

Sohn-Rethel et les mutations de la physique moderne

Rainer Gruber

Nous publions ici, avec l'aimable accord de la maison d'édition scientifique des Presses Universitaires de Strasbourg et la collaboration gracieuse de Françoise Willmann, ce texte de Rainer Gruber paru dans le Hors-Série n°15 de 2020 de la revue Recherches Germaniques consacré aux apports d'Alfred Sohn-Rethel [1]. Comme nous aurions apprécié d'échanger avec l'auteur, c'est avec regrets que nous avons appris à cette occasion son décès pendant l'été 2022. Nous considérons de ce fait cette traduction comme un hommage posthume. Rainer Gruber était physicien retraité de l'Institut Max Planck pour la physique extraterrestre et s'intéressait aux domaines limitrophes impliqués par la physique moderne, telle que la théorie de la connaissance et la théorie esthétique. Ce texte nous paraît apporter, à la suite de Sohn-Rethel, une précision fondamentale en situant la forme a priori de la connaissance non pas dans le cerveau du scientifique (c'est-à-dire en dernière instance dans un produit de l'évolution encore perçu comme « naturel »), mais bien dans la forme des rapports sociaux historiquement déterminés et accessible par l'approche dialectique, seule capable de dépasser l'aporie classique de l'idéalisme et du matérialisme.

Grundrisse. Psychanalyse et capitalisme

I.

Sohn-Rethel insista sur le fait que le conflit entre l'utilisation de la dialectique dans les sciences sociales, d'une part, et l'utilisation d'une logique d'exclusion dans les sciences naturelles, d'autre part, doit s'acheminer vers une résolution, faute de quoi toute utopie politique doit nécessairement déboucher sur une domination technocratique. Je voudrais présenter une solution possible à ce conflit. Elle résulte d'une analyse du mouvement propre de la physique.

Très grossièrement, on peut dire que depuis leur naissance, le capitalisme et la physique marchent main dans la main, comme frère et sœur. Le capitalisme a favorisé le développement de la physique et la physique a favorisé le développement du capitalisme.

Cette fraternité s'enracine dans la logique d'exclusion marquée par le postulat de la propriété privée : à moi et pas à toi. Elle déclenche l'abstraction de l'échange qui, selon Sohn-Rethel, est devenue la base de la formation des catégories et des formes de l'intuition de la pensée rationnelle européenne. Celles-ci constituent le cadre de pensée de la physique traditionnelle.

Tous deux, le capitalisme et la physique, aveuglent : le capitalisme avec la libération d'une productivité explosive de marchandises qui ne trouvent plus de destinataires ; la physique avec la proximité apparemment intime avec une nature qui, obéissant à des lois, a porté sa capacité

de prédiction à des hauteurs vertigineuses, lorsqu'elle a appris par exemple à déduire les lois du mouvement de l'univers et qu'elle est même capable de prédire l'existence de particules élémentaires spécifiques dans cet immense univers vide, avant même qu'elles ne soient trouvées expérimentalement.

Les thèses de Sohn-Rethel sont d'une grande actualité, car elles permettent de démasquer l'aura acquise par la physique, en raison de sa connaissance des lois de la nature et de la puissance de prédiction qui en découle.

Je montrerai que l'approche de Sohn-Rethel fournit la clé pour comprendre la physique moderne, en fournissant à celle-ci la clé pour se comprendre elle-même.

II.

Depuis 1900, la physique a mis fin à son rapport de fraternité avec l'économie fondée sur l'échange. Mais cela se fait dans le dos des physiciens. Une caractéristique essentielle de la physique classique est qu'elle repose sur des séparations. Le temps est séparé de l'espace, l'espace n'a rien à voir avec le temps ; de même, la matière est séparée du temps et de l'espace, dans lesquels elle se déplace de manière autonome. Les ondes et les particules semblent s'exclure mutuellement, les particules classiques sont localisables, alors que les ondes ne le sont par principe pas. C'est-à-dire que la physique classique possède une structure logique soumise au postulat d'exclusion, oui ou non, *tertium non datur* ; une structure que Sohn-Rethel ramène à la base génétique de l'abstraction de l'échange, la propriété privée, ce qui est à moi n'est pas à toi, sans lequel l'échange n'est pas possible.

Comme un serpent qui mue, la physique moderne s'est débarrassée de la peau de la physique classique, conditionnée par l'abstraction de l'échange. Elle s'est débarrassée de presque toutes les séparations :

– La séparation du temps de l'espace — promue par Newton au rang de fondement de la physique classique — est supprimée dans la théorie de la relativité restreinte. Les formes de l'intuition de l'espace et du temps, jusqu'alors strictement séparées, sont fusionnées en un seul espace-temps.

