

La relativité selon Poincaré De l'idée au principe

Pierre Kerszberg

Volume 31, Number 1, Spring 2004

Poincaré et la théorie de la connaissance

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/008933ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/008933ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Société de philosophie du Québec

ISSN

0316-2923 (print)

1492-1391 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Kerszberg, P. (2004). La relativité selon Poincaré : de l'idée au principe. *Philosophiques*, 31(1), 39–56. <https://doi.org/10.7202/008933ar>

Article abstract

Poincaré's conception of the physical principle of relativity is examined in relation to the problematical connection between convention and the classical notion of truth. The formal expression of the principle does not completely express all of its possible senses, which are all rooted in the idea of relativity. The latter is connected with both the prescientific experience of the world and the ideal of the unity of nature. This leads back to the significance of Poincaré's worldview at large, explaining in particular his resistance to Einstein's.

La relativité selon Poincaré

De l'idée au principe

PIERRE KERSZBERG

Université de Toulouse-Le Mirail

pierre.kerszberg@univ-tlse2.fr

RÉSUMÉ. — La conception de Poincaré du principe physique de relativité est examinée en rapport avec le lien problématique entre la notion de convention et celle de vérité au sens classique. L'expression formelle du principe ne recouvre pas parfaitement ses multiples sens possibles, tous ancrés dans l'idée de relativité, qui elle-même renvoie tant à l'expérience préscientifique du monde qu'à l'idéal d'unité de la nature. On est ramené à la portée générale de la conception du monde de Poincaré, qui explique en particulier sa résistance à la théorie de la relativité d'Einstein.

ABSTRACT. — Poincaré's conception of the physical principle of relativity is examined in relation to the problematical connection between convention and the classical notion of truth. The formal expression of the principle does not completely express all of its possible senses, which are all rooted in the idea of relativity. The latter is connected with both the prescientific experience of the world and the ideal of the unity of nature. This leads back to the significance of Poincaré's worldview at large, explaining in particular his resistance to Einstein's.

Redéfinition de la vérité scientifique

Selon un argument devenu assez courant, le conventionnalisme de Poincaré aurait constitué un obstacle épistémologique à la fondation d'une nouvelle physique comme la théorie de la relativité restreinte. À l'encontre de cet argument, on a pu également soutenir qu'en fait, Poincaré a découvert la relativité restreinte précisément parce que sa philosophie avait une valeur heuristique ; néanmoins certaines ambiguïtés propres à cette même philosophie ont empêché ses contemporains d'apprécier la véritable valeur de sa contribution¹. Le but que nous nous fixons ici est d'essayer de tirer quelques enseignements de ce conflit d'interprétation, en rejetant tout à la fois la stérilité et l'ambiguïté du conventionnalisme. La philosophie de Poincaré est animée par une véritable vision qui va au-delà des théories constituées, qui renoue en profondeur avec une réflexion sur la condition de possibilité de la science. En ce qui concerne justement la relativité, la vision en question soutient le passage de l'idée (tirée de l'expérience) au principe (à la base des lois de la physique moderne et contemporaine), mais ce faisant,

1. Voir J. Giedymin, *Science and Convention. Essays on Henri Poincaré's Philosophy of Science and the Conventionalist Tradition*, Oxford, Pergamon Press, 1982.

elle porte aussi l'idée au-delà de sa formalisation et de sa réalisation sous forme de principe.

Ni Galilée ni Newton n'ont jamais formulé un principe de relativité. Galilée décrit le mouvement des papillons et des poissons lorsqu'ils se déplacent ou qu'on les déplace, pour conclure à la nullité de ce déplacement dans certains cas; Newton énonce l'idée de relativité dans un corollaire aux axiomes ou lois du mouvement. Seul Leibniz, dans une certaine mesure, s'était approché d'une authentique formulation du principe. Bien avant la formulation par Einstein de la théorie de la relativité restreinte en 1905, Poincaré est bien le premier à formuler le principe de relativité, et il le fait de telle sorte qu'apparaît son rapport étroit avec le principe d'inertie. Poincaré commence par chercher une formulation du principe d'inertie, telle que ce principe n'apparaisse ni comme une vérité *a priori* ni comme un fait expérimental. Il l'énonce sous cette forme: «L'accélération d'un corps ne dépend que de la position de ce corps et des corps voisins et de leurs vitesses².»

La parenté avec le principe de relativité est tout à fait frappante, puisque celui-ci s'énonce:

Le mouvement d'un système quelconque doit obéir aux mêmes lois, qu'on le rapporte à des axes fixes, ou à des axes mobiles entraînés dans un mouvement rectiligne et uniforme [...] les accélérations des différents corps qui font partie d'un système isolé ne dépendent que de leurs vitesses et de leurs positions relatives, et non de leurs vitesses et de leurs positions absolues, pourvu que les axes mobiles auxquels le mouvement relatif est rapporté soient entraînés dans un mouvement rectiligne et uniforme³.

Comme on le voit, la seule différence significative entre inertie et relativité tient au fait que la première relève des coordonnées, alors que la seconde relève des différences de coordonnées. Dans les deux cas, la formulation proposée l'est pour couper court à une alternative paralysante: le principe n'est ni une vérité *a priori* ni un fait expérimental. Il s'agit de montrer que s'ouvre une troisième voie, où l'expérience constitue le point de départ d'une généralisation; en retour la forme généralisée constitue le fondement de l'expérience. (Poincaré appelle sa propre version du principe d'inertie «principe d'inertie généralisé».)

La généralisation, selon Poincaré, est l'un des trois types d'hypothèses admissibles en science, à côté de l'hypothèse dite «naturelle» (comme la symétrie, ou comme celle selon laquelle l'influence des corps éloignés est négligeable) et de l'hypothèse dite «indifférente» (comme la question de savoir si la matière est atomique ou continue). L'hypothèse naturelle sera toujours la dernière que nous serons disposés à abandonner, tandis que l'hypothèse indifférente aide simplement notre raisonnement, sans avoir

2. Henri Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 1968, p. 113.

3. *Ibid.*, p. 129-130.

aucune influence sur la forme mathématique des théories ou leurs prédictions empiriques. En tant que généralisation, le principe d'inertie ou le principe de relativité ne sera jamais *complètement* vérifié, ce qui implique un élément de « convention » linguistique. Mais il faut bien s'entendre sur ce que signifie « non complètement vérifié ». La loi d'inertie (dans la version « opérationnelle » donnée plus haut) est bien vérifiée dans certains cas particuliers, et Poincaré ajoute qu'« elle peut être étendue sans crainte aux cas les plus généraux, parce que nous savons que dans ces cas généraux l'expérience ne peut plus ni la confirmer, ni la contredire⁴ ». Or, le cas général ne pousse pas l'expérience au-delà de ses limites. Certes, il y a des expériences préalables qui inclinent la généralisation dans une direction plutôt qu'une autre. Mais en pratique, l'hypothèse généralisatrice *préexiste* à l'expérience : grâce à elle, l'expérience vérifie une relation de fait, et par là elle autorise une théorie générale⁵.

