

SÉMINAIRE DE PHILOSOPHIE ET MATHÉMATIQUES

J. EISENSTAEDT

La relativité générale : une théorie sans problème(s) ?

Séminaire de Philosophie et Mathématiques, 1985, fascicule 1
« La relativité générale à l'étiage 1925-1955 », , p. 1-20

http://www.numdam.org/item?id=SPHM_1985__1_A1_0

© École normale supérieure – IREM Paris Nord – École centrale des arts et manufactures,
1985, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la série « Séminaire de philosophie et mathématiques » implique
l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute
utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale.
Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

La relativité générale : une théorie sans problème(s) ?

J. Eisenstaedt

Equipe de Recherche Associée au C.N.R.S. n° 533
Laboratoire de Physique Théorique, Institut Henri Poincaré
11, rue P. et M. Curie, 75231 Paris Cedex 05, France

A l'origine de ce travail, l'étonnement de trouver, dans la littérature scientifique concernant la relativité générale, un grand nombre de jugements d'ordre idéologique : critique ou dithyrambique. Aussi bien est-il clair à chacun qu'entre 1925 et 1955 - grosso modo - la théorie marque le pas ; le seul fait du "renouveau" le prouve amplement. Ces éléments sont assez frappants pour qu'on s'y arrête.

Il ne s'agit pas ici de faire un bilan des résultats de la théorie ou quelque revue [1], ni d'opposer aux critiques de certains physiciens, à l'inquiétude de quelques relativistes, des réponses ; la théorie se défend fort bien grâce à ses propres mérites ... et aux travaux de ses spécialistes. Il s'agit de décrire grâce aux documents disponibles [2] cet état de fait et de tenter d'en comprendre les raisons à partir des structures du champ et de la discipline. Il s'agit en particulier de montrer qu'il ne suffit pas qu'une théorie soit "juste" pour qu'elle s'insère aisément dans le champ institutionnel.

"Je me souviens que pendant ma lune de miel en 1913, j'avais dans mes bagages quelques exemplaires des articles d'Einstein qui, au grand dam de mon épouse, ont absorbé mon attention pendant des heures. Ces papiers me semblaient fascinants, mais difficiles et presque effrayants. Lorsque j'ai rencontré Einstein à Berlin en 1915, la théorie était très perfectionnée et couronnée par l'explication de l'anomalie du



périhélie de Mercure, découverte par Leverrier. Je l'ai comprise, non seulement grâce aux publications mais aussi grâce à de nombreuses discussions avec Einstein, - ce qui eut pour effet que je décidai de ne jamais entreprendre aucun travail dans ce champ. Les fondations de la relativité générale m'apparaissaient alors, et encore aujourd'hui, comme le plus grand exploit de la pensée humaine quant à la Nature, la plus stupéfiante association de pénétration philosophique, d'intuition physique et d'habileté mathématique. Mais ses liens à l'expérience étaient ténus. Cela me séduisait comme une grande oeuvre d'art que l'on doit apprécier et admirer à distance" [3].

Telle est la manière dont Max Born; lors du congrès de Berne en 1955 évoquait ses rapports à la relativité générale. Mieux qu'un long préambule, ce texte me permet de situer mon propos ; il pose en effet une question essentielle, celle de la vraie place de la relativité générale en tant que théorie physique dans l'institution scientifique entre le début des années vingt, moment où la théorie est reconnue et son renouveau que l'on peut situer, symboliquement, en 1955 date de la mort d'Einstein.

Mais malgré les événements qui vont jaloner l'histoire de la confirmation de la théorie et sur lesquels je ne m'étendrai pas ici [4], il n'y aura guère de raisons après 1915, mais surtout dès les années vingt, de douter de la relativité générale qui va subir avec plus de succès que toute autre théorie de la gravitation - et d'abord celle de Newton - les rares tests rendus possibles par la technique, à la précision qu'elle permet, et qui sur le plan de sa structure ne pose aucun problème de fond.

Ainsi, est-ce au-delà de sa validité, au-delà de la logique scientifique mise en forme par K. Popper [5] qu'est questionnée la théorie d'Einstein ; d'un point de vue productiviste [6]. Il ne s'agit pas tant de savoir si la théorie est juste, on s'y accorde très généralement, mais ce qu'elle apporte de plus, ce qu'elle rapporte. On fait donc le bilan de la théorie, on oppose l'actif au passif sans d'ailleurs mettre nécessairement la même chose dans les plateaux de la balance ... Bref, c'est "d'économie relativiste" qu'il est ici question.

Ainsi, loin des arguments physiques, les considérations avancées seront de nature philosophique, épistémologique ou esthétique ; mais elles seront généralement présentées comme secondaires, destinées à expliquer l'attrait - l'intérêt - qu'exerce la théorie sur ses spécialistes plutôt qu'à en conforter l'assise scientifique. Aussi bien, ce sont des arguments défensifs qui viennent compenser le peu de moyens dont dispose la relativité générale au plan empirique.

