose des limites structurelles à la connaissance : les lois cherchent à se comprendre elles -mêmes au moyen de ces mêmes lois !

On peut s'étonner qu'on puisse faire des constructions mathématiques aussi élaborées qui semblent nous révéler au moins une partie du mystère. C'est probablement lié au phénomène de la conscience qui est une réflexion du sujet sur lui-même, pris alors comme objet. Mais on conçoit que ce procédé ne peut procurer qu'une information dégradée.

De ces considérations, il paraît raisonnable se demander, à l'instar de Platon, si les phénomènes, ombres d'une réalité "parfaite", ne sont pas la source de cette complexité. Ils seraient des fragments probablement incomplets et distordus et, à ce titre, paraissant bien mystérieux, du puzzle représentant une supposée "réalité physique".

Les constructions mathématiques complexes de nos théories, ne seraient donc pas forcément liées à la complexité de la nature elle-même mais au fait qu'on en dispose que de fragments épars et distordus. Elles visent alors à essayer de reconstituer (apparemment avec un certain succès tout de même) une meilleure image de la nature à partir de ces bribes disparates et dégradées en fonction de cohérences ou de lois supposées.

Il faut tout de même garder à l'esprit que ce qu'on appelle la validation (en fait le non-rejet) d'une théorie ne peut s'appuyer que sur ces fragments (phénomènes) qui sont les seuls objets qui nous sont accessibles : la théorie doit prédire ces fragments. Le scientifique va rechercher des lois qui pourraient donner une signification cohérente à la production de ces fragments, sans forcément être capable de découvrir l'image du puzzle complet qui peut être simple (mais on ne la connaît pas)!

Une autre question surgit alors : de quels types de lois, a priori, pour tenter de donner un sens aux fragments qu'il observe, le scientifique dispose et quelle est leur source ?

Par exemple, on invoque de plus en plus les symétries qui peuvent se manifester par des aspects géométriques ou de façon plus formelle par des invariants par des transformations (groupes de symétries) dans la physique (théorie des champs quantiques

par exemple). Il est vrai que quand on sonde la nature dans ses retranchements ultimes il ne reste guère que des relations dont on ne peut extraire que des symétries ! H. Weyl qui s'était intéressé au sujet suggère que nous puissions cet intérêt pour les symétries dans l'observation de la nature (monde minéral, cristaux, végétaux, animaux, ..) : elles sont omniprésentes.

De ceci on déduit que la nature aime la symétrie...

A défaut de décrire la nature dans sa plénitude, le scientifique peut, malgré tout, espérer améliorer sa connaissance de la nature par la diversification et l'acquisition de nouveaux moyens expérimentaux qui vont lui permettre de disposer d'autres fragments voire de toutes les pièces du puzzle, ce qui ne veut pas dire qu'on saura les assembler pour découvrir l'image qu'ils représentent !

Ceci induit que la structure du formalisme des moyens mathématiques mis en œuvre qui ont été couronnés de succès, nous informent sur les lois de la nature car on est fondé de supposer que ce succès résulte d'un morphisme entre la structure des lois de la nature et la structure du formalisme qui prédit correctement les **phénomènes** que ces lois de la nature nous proposent.

Cela montre l'intérêt que représentent ces formalismes qu'il faut interpréter dans le contexte de ce qu'ils produisent : l'empreinte de la clé adaptée à la serrure représentant la "réalité" physique !

Même à supposer qu'on puisse obtenir tous les fragments, d'une part cela n'impliquera pour autant qu'on saura les assembler correctement pour former une image et d'autre part, même si c'était le cas, qu'on saura bien interpréter cette image, sans doute brouillée, de la nature.

## **Quelques exemples illustrant ces propos**

### **Relativité restreinte**

On connaît la querelle en paternité de la relativité restreinte, Einstein ayant été qualifié par certains de vil copieur !

Il est vrai que Lorentz par les transformations empiriques qu'il a établies, Poincaré par le groupe des transformations de l'espace de la relativité restreinte qu'il a identifié, ont contribué à la genèse de cette théorie, qui "était dans l'air" à l'époque, suite au problème posé par l'électromagnétisme et l'expérience de Morley-Michelson.