On s'est demandé si le conventionnalisme n'était pas paradoxal, puisqu'il revient à affirmer tout à la fois que, d'une part, certaines hypothèses ne sont ni vraies ni fausses mais seulement plus ou moins commodes, dans la mesure où elles sont suggérées par l'expérience, et, d'autre part, que ces mêmes hypothèses sont commodes dans la mesure où elles sont comparables à la vérité définitive. Dans le cas présent, on voit que la convention apparaît au moment où le besoin se fait sentir de stabiliser le discours, où sa cohérence interne commence à s'imposer, et donc à poser des exigences au moment où l'expérience, ayant donné tout ce qu'elle avait à donner, est devenue muette. Pourquoi l'expérience constitue-t-elle le point de départ d'affirmations qui conduisent à des définitions, définitions placées finalement hors d'atteinte de l'expérience ultérieure ? Considérons la loi de la dynamique newtonienne, qui énonce que la force est proportionnelle au produit de la masse inerte et de l'accélération. Elle n'est rigoureusement vraie que si on l'applique à l'univers entier ; pour la vérifier, il faudrait pouvoir observer le mouvement du centre de gravité de tout l'univers, ce qui est évidemment irréalisable. De cette impossibilité pratique, Poincaré conclut que c'est par définition que la force est égale au produit de la masse par l'accélération ; on est parti d'une vérité expérimentale, mais on ne peut s'en servir que comme définition. Mais, demande-t-il, un principe invérifiable n'est-il pas vide de toute signification et donc inutile⁶ ? C'est que l'expérience est un point de départ qui continuera toujours à « informer » les définitions auxquelles nous arrivons, parce qu'« il n'y a pas, dans la nature, de système parfaitement isolé, parfaitement soustrait à toute action extérieure ; mais il y a des systèmes à peu près isolés » ; toute expérience plus précise ne nous apprendra jamais que la loi n'était qu'à peu près vraie, ce que nous savions déjà.

4. *Ibid.*, p. 117.

5. *Ibid.*, p. 158-159.

6. *Ibid.*, p. 124.

L'expérience a pu servir de base aux principes de la mécanique, et cependant, une fois les principes établis, elle ne pourra jamais les contredire. Il semble que cette épistémologie élève une barrière entre l'expérience commune, entièrement soumise à l'expérience (bien que guidée également par des principes innés), et la connaissance scientifique, susceptible de provoquer l'expérience mais aussi capable de lui résister. Poincaré ne cache pas que toute tentative pour trouver dans l'expérience les notions premières de la physique est vouée à l'échec. Néanmoins, si les faits bruts dont on est parti continuent en effet à informer les définitions, la question essentielle est de savoir ce qu'il en reste effectivement; il va donc falloir saisir, sans perdre la rigueur des conclusions, le sens de la *transition* qui conduit de l'expérience à ces conventions librement choisies qui seraient à la base de la mécanique. En quoi consiste la transition de l'à-peu-près de l'expérience à la définition (loi ou principe)? Qu'assure-t-elle exactement? De la compréhension correcte de cette transition dépendent le sens et la portée de la philosophie naturelle de Poincaré.

Bien que leur validité ultime relève de l'idée commune de la commodité et non de la notion classique de vérité, les principes de la mécanique et ceux de la géométrie ne se situent pas exactement sur le même plan. Dans le cas de la mécanique, ses principes résultent directement des expériences, tandis que dans le cas de la géométrie, les faits physiologiques relatifs à notre corps constituent une suggestion indirecte de ses démonstrations. Il arrive un moment où la géométrie sort de l'expérience, alors que la mécanique est bien forcée de rester sur le terrain de l'expérience. Mais dans une mécanique comme celle de Newton, le voisinage de la géométrie et de la mécanique rend problématiques les conclusions sur le statut de ses propositions fondamentales. Un principe comme celui de la relativité de l'espace est certes indépendant, en vertu de son universalité même, des faits qui ont pu le suggérer. Il facilite simplement la coordination de ces faits. Cela n'a pas empêché Poincaré de signaler, dès son *Mémoire* de 1900 sur les *Principes de la mécanique*, que des conventions tomberaient dans l'arbitraire si, *de temps en temps*, l'attention n'était pas ramenée à l'origine expérimentale des conventions. Mais qu'est-ce que cette intermitte de l'esprit a à voir avec des principes soi-disant définitifs?

Poincaré a bien posé la question de la transition de l'à-peu-près de l'expérience à la généralité abstraite en rapport avec la constitution de l'espace à trois dimensions. C'est la rencontre de deux continus à deux dimensions — celui des données tactiles et celui des données visuelles — qui conduit au continu à trois dimensions, parce que seul ce dernier, par sa simplicité, permet de corriger les changements externes au moyen de mouvements internes. Mais dans le cas de la physique, il a pris le problème par l'autre bout, celui des lois déjà constituées. Évoquant la loi newtonienne de la gravitation universelle, il affirme que sa simplicité n'est peut-être qu'une conséquence du caractère encore approximatif de la loi. Il importe

d'évaluer cette affirmation en repartant une fois de plus de l'expérience immédiate. Du reste, il y va de la possibilité même de la science. Quelques mois avant de mourir, Poincaré avait entrevu la nécessité de reprendre les enseignements de l'expérience immédiate à leur point de départ, dans le cadre de la physique des quanta. Alors que la continuité lui apparaissait (comme la simplicité) comme l'une de ces conditions sans laquelle la science n'existerait pas du tout, il se posait la question de savoir si l'hypothèse des quanta n'allait pas la remettre en question : « Le premier qui a vu un choc a cru observer un phénomène discontinu ; et nous savons aujourd'hui qu'il n'a vu que l'effet de changements de vitesse très rapides, mais continus⁷. » Si l'hypothèse des quanta s'avérait juste, c'est rien de moins qu'un retour aux premières impressions que nous avons des phénomènes naturels qui s'imposerait, intuitions initiales de faits bruts dont il faudrait alors réévaluer le sens et la portée.

