



Jean-François Colonna (CMAP/École polytechnique, www.ladamine.polytechnique.fr)

UNE REPRÉSENTATION IMAGÉE DES FLUCTUATIONS QUANTIQUES DU VIDE. Bien que le vide soit, en moyenne, dépourvu de particules, des paires particule-antiparticule de toutes sortes se créent spontanément et s'annihilent aussitôt.

D'autres exemples de structures qui prennent le dessus par rapport à leur réalisation matérielle sont le Web, les réseaux neuronaux du cerveau et le génome d'une espèce. Toutes ces structures continuent à fonctionner même quand des ordinateurs, des neurones ou des individus disparaissent. Ces exemples ne sont pas des analogies très strictes, mais, dans l'esprit, elles sont assez proches des arguments techniques qui s'appliquent à la théorie quantique des champs.

Un raisonnement assez voisin utilise l'intrication quantique pour appuyer l'idée que les structures sont au fondement de la réalité. L'intrication de deux particules est un effet holistique. Toutes les propriétés intrinsèques des deux particules, telle la charge électrique, ajoutées à toutes leurs propriétés extrinsèques, telle la position, ne suffisent pas à déterminer l'état du système de deux particules intriquées. Le tout est ici plus que la somme de ses parties. Le tableau atomiste du monde, dans lequel tout est déterminé par les propriétés de ses briques les plus élémentaires et la manière dont elles sont reliées dans l'espace-temps, se délite. Au lieu de considérer les particules comme primaires et l'intrication comme secondaire, peut-être devrions-nous envisager les choses dans l'autre sens.

Il paraît étrange qu'il puisse y avoir des relations sans *relata*, en d'autres termes sans objets soumis à ces relations. C'est un peu comme si l'on imaginait un mariage sans époux. De nombreux physiciens et

philosophes trouvent eux aussi cela bizarre et pensent qu'il est impossible d'obtenir des objets tangibles simplement sur la base de relations.

Certains avocats du réalisme structurel ontologique essaient alors de proposer un compromis. Ils ne nient pas que les objets existent ; ils prétendent seulement que les relations, ou structures, priment sur le plan ontologique. Autrement dit, les objets n'ont pas de propriétés intrinsèques, seulement des propriétés dues à leurs relations avec d'autres objets. Mais cette position semble s'arrêter au milieu du gué. En effet, tout le monde est d'accord pour affirmer que les objets ont des relations ; la seule position nouvelle et intéressante serait que tout émerge purement sur la base des relations.

En fin de compte, le réalisme structurel est une idée qui a le mérite de bousculer nos *a priori*, mais qui a besoin d'être davantage développée avant que nous sachions si elle peut nous délivrer de nos problèmes d'interprétation.

Une autre alternative pour comprendre la théorie quantique des champs part d'une idée simple. Bien que les interprétations en termes de particules et en termes de champs soient d'habitude considérées comme radicalement différentes l'une de l'autre, elles ont quelque chose de crucial en commun. Toutes deux supposent que les unités fondamentales du monde matériel sont des entités individuelles persistantes auxquelles on peut attribuer des propriétés. Ces entités sont soit des particules, soit, dans le cas de la théorie

des champs, des points de l'espace-temps. Beaucoup de philosophes, dont je fais partie, pensent que cette division en objets et en propriétés pourrait être la raison profonde pour laquelle l'approche des particules et celle des champs se heurtent toutes deux à des difficultés. Nous pensons qu'il vaudrait mieux envisager les propriétés comme étant la seule et unique catégorie fondamentale.

Généralement, les gens supposent que les propriétés sont des « universels », en d'autres termes qu'elles appartiennent à une catégorie générale abstraite. Elles sont toujours possédées par des objets particuliers ; elles ne peuvent pas exister indépendamment (en fait, Platon se les représentait comme existant indépendamment, mais seulement dans un monde supérieur, pas dans le monde qui existe dans l'espace et le temps). Par exemple, quand vous pensez au rouge, vous pensez généralement à des objets rouges particuliers, et non à une entité désincarnée nommée « rougeur ».

Mais on pourrait inverser cette façon de voir. On pourrait considérer les propriétés comme ayant une existence, indépendamment des objets qui les possèdent. Les propriétés pourraient être ce que les philosophes appellent des « particuliers » : des entités individuelles concrètes. Ce que nous appelons couramment un objet pourrait alors n'être en fait qu'un faisceau de propriétés : couleur, forme, consistance et ainsi de suite.

Un monde de propriétés et non d'objets

Parce que cette conception des propriétés comme des particuliers plutôt que comme des universels diffère de la vision habituelle, les philosophes ont introduit un nouveau terme pour les décrire : ce sont des « tropes ». Ce terme un peu bizarre véhicule malheureusement des connotations inappropriées, mais il est maintenant établi.

Interpréter les objets comme des faisceaux de propriétés n'est pas la manière habituelle de conceptualiser le monde, mais cela devient moins mystérieux si nous essayons de désapprendre notre représentation du monde et que nous nous replaçons dans les premières années de notre vie. Quand un enfant voit un ballon et en fait l'expérience pour la première fois, il ne perçoit pas à proprement parler un ballon. Ce qu'il perçoit est une forme ronde, d'une certaine teinte de rouge, avec une consistance un

expérimenter

observer

chercher

comprendre

découvrir

partager

inventer

jouer

explorer

de l'infiniment **grand** à l'infiniment petit

FÊTE^{DE} LA SCIENCE

9 - 13 octobre 2013

Retrouver toutes les animations dans votre région
www.fetedelascience.fr
www.facebook.com/fetedelascience
[#FeteDeLaScience](https://twitter.com/FeteDeLaScience)



Accès site mobile

peu élastique. Ce n'est que plus tard qu'il associe ce faisceau de perceptions à un objet cohérent d'un certain type, à savoir un ballon. La prochaine fois qu'il verra un ballon, il dira simplement « Tiens, un ballon! », et il oubliera l'appareil conceptuel qui intervient dans cette perception qui n'est immédiate qu'en apparence.