"La théorie de la relativité a un attrait particulier à cause de sa consistance interne et de la simplicité logique de ses axiomes" écrit Einstein dans la préface au livre de P.G. Bergmann [7]. Simplicité logique, tel est en effet l'un des mots-clé de la question, qui, selon Popper, doit être rapportée à la rareté des paramètres, impliquant la haute improbabilité a priori de la théorie ou encore sa réfutabilité. En effet, la relativité générale, parce qu'elle ne possède pas de paramètre

libre - sinon Λ la constante cosmologique - n'a a priori que peu de chance de faire face à de nombreux tests expérimentaux ou observationnels. Elle est donc remarquablement rigide et hautement réfutable ce qui a contrario explique, entre autres éléments, le grand intérêt dont jouiront les "théories alternatives".

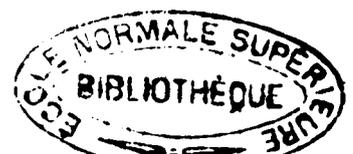
"La magie de cette théorie est telle qu'à peu près personne ne peut y échapper pourvu qu'il l'ait bien comprise" [8]. Après Einstein qui, sous l'emprise de sa découverte présentée ainsi sa théorie en novembre 1915, bien des relativistes se montreront sensibles à cette architecture étrange et la portent au crédit de la relativité générale couramment citée comme modèle de théorie physique. Ainsi sera-t-elle considérée par Bergmann comme "le plus parfait exemple de théorie des champs jusqu'alors connue" [9] mais l'on ne peut manquer de citer ici Paul Langevin pour lequel "Nous n'avons rien actuellement qui puisse lui être comparé au point de vue [physique], pas plus qu'au point de vue de la beauté intérieure, de la nécessité logique et de la fidélité à ce que doit être toute physique, une construction théorique sur une base exclusivement expérimentale" [10]. Mais, il faut aussi rappeler l'admiration de H. Weyl "un des plus grands exemples de la pensée spéculative" [11], celle d'Eddington bien sûr et la "force d'intime conviction" que M. von Laue souhaite qu'elle exerce sur ses lecteurs ... On pourrait multiplier les exemples à l'envi

Les relativistes n'oublient pourtant pas l'essentiel : "Ni l'harmonie interne, ni la satisfaction logique qu'offre une telle théorie ne peut être un critère de sa validité. Il s'agit seulement de savoir qu'elles sont les conséquences que l'on peut en tirer pour l'observation et comment ces conséquences peuvent être vérifiées par l'expérience. La théorie de la relativité générale ne joue pas à ce propos un rôle différent que n'importe quelle autre théorie" [12].

Ainsi Lanczos distingue-t-il à juste titre validité de la théorie et intime conviction, ici la satisfaction logique, l'harmonie interne. On relève pourtant parfois un glissement de sens à ce niveau. Ainsi, P.G. Bergmann introduisant dans son manuel le chapitre sur les "tests expérimentaux" écrit-il : "Les arguments les plus convaincants en faveur de la théorie générale de la relativité, restent, néanmoins, jusqu'à présent théoriques" [13].

C'est là, une affirmation défensive qui vient implicitement compenser le manque d'arguments dont dispose la relativité générale au plan empirique, qui tend sinon à donner à la structure interne un rôle premier du moins à placer les éléments théoriques "plus convaincants" avant les arguments empiriques.

Le thème de la structure logique de la théorie d'Einstein est inépuisable, un modèle porté aux nues ou récusé suivant l'orientation philosophique mais dont personne ne conteste la qualité. C'est un thème qui par un glissement de sens courant dérive souvent vers celui de l'esthétique de la relativité générale. Pourtant, la solidité du bâtiment a-t-elle quelque chose à voir avec son élégance ? Ce passage d'un thème à l'autre naît probablement de celui de "simplicité", un concept cher à Einstein comme on le sait tandis qu'il s'est dit étranger à celui d'élégance "qu'il faut laisser au tailleur et au cordonnier" [14]. C'est pourtant un thème que l'on rencontre souvent



chez les relativistes eux-mêmes, qui s'en émerveillent, mais bientôt aussi chez certains de leurs collègues, quanticiens pour la plupart qui le leur retournent avec une toute autre connotation. Ce thème, dès lors péjoratif de l'esthétisme est opposé à celui de l'expérience et plus précisément à son manque, formant les deux termes d'un faux conflit épistémologique.

Elégance, harmonie, beauté intérieure, incomparable esthétique, c'est là l'expression de la séduction qu'exerce la théorie sur ses spécialistes qui ne cachent pas le plaisir que leur procure une théorie bien tournée. Que l'on s'en réjouisse ou que l'on s'en afflige, ce n'est pas pour rien que tant d'images de l'ordre esthétique sont utilisées pour qualifier la relativité générale. Indéniablement, elle a plus d'un point commun avec une oeuvre d'art abstraite ; quant à l'exigence de la structure qu'elle s'impose, des matériaux qu'elle utilise, quant à la distance qu'elle met entre l'image première du phénomène et la représentation qu'elle en donne, quant au caractère révolutionnaire, radical de l'image du monde qu'elle inaugure, des points sur lesquels bien des scientifiques ont insisté, que ce soit pour l'admirer ou l'en blâmer.

Si les relativistes reviennent ainsi si fréquemment à ce thème esthétique, c'est sans doute bien sûr parce que la relativité générale est vraiment belle et qu'il y sont sensibles. Mais c'est aussi, à mon sens, par compensation car très souvent ce thème s'articule à celui du manque expérimental. Le plaisir esthétique leur est une raison supplémentaire d'y travailler que ne justifierait pas suffisamment le peu de résultats concrets - effets physiques, satisfactions institutionnelles - que la théorie leur apporte. Ce thème prend donc le sens d'un argument d'ordre économique.