Comprendre et voir : le cas du principe de relativité

Il est significatif que, pour comprendre le statut de l'à-peu-près de l'expérience empirique dans son rapport aux principes de la physique, Poincaré éprouve le besoin de partir d'une situation où l'à-peu-près se confond avec une expérience délibérément *partielle* du monde. Le cours normal de l'expérience qui conduit à la physique s'en trouve complètement renversé, mais ce renversement même jette une lumière essentielle sur le genre d'intelligibilité que la physique mathématique cherche et obtient de la nature.

Reportons-nous à la fameuse expérience de pensée où notre Terre serait perpétuellement entourée de nuages⁸. Cette expérience partielle du monde n'est pas une simple vue de l'esprit, puisqu'elle prend appui sur une caractéristique fondamentale de la science moderne. Ce n'est pas tant que l'univers total est réfractaire à l'expérience, c'est que l'objet de la nature selon la physique moderne ne se montre pas : la nature est essentiellement en manque d'être sensible. Pour les Grecs, au contraire, la physique était une science de l'étant sensible, c'est-à-dire de l'étant qui se montre d'une certaine manière ; ainsi Aristote dit que « les principes des choses sensibles sont sensibles », de sorte que la physique culmine dans « ce qui se révèle de manière constante et décisive à la connaissance sensible⁹ ». Dans la science moderne, il y a une disproportion entre les capacités sensibles des observateurs et l'action que nos théories attribuent à la nature ; paradoxalement, elle réussit ce tour de force qui consiste à juger des objets et événements du monde par défaut de phénoménalité. Or, la possibilité de juger de la sorte par défaut devient critique lorsque l'objet auquel s'intéresse la physique n'est rien d'autre que la totalité de la nature.

7. Henri Poincaré, « L'hypothèse des quanta », *Dernières Pensées*, Paris, Flammarion, 1913, p. 127.

8. *La Science et l'hypothèse*, p. 132.

9. Aristote, *Du ciel*, 306a10, 18-19, trad. P. Moraux, Paris, Les Belles-Lettres, 1965.

Les observateurs de ce monde imaginaire connaissent les lois de la mécanique sur la base de ce que Poincaré appelle « principe du mouvement relatif » (qui n'est rien d'autre que la relativité galiléenne): « Le mouvement d'un système quelconque doit obéir aux mêmes lois, qu'on le rapporte à des axes fixes ou à des axes mobiles entraînés dans un mouvement rectiligne et uniforme. » Dans une telle situation, écrit Poincaré, il serait tout de même possible de découvrir que la Terre tourne, c'est-à-dire les lois vraies du mouvement qui prévalent sur la Terre suivant le modèle cosmologique copernicien, mais avec cette différence capitale que la conclusion sur l'existence de l'espace absolu ne s'imposerait pas. Tout au plus notre humanité aurait-elle dû attendre beaucoup plus longtemps qu'elle ne l'a fait pour assister à la venue d'un Copernic capable d'anéantir les illusions propres à des lois de mouvement basées sur le modèle géocentrique. Comment donc les observateurs de la Terre perpétuellement entourée de nuages arriveraient-ils à des conclusions vraies ? Ils commenceraient par commettre une erreur sur la nature des forces, puisqu'ils les considéreraient toutes comme réelles, alors que la théorie du mouvement relatif dans le système héliocentrique fait la part entre des forces réelles et des forces fictives. Il est difficile de comprendre pourquoi dans ce contexte Poincaré appelle la force centrifuge force fictive, puisque dans la théorie newtonienne, elle est réelle en tant qu'elle résulte d'un mouvement réel, qui est le mouvement relatif à l'espace absolu. Sans doute cela reviendrait-il à présupposer déjà l'existence d'un espace absolu, que l'expérience en pensée veut justement mettre en question. Toujours est-il que la question se pose: Comment les savants imaginaires arriveraient-ils à distinguer comme il le faut les forces réelles des forces fictives ?

Dans la théorie newtonienne, les forces fictives semblent manifester seulement la présence de forces, alors qu'elles disparaîtraient dans un système de référence différent par rapport auquel elles n'engendrent aucun effet physique. Elles sont des artefacts du système de référence: comme des apparences qui n'ont d'autre raison d'être que d'apparaître, de « pures apparences », en quelque sorte, puisque si elles sont vues depuis un système de référence inertiel (qui a la particularité de ne pas se faire sentir du tout), elles disparaîtront sans laisser de trace. La cause de ces apparences est l'espace absolu, et cet espace a la particularité de n'être pas affecté en retour par les phénomènes dont il est la cause — l'espace absolu, dit Newton, ne pourrait être senti. Qu'est-ce qui va permettre aux observateurs du monde de Poincaré de se rendre compte que les forces qu'ils prennent pour réelles ne sont que de pures apparences, c'est-à-dire des phénomènes sensibles qui ne sont soutenus par aucun principe du monde sensible ? Poincaré nous demande de croire que, dans le cours de leurs investigations de la nature, les observateurs de cette Terre entourée de nuages seront probablement amenés à concevoir et réaliser quelque chose comme un système isolé. Mais dans leur physique, le centre de gravité du système ne

pourrait évidemment pas suivre une trajectoire rectiligne, *ne serait-ce qu'à peu près*. Ils pourraient néanmoins chercher à stabiliser cette donnée de l'expérience. Afin de rendre compte de ce phénomène, ils pourraient invoquer les actions mutuelles entre les corps comme le facteur responsable des forces centrifuges. Toutefois, ces forces auraient la particularité de ne pas diminuer avec l'accroissement de la distance; au contraire, elles augmenteraient avec la distance, c'est-à-dire justement lorsque l'isolement du système est mieux réalisé. Par suite, un phénomène apparaîtrait qui serait en opposition absolue avec ce qui est anticipé selon les lois géocentriques du mouvement, mais néanmoins conformes à la relativité galiléenne. Commencerait alors la série des inventions arbitraires et de plus en plus compliquées, destinées à «sauver les apparences»: un milieu subtil comme l'éther exerçant une force répulsive, et finalement quelque chose comme les orbes de Ptolémée. C'est précisément cet excès d'apparaître qui inciterait les observateurs du monde de Poincaré, en dernière analyse, à reconnaître dans les effets de telles forces quelque chose comme de pures apparences, et donc à simplifier leur science: ils reformuleraient alors la mécanique newtonienne du point de vue héliocentrique.