Dans l'ontologie des tropes, nous revenons aux perceptions directes de l'enfance. Ici-bas dans le monde, les choses ne sont que des faisceaux de propriétés. Nous ne commençons pas par voir un ballon, auquel nous attachons ensuite des propriétés. Au contraire, nous avons un ensemble de propriétés et ensuite seulement nous nommons cela un ballon. Un ballon n'est rien de plus que ses propriétés.

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Esfeld, *Ontic structural realism and the interpretation of quantum mechanics*, *European Journal for Philosophy of Science*, vol. 3(1), pp. 19-32, 2013.

M. Kuhlmann, *Quantum field theory*, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, hiver 2012, <http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/quantum-field-theory>

M. Kuhlmann, *The Ultimate Constituents of the Material World : In Search of an Ontology for Fundamental Physics*, Ontos Verlag, 2010.

J. Bricmont et H. Zwirn (dir.), *Philosophie de la mécanique quantique*, Vuibert, 2009.

D. J. Baker, *Against field interpretations of quantum field theory*, *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 60(3), pp. 585-609, 2009, <http://philsci-archive.pitt.edu/4132/1/AgainstFields.pdf>

M. Kuhlmann et al. (éds.), *Ontological Aspects of Quantum Field Theory*, World Scientific, 2002.

De la métaphysique pour guider la physique

Appliquons cette idée à la théorie quantique des champs : ce que nous nommons un électron est en fait un faisceau de diverses propriétés ou tropes : trois propriétés essentielles fixes (masse, charge et spin), ainsi que de nombreuses propriétés non essentielles changeantes (position, vitesse). Cette conception en termes de tropes aide à comprendre la théorie quantique des champs. Par exemple, cette théorie prédit que les particules élémentaires peuvent apparaître subitement et disparaître tout aussi rapidement. Le comportement du vide en théorie quantique des champs est particulièrement déconcertant : la valeur moyenne du nombre de particules est zéro, et pourtant le vide fourmille d'activité. D'innombrables processus y ont lieu en permanence, impliquant la création suivie de l'annihilation de toutes sortes de particules.

Dans une ontologie à base de particules, cette activité est paradoxale. Si les particules sont fondamentales, comment alors peuvent-elles se matérialiser ? À partir de quoi se matérialisent-elles ? Dans l'ontologie des tropes, la situation est naturelle. Le vide, bien que vide de particules, contient des propriétés. Une particule est ce que l'on obtient quand ces propriétés se regroupent d'une certaine façon.

Comment peut-il y avoir autant de controverse fondamentale sur une théorie aussi fructueuse, empiriquement, que la théorie quantique des champs ? La réponse est simple. Bien que la théorie nous dise ce que nous pouvons mesurer, elle parle en

énigmes dès lors qu'il est question de la nature des entités à l'origine de nos observations. La théorie rend compte de nos observations en termes de quarks, muons, photons et divers champs quantiques, mais elle ne nous dit pas ce qu'est véritablement un photon ou un champ quantique. Et elle n'a pas besoin de le faire, parce que les théories physiques peuvent être empiriquement valables en grande partie sans régler ces questions métaphysiques.

Pour de nombreux physiciens, c'est suffisant. Ils adoptent une attitude dite instrumentaliste : selon eux, les théories scientifiques ne représentent pas nécessairement la réalité du monde. Pour eux, les théories ne sont que des outils pour faire des prédictions expérimentales. Cependant, de nombreux physiciens ont le sentiment que leurs théories décrivent au moins certains aspects de la nature telle qu'elle est avant qu'une mesure ne soit effectuée. Après tout, que fait la science, sinon tenter de comprendre le monde ?

Pour broser un tableau complet du monde physique, il est nécessaire de combiner la physique et la philosophie. Ces deux disciplines sont complémentaires. La métaphysique fournit divers cadres concurrents pour l'ontologie du monde matériel, même si, au-delà des questions de cohérence interne, elle n'est pas en mesure de trancher entre eux. Quant à la physique, il lui manque un exposé cohérent des questions fondamentales, telles que la définition de ses objets, le rôle de l'individualité, le statut des propriétés, la relation entre objets et propriétés, et la signification de l'espace et du temps.

La réunion des deux disciplines est particulièrement importante à certaines époques où les physiciens sont amenés à revisiter les fondements de leur domaine. La pensée métaphysique a guidé Isaac Newton et Albert Einstein, et elle influence beaucoup de ceux qui essaient d'unifier la théorie quantique des champs et la théorie de la gravitation d'Einstein. Les livres et articles écrits par des philosophes sur la physique quantique et la théorie de la gravitation remplissent des bibliothèques entières, alors que nous ne faisons que commencer à explorer la réalité sous-jacente à la théorie quantique des champs. Espérons que les alternatives aux visions classiques des particules et des champs que nous développons inspireront les physiciens dans leurs efforts pour réaliser enfin la grande unification. ■