Mais il faut reconnaître que c'est Einstein, en 1905, qui lui a donné son fondement en lui donnant un sens physique par le principe de "relativité". Tous les phénomènes physiques (hormis la gravitation) obéissent aux mêmes lois dans tous les référentiels inertiels qui ne se différencient que par une vitesse (constante) relative. Ceci suffit, avec le paramètre de la vitesse de la lumière qui est une constante dans tous les référentiels [1], à contraindre et dériver les équations de la relativité restreinte. En effet ces référentiels se caractérisent par le fait qu'on ne ressent aucune contrainte (les objets "flottent et nous flottons). Dans ces référentiels présentant la même phénoménologie, la physique doit être la même. Aucun n'est privilégié.

Cette situation a fait dire à certains qu'en 1905 on avait toutes les pièces du puzzle, mais que c'est Einstein qui a montré ce qu'elles devaient représenter et donc comment assembler ces pièces.

Notons que dans cette présentation du début de l'histoire de la relativité restreinte, la conception « newtonienne » est encore très présente, via les référentiels inertiels, balisés en temps et espace, procédé désespéré, pour conserver ces concepts de temps et d'espace dans la mécanique relativiste. Dès 1907, Minkowski lui donnera un aspect plus formel et plus synthétique par la définition de l'espace-temps réduisant à des ombres le temps et l'espace.

## **Le paradoxe de Langevin**

Ce progrès conceptuel considérable permet de comprendre des paradoxes comme celui du voyageur de Langevin, incompréhensible en mécanique newtonienne.

Il est encore difficilement compréhensible aujourd'hui, car on s'attache encore à considérer ce voyage dans un espace muni d'une structure fixe sur des trajectoires (lignes dans cet espace fixe entre des points de cet espace fixe) sur lesquelles une fusée accélère à la manière newtonienne.

Ceci ne permet pas une compréhension du phénomène.

Il faut abandonner l'espace et le temps newtonien qui n'existent pas en relativité, et ne considérer que l'espace-temps, où il n'y a pas d'espace fixe, pour comprendre le phénomène !

Un exemple typique où notre entendement est leurré par des habitudes de pensée.

## **Relativité générale**

Il y a eu une petite querelle en paternité entre Einstein et Hilbert qui s'est réglé à l'amiable, Hilbert reconnaissant que l'essentiel de l'analyse du problème était dû à

Einstein, sa contribution sur l'équation était simplement la résolution d'un problème mathématique (avec brio, car il a proposé une méthode bien plus générale que celle d'Einstein en définissant une action, l'action d'Hilbert, pour la relativité générale). Einstein qui s'était de son côté attaché à transposer la gravitation sous une forme relativiste avait bien établi son équation avant Hilbert, mais de manière moins élégante.

La forme géométrique de la théorie de la relativité générale qui est une théorie de la gravitation montre qu'on peut décrire, par exemple l'univers, par sa géométrie qui dépend de ce qui constitue l'univers.

Le grand intérêt de cette formulation est qu'elle permet de prendre en compte une "non-linéarité" qui semble nécessaire : tous les objets contribuent à définir la géométrie de l'univers auquel, en retour, tous ces mêmes objets vont se coupler (ils vont suivre des géodésiques de la géométrie de cet univers). La boucle est bouclée.

Magnifique solution mettant en œuvre cette récursivité où l'objet (celui qui fait subir) est aussi le sujet (celui qui subit). Un modèle qui pourrait servir de paradigme pour des phénomènes comme celui la conscience ?

Autre beauté de la solution, l'univers ainsi défini est "auto-suffisant", (l'espace-temps est défini par ce qu'on appelle une variété en mathématiques) autrement-dit, il n'a besoin



de rien d'autre que lui-même pour exister et être totalement défini. Cela élude le problème d'une création et le "réduit" à celui d'une existence.

## **Mécanique quantique**

### **Généralités**

De nombreux scientifiques ont contribué à cette théorie, tellement étrange que son interprétation physique est toujours sujette à débat, même si l'interprétation de l'école de Copenhague fait référence.

Face à la nature étrange, très différente de ce que nous présentait le monde de la physique et mécanique classique, que les scientifiques découvraient il est intéressant de noter l'approche de W. Heisenberg qui proposait d'abandonner tous les concepts de la mécanique classique et de ne considérer que les "observables" (les phénomènes) comme éléments de la théorie.