Inversement, pour nous qui vivons entouré d'étoiles et autres objets célestes bien visibles, se pose la question de savoir pourquoi notre théorie de l'action physique (la physique newtonienne, dans le cas présent) est elle aussi fondée sur un défaut d'apparence, l'espace absolu — cause d'effets sensibles, mais qui n'est affecté par aucun de ces effets. Du point de vue de l'espace absolu, on a l'impression que *tout* l'à-peu-près est éliminé comme par magie. En effet, un référentiel adapté à la disparition de toutes les forces fictives coïnciderait avec l'espace absolu. Rapportées à un tel système, *toutes* les forces seraient réelles, tous les mouvements accélérés seraient absolus¹⁰; la validité du principe d'inertie deviendrait alors rigoureuse.

La situation décrite ici nous place au cœur de la philosophie naturelle de Poincaré, qu'il a lui-même résumée par l'image d'un antagonisme irréductible: l'esprit cesserait d'être ce qu'il est s'il n'était constamment tiraillé entre deux besoins opposés l'un à l'autre, celui de comprendre et celui de voir; or seul le fini nous est compréhensible, tandis que l'étendue que nous sommes capables de voir est infinie. Le monde imaginaire de Poincaré est un monde où il est fait violence à la vision, qui devient partielle et donc finie; par là l'œuvre de la compréhension finie peut commencer, dans

10. Il y a même plus: l'espace absolu devrait aussi nous permettre d'observer des différences de vitesse. Tous les participants au débat classique sur l'espace absolu et l'espace relatif ont été abusés par le point de vue tridimensionnel, qui suggère que, prises ensemble, la position, la vitesse et l'accélération doivent être toutes absolues ou toutes relatives. Friedman a démontré que seul le point de vue quadridimensionnel autorise la possibilité de relativiser la position et la vitesse, tandis que l'accélération demeure absolue. Voir Michael Friedman, *Foundations of Space-Time Theories*, Princeton, Princeton University Press, 1983, p. 16-17 et 228.

l'espoir de s'ajuster à la vision par le moyen théorique du système isolé. Mais il reste alors une ambiguïté sur le sens de l'action physique; tout le développement historique des lois de la physique est là pour attester des tentatives faites pour fixer ce sens; et si, comme Poincaré l'a déclaré à maintes reprises, parmi les lois de la physique qui changent continuellement au cours de l'histoire des sciences, quelque chose doit bien résister à l'épreuve du temps, c'est bien dans l'ajustement plus ou moins bien réalisé du comprendre et du voir qu'il doit résider.

Grâce à des réflexions sur le langage même de la mécanique classique, Poincaré aboutit successivement à trois conclusions capitales:

1. La mécanique classique n'est pas newtonienne.
2. La relativité de tous les mouvements est déjà vraie en mécanique classique.
3. La dynamique d'un système observé est inséparable de la dynamique du système qui l'observe.

Dès 1902, dans le chapitre « La mécanique classique » repris dans *La Science et l'hypothèse*, Poincaré déconstruit la sémantique de l'ontologie newtonienne; il fait de la théorie physique un langage dont les propositions n'acquiescent un sens que par l'intermédiaire de pratiques expérimentales effectivement réalisables. C'est ainsi que, en partant des moyens effectivement disponibles à l'intuition directe, Poincaré conclut qu'il n'y a pas d'espace absolu, qu'il n'y a pas de temps absolu, que notre géométrie euclidienne n'est elle-même qu'une sorte de convention de langage. Il faut bien voir qu'il ne s'agit pas là de déclarations anti-newtoniennes, mais plutôt d'un approfondissement du sens premier de la mécanique newtonienne. Le paradoxe des absolus newtoniens, c'est qu'ils sont asymptotiques par rapport à l'expérience sensible et résultent de passages à la limite depuis les mesures relatives; et cependant, ils ont aussi la prétention de fonctionner comme des principes de base sans lesquels la physique ne serait même pas possible. L'absolu ressaisi par Poincaré n'est plus une notion limite, mais un facteur de stabilisation du discours sur la portion du monde qui a été balisée par l'expérience. On le voit bien sur le deuxième point: Qu'est-ce qui nous empêche d'étendre le principe du mouvement relatif au cas du mouvement varié? C'est que dire que la suite des phénomènes dépend des valeurs initiales des dérivées premières des distances entre les corps est conforme au principe d'inertie généralisé, mais pour ce qui est d'une nouvelle généralisation, plus poussée, de ce principe, qui ferait dépendre le cours ultérieur des phénomènes des valeurs initiales des dérivées secondes, « nous hésitons à [l']admettre¹¹ ». Il y a une résistance, qui vient des habitudes de l'esprit contractées depuis les succès de la mécanique newtonienne. En d'autres termes: la généralisation qu'est le principe

11. *La Science et l'hypothèse*, p. 137.

d'inertie exprimé sous la forme énoncée plus haut est *devenue* comparable à une hypothèse de type naturel; il faudrait donc la distinguer d'une hypothèse pour ainsi dire absolument naturelle. L'hypothèse de l'inertie s'accroche au niveau newtonien, et lui reste tributaire, parce qu'elle est devenue naturelle, alors qu'elle se présentait d'abord comme une généralisation. Pour passer à des équations du mouvement qui soient conformes à la relativité générale (par exemple au sens leibnizien), et qui soient en même temps empiriquement adéquates, il faudrait rien moins que bousculer une hypothèse devenue naturelle: est-ce plus ou moins difficile que d'abandonner une hypothèse absolument naturelle?

L'hypothèse qui fait dépendre les phénomènes des valeurs initiales des dérivées secondes, parce qu'elle suscite l'hésitation et une interrogation nouvelle, ne cadre pas exactement avec une hypothèse qui, bien que suggérée par l'expérience, est formée par l'esprit de telle façon qu'elle ne pourra plus être démentie par elle. Ici, l'hypothèse est suggérée une fois de plus par une analogie avec une expérience partielle du monde. Même des astronomes situés dans un système solaire analogue au nôtre, mais privés de la vue d'étoiles fixes, arriveraient à une physique newtonienne, mais ils n'en seraient pas satisfaits une fois pour toutes, car, s'apercevant que des constantes qu'ils avaient prises pour essentielles (dépendant d'une loi de la nature) sont en fait accidentelles (telle valeur aurait pu être différente), ils se demanderaient s'il n'y aurait pas intérêt à ce que les équations qui définissent les distances ne soient pas d'ordre supérieur au second. Nous partageons avec eux une même interrogation; cette interrogation vient de ce que, tout comme le système solaire idéalement isolé, notre univers entier est, dit Poincaré, lui aussi limité. À cause de cette limitation de fait, on sera toujours forcé de se dire que «les valeurs des distances à un instant quelconque dépendent de leurs valeurs initiales, de celles de leurs dérivées premières et encore d'autre chose». On le voit: l'impossibilité pratique d'observer tout l'univers, alliée au fait que tous les mouvements observés sont relatifs, induit aussi bien la définition (comme la loi de la dynamique newtonienne) que sa mise en question, la stabilisation du discours aussi bien que sa déstabilisation.