– La séparation de la matière d'avec l'espace-temps — immortalisée par l'image d'une matière se déplaçant dans l'espace et le temps — est supprimée dans la théorie de la relativité générale [2] (TRG). Désormais, la matière conditionne la métrique, c'est-à-dire que les masses déterminent la courbure de l'espace-temps et que la courbure de l'espace-temps dirige le flux de la matière.

– En mécanique quantique, onde et particule se conditionnent mutuellement, l'une étant en quelque sorte l'envers de l'autre.

Il s'agit là d'étapes d'une évolution de la physique, abandonnant une logique basée sur un axiome d'exclusion pour se tourner vers une dialectique dont les contours sont déjà clairement visibles.

III.

Au vu des formulations théoriques de la TRG, de la théorie des particules élémentaires ainsi que de la théorie quantique, on peut constater que le principe d'un déterminisme causal est relayé par un principe de conditionnement réciproque.

En voici deux exemples : dans la TRG, il est apparu qu'il ne peut pas exister d'objet dit absolu, c'est-à-dire de structure ayant des effets sans être elle-même un effet. L'inconditionnalité avec laquelle elle fait de ce principe dialectique son principe directeur distingue la TRG de toutes les autres théories de la physique. Norton [3] a mis cela en évidence en 1993 dans son résumé de huit décennies de débat sur une interprétation appropriée de la TRG.

Cela signifie, par exemple, que les structures universelles, telles que celles représentées par les systèmes de coordonnées euclidiens rigides, ne sont plus recevables. Elles caractérisent un espace homogène, une structure spatiale qui, selon Sohn-Rethel, a pour mission d'assurer la validité du postulat de l'échange dans le temps et l'espace. Leur caractéristique est l'éternelle répétition de ce qui est équivalent à soi-même, mise en scène par la chaîne des actes d'échange et reflétée dans la représentation de systèmes de coordonnées linéaires.

L'espace riemannien, en revanche, n'admet que des systèmes de coordonnées définis localement. Cela signifie en particulier que toute modification d'une grandeur physique d'un moment de l'espace à un point voisin doit être complétée par ce que l'on appelle une « connexion » qui, lors du passage au point voisin, tient également compte de l'influence de la modification du système de coordonnées.

En mécanique quantique, il apparaît que les particules et les ondes ne sont plus que les deux faces d'une même médaille. Les paradoxes de la mécanique quantique sont bien connus : si l'on demande à un électron : « es-tu une particule ? », il répond par l'affirmative, avec telle et telle masse, et cette réponse est vraie selon toutes les règles de l'art physique, c'est-à-dire que l'expérience peut être répétée encore et encore avec le même résultat. Mais si l'on demande au même électron : « Es-tu une onde ? » Il répond également par « oui » et indique sa longueur d'onde. Et cette réponse est également vraie au sens de la physique : elle peut être confirmée expérimentalement autant de fois que l'on voudra. Le problème est que ces réponses se contredisent l'une l'autre : on peut localiser une particule, mais par principe même, on ne peut localiser une onde. Cela signifie que tant que nous appliquons une logique basée sur un postulat d'exclusion, du oui *ou* du non — ou bien ou bien —, nous n'obtenons jamais que la moitié de la vérité. Le principe du conditionnement réciproque est devenu fondamental dans la physique moderne.

IV.

J'en viens à mon point le plus important : il s'avère qu'en physique les conceptions de l'espace [4] ont une importance fondamentale [5]. Leur véritable mission est d'encoder mathématiquement la condition de possibilité de la mesure. De manière surprenante, il apparaît que ces conditions sont identiques aux équations fondamentales de la physique. Cela vaut pour toutes les branches de la physique : la TRG, la mécanique quantique, la théorie des particules élémentaires, l'électrodynamique et la mécanique classique.

La conception de l'espace propre à chacune de ces branches encode la condition de possibilité de la mesure dans le domaine concerné et celle-ci coïncide avec l'équation du mouvement qui caractérise physiquement le domaine. La proximité avec la formule kantienne de la condition de possibilité de la connaissance est reconnaissable. Celle-ci a permis à la philosophie kantienne de se désolidariser de la métaphysique. En physique, elle permet de se débarrasser de ce qui, dans la confrontation entre la dialectique et la logique d'exclusion, semble être le plus grand fardeau : l'énorme capacité de prédiction de la physique. Eugene Wigner, lauréat du prix Nobel en 1963, a décrit cette capacité dans un article très remarqué en 1960 en parlant de « l'effectivité déraisonnable des mathématiques dans les sciences de la nature » [6].