Elles étaient présentées dans des matrices, associées à un formalisme qui permettait de faire des calculs. D'un autre côté Schrödinger développait une solution avec une équation d'une fonction d'onde, permettant de définir l'état d'un système. On connaît la suite, le formalisme définit aussi des opérateurs associés aux grandeurs physiques

(observables), qui appliqués à la fonction d'onde permettait de prédire des probabilités de résultats des mesures des observables.

Le formalisme de Heisenberg et celui de Schrödinger se sont révélés équivalents, ce qui est intéressant, car cela atteste que deux approches fondamentalement différentes pouvaient aussi bien décrire ce qu'on pouvait connaître de la nature.

### **Théorie, expérience et information**

La physique étant une science expérimentale, on oppose souvent théorie, supposée être une pure production de notre esprit pour modéliser et tenter de rendre intelligibles les phénomènes physiques et expérience, la contrepartie du modèle, applicable au monde physique .

Bachelard qui dans son ouvrage, “le nouvel esprit scientifique” développe ce supposé antagonisme, relie la théorie au “rationalisme “ (la raison de l'esprit) et l'expérience au “réalisme” (le monde physique).

Il s'efforce de montrer que, ces deux aspects ne sont pas séparables totalement et donc plus qu'une opposition, on a affaire à une sorte d'entité unique duale dont réalisme et rationalisme seraient des caractères non totalement séparables et indépendants. Tantôt

c'est le rationalisme qui fait progresser la science et le réalisme suit (on fait des expériences pour valider de nouveaux éléments ce que la nouvelle théorie prédit), tantôt c'est le réalisme qui par des expériences inexplicables va stimuler l'esprit des scientifiques afin de construire une nouvelle théorie qui les explique. Le rationaliste le plus intransigeant ne peut éviter de prendre en compte l'expérience et le réaliste le plus déterminé, pour construire ses expériences, ne peut ignorer la théorie, une expérience étant selon lui une théorie matérialisée.

Il conclut : “La physique est une métaphysique impure car elle doit rendre des comptes à l'expérience”.

Une expérience apporte, via des “mesures”, une information sur l'état d'un système. Ces mesures mettent en jeu généralement des instruments qui peuvent être sophistiqués, en vue de s'adapter au phénomène à étudier, d'où la remarque de Bachelard (une expérience inclut une part de théorie matérialisée).

En mécanique classique ceci n'a pas soulevé de débat philosophique notable sur le rôle de l'expérimentateur. On considérait un système à étudier. Il contient une information qu'on souhaite acquérir via un expérimentateur muni de son appareillage. Ces deux

systèmes vont entrer en interaction lors de la mesure. Ils sont considérés généralement comme deux systèmes indépendants qui reprennent leur “vie” propre après l’interaction.

En mécanique quantique il en est tout autre. La mesure, prélèvement d’une information sur le système, perturbe, réduit, voire détruit, fondamentalement l’information du système.

Ce n’est pas un acte passif (ou très faiblement actif) sans conséquences sur le système mais au contraire très actif. L’information n’est pas seulement acquise mais aussi prélevée (donc enlevée au système) et donc va réduire les degrés de liberté du système au point que, d’indéterminé il peut passer dans un état connu.

### **Illustration par les fentes de Young**

Le mécanisme qui conduit à cela a fait l’objet de différentes interprétations, mais, par exemple dans le problème des 2 fentes de Young, le fait de savoir (par un détecteur sur une fente) par quelle fente un photon est passé va modifier, même si le détecteur ne détecte rien (au quel cas on suppose qu’il est passé par l’autre fente) le phénomène observé. Le fait d’acquérir une information même lorsque rien ne se passe est appelé contra-factualité dans certains ouvrages (voir note [3]).

On comprend que, lorsque le détecteur attaché à une fente détecte quelque chose, il prélève une quantité d'information sur l'état, cela modifie le phénomène, par rapport à celui où il n'y a pas de détecteur, car une partie de son information lui a été prélevée et transmise à l'expérimentateur. Globalement l'information semble avoir été conservée si on considère un système qui inclut l'expérimentateur (elle a été transférée d'un sous-système à un autre)

Par contre lorsqu'il ne détecte rien, mais que ceci apporte, la même quantité d'information (l'information opposée sur l'état) c'est moins évident. Curieusement comme on n'a rien détecté, il semblerait qu'aucune information n'a été prélevée et que, comme on a le même résultat que quand on détecte le passage par une fente, on pourrait penser que l'information du système global a augmenté, mais au vu du résultat final, qui est le même du point de vue de l'information (même si celle-ci est différente) cela ne semble pas être le cas.

