

champs. De l'avis d'un nombre croissant de personnes, ce qui compte vraiment, ce ne sont pas les objets, mais les relations qu'ils entretiennent. Cette vision rompt avec les conceptions atomistes et pointillistes du monde matériel encore plus radicalement que ne pourraient le faire les modifications les plus draconiennes des ontologies à particules et champs.

Initialement, cette position connue sous le nom de réalisme structurel a été introduite dans une version assez modérée, le « réalisme structurel épistémique ». Selon ce dernier, nous ne pourrions jamais connaître la véritable nature des choses, mais seulement leurs liens les unes avec les autres. Prenons l'exemple de la masse. Perçoit-on ou mesure-t-on la masse elle-même ? Non. On ne perçoit ou mesure que ce qu'elle signifie pour d'autres entités ou, concrètement, comment un corps massif est attiré par un autre corps massif par gravitation. La structure du monde, qui traduit comment les choses dépendent les unes des autres, est la composante la plus stable des théories physiques. De nouvelles théories pourraient bouleverser notre conception des briques élémentaires du monde, mais elles tendent à préserver les structures.

Le réalisme structurel à la rescousse ?

Et maintenant se pose la question suivante : pour quelle raison ne pouvons-nous connaître que les relations entre les choses et non les choses elles-mêmes ? La réponse la plus directe consiste à affirmer que les relations sont tout ce qui existe. Ce saut fait du réalisme structurel une proposition plus radicale, nommée réalisme structurel ontologique.

Les nombreuses symétries que l'on a découvertes en physique moderne étayent le réalisme structurel ontologique. En physique quantique comme dans la théorie de la gravitation d'Einstein (la théorie de la relativité générale), certains changements de configuration du monde, connus sous le nom de transformations de symétrie, n'ont pas de conséquences empiriques. Ces transformations échangent les éléments individuels dont le monde est constitué, mais laissent leurs relations inchangées. Par analogie, considérez un visage symétrique vu dans un miroir. Le miroir échange l'œil droit avec l'œil gauche, la narine droite

DES CHAMPS SEMÉS D'EMBÔCHES

Les physiciens nomment leur théorie de la matière « théorie quantique des champs ». Cela sonne comme une théorie des champs. Mais les champs supposément décrits par cette théorie ne sont pas ce que les physiciens entendent classiquement par le terme de « champ ».

Champ classique

Par définition, un champ est analogue à un fluide qui emplit l'espace. En chaque point, sa valeur est mesurable. Un exemple est le champ électrique : l'amplitude du champ électrique au point où se trouve une particule chargée détermine l'intensité de la force électrique exercée sur cette particule.

À chaque point est associée une valeur mesurable

Champ quantique

Les champs décrits par la théorie quantique ne correspondent pas à cette définition. À chaque point de l'espace n'est pas associée une quantité physique mesurable, mais un opérateur. Les probabilités de mesurer telle ou telle valeur d'une grandeur physique s'obtiennent en appliquant les opérateurs au « vecteur d'état » ψ , l'objet mathématique qui représente l'état du système entier.

À chaque point (x, y) est associé un opérateur $\hat{\phi}(x, y)$

avec la gauche, et ainsi de suite. Pourtant, toutes les positions relatives des traits du visage sont préservées. Ces relations sont ce qui définit véritablement un visage, alors que les qualificatifs « droite » et « gauche » dépendent de votre point de vue. Les objets que nous nommons particules et champs possèdent des symétries plus abstraites, mais l'idée est la même.

Selon le principe du rasoir d'Occam, les physiciens et les philosophes préfèrent les idées qui expliquent les phénomènes en utilisant le moins possible d'hypothèses. Dans le cas présent, on peut construire une théorie parfaitement valable en postulant l'existence de relations particulières sans avoir à supposer en plus des entités individuelles. Ainsi, les partisans du réalisme structurel ontologique affirment que nous ferions aussi bien de nous dispenser des

objets et de supposer que le monde est constitué uniquement de structures, ou de réseaux de relations.

On rencontre dans la vie quotidienne de nombreuses situations où seules les relations comptent, et où décrire les objets en relation serait une complication inutile. Dans un réseau de métro, par exemple, il est crucial de savoir comment sont connectées les différentes stations. À Paris, la station Odéon est directement connectée à la station Mabillon, alors que depuis la station Saint-Germain-des-Prés vous devez changer de ligne au moins une fois, bien que Saint-Germain-des-Prés soit plus proche de Mabillon que Odéon. C'est la structure des connexions qui importe. Le fait que la station de métro Saint-Germain-des-Prés ait été ou non récemment rénovée est anecdotique pour celui qui doit emprunter le système.



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