Cette puissance, une flèche toujours prête à servir dans le carquois des apologistes d'une logique de pensée rationnelle, basée sur le postulat d'exclusion *tertium non datur*, trouve désormais son explication évidente : toute expérience réussie vérifie naturellement la condition de possibilité de la mesure. Mais si cette condition est identique à l'équation de base du domaine, alors chaque expérience doit nécessairement confirmer cette équation, ce qui a lieu, dans la pratique, sous la forme d'une confrontation laborieuse entre la conception des expériences et la mise en forme des conceptualisations théoriques pour décrire leurs résultats.

Ceci est la clé pour comprendre l'étonnante capacité de prédiction de la physique, ce que j'appellerais volontiers, en modifiant de manière plus incisive ce que dit Wigner, l'*unreasonable effectiveness of reason* — l'effectivité déraisonnable de la raison. Elle repose sur la systématique qu'Eddington a distillée à partir de son analyse de la théorie de la relativité générale, et elle fournit l'arrière-plan physique de ce que Kant a appelé son tournant copernicien. C'est ce que j'aimerais montrer dans les lignes qui suivent.

V.

Eddington, auteur d'un livre sur la théorie générale de la relativité [7] qui a connu onze éditions jusqu'aux années 70, qualifie en 1927 dans une conférence publique [8] la loi de la gravitation qui permet de prédire l'éclipse d'août 1999 de truisme [9], comparable à une prédiction qui dirait que $2+2=4$ serait toujours valable en 1999. Il appelle cette loi un *put-up job* [10] : la physique n'en retire que ce qu'elle y a elle-même mis auparavant.

Avec cette formulation, Eddington décrit de manière familière ce que Kant retient en 1781 comme étant le résultat de sa *Critique de la raison pure* : « C'est donc nous-mêmes qui introduisons l'ordre et la régularité dans les phénomènes, que nous nommons *nature*, et nous ne pourrions les y trouver, s'ils n'y avaient été mis originairement par nous ou par la nature de notre esprit. » [11] Dans les *Prolégomènes*, Kant précise : « L'entendement ne puise pas ses lois (*a priori*) dans la nature, mais les prescrit à celle-ci. » [12] Kant appelait cela sa révolution copernicienne. Elle n'a jamais vraiment trouvé sa place dans nos esprits, comme le montre l'utilisation jamais remise en question du terme de « sciences de la nature ».

Pour nous, le point crucial est qu'Eddington développe la même vue philosophique à partir de la physique. Il a tiré son appréciation désenchantée d'une analyse de la théorie de la relativité générale. A l'époque — en 1927 — il exprimait encore l'espoir que la théorie quantique en cours de développement aurait peut-être plus de succès et permettrait de soulever un tout petit coin du voile recouvrant la nature. Un examen plus approfondi montre que cet espoir est

également vain : le modèle standard actuel des particules élémentaires reproduit jusque dans ses moindres ramifications la physionomie de l'espace plat telle qu'elle a été exposée en 1938 par Élie Cartan, un mathématicien français, dans son livre sur les « spineurs » [13] — à une époque où personne n'avait la moindre idée d'une future théorie des particules élémentaires [14].

Les « spineurs », ce sont des paramètres qui décrivent la structure de l'espace plat lorsqu'il est constitué par des réflexions plutôt que des rotations. Dans la théorie des particules élémentaires, ils sont identifiés aux « fermions », les constituants de base de la matière.

VI.

Cela nous amène à comprendre une deuxième chose importante : l'idée d'espace qui encode la condition de possibilité de la mesure génère en même temps les objets de la théorie. Et ce n'est pas tout : elle contient aussi nécessairement la nature des interactions auxquelles ces objets sont soumis et qui les rendent mesurables pour nous. C'est le cas de la TRG, dans laquelle l'idée de mesure — codée dans l'« espace riemannien » — engendre les « trous noirs » ainsi que les « astres centraux de Kepler », qui interagissent au moyen de la métrique de cet espace, dès que cette métrique est identifiée au champ gravito-inertiel (c'est-à-dire : à la gravitation). Et cela s'applique deuxièmement à ce qu'on appelle le « modèle standard » des particules élémentaires, dès lors qu'on identifie les « spineurs » comme les composants de base de la matière, comme les « fermions », et ce qu'on appelle les « vecteurs p » de l'espace plat comme les « bosons », dont l'échange sert de médiateur à l'interaction.