Comme l'a fort justement fait remarquer S. Chandrasekhar dans un article récent sur l'histoire de la discipline, "la description du travail d'Einstein comme oeuvre d'art est souvent le masque sous lequel les physiciens désavouent la pertinence de la relativité générale quant à l'avance de la physique" [15]. Une constatation qui s'appuie entre autre sur les propos de Rutherford :

"Au-delà de sa validité, la théorie de la relativité générale ne peut être considérée que comme une magnifique oeuvre d'art" [16].

Ainsi, l'argument esthétique est-il retourné à leurs auteurs sous une forme péjorative. Et c'est bien sur le plan économique, au niveau de sa fécondité, "au-delà de sa validité" que la relativité générale est condamnée. Car, si la relativité générale n'est "qu'une oeuvre d'art" c'est que ses spécialistes ne sont que des artistes qui produisent des idées, magnifiques certes, mais peu utiles : luxueuses. Et c'est là un thème qui renvoie au procès que feront certains physiciens à leurs collègues accusés d'être avant tout des mathématiciens qui plus que d'autres scientifiques sont censés être particulièrement sensibles à l'esthétique et y puiser leur inspiration plutôt que dans l'expérience.

Comme un tableau (trop) abstrait, la théorie d'Einstein sera considérée par de nombreux scientifiques comme étant d'un accès difficile. Au-delà de la boutade bien

connue d'Eddington contée par Chandrasekhar [17], des physiciens aussi sérieux que M. Born, P. Ehrenfest, M. von Laue, J.J. Thomson expliciteront ce point, d'où découle la réputation d'incompréhensibilité dont elle jouira auprès du public cultivé. Et il faut remarquer avec Born qu'il s'agissait "d'une théorie neuve, révolutionnaire. Un effort était nécessaire pour l'assimiler". Un effort que "tout le monde ne pouvait pas ou ne voulait pas faire" [18].

Une remarque qui renvoie en partie à l'isolement de la relativité générale qui développera durant ces années infiniment peu de liens avec les autres théories physiques. Il faut dire aussi que sur le front de ses développements les plus neufs elle posera - comme toute autre théorie - à ses spécialistes des problèmes difficiles et bien des relativistes se plaindront de ce fait. Un fait qu'il faut rapporter au concept de fécondité, face à un champ observationnel que nous avons décrit rapidement, face à l'image de la théorie de Newton qui avait eu la chance de trouver un champ d'action quasiment vierge, face aussi à la mécanique quantique et à la relativité restreinte qui s'étaient trouvées dans des situations infiniment plus enviables. Mais bien sûr les difficultés qu'affronte la théorie n'ont pas grand chose à voir avec son incompréhensibilité prétendue. Il semble que J.J. Thomson en soit à l'origine que Chandrasekhar et Franck citent : "Je dois confesser que nul n'a encore réussi à mettre en langage clair ce qu'est en réalité la théorie d'Einstein". Un trait empoisonné qui vise la clôture de la théorie et de ses spécialistes enfermés dans un langage hermétique. Ainsi le thème de la difficulté est-il utilisé d'une manière analogue à celui de l'esthétique. Et tandis que l'esthétique devient esthétisme, la difficulté devient incompréhensibilité : un double enfermement.

Ainsi, l'incompréhensibilité supposée de la théorie d'Einstein n'est que le revers de son manque de fertilité, le coup bas porté par ceux qui, n'ayant pas eu le loisir, le désir de s'y investir, n'y ayant aucun intérêt propre et qui, complexés de ne la comprendre réellement pas - et pour cause ! - pour se justifier accusent : "c'est une théorie incompréhensible !". Traduisez : "c'est une théorie dont *l'intérêt* m'est incompréhensible".

Ainsi, le peu de liens que la théorie d'Einstein propose avec les "vrais" problèmes de la physique la rejette, pour un temps, du côté de l'art pour l'art.

Pourtant, il faut redire avant tout que, tout au long de son histoire, la relativité générale n'a jamais été sérieusement mise en défaut et qu'elle parvient plus qu'honorablement et mieux que toute autre théorie concurrente à rendre compte du champ observationnel qu'elle tendait à couvrir, tel qu'il se présente en 1915 puis tel qu'elle le restructure ; un champ mince certes, limité comme toujours par les techniques disponibles aussi bien que par l'état de la prospective théorique ; mais dans ces bornes banales, un champ dont elle rend fort bien compte au niveau qualitatif, ce qui ne signifie pas qu'elle le couvre parfaitement au niveau quantitatif.

Mais les spécialistes sont unanimes pour déplorer les difficultés spécifiques quant à l'observation des effets propres à la théorie. D'autant qu'il s'agit toujours

d'observation - et non d'expérimentation - dont par nature on est loin de posséder toutes les données, dont on ne peut manipuler aucun paramètre. Il s'agit aussi - en particulier pour les éclipses - de difficultés d'un tout autre ordre : la guerre, les nuages, le matériel ... les récits des observateurs fourmillent d'anecdotes à ce sujet [19].