Peut-être qu'il faut prendre en compte l'activité du détecteur dans le bilan? Quoi qu'il en soit, ce résultat semble bien étrange.

Par contre, il est clair que c'est le fait qu'il y ait un détecteur dans le dispositif instrumental qui est important et qui différencie la situation par rapport au cas où il n'y en a pas.

Le dispositif expérimental est différent. L'interaction entre l'expérimentateur muni de son instrumentation avec le système est différente.

C'est cela qui, a priori, même si le dispositif expérimental ne détecte rien, parce que l'expérimentateur, qui a construit le dispositif expérimental, a prévu ce cas dans sa quête de l'information, va changer la phénoménologie observée !

Le rôle de l'expérimentateur, s'appuyant sur un modèle théorique, ne peut pas être ignoré. Il s'agit donc bien d'une interaction entre un système physique et l'esprit du physicien muni d'une théorie via son dispositif expérimental.

Certains, comme Wigner, voient dans la phénoménologie de la mécanique quantique observée, l'empreinte prégnante essentielle de l'esprit du physicien.

En mécanique quantique il semblerait alors plus adéquat d'évaluer et de considérer l'information, non pas au système étudié et à l'expérimentateur séparément, mais globalement associée au système global constitué du sous-système physique à étudier et

du sous système lié à l'expérimentateur en interaction, car au moment de l'interaction il ne forment qu'un système!

Si on néglige des erreurs lors de l'expérience, l'information donc l'entropie [2] du système global, considéré isolé, (incluant l'expérimentateur), avant l'expérience et après l'expérience devrait être identique (nous avons vu que la contra-factualité semble soulever un doute). L'information qui a été transférée d'un sous-système à l'autre sous-système reste dans le système global. [3]

Un formalisme, à développer, qui pourrait prendre en compte cela permettrait peut-être d'évacuer certains aspects très perturbants de la théorie...

[0] On peut prêter à notre esprit une indigence structurelle, toutefois remarquons que par sa capacité d'apprendre et d'évoluer nous ne pouvons pas porter de jugement définitif sur un état des lieux fait aujourd'hui. Il faut aussi tenir compte que certains concepts, comme l'espace et le temps, concepts inhérents à notre existence, sont si prégnants, et que malgré tous nos efforts pour s'en détacher, ils sont toujours souvent encore présents, en filigrane, dans nos raisonnements, ce qui en obère la signification. Voir exemple du paradoxe du voyageur de Langevin par exemple, en relativité restreinte.

[1] Ce point structurellement très important, cette limite étant impliquée dans la causalité, résultant du principe de relativité qui révèle un invariant de vitesse mais n'en spécifie pas la valeur. La valeur de de cette constante est une donnée expérimentale. voir: <https://astromontgeron.fr/SR-Penrose.pdf>

[2] Entropie et information sont deux présentations du même concept.

[3] Ce transfert d'information est encore plus évident dans l'illustration du problème des fentes de Young par Elitzur-Vaidman cité par R. Penrose (prix Nobel 2021) dans son livre "Les deux infinis et l'esprit humain- Champs Flammarion" où il s'agit de reconnaître dans un lot de bombes atomiques munies d'un détonateur constitué d'un miroir ultra-sensible tel qu'un photon l'active en me faisant bouger (mobile), celles qui sont opérationnelles de celles qui sont défectueuses où le miroir est bloqué, ce qui est indiscernable sans la détruire. On insère une bombe dont le détonateur miroir sert de miroir dans un dispositif quantique expérimental, sans savoir si elle est opérationnelle ou défectueuse.

Les auteurs montrent que leur dispositif quantique permet de sélectionner des bombes opérationnelles sans les détruire, en utilisant le mécanisme de contra-factualité. Autrement dit, alors que quand on insère la bombe dans le dispositif on ne sait pas si le



miroir est mobile ou bloqué, l'information est dans l'objet, mais pas dans la connaissance de l'expérimentateur, l'expérience va lui révéler cette information, moyennant un protocole, sans enlever cette information à la bombe (ce qui serait le cas par sa destruction pour les bombes opérationnelles). Pour plus d'information, voir par exemple :

<https://astromontgeron.fr/M%C3%A9canique%20quantique-1.pdf>