La structure de l'espace plat découverte par Cartan est en effet déterminante pour le fait que nous avons affaire à trois types d'interactions dans la théorie des particules élémentaires : l'interaction électromagnétique, qui détermine notre vie quotidienne ; l'interaction faible, qui régit la transformation des particules entre elles, c'est-à-dire leur désintégration radioactive, et l'interaction forte, qui conditionne la cohésion des noyaux atomiques. Ce sont les invariants de l'espace plat « covariant » découverts par Cartan qui déterminent la structure de ces interactions, telle qu'elle est à la base de la théorie actuelle des particules élémentaires.

Le fait que dans l'idée d'espace, ce ne soient pas seulement les objets qui soient déterminés, mais aussi, dans le même temps, leurs interactions, est un indice de la manière dont les relations dialectiques s'insinuent dans les théories des physiciens sans qu'ils en aient l'intention : pour une approche dialectique, il est impératif que la méthode qui met les objets dans le monde établisse en même temps la manière dont sont constituées leurs interactions avec ce monde.

Nulle part dans ces déductions de l'existence de la matière en physique, le concept de nature ne joue le moindre rôle : ce qui nous apparaît comme une loi de la nature n'est rien d'autre que la condition de possibilité de la mesure — codée sous forme d'une équation mathématique.

La nature définie par la physique est un fétiche. L'homme qui mesure n'a affaire qu'à lui-même, qu'à sa volonté de mesurer.

VII.

Changement de décor : nous faisons de l'astronomie, nous regardons le ciel et nous voyons ceci : les planètes tournent autour du soleil. Pourquoi font-elles cela ?

Newton répond : parce que le soleil exerce une force d'attraction. Son raisonnement est aussi simple que convaincant : s'il n'y avait pas de force d'attraction, les planètes iraient tout droit et disparaîtraient dans les profondeurs de l'espace. Mais ce n'est pas le cas ! Il doit donc y avoir une force d'attraction.

La TRG le contredit : il n'y a pas de force. Les planètes filent tout droit sans aucune force. D'où vient cette contradiction ?

Dans notre argumentation si convaincante en faveur d'une force d'attraction, nous avons — sans nous en rendre compte — introduit un préjugé : nous sommes partis comme si de rien n'était de l'existence d'un espace plat.

Qu'est-ce que cela signifie : un espace plat ? Sur un plateau de table plat, une petite boule que je pousse avec le doigt ira effectivement tout droit. Mais que la surface de la table soit un tout petit peu courbée, et la boule ne se déplacera pas en ligne droite. L'exemple extrême nous est fourni par une boule de roulette. Elle tourne en rond, bien qu'il n'y ait pas de force d'attraction.

Lorsque nous supposons à tort que l'espace est plat, la « connexion » qui relie les systèmes de coordonnées locaux entre eux nous suggère la présence d'une force : nous imaginons la force de gravitation de Newton — comme conséquence de notre imagination de l'espace plat. Nous sommes victimes d'une illusion ! Voici ce qui nous arrive — à nous et à toute la physique classique.

La forme élégante et simple de la loi physique de la gravitation découverte par Newton n'est que le reflet mathématique de la définition de l'espace plat : sa force diminue avec le carré de la distance réciproque, parce que l'espace plat est défini mathématiquement par une « forme carrée ».

Nous commençons à entrevoir ce qu'Eddington a pu vouloir dire par le terme de *put-up job* : Nous avons présumé la conception d'un espace plat, et nous obtenons comme reflet de ce préjugé ce que nous prenons pour la force de gravitation de Newton, qui n'a aucune existence dans le monde de la TRG. Elle n'est que l'ombre de la « connexion ».

VIII.

Comprendre cela est d'une grande portée. L'existence de la force de gravitation semble si convaincante et réelle parce qu'elle permet un flot de prédictions : elle permet de prédire les orbites des corps célestes — pas seulement des planètes, mais aussi des comètes ; elle permet de calculer les marées et de comprendre l'aplatissement de la Terre aux pôles ; et ce n'est pas tout : grâce à sa loi, Newton a même pu calculer la précession de l'axe de la Terre — une rotation qui se produit une fois tous les 26.000 ans environ.

Ce pouvoir de prédiction a élevé la loi de Newton au rang de paradigme de la physique classique. Elle témoignait de la capacité de l'humanité à détecter des lois dans la nature et à les lui arracher. Elle a démontré le triomphe du cerveau humain sur le mouvement des astres.

Et pourtant, aussi évidente que paraisse l'existence d'une loi de la nature, c'est un leurre. La TRG détrône cette loi. Elle permet, à l'aide de la notion d'espace courbe, ou plus précisément d'« espace riemannien », de reproduire sans effort supplémentaire ces succès de la physique newtonienne.