Deux possibilités s'offrent alors pour identifier l'«autre chose». La première est de faire des hypothèses pour donner à l'espace absolu le statut d'un observable en principe (orientation absolue de l'univers dans l'espace, corps invisible dont la position ou la vitesse absolue pourrait être détectée). Dans ce cas, l'observabilité n'existe justement qu'en principe, elle ne pourrait jamais exister en fait. Une limitation de fait vient donc cette fois au secours de la définition: tant que nos instruments donnent le genre d'indications qu'ils ont données jusqu'à présent, la physique newtonienne ne pourra être démentie.

L'autre possibilité est d'introduire explicitement les dérivées secondes, puisque la généralisation plus poussée reste une possibilité de principe.

Examinons les conséquences des propriétés d'invariance pour les lois physiques du mouvement dans le cas de systèmes de référence en rotation. Poincaré montre qu'il faut considérer un système composé d'au moins deux points matériels: dans ce cas, les mouvements de rotation sont des mouvements inertiels, ce qui donne au principe d'inertie un contenu bien plus étendu que pour un seul point matériel. Les équations du mouvement rotationnel sont des équations différentielles du troisième ordre vis-à-vis des différences de coordonnées; cette propriété mathématique correspond donc à une sorte d'inertie rotationnelle¹². De fait, en supposant que le monde que nous observons est l'univers entier, il n'y a pas de système d'axes de coordonnées extérieur qui permettrait de *voir* si ce monde est en rotation ou non; par conséquent, ce sont en effet des équations du troisième ordre qui exprimeront ces observations¹³. Par contre, si on envisage des petits mondes séparés par une distance suffisamment grande, sans action mécanique l'un sur l'autre, on pourra considérer que l'un se présente pour l'autre *visiblement* comme un système d'axes étranger, ce qui permettra de décider par simple observation s'il y a ou non rotation, et les équations redeviendront des équations du deuxième ordre. C'est pourquoi, dans le cas de mondes séparés, le principe de relativité devient une vérité testable expérimentalement, alors que dans le cas de tout l'univers, il est une convention invérifiable, jamais prise en défaut. Nous sommes ici au cœur de la transition que nous cherchons à comprendre, qui conduit d'une vérité expérimentale à une convention: c'est le pouvoir de la vision qui décide de ce que nous pouvons comprendre de l'action physique. À propos du principe de relativité comme vérité expérimentale, Poincaré se demande « quel est le sens de cette vérité ». Il conclut: « Il est aisé de le déduire des considérations qui précèdent: il signifie que l'action mutuelle de deux corps tend vers zéro quand ces deux corps s'éloignent indéfiniment l'un de l'autre; il signifie que deux mondes éloignés se comportent comme s'ils étaient indépendants ». Or, que l'influence des corps très éloignés soit négligeable est, d'après Poincaré, l'une de ces hypothèses dites « naturelles » qui appartiennent à l'arrière-fond de toute physique mathématique¹⁴. Autrement dit, lorsque, de convention, le principe de relativité devient vérité expérimentale, son *sens* s'apparente à une hypothèse naturelle qui surplombe toute la physique mathématique comme sa condition de possibilité ultime et définitive. C'est donc seulement du point de vue du sens, non de la validité opératoire, qu'on peut dire qu'il existe un hiatus entre le principe de relativité et les équations qui lui correspondent; ces équations

12. Voir John Earman, *World Enough and Space-Time. Absolute versus Relational Theories of Space and Time*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1989, p. 84-87.

13. Henri Poincaré, « L'espace et le temps », *Dernières Pensées*, p. 104-106.

14. *La Science et l'hypothèse*, p. 166. Rappelons que ces hypothèses, dit Poincaré, sont les *dernières* que l'on peut se permettre d'abandonner.

ne seront pas les mêmes selon qu'on prend le principe comme convention ou comme vérité expérimentale¹⁵.

Que faire de cette possibilité de principe qui consiste à pousser jusqu'au troisième ordre ? L'élargissement des principes est à la base de ce que Poincaré désignait dans ses conférences de 1904 à Saint-Louis (États-Unis), juste avant la formulation par Einstein de la théorie de la relativité restreinte, comme la « crise » de la physique mathématique. La crise en question apparaît bien comme une crise du sens des équations de la physique, non un dilemme sur le choix des équations. L'idée fondamentale de la physique de Newton, comme physique des forces centrales, était de débrouiller dans tous les détails l'écheveau compliqué que nous donnent nos impressions sensibles, pénétrant dans le détail de la structure de l'univers en isolant une à une les forces qui composent le tout ; une physique des principes lui a succédé, qui s'applique aussi bien aux forces centrales qu'à l'énergétique (Mayer, Carnot, Lavoisier, moindre action, action/réaction, relativité) : elle part de certaines vérités expérimentales de valeur générale, pour retrouver des équations plus générales que celles de Newton, mais qui les contiennent. Or, parmi ces principes, le principe de relativité semblait maintenant menacé par la théorie de l'électromagnétisme, puisque celle-ci aurait dû permettre de déceler le mouvement d'un corps par rapport à l'éther, lequel, puisqu'il est considéré comme immobile, serait apparu alors comme une incarnation de l'espace absolu¹⁶. Cependant, la physique expérimentale « a été plus fidèle aux principes que la physique mathématique¹⁷ », et les expériences de Michelson ont ruiné l'espoir de mettre en évidence le mouvement absolu de la Terre (ou plutôt, note Poincaré, son mouvement relatif à l'éther). D'où la crise du sens : la physique est passée des à-peu-près de l'expérience à des généralisations qui les stabilisent, mais en fait, si l'on regarde l'évolution de la physique mathématique au tournant du vingtième siècle, on s'aperçoit que l'esprit humain s'est satisfait *trop vite* d'une généralisation déjà constituée comme l'est la mécanique

15. D'où l'inquiétude d'Earman, qui, faute de distinguer sens et validité opératoire, et s'intéressant seulement aux insuffisances empiriques notoires d'une théorie entièrement relationnelle de l'espace-temps, conclut tristement l'examen de ce chapitre de l'œuvre de Poincaré sur la rotation : « This conclusion not so neatly sweeps the difficulty under the rug. Whether the initial-value problem for the equations of motion is well posed in the usual sense is secondary to the question of whether there are empirically adequate equations of motion that are properly at home in Machian or Leibnizian space-time. Poincaré's remarks do little help to settle this key question » (*World Enough and Space-Time*, p. 87).