Entre l'éclipse de 1919 et l'expérience de Pound et Rebka en 1960, si l'on met à part le domaine cosmologique, malgré les timides espoirs nourris et aussitôt déçus concernant diverses questions astronomiques, malgré quelques autres effets plus ou moins mûrement calculés, le statut empirique de la théorie, toujours limité à ses trois tests classiques - périhélie de Mercure, déviation des rayons lumineux, déplacement des raies spectrales - s'est plutôt rétréci, ce qui a constitué le prix à payer des trop belles certitudes des années vingt [20]. Mais, aussi bien, c'est là un manque d'abord lié à l'étonnante proximité de la théorie de Newton qui, après plus de deux siècles d'hégémonie, ne laisse à toute théorie concurrente qu'une marge infime pour se déployer empiriquement ; un manque "compensé" par l'extraordinaire architecture de la théorie, deux thèmes que l'on oppose indéfiniment.

"Il en va beaucoup plus mal encore qu'avec la relativité restreinte" s'écrie Hermann Weyl dans la première édition de son "Raum, Zeit, Materie", opposant ensuite le peu de phénomènes observables au "bouleversement que la théorie apporte" [21]. C'est là un thème qui revient constamment dans la littérature relativiste, une préoccupation lancinante qui est aussi celle d'Einstein [22]. Et face aux "trois tests classiques", d'assez nombreuses tentatives théoriques ont été faites, avant le renouveau des années soixante pour appliquer la relativité générale à d'autres problèmes ; qu'il s'agisse de l'accélération séculaire de la lune, du déplacement de l'orbite de Mars, du niveau atomique ou plus réalistes concernant l'effet de lentille gravitationnelle, le mouvement du périhélie de la terre, faisant appel à un disque tournant ou à un gyroscope, sans parler bien sûr du champ cosmologique. Mais, il faut dire qu'il s'agit parfois quasiment d'expériences de pensée tant on est loin de pouvoir atteindre techniquement la précision requise pour que des effets spécifiques soient décelables. C'est alors un quatrième test introuvable ! [23].

Mais au-delà de ces résultats décevants, ce qui est stupéfiant c'est bien qu'Einstein ait embrassé, avant même que sa théorie fût complète, ce qu'il faut bien appeler pour près de cinquante ans, l'ensemble du champ empirique de sa théorie ; qu'il ait fallu attendre les années soixante pour que se renouvelle quelque peu le maigre stock des tests de la théorie. Ce fait historique n'eût guère étonné dans un siècle moins dynamique quant à l'innovation technologique. Il prend, à cause d'un effet d'optique lié au véritable réseau expérimental dont dispose la mécanique quantique, des allures de désaveu. Il indique plus prosaïquement, que la théorie de Newton était encore plus juste qu'on ne le croyait - qu'on ne l'espérait. Il montre donc que le champ expérimenté de la gravitation n'a guère évolué et n'est alors guère différent de celui sur lequel s'appuie la théorie de Newton : la banlieue solaire. Et en ce sens la relativité générale est une théorie révolutionnaire sur un champ classique, qui boule-

verse le cadre de la gravitation sans disposer d'un véritable champ propre accessible. C'est ce décalage qui mettra la théorie dans une position extrêmement inconfortable, à la fois point de mire conceptuel et point aveugle de la physique, référence obligée des épistémologues mais repoussoirs des (vrais) physiciens.

Lors du congrès de Berne, consacré en 1955 à la relativité générale, sur trente-quatre conférences une seule, celle de R.J. Trumpler sera consacrée aux résultats observationnels. Dans l'hommage qu'il écrit dans la Review of Modern Physics lors de la mort d'Einstein, J.R. Oppenheimer note :

"Dans les quarante ans qui se sont écoulés [ces trois tests] sont restés le principal et, à une exception près, le seul lien entre la relativité générale et l'expérience. L'exception repose dans le champ de la cosmologie" [24].

Et l'on ne peut ici passer sous silence l'opinion de R.H. Dicke qui vient à la fin des années cinquante aux théories relativistes de la gravitation avec la ferme intention de remettre la théorie d'Einstein dans le droit chemin expérimental et dénoncera avec vigueur "l'indigence de la preuve expérimentale" et comme "une chose affligeante [---] le manque de contact avec l'observation et les faits expérimentaux" [25]. Et plus d'un spécialiste remarquera que, sur le plan empirique, la théorie d'Einstein était loin d'être d'une "pressante nécessité". Il s'agit là d'un point essentiel à plus d'un titre. Parce que plus une théorie est corroborée, plus elle assure de liens entre des champs divers, expérimentaux ou théoriques, plus elle sert d'outil à d'autres théories, plus grande est la confiance qu'on lui porte aussi bien sur le plan épistémologique que technique. C'est cette relation dialectique, cette spirale des investissements et des profits intellectuels qui va cruellement manquer à la théorie d'Einstein, rejetée du côté du spéculatif.

Je n'en veux pour preuve que le choc - et l'espoir - que va représenter en 1960 l'expérience de Pound et Rebka qui, grâce à l'effet Mossbauer récemment découvert, viennent de vérifier - à 1% ! - le troisième test. Une bonne nouvelle que A. Schild annonce dans l'American Journal of Physics sur un ton biblique :

"Voici des jours excitants : la théorie de la gravitation d'Einstein, sa théorie générale de la relativité de 1915, est passée du royaume des mathématiques à celui de la physique. Après 40 ans de contrôles astronomiques maigrement parsemés, de nouvelles expériences terrestres sont possibles et sont projetées" [26].