Elle dit sans ambiguïté : il n'y a pas de force d'attraction, les planètes se déplacent sans aucune force, la force ne nous apparaît comme telle que dans la mesure où nous avons supposé par erreur que l'espace était plat. Et cette nouvelle théorie a eu raison : elle a pu déterminer avec précision « l'avance du périhélie » de Mercure — une minuscule rotation de l'ellipse que Mercure décrit autour du Soleil ; une anomalie que les astronomes connaissaient depuis longtemps, mais qu'ils n'avaient jamais été capables de calculer avec exactitude auparavant.

IX.

La théorie de la relativité générale est-elle donc simplement une meilleure théorie remplaçant la théorie de Newton ? Est-elle simplement un indice de ce que la nature préfère l'espace riemannien à l'espace plat ? Existerait-il une nature affirmant comme une loi que l'espace courbe est l'espace le plus exact ?

Physiquement, « l'avance du périhélie » de Mercure indique que de se fixer sur les systèmes de coordonnées rigides de la géométrie euclidienne, stimulée par l'abstraction de l'échange, est trop radical pour rendre la réalité. Mais quelle réalité ?

Soyons attentifs. Eddington n'a pas limité son verdict du *put-up job* au potentiel gravitationnel de Newton. C'est la TRG qu'il a explicitement qualifiée de *put-up job*. Comment en est-il arrivé là ?

Eddington avait compris ceci : mathématiquement, l'« espace riemannien » est clairement caractérisé par le « tenseur de Riemann-Christoffel », une entité à 4 indices. L'opération mathématique de « contraction » permet d'obtenir un tenseur à 2 indices, appelé « tenseur d'Einstein » en raison de son importance. Une contraction supplémentaire fournit un invariant. C'est là tout ce dont on dispose comme matériel mathématique indépendant pour ce modèle d'espace.

Pour décrire une métrique, il faut un tenseur à deux indices. Ainsi, si une métrique doit être introduite dans l'espace riemannien, elle doit nécessairement être identifiée à un multiple du tenseur d'Einstein. C'est, selon Eddington, le contenu mathématique quelque peu banal de la « première équation du champ d'Einstein » — c'est-à-dire l'équation du champ qui se rapporte à l'espace vide sans matière : selon Eddington, quiconque veut effectuer des mesures dans ces conditions doit nécessairement se baser sur cette équation !

Mais Eddington a découvert autre chose encore : en physique, cette équation dit que dans l'univers vide, ce qu'il a appelé le rayon de courbure « dirigé » est le même en tout lieu et dans toute direction. Une idée très étrange ! Une autolimitation de la nature troublante et à peine imaginable !

Eddington s'attaque encore une fois à la mesure, le savoir-faire de la physique, son obsession centrale. La mesure nécessite impérativement l'étalonnage de l'échelle. Normalement, l'existence d'un étalon indépendant, donné *a priori* de l'extérieur, suffit : pour la masse, on s'appuie communément sur le prototype international du kilogramme qui se trouve à Paris. Mais à quoi peut bien ressembler un étalonnage dans l'espace vide s'il n'existe pas d'étalon matériel externe sur lequel s'appuyer ?

La solution de l'énigme est la suivante : l'unique étalon disponible dans l'espace vide est le rayon de courbure directionnel présent en tout point et dans toute direction de l'« espace riemannien ». Si, selon Eddington, je mesure moi-même ce rayon de courbure avec une règle étalonnée au rayon de courbure local, il doit nécessairement en résulter toujours la même valeur. Or, c'est exactement ce que contient la « première équation du champ d'Einstein ».

Cette équation — conclut Eddington — ne reflète pas une loi de la nature. Elle permet bien plutôt de codifier la condition de possibilité de la mesure dans le cas où il n'y a pas d'échelle matérielle extérieure.

Ce qui est véritablement surprenant, c'est que ce sont les conclusions de cette même équation de mesure technique [15] qui ont rendu la théorie de la relativité générale célèbre dans le monde entier : « l'avance du périhélie » de Mercure, le décalage vers le rouge de la lumière dans le champ gravitationnel des étoiles et la déviation de la lumière dans le champ gravitationnel du Soleil, dont la confirmation observationnelle en 1919 a conduit à une euphorie qui fit d'Einstein une pop star auprès du public européen : tous ces phénomènes découlent sans autre forme de procès de la condition de possibilité de la mesure, telle qu'elle est définie dans la première « équation de champ d'Einstein » [16].

X.