16. Il est vrai qu'il est arrivé à Poincaré de distinguer explicitement d'une part, le mouvement absolu (c'est-à-dire le mouvement relatif à l'espace absolu), qu'il considère comme dépourvu de sens, et, d'autre part, le mouvement relatif à l'éther, qui serait certes réel, mais qui serait toujours du mouvement relatif, à moins d'identifier l'éther à l'espace absolu, ce que Poincaré rejette définitivement.

17. Henri Poincaré, « La crise actuelle de la physique mathématique », *La Valeur de la science*, Paris, Flammarion, 1970, p. 132.

classique. Il prend cette généralité acquise comme modèle pour toute investigation de la nature, de sorte que les principes généraux prennent une valeur heuristique pour l'intelligibilité des détails de la nature; à partir de ces principes, il redescend vers les à-peu-près de l'expérience pour y retrouver de fait la stabilité qui leur manquait. L'essentiel, c'est le changement de direction dans le raisonnement: de la généralité vers les à-peu-près de l'expérience, et non l'inverse, d'où le brouillage des pistes, comme c'est le cas ici, lorsque la physique expérimentale redevient paradoxalement le porte-parole des principes.

C'est pourquoi les théoriciens sont soumis à rude épreuve, car « si Lorentz s'en est tiré, ce n'est qu'en accumulant les hypothèses¹⁸ ». Parmi ces hypothèses, celle du temps local paraît à Poincaré la plus ingénieuse, car elle concorde très bien avec une règle de synchronisation des horloges, qui exige que les horloges soient fixes les unes par rapport aux autres. Celle de la contraction des longueurs dans le sens du mouvement des corps par rapport à l'éther ne semble guère appelée que pour répondre à une difficulté subsistante. Celle enfin de la réduction des forces perpendiculaires au mouvement résout le paradoxe que faisait naître la théorie pour deux corps chargés se déplaçant dans la même direction parallèlement l'un à l'autre. Mais Poincaré n'est pas satisfait pour autant. Il se demande, en particulier, si on ne pourrait pas concevoir des signaux plus rapides que la lumière qui mettraient en évidence la translation d'un repère en faisant apparaître le dérèglement de la synchronisation obtenue avec la première méthode. On voit comment l'épistémologie de Poincaré sur le mouvement est ici impliquée: elle considère la compensation des effets comme réelle, alors que la distinction entre temps local et temps vrai serait conventionnelle: le mouvement est donc bien une réalité bien qu'il soit entièrement relatif, c'est-à-dire même si nous ne pouvons le percevoir ou en faire l'expérience directe sur les objets soumis au mouvement. Plus loin, à propos de la conservation de la masse, elle aussi contredite par l'électromagnétisme de Lorentz, il envisage une profonde modification de la mécanique classique: « de tous ces résultats, s'ils se confirmaient, sortirait une mécanique nouvelle qui serait surtout caractérisée par le fait qu'aucune vitesse ne pourrait dépasser celle de la lumière, pas plus qu'aucune température ne peut tomber au-dessous du zéro absolu¹⁹ ». Alors il faut peut-être se résoudre à admettre que la mécanique classique tout entière ne devient elle-même qu'un à-peu-près (équivalent à l'à-peu-près de l'expérience immédiate), à corriger lorsque les vitesses deviennent très grandes. Cela est très difficile à admettre pour quelqu'un comme Poincaré, qui pense que la science ne procède pas par sauts absolus d'une construction à une autre; au contraire, la science évolue par approfondissements successifs du sens des premières constructions.

18. *Ibid.*, p. 133.

19. *Ibid.*, p. 138-139.

Évidemment, pour continuer à respecter le principe de relativité, il faudra admettre de nouvelles équations de transformation reliant différents observateurs en mouvement de translation uniforme les uns par rapport aux autres : aussi bien pour le temps (à partir de l'échange de signaux lumineux) que pour l'espace (avec la contraction des longueurs) et pour les forces (qui devraient être considérées ensemble avec les transformations du principe de conservation de la matière de Lavoisier). En tout cas, Poincaré se débarrasse définitivement des équations galiléennes de transformation, que Lorentz lui-même s'obstinait à interposer entre l'éther et les coordonnées effectivement utilisées. Ce qui prouve que pour lui le changement des équations de transformation n'équivalait pas *ipso facto* à un changement du sens de la physique elle-même.

Alors que pour Einstein, le principe de relativité, entendu dans son sens le plus général et valant pour la physique tout entière, entraîne, si l'on y ajoute le postulat de la constance de la vitesse de la lumière, les règles de transformation de Lorentz, pour Poincaré, ce sont ces règles de transformation qui entraîneraient, si on ne veillait à les interpréter à la façon de Lorentz, la mise en question du principe classique de relativité. Dans sa théorie de la relativité restreinte, Einstein transforme le fait observé de la vitesse constante de la lumière dans tous les systèmes d'inertie en loi invariante. À quoi Poincaré rétorquerait qu'il s'agit d'une généralisation trop hâtive, puisqu'on ne s'occupe plus du sens de la transition proprement dite : on adopte la constance de la vitesse de la lumière comme une convention, alors que l'interprétation de Poincaré des équations de transformation de Lorentz dissuade d'élever le principe de relativité à la hauteur d'une convention. Poincaré insiste sur le fait que d'autres conventions sur la vitesse de la lumière restent toujours possibles ; de fait, il y a un nombre infini de conventions possibles. Plusieurs possibilités apparaissent pour étendre au contexte astronomique l'impossibilité où nous sommes de détecter un mouvement absolu. En particulier, on pourrait chercher un nouveau cadre théorique pour le phénomène de l'aberration de la lumière. Pourquoi en effet la vitesse de la lumière devrait-elle constituer un invariant incontournable et jouer un rôle fondamental, non seulement en électrodynamique (son « lieu naturel » pour ainsi dire), mais dans toutes les branches de la physique ? À cette question, Poincaré a imaginé deux réponses possibles. Soit toutes les forces ont, en dernière analyse, une origine électromagnétique ou quasi électromagnétique ; soit c'est l'observateur lui-même qui insère la vitesse de la lumière dans la nature du fait qu'il utilise des signaux lumineux pour mesurer des intervalles d'espace et de temps. Deux réponses, deux philosophies : la première est réaliste, la seconde en partie conventionnelle. Ainsi, passant de l'idée de relativité (Galilée/Newton) à son principe, Poincaré s'est trouvé confronté à la tension (sans pouvoir la résoudre, mais précisément par respect pour cette tension) entre deux approches de la nature : la création libre de conventions, et le contact

brut avec la nature qui assigne des limites définies à cette activité intellectuelle par ailleurs tout à fait libre.