Durant la période de réception, on a pris acte de l'étonnante proximité - sur le champ expérimentable - des théories newtonienne et einsteinienne de la gravitation ; une proximité qui bientôt pourtant inquiète certains spécialistes ; ainsi, dès 1916, J. Droste, élève de Lorentz, qui est probablement le premier à s'exprimer à ce sujet, pointera "un résultat pour une fois différent de tout ce que prévoit la théorie de Newton" [27]. Sans doute son résultat est-il loin d'être achevé théoriquement et encore plus loin de pouvoir être observé. Il n'en demeure pas moins qu'il a mis en évi-

dence un champ d'action spécifiquement relativiste et flairé le danger que représente la trop grande proximité de la théorie de Newton [28].

Bien loin de ces visées alors purement spéculatives, un travail indispensable de développement, de justification sera accompli tout au long de ces années. Ainsi, s'agit-il, bien souvent dans le cadre d'approximations post-newtoniennes, de trouver de nouveaux effets spécifiques ou de calculer les contributions relativistes à des effets d'origine newtonienne. T. Levi-Civita a su très concrètement exprimer cette nécessité : "le mouvement des corps célestes dans des conditions ordinaires diffère si peu de sa représentation newtonienne que, pour les besoins astronomiques, les effets relativistes peuvent être traités comme des perturbations de premier ordre" [29] écrit-il au détour d'un article technique. C'est là une démarche nécessaire, indispensable, mais qui reste par construction dans la dépendance technique et conceptuelle de la théorie de Newton. Une démarche qui domine toute cette période et que H. Bondi défendra malicieusement en 1962 dans une conversation avec Sygne, évoquant "cette méthode particulière d'approximation" [à la relativité générale] inventée comme chacun sait 250 ans avant la théorie" et qui "sauf pour ce qui concerne quelques points mineurs" [---] "satisfait largement à [ses] propres aspirations à la réalité" [30].

Dans le droit fil de ces approches post-newtoniennes, il faut signaler les nombreux travaux qui dans le cadre de la solution de Schwarzschild s'appuyant sur un système de coordonnées particulier - celui de Droste-Schwarzschild - considéré de fait comme absolu, constitueront de facto une véritable interprétation néo-newtonienne sinon de la théorie du moins de sa solution la plus importante. Mais bien au-delà de cette démarche, il faut aussi penser aux nombreuses interprétations particulières de la théorie, réponses au problème que pose la covariance aux spécialistes.

Bien souvent, ces approches particulières se justifient de la complexité de la structure de la théorie et tout particulièrement des difficultés qu'imposent covariance générale et non-linéarité. Et plus d'un relativiste se plaindra du peu de solutions exactes connues, un fait qui n'est bien sûr pas indépendant de la complexité de la théorie. Ainsi, est-ce à l'occasion d'un travail important concernant la solution de Schwarzschild, dont il est précisément l'un des premiers à repenser l'interprétation traditionnelle - néo-newtonienne - que Sygne s'inquiète du manque de fécondité de la relativité générale face à la vigueur de la théorie de Newton. Un manque de fécondité qu'il attribue à la non-linéarité de ses équations de champ ("une formidable difficulté") et à la covariance générale ("embarrassante plutôt qu'avantageuse") [31].

Il n'empêche que les spécialistes de la théorie - et en particulier Sygne - sont conscients de la nécessité d'une approche spécifiquement relativiste :

"Au temps où la relativité devait gagner la croyance dans un monde incrédule, il était naturel de lui donner de la respectabilité en l'expliquant autant que possible en termes des vieux concepts, écrit-il. Mais cela a conduit à des concepts confus. Ces jours ont passé et l'on peut entreprendre un nouvel examen du problème de l'introduction des concepts relativistes" [32].

Ainsi, les spécialistes de la relativité générale ont-ils développé deux stratégies complémentaires. Une tactique pragmatique, à travers une vision basse de la théorie, en terme des vieux concepts - un choix qui s'exprime par exemple dans l'interprétation néo-newtonienne - afin de tenter de faire accepter la théorie face aux nombreuses critiques. Soit, faisant front, favoriser une vision décidément relativiste, payante - ce n'est alors qu'un espoir - à long terme, sans hésiter devant les spéculations cosmologiques par exemple, ni les techniques mathématiques sophistiquées mais en restant loin des préoccupations empiriques et donc tout en prêtant le flanc aux accusations de "formalisme". C'est là, évidemment, fort de leur intime conviction, le choix des vrais relativistes.

Entre le début des années vingt, les années d'or de la relativité générale et le milieu des années trente, par rapport au nombre total des publications recensées dans les "Fortschritte der Mathematik" qui est globalement multiplié par trois, la mécanique newtonienne conservera sa place en pourcentage (7%) tandis que la relativité générale verra la sienne se réduire comme peau de chagrin passant de 7% à 2%.