Dans ce contexte, on comprend mieux ce qui a rendu l'espace plat si indispensable à la mécanique classique. Mathématiquement, sa forme carrée encode la condition de possibilité de la mesure dans le cas où une échelle extérieure est disponible. Comment faut-il comprendre cela ?

La forme carrée caractérise la propriété essentielle d'une règle de mesure : elle doit être *invariante* par rapport à la rotation et à la translation. Je traduis : lorsqu'un marchand de tissus mesure au marché le tissu vendu avec sa règle de couturier, le client s'attend à juste titre à ce que la règle conserve sa longueur lorsqu'on la retourne. Et elle ne doit pas non plus changer de longueur lorsque le marchand se déplace dans un autre coin du marché. C'est l'espace plat qui encode la condition de possibilité de la mesure en fournissant une forme caractéristique qui est invariante par rapport à la rotation et à la translation. Il fournit la base mathématique d'un étalon matériel.

Dans la TRG, qui ne connaît pas de jauge universelle, ce sont les rayons de courbure locaux « dirigés » — en tout lieu et dans toute direction — qui jouent le rôle d'échelles de jauges locales, dépendant du lieu de mesure et de la direction concernée. Nous ne les connaissons pas, et nous n'avons pas besoin de les connaître. Leur fonction n'apparaît que par le biais de la première équation du champ d'Einstein.

XI.

Nous en arrivons maintenant à une étape décisive. Une physique pour laquelle la mesure est devenue une obsession doit conférer à l'« espace riemannien » des propriétés métriques, décrites par une métrique appelée « tenseur métrique ». La percée décisive pour une interprétation physique de la TRG a été l'intuition d'Einstein d'identifier cette métrique avec le « champ gravito-inertiel » qui détermine l'interaction gravitationnelle des objets.

Mais de quels objets s'agit-il ? La « première équation du champ d'Einstein » conduit directement — sous réserve de quelques hypothèses de précision qui nous semblent évidentes — à une métrique bien précise, la métrique dite « de Schwarzschild ». De manière surprenante, cette métrique comporte l'existence d'objets que nous interprétons comme des « trous noirs », des entités mathématiques qui ne semblent être constituées que de notre conception de l'espace et du temps.

Et voilà qu'il nous arrive la même chose qu'à Newton. Tout comme Newton a pris son potentiel gravitationnel pour une propriété évidente et mesurable de la nature, ces objets peuvent eux aussi être détectés par la mesure dans la réalité. On les trouve en tant qu'objets extrêmement massifs au centre de presque toutes les galaxies d'une certaine taille.

Il existe un lien étrangement intime entre ces « trous noirs » d'apparence exotique et les « astres centraux de Kepler », comme notre bon vieux Soleil. Tous deux sont issus d'une transformation mathématique — nécessairement possible dans la TRG — des systèmes de coordonnées. Cette relation a permis à Einstein de calculer « l'avance du périhélie » de Mercure.

Il nous faut bien voir ceci : à aucun moment jusqu'ici, nous n'avons posé l'hypothèse de l'existence de la matière. Comment aurions-nous pu ? Il s'agirait d'objets absolus qui, selon Norton, sont irrecevables dans le monde de la TRG. La raison pour laquelle nous trouvons tout à coup des structures d'objets est que le tenseur d'Einstein, que nous avons déjà identifié avec le tenseur métrique, dépend lui-même de manière compliquée du tenseur métrique. Cela provoque une auto-détermination du tenseur métrique, à la suite de laquelle apparaissent les objets : nous évoluons dans un contexte véritablement dialectique.

Et cela nous amène à comprendre ceci : les objets auxquels nous avons affaire en astronomie sont une émergence de la conception de l'espace utilisée, en d'autres termes, ils proviennent de notre intention de mesurer.

XII.

Les conclusions que nous avons pu tirer de la TRG sont soutenues de manière impressionnante par la théorie des particules élémentaires. Nous trouvons ce résultat surprenant, à savoir que le modèle standard des particules élémentaires reproduit, jusque dans ses plus petites ramifications, la physionomie de l'espace plat telle que Cartan l'a développée en 1938 dans son livre déjà mentionné *La théorie des spineurs* [17].

L'équation de Dirac, qui est apparue en 1928 comme un phénix renaissant de ses cendres [18] et qui décrit depuis sans changement l'équation du mouvement de l'électron relativiste, n'est rien d'autre que l'équation de définition inversée des « spineurs ». Dans cette optique, les « antiparticules » sont une conséquence inéluctable de l'ambiguïté inhérente à la définition de la normale sur une surface. Les interactions proviennent des invariants de spineurs ainsi nommés par Cartan, que l'espace plat met à disposition.