Poincaré opte pour une conception électrodynamique de l'inertie, et de fait pour une vision générale de la nature qui est essentiellement électrodynamique, où la matière n'existe pas à proprement parler. Vision difficile à maintenir, puisqu'il semble qu'elle soit finalement incapable de se suffire à elle-même. En particulier, Poincaré dote l'électron d'une capacité de contraction dans le sens du mouvement relatif par rapport à l'éther, mais il a besoin alors, pour assurer la stabilité de l'électron, d'une pression que l'éther ne cesse pas d'exercer sur lui (pression dont l'origine n'est donc pas électromagnétique). Cette explication de la contraction est le point le plus délicat, puisqu'elle est considérée comme un effet dynamique. Au contraire, selon Einstein, la contraction n'est qu'un effet cinématique, résultant de la manière dont nous mesurons les intervalles d'espace et de temps. Ces deux explications ne sont pas mutuellement exclusives ou contradictoires, mais l'orthodoxie veut aujourd'hui que la réduction de la dynamique à des apparences cinématiques est « meilleure » que la reconnaissance d'une « traduction » des effets dynamiques en langage cinématique. Qu'est-ce à dire ? Poincaré rappelle que, pour construire une dynamique relativiste, il faut tenir compte de la dépendance de la masse par rapport à la vitesse, ce qui est possible dans le cadre d'une théorie de l'origine électrodynamique de la masse de l'électron, théorie qui dépasse les confins d'une simple dynamique relativiste. Dans sa théorie, Poincaré se limite à la masse inertielle de l'électron, mais il est bien conscient du fait qu'il est loin d'être certain que la masse inertielle des autres particules puisse être expliquée complètement grâce à l'hypothèse de l'origine électrodynamique. Il n'est pas certain que les masses mécaniques se transforment comme les masses électrodynamiques, c'est-à-dire qu'en l'état, la dynamique relativiste de Poincaré reste indépendante de sa vision globalement électrodynamique de la nature.

On comprend dès lors la portée remarquable de l'attitude de Poincaré vis-à-vis des principes et des conventions de la physique. Il n'y a pas de contradiction entre l'idée que les principes sont des généralisations commodées tirées d'expériences et le besoin qui se fait sentir désormais d'abandonner les principes anciens : il existe des situations où un petit coup de pouce imprimé aux vieux principes ne résout plus rien, ce sont des situations où les principes en question ont donné tout ce qu'ils pouvaient donner ; ils sont devenus stériles et donc inutiles. Autrement dit, même si des expériences ne contredisent pas directement le contenu partiellement conventionnel de ces principes, elles les condamnent, lorsque le moment arrive où les sauver revient à leur donner un contenu purement formel, un contenu qui ne nous apporte plus rien quant à l'intelligibilité des phénomènes en question. Quand la convention tombe, c'est qu'une des pistes qui s'offraient pour mettre de l'ordre dans les à-peu-près de l'expérience s'avère

bouchée. Mais plutôt que de rebrousser chemin afin de s'assurer du sens de ce qui a été accompli, même si cet accomplissement n'arrivait pas à son terme, la physique, de par sa prédilection somme toute récente pour les principes, préfère s'aventurer impatiemment dans de nouvelles pistes. Le chemin est-il ouvert pour une troisième voie, après la physique des forces centrales et la physique des principes ? Même si certains principes demeurent, ils n'ont plus un statut *a priori* privilégié ; ils sont plutôt la synthèse *a posteriori* de la physique mathématique théorique et de la physique expérimentale, étant entendu que la crise en question de la physique est motivée par l'utilisation de nouveaux instruments (comme l'interféromètre) auxquels correspondent de nouvelles mesures (comme la vitesse de l'électron proche de la vitesse de la lumière), ce qui introduit de nouvelles conditions de possibilité de l'expérience, en contradiction avec les conditions antérieures.

Dans son dernier texte de 1912, « L'espace et le temps », Poincaré entreprend de dialoguer avec les partisans de la mécanique nouvelle (Einstein et Minkowski)²⁰. Il montre, en recourant à sa philosophie de l'espace et du temps, et au principe de relativité tel qu'il l'entend, que ce radicalisme n'est pas nécessaire, et il estime, pour sa part, qu'un tel bouleversement dans les conventions fondamentales va être différé « encore longtemps ». La véritable difficulté, encore une fois, tient au sens des équations plutôt qu'aux équations elles-mêmes. Dans l'espace-temps à quatre dimensions, il y a des conflits sur ce que les observateurs voient : telle figure qui apparaît sphérique à un observateur apparaît comme un ellipsoïde à un autre. De plus, en raison de la perte de la simultanéité à distance, on ne peut plus parler d'un ordre absolu des événements au sens de la causalité ordinaire. Mais ce qui intéresse surtout Poincaré, c'est la présence d'un « absolument ailleurs » (au sens spatio-temporel) dans le diagramme de Minkowski, c'est-à-dire de zones du monde complètement séparées causalement l'une de l'autre par des « trous » de causalité. En relativité restreinte, il y a conflit sur le voir, qui entraîne l'irrésolution au niveau de l'action physique. C'est toute la conception de ce qu'on attend de la physique qui est ici en jeu, puisque le voir perd sa souveraineté et devient inefficace dans certaines circonstances. Or c'est le pouvoir de la vision non obstruée qui permettait par exemple de trancher entre les lois du deuxième et du troisième ordre. On en retire l'impression que la théorie de la relativité restreinte est une physique comparable à celle que des observateurs construiraient sur une Terre perpétuellement entourée de nuages, mais dans un état qui n'est pas encore suffisamment avancé pour rétablir le recouvrement de la vision et de l'action physique. Poincaré voudrait surtout empêcher que l'hypothèse de l'espace-temps quadridimensionnel ne devienne naturelle. Car alors c'est rien de moins que l'idée à laquelle se

20. « L'espace et le temps », *Dernières Pensées*, p. 108-109.

ramène toute science de la nature qui est menacée, à savoir l'unité de l'univers.