Comment s'étonner de la grande indifférence de la grande majorité des astronomes quant à la relativité générale ? Les astronomes qui semblaient devoir être naturellement les utilisateurs privilégiés d'une nouvelle théorie de la gravitation restent sourds à ses attraits ... et à ses techniques sophistiquées. Sans doute savent-ils que la relativité générale permet d'expliquer l'avance du périhélie de Mercure ; peut-être connaissent-ils la formule du second, voire du troisième test ; guère plus. Entre 1920 et 1960, à part l'ouvrage de J. Chazy, aucun traité d'astronomie n'accordera plus de quelques petites pages à la théorie d'Einstein, souvent moins, parfois rien. Un point qui n'est pas contradictoire avec l'intérêt que quelques astronomes porteront à la théorie jusqu'à en devenir de brillants spécialistes tel Eddington.

Le champ cosmologique possède quant à lui, un statut tout à fait à part et particulièrement intéressant. Même si la "cosmologie relativiste" [33] dépend conceptuellement, techniquement presque entièrement de la relativité générale, elle en reste alors de fait essentiellement distincte. Ainsi est-elle assez fréquemment ignorée des manuels et lors de la conférence de Chapel-Hill en 1957, la seconde conférence internationale consacrée à la relativité générale, P.G. Bergmann exclura explicitement de son rapport la cosmologie qui "est un champ en soi et au moins jusqu'à présent, n'est pas intimement connectée aux autres aspects de la relativité générale ..." [34]. A l'inverse, le rapport de G. Lemaître au Congrès Solvay de 1958 qui concerne "l'état général de la théorie cosmologique" ne fait pas mention de la théorie d'Einstein. De plus, ainsi que le souligne fortement Synge avec bien des auteurs : "de toutes les branches de la science moderne, la théorie cosmologique est la moins liée à l'observation" [35]. Car, sur le plan empirique, la cosmologie n'apporte alors que fort peu de choses à la relativité générale.

De tels faits permettent d'expliquer le peu de confiance sinon les invincibles réticences dont témoignaient beaucoup de relativistes quant au champ cosmologique et les précautions dont s'entouraient ceux qui y travaillaient. De plus, à la trop grande liberté que l'observation laissait à la théorie se conjuguaient la proximité épistémologique de la "philosophie" jetant une ombre diabolique sur une spécialité déjà marginale et suspecte.

Pourtant, d'une manière paradoxale et longtemps souterraine, ce sont précisément ces caractéristiques spéculatives qui donneront à la cosmologie une importance manifeste dans le développement de la relativité générale. C'est un cosmologue réputé, pourtant peu suspect d'idéalisme R.C. Tolman qui écrit en 1934 :

"Puisque nous avons basé notre traitement sur une théorie physique acceptable, nous sommes en droit d'attendre du comportement théorique de nos modèles au moins qu'ils nous informent et qu'ils libéralisent notre manière de penser quant aux possibilités conceptuelles du comportement de l'univers réel" [36].

C'est bien là en effet qu'il faut voir tout l'intérêt de la cosmologie pour la relativité générale ou plus précisément pour l'image de la relativité générale que s'en font et que forgent ses propres spécialistes. Car, à l'inverse de toutes les autres applications de la théorie, les effets cosmologiques ne sont pas liés à une vision néo-newtonienne. Et la cosmologie relativiste représente alors une des rares branches de la relativité générale qui dispose réellement, précisément en raison de son caractère spéculatif, de quelque autonomie face à la théorie de Newton ... En fait, jusqu'au début des années soixante, la cosmologie a constitué le seul domaine où la relativité générale a pu être projetée, pensée jusqu'au bout, dans le cadre d'une structure de l'espace-temps nettement dégagée des schémas newtoniens, d'un espace vraiment courbé. Ce n'est certainement pas un hasard s'il se trouve au moins deux cosmologues réputés, G. Lemaître et H.P. Robertson, aux sources de la refonte de l'interprétation de la solution de Schwarzschild et tout particulièrement de sa "singularité". C'est en ce sens que la cosmologie représentera un apport essentiel au développement récent de la théorie. Sans doute, l'exiguïté du champ directement expérimentable est à l'origine des problèmes de la relativité générale. Mais plus encore, c'est la structure même des champs envisagés et envisageables, du domaine dont peuvent s'autoriser les spécialistes qui bloque son évolution. Un domaine qui, pour être pris au sérieux, ne peut se situer en un lieu à jamais inaccessible observationnellement mais qui doit aussi laisser à la théorie la place de s'exprimer ; c'est précisément à cette frontière entre le spéculatif et l'empirique que se situait alors la cosmologie.

Einstein ne s'attardera guère à sa théorie de la relativité générale. Il n'est que peu satisfait de sa création [37] et en particulier de la description des sources de champ, un "pis-aller" notera-t-il dans ses notes autobiographiques ; à tel point qu'il s'étonnera - en 1921 - que C. Lanczos cherche des solutions exactes "à un tel ensemble éphémère "d'équations"" [38]. Pour lui, la relativité générale est d'abord pensée comme prolongement de la relativité restreinte, comme une généralisation du principe de relativité en présence d'un champ de gravitation. Selon cette interpréta-

tion, que conforte d'ailleurs tout simplement son nom la relativité générale n'est théorie de la gravitation qu'en second lieu, un statut qui ne dominera son image sans ambiguïté que plus tardivement. Ainsi la relativité générale ne représente-t-elle pour Einstein qu'une halte sur un chemin qui partant de la relativité restreinte aboutirait à une théorie unitaire des interactions gravitationnelles et électromagnétiques. Une halte qui lui permet d'obtenir deux "résultats" auxquels il tient particulièrement, "la covariance des lois de la nature et leur non-linéarité" ainsi qu'il l'exprime très clairement dans la préface du livre de P.G. Bergmann ; des "résultats" d'où il repart à la conquête de nouvelles terres ... Une "quête sans espoir", pour reprendre l'expression d'Abraham Taub [39], que plus d'un relativiste regrettera.