Le modèle standard des particules élémentaires, basé sur ces interactions, décrit l'existence de classes entières de particules élémentaires trouvées expérimentalement ainsi que leurs propriétés — elles se présentent en doublets, en triplets ou en octets — avec une précision stupéfiante, de sorte qu'il a pu prédire certaines de ces particules avant qu'elles ne soient découvertes expérimentalement. L'électrodynamique quantique est capable de calculer le moment magnétique anomal du méson M_μ , un jumeau un peu plus lourd de l'électron, avec une précision de 11 chiffres après la virgule, et le résultat expérimental confirme cette valeur.

Nous trouvons pour la théorie des particules élémentaires le même résultat impressionnant que pour la TRG : la matière dans sa forme explicite est constituée par l'idée d'espace qui nous permet de coder la condition de possibilité de la mesure. Et nous sommes sur le point de résoudre l'énigme que représente la physique avec sa capacité *unreasonable* de prédiction : la théorie des particules élémentaires retrace, jusque dans ses plus infimes ramifications, la physionomie de l'espace plat. Les résultats sont ce qu'Eddington a qualifié de *put-up job*, une belle illustration physique de ce que Kant a appelé sa révolution copernicienne : nous trouvons ce que nous y avons introduit auparavant.

XIII.

Cette façon de voir éclaire d'un jour nouveau ce que l'on appelle les constantes fondamentales de la physique. Elles apparaissent comme des cicatrices inversées qui subsistent lorsque ce qui a été séparé auparavant est à nouveau réuni. La physique moderne annule les séparations qu'une pensée constituée par l'abstraction de l'échange a implémentées dans la description européenne du monde matériel.

Un exemple : dans cette pensée, l'espace et le temps étaient considérés comme des grandeurs totalement indépendantes l'une de l'autre, auxquelles étaient attribuées respectivement les dimensions [cm] et [s]. Par conséquent, dans la théorie de la relativité restreinte, qui revient sur cette séparation, une constante fondamentale c surgit avec la dimension d'une vitesse [cm/s]. Elle indique comment l'une des dimensions, désormais superflue, est historiquement liée à l'autre, maintenant qu'elles ne sont plus considérées comme séparées [19].

De la même manière, dans la TRG, la « constante de gravitation de Newton » [g/cm] confère aux dimensions de l'espace-temps [cm] et de la matière [g], séparées par la conception

newtonienne, une conditionnalité mutuelle. En mécanique quantique, c'est le « quantum d'action de Planck » [erg s] qui permet de concevoir l'onde et la particule comme étant l'envers l'une de l'autre [20].

En conséquence de cette vision, il est obsolète de vouloir déterminer la valeur numérique des constantes dites fondamentales à partir d'une théorie. Elles sont déterminées dans chaque cas par la manière dont la séparation des dimensions a été mise en œuvre historiquement (en Europe).

XIV.

Au premier abord, on peut avoir l'impression qu'une connaissance qui fait naître les objets physiques et leurs interactions de la construction mentale d'une conception de l'espace est profondément idéaliste. Un regard plus attentif montre qu'il n'en est rien. Il a fallu des siècles de confrontation avec la réalité de la mesure pour permettre à Newton de formuler en 1687 la conception de l'espace qui devait être à la base de la physique classique [21].

Il a fallu deux autres siècles de confrontations théoriques autour des concepts mathématiques de l'espace et la pratique physique pour qu'Einstein puisse introduire le concept d'espace de Riemann dans la physique en 1915 [22].

Et il a fallu d'énormes efforts pour constituer la théorie actuelle des particules élémentaires, c'est-à-dire pour tomber sur l'espace covariant décrit par Cartan — comme fondement approprié d'une mesure qui n'est en état de constituer les objets de son désir que dans l'interaction avec cette conception de l'espace.

XV.

La physique construit un monde parallèle dans lequel chaque objet sensible se voit affecter une valeur qui n'est plus capable que de différenciation quantitative ; un procédé dont il apparaît qu'il va comme un gant à celui de l'économie des sociétés productrices de marchandises. Selon Sohn-Rethel, les constructions abstraites de l'espace et du temps assurent la condition de possibilité de l'échange. En physique, elles assurent la condition de possibilité de la mesure.

En s'appuyant sur le caractère fétiche des marchandises mis en évidence par Marx [23], on peut identifier le concept de nature habituel dans le discours sur les sciences naturelles comme un « fétiche ». Apparaît comme rapport objectif des choses ce qui désigne en réalité un rapport social entre les humains. L'humain qui mesure ne rencontre que lui-même.