L'unité de la nature

Du point de vue logique, un principe physique est analogue à une convention mathématique, un décret de l'esprit. Mais du point de vue de sa genèse, tant dans l'esprit du savant que dans le contexte de l'histoire de la science moderne, partant de faits suggestifs, si le principe correspond à l'expérience, il finit par s'en détacher. Or, une fois devenu transcendant, le principe redevient-il comparable à une pure convention au sens mathématique ? Il n'en est rien. Si la présence de conventions dans l'énoncé des lois physiques peut conduire à la conclusion que les lois peuvent varier en fonction du choix des conventions, que même les relations naturelles s'en trouvent modifiées, c'est une conclusion prématurée par principe, puisque bien loin de nous faire renoncer à un invariant universel indépendant des conventions, la physique continue à viser par principe des lois invariantes qui fixent « les relations entre les faits bruts », au-dessus de ces faits dits « scientifiques » qui, traduits dans un langage commode, définissent l'horizon opératoire de la science²¹. Traversée par une exigence d'autodépassement qui la reconduit à son point de départ préscientifique dans l'expérience immédiate des faits bruts, aucune théorie physique n'est jamais absolument en phase avec elle-même. Elle ne trouve son compte qu'au-delà d'elle-même : dans l'unité de la nature.

Cette unité n'est plus une hypothèse ; elle est de l'ordre du « sentiment » ou de la « croyance²² », foi plus forte encore que celle en la simplicité de la nature, sur laquelle des réserves peuvent être émises. « La science marche vers l'unité et la simplicité²³ », mais pas de la même manière. Le diagnostic de Poincaré sur l'évolution des théories physiques est que la simplicité a été trop vite confondue avec un certain simplisme, comme c'était le cas dans la conception mécaniciste du monde. Cette conception réclame par exemple l'homogénéité simple et absolue de la matière, sans quoi la mathématisation de la nature serait impossible ; mais pour Poincaré, c'est plutôt la superposition d'un grand nombre de phénomènes élémentaires tous semblables entre eux qui conduit la physique à adopter la forme mathématique. Le fait brut et élémentaire est un problème, non un observable ; ce problème est résolu par la composition de ce fait avec lui-même, qui permet de déduire le fait complexe de l'observation en lui donnant une forme mathématique. Quant à la marche vers l'unité, elle est une évidence d'autant plus difficile à comprendre qu'elle renvoie à une liaison intime et profonde entre l'esprit et les choses. C'est ainsi qu'une convention comme

21. « La science est-elle artificielle ? », *La Valeur de la science*, p. 170.

22. *La Science et l'hypothèse*, p. 161-162.

23. *Ibid.*, p. 183.

le principe de relativité ne sera jamais prise en défaut que dans le cas où elle s'applique à l'univers total ; mais quand bien même Poincaré affirme que « si les diverses parties de l'univers n'étaient pas comme les organes d'un même corps, elles n'agiraient pas les unes sur les autres », cela ne l'empêche pas de considérer comme une hypothèse naturelle le fait que l'action mutuelle de deux corps tend vers zéro au fur et à mesure de leur éloignement.

L'inquiétude de Poincaré, visible dans la tension de certaines de ses positions, ne sera pas restée vaine. La théorie de la relativité restreinte, en raison des poches de causalité neutralisée dans l'espace-temps quadridimensionnel, devait lui apparaître comme un acte de rupture avec le sentiment inébranlable en l'unité de l'univers. Comme en écho à cette inquiétude, la théorie de la relativité, suivant son propre cheminement, a bien vite retrouvé la cosmologie comme un problème explicite, sinon comme l'expression d'une aporie. La relativité restreinte s'est attaquée aux absolus newtoniens à caractère ontologique (l'espace et le temps). La relativité générale, pour sa part, s'est attaquée aux absolus newtoniens à caractère expérimental (l'égalité observée de la masse inerte et de la masse gravitationnelle). Quel est le rôle qui reste dévolu aux absolus dans les nouvelles théories ? Alors qu'espace et temps étaient deux concepts fondamentaux de la mécanique classique, en tant qu'ils empiétaient à la fois sur l'expérience subjective du monde et le soubassement ontologique de ce même monde, la relativité restreinte les amalgame dans un continuum quadridimensionnel absolu, séparant ainsi plus nettement le subjectif de l'objectif. Par exemple, l'expérience intuitive de l'écoulement du temps ne se retrouve dans ce continuum que moyennant l'intervention active d'une conscience²⁴. En relativité générale, la généralisation du principe d'inertie a pour effet de reculer plus loin encore le moment où les absolus commencent à se manifester par rapport aux données de l'expérience. Ainsi, Eddington, philosophiquement assez proche de Poincaré, évaluait la priorité du concept d'invariance sur celui de causalité dans les équations du champ relativiste en déclarant que ces équations « ne sont plus qu'une définition du vide [...] Nous ne nous demandons pas comment la masse s'agrippe à l'espace-temps et cause la courbure postulée par notre théorie [...] la masse *est* la courbure²⁵ ». Incontestablement, le passage de la relativité générale à la cosmologie relativiste peut se comprendre comme la conséquence d'une interrogation lancinante sur le sens d'un invariant absolument universel qui ne soit pas une simple définition déguisée. Mais la cosmologie relativiste n'a jamais pu faire l'économie de certains principes (comme le principe

24. Voir Hermann Weyl, *Space, Time, Matter*, trad. H. L. Brose de la quatrième édition allemande, New York, Dover, 1952, p. 217.

25. Arthur S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge, Cambridge University Press, 1928, p. 156.

cosmologique) qui ne relèvent pas des équations de la relativité générale elle-même. Particulièrement significative est l'hypothèse d'une censure des pathologies causales (connue sous le nom d'hyperbolicité globale), qui, en colmatant les trous de causalité, non seulement cadre bien, parmi toutes les solutions cosmologiques possibles des équations de la relativité générale, avec l'hypothèse d'une singularité originelle, mais qui en plus sauve *in extremis* ce que des auteurs comme Hawking et Ellis appellent candidement « la simple notion du libre arbitre²⁶ ».

Armé de sa foi en l'unité de la nature, Poincaré déclarait: « Nous n'avons donc pas à nous demander si la nature est une, mais comme elle est une²⁷ ». Aujourd'hui, nous constatons que la cosmologie (relativiste et/ou quantique) répond au comment à l'aide d'hypothèses qui ne s'apparentent à aucun des types d'hypothèse envisagés par Poincaré, mais plutôt à des sortes de décrets posés pour satisfaire coûte que coûte le besoin d'unité. Ce refuge trahit sans doute une inquiétude sourde sur la question de savoir si l'unité prévaut effectivement.

26. Stephen W. Hawking et George F. R. Ellis, *The Large-Scale Structure of Space-Time*, Cambridge, Cambridge University Press, 1973, p. 189.

27. *La Science et l'hypothèse*, p. 161.