Quant au statut de la relativité restreinte, il se distingue désormais totalement de celui de sa soeur cadette. Sur le plan de l'expérience, bien sûr, mais plus encore sur celui de la construction théorique. Plus qu'une théorie, elle est considérée comme un outil de travail, une "super-loi" selon l'expression de Wigner, la première du bagage de tout physicien théoricien, tandis que la relativité générale, elle, est la discipline d'un petit groupe de théoriciens bien particuliers.

On recense plus d'une vingtaine de théories alternatives à la théorie d'Einstein ce qui est la marque d'un intérêt considérable. Mais pareil projet ne peut se concevoir, se soutenir après 1915 sans une certaine insatisfaction à propos de la théorie d'Einstein, sans arrière-pensées. Whitrow et Morduch, qui ont d'ailleurs travaillé eux-mêmes à une telle théorie, abordent cette question dans l'article de revue qu'ils consacrent en 1965 à ce sujet. Leur "vision critique" de la théorie d'Einstein reprend en substance les reproches qu'affronte la théorie depuis cinquante ans : faiblesse de la preuve empirique, importance "des éléments méthodologiques et esthétiques" [40]. A l'évidence ce dernier point est au centre des motivations de chacun car la faiblesse des résultats empiriques de la relativité générale est une conséquence inéluctable de la proximité des prédictions newtoniennes et des observations ; elle concerne donc également toutes les théories alternatives. C'est que, ainsi que nous l'avons souligné à maintes reprises, dans l'esprit des scientifiques se trame une sorte de bilan qui oppose les investissements consentis aux résultats obtenus ; un bilan qui pourrait être favorable à quelque théorie alternative, en rognant du côté des principes. D'autant plus que la relativité générale, ne disposant d'aucun paramètre arbitraire, a pu apparaître comme relativement fragile, telle une construction très rigide que le moindre événement pouvait déstabiliser et rendre caduque ; une construction qu'il ne devrait pas être si difficile de concurrencer, de remplacer par quelque architecture moins ambitieuse.

Une analyse des objections que soulève la relativité générale parmi ceux qui tentent de construire, entre les deux guerres, une autre théorie de la gravitation,

permet de percevoir deux thèmes bien distincts. D'une part des critiques d'ordre épistémologiques sinon philosophique qui interrogent les principes mêmes de la théorie. D'autre part des objections visant le caractère riemanien et non-linéaire de la relativité générale, qui ont pour point de départ la difficulté de la mise en oeuvre technique de la théorie. Mais personne ne met alors en cause la relativité restreinte ni la capacité de la relativité générale à répondre aux questions posées jusqu'alors par l'expérience.

Dans "The Principle of Relativity" publié en 1922 - au sommet de la gloire d'Einstein - Whitehead propose "une version alternative à la théorie de la relativité" : "Ma théorie maintient la vieille division entre physique et géométrie. La physique est la science des relations contingentes de la nature et la géométrie exprime l'uniformité de ses relations" note-t-il dans sa préface après avoir cité J.J. Thomson qui estime que "notre but ultime est de décrire le sensible en terme du sensible". Ainsi, ne s'étonnera-t-on pas de son refus apriorique d'un cadre riemanien, un refus qu'il partage d'ailleurs avec quasiment tous les auteurs de théories alternatives avant 1960.

Aussi bien, est-ce sur le plan idéologique que Milne attaque violemment la relativité générale d'Albert Einstein : "Le mysticisme qu'Einstein a balayé par la porte d'entrée dans sa relativité "restreinte" lorsqu'il insistait sur l'utilisation de nombres observationnellement déterminés pour fixer les événements est rentré par la fenêtre lorsqu'il introduisit les coordonnées générales de "l'espace-temps". La "relativité générale" implique une forme d'atavisme ..." écrit-il en 1940 [41]. Et c'est d'une manière imagée qu'il exprime son sentiment quant à la covariance générale :

"La relativité générale est telle un jardin où les fleurs et les mauvaises herbes croissent ensemble [42]. Dans notre jardin nous essayons de ne cultiver que les fleurs".

Mais aussi bien, au-delà de la covariance, c'est une fois de plus la structure riemanienne qui est visée. Ainsi, aussi bien chez Whitehead que chez Milne, ce ne sont pas tant les résultats théoriques de la relativité générale qui posent problème, pas plus que leur valeur prédictive ni même quelque point faible particulier ; c'est l'appareil épistémologique lui-même qui est rejeté, sans doute fondamentalement à cause de la trop grande distance entre la structure fondant la théorie et les faits empiriques, entre l'espace figuré et l'espace vécu.