Comme l'échange, la physique crée un dédoublement des objets sensibles en un monde parallèle qui n'est plus capable que de comparaison quantitative. Le Soleil, en tant qu'objet sensoriel dispensant chaleur et lumière comme élixir de vie, joue dans cette image le rôle de valeur d'usage. La conception de l'espace produit l'objet de la physique, le Soleil, affecté d'une valeur d'échange, qui se compare gravitationnellement avec tous les autres objets du système solaire et au-delà. Les hommes qui mesurent produisent eux-mêmes l'apparence de l'objectivité

qui se présente à eux dans leurs mesures et les éblouit avec une *unreasonable effectiveness of reason*.

L'actualité de Sohn-Rethel — c'est le sens de ma contribution — n'est pas académique. Elle persiste tant qu'on ne sera pas venu à bout du conflit entre la prétention de la physique à une vérité de la nature et la dialectique en tant que manière spécifique de situer socialement la condition de possibilité de la connaissance.

Rainer Gruber, 2020

Traduction Sandrine Aumercier et Françoise Willmann

[1] Gruber Rainer, « Sohn-Rethel und die Häutungen der modernen Physik », *Recherches germaniques*, no 15, 2020, p. 179-192, <http://journals.openedition.org/rg/4127> (© Presses universitaires de Strasbourg)

[2] Désigné sous le sigle TRG dans la suite.

[3] John Norton, « General covariance and the foundations of general relativity: Eight decades of dispute », dans *Reports on Progress of Physics*, 56, 1993.

[4] Lorsque je parle d'espace dans ce qui suit, c'est toujours au sens mathématique du terme et cela englobe automatiquement l'espace-temps, à moins que je ne parle explicitement d'espace et de temps.

[5] Tout au long de sa contribution, Rainer Gruber utilise le terme de « Raumkonzept », que nous traduisons par « conception de l'espace » ; il évite ainsi le « concept » philosophique (Begriff). Il va de soi qu'il s'agit de la façon dont on conçoit l'espace, et non pas d'une opinion. [NdT]

[6] Eugene P. Wigner: « The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences », dans *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 13, 1960.

[7] Arthur Stanley Eddington, *The Mathematical Theory of Relativity*, New York 1975 [1923].

[8] Arthur Stanley Eddington, *The Nature of the Physical World*, London 1942 [1928].

[9] *Ibid.*, p. 288 : « [l'éclipse] prédite comme une conséquence de la loi de la gravitation [...] dont nous avons trouvé qu'elle était un simple truisme ».

[10] *Ibid.*, p. 145 : « La loi de la gravitation est — un put-up job. »

[11] Immanuel Kant, *Critique de la raison pure*, Paris, Gallimard, 1980, p. 730-731.

[12] Immanuel Kant, *Prolégomènes à toute métaphysique future qui pourra se présenter comme science*, trad. Jacques Rivelaygue, dans *Œuvres philosophiques*, tome 2, Paris, La Pléiade, 1985 [1783], p. 97.

[13] Elie Cartan, *La théorie des spineurs*, Paris, 1981 [1938].

[14] L'émergence de la mécanique quantique à partir de la translation et de l'invariance galiléenne des espaces homogènes a été démontrée par Jauch en 1968. Voir à ce sujet Josef Jauch, *Foundations of Quantum Mechanics*, Londres, 1968.

[15] En relation avec l'équation de la géodésique, l'équivalent du mouvement sans force de Newton dans un espace courbe.

[16] Arthur Stanley Eddington, *The Mathematical Theory of Relativity*, *op. cit.*, p. 88-92.

[17] Elie Cartan, *La théorie des spineurs*, *op. cit.*

[18] Paul A. M. Dirac, « The Quantum Theory of the Electron », dans *Proceedings of the Royal Society*, 1928.

[19] Dans la théorie de la relativité restreinte, c désigne également la vitesse de la lumière, qui apparaît ici comme une constante fondamentale. Dans l'ART, la vitesse de la lumière peut prendre une valeur différente d'un endroit à l'autre et même au même endroit dans différentes directions.

[20] Le quantum d'action de Planck identifie le vecteur d'onde covariant avec les mesures contravariantes d'énergie et d'impulsion de la mécanique classique.

[21] Isaac Newton, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, Tome I et II, Paris, Hachette BnF, 2016 [1687].

[22] Albert Einstein, *Akademie-Vorträge: Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1914–1932*, Weinheim, 2005.

[23] Karl Marx, *Le Capital*, Tome I, Paris, PUF, 1993 [1867], p. 81.