Mais on peut aussi se demander si une des raisons à la multiplicité de ces tentatives ne serait pas le manque de familiarité dont certains auteurs font preuve face aux concepts et aux techniques nécessités par la relativité générale. C'est bien ce que laisse entendre la discussion qui, en 1925, suit l'exposé de l'esquisse théorique - restée sans lendemain - de G. Temple, un physicien théoricien britannique. Après avoir perfidement admiré "l'élégance et l'ingéniosité" des méthodes de l'auteur, Eddington remarque : "qu'un tel travail peut seulement être le recours de celui qui a déjà été conduit à croire que la théorie de la relativité est erronée" [43]. Mais, si l'on en croit les autres interventions, c'est bien plus la difficulté à comprendre

et à manipuler la théorie d'Einstein qui fait le succès de ce genre de travaux. Ainsi, la tentative de Temple trouve-t-elle un accueil favorable auprès d'un autre intervenant parce qu'elle est "beaucoup plus facile à suivre" tandis qu'un troisième le félicite d'avoir apporté "une théorie plus sympathique aux physiciens que celle d'Einstein". C'est là sans doute l'opinion, naïvement exprimée, du physicien de base. D'ailleurs, la complexité de la structure mathématique de la relativité générale et plus précisément la difficulté d'en manipuler les éléments est un point sur lequel insistent aussi Whitrow et Morduch et qui rejoint par exemple les inquiétudes de Synge qui a d'ailleurs travaillé à la théorie de Whitehead.

Mais, à ces motivations, dont aucune ne peut finalement être vraiment qualifiée d'interne [44], s'ajoute un fait important pour l'avenir de la physique et qui constitue à mon sens la plus sérieuse raison de quelques-unes de ces tentatives, face au scepticisme général et au manque de résultats qu'avaient rencontrées les théories unitaires. C'est que le caractère géométrique de la théorie d'Einstein l'isole quasiment des autres théories physiques qui sont alors des théories de champ bâties sur un espace "plat". A ce propos, Nathan Rosen poursuivant sa tentative d'interprétation de la relativité générale en ces termes se demande "s'il ne serait pas mieux d'abandonner l'approche géométrique de la gravitation dans l'espoir d'obtenir un traitement plus uniforme de tous les différents champs de force que l'on rencontre dans la nature" [45]. Ce sera en particulier dans les années cinquante la raison essentielle à la construction de théories phénoménologiques de la gravitation ainsi que l'expriment en 1957, F.J. Belinfante et J.C. Swihart : "D'un point de vue de simplicité théorique, notre théorie linéaire, par son refus de la covariance générale, a l'avantage d'éviter les complications des "contraintes" qui causent les difficultés de la quantification" faisant allusion aux travaux de Rosenfeld [46]. Ainsi, symboliquement, ce sont les deux "résultats" auxquels Einstein tenait le plus, "la covariance des lois de la nature et leur non-linéarité" qui sont le plus souvent mises en cause. Un point qui, nous l'avons vu, s'explique d'abord par des considérations externes à la gravitation, par la complexité des objets mathématiques impliqués par la relativité générale mais aussi par le désir de sortir la gravitation de l'isolement qui est le sien face à la théorie quantique. Ainsi donc est-ce, fondamentalement, ce "piédestal" géométrique complaisamment décrit par Lanczos [47], si représentatif du splendide isolement de la relativité générale, qui est visé.

Mais nul ne s'est plus appliqué à en saper les bases que R.S. Dicke, dès la fin des années cinquante : "La présomption de la validité de la relativité générale repose en premier lieu sur la beauté et l'élégance de la théorie plus que sur les observations" déplore-t-il [48]. Car il suspecte les relativistes de tenir à leur théorie pour des raisons esthétiques alors "qu'on peut construire autant de théories *ad hoc* que l'on veut" [49]. Et, parmi les arguments qu'il invoque pour trancher entre elles, au-delà de l'observation et des règles communément admises, il préférera la fécondité et la simplicité récusant bien sûr l'esthétique mais aussi l'histoire.

Ainsi, à Varenna en 1961, exprimera-t-il très crûment ce point de vue économiste :

"On a souvent soutenu, dans l'intérêt du conservatisme et de l'économie que l'on doit considérer seulement les théories établies comme la relativité générale jusqu'à ce qu'elles soient reconnues fausses par l'expérience. C'est d'habitude un bon principe" [50].

Si l'on peut comprendre que sa préférence aille à une théorie plus "simple" à manipuler et à relier aux autres théories physiques que la relativité générale, pour autant qu'elle rende compte du même champ empirique, il est plus difficile de le suivre lorsqu'il note aussitôt après qu' "il y a un danger qu'une théorie incorrecte soit propagée à cause d'un précédent établi sur un accident historique" (sic), même s'il précise longuement ce qu'il entend par "accident historique" en reconstruisant, en réécrivant une partie de l'histoire de la physique de 1906 à 1919, de la théorie de l'électron de Lorentz à l'éclipse de Sobral en replaçant différemment dans le temps les faits expérimentaux, les théories et les hommes. Sans entrer dans le détail de cette histoire-là, soulignons que l'argument essentiel de Dicke, c'est que Lorentz, placé devant la possibilité d'exprimer ses équations de mouvement de manière géométrique "n'aurait pas souhaité favoriser ce mode d'expression qu'il aurait considéré comme non-physique".

Bref, c'est toute l'architecture de la théorie que Dicke déplore ici, mais au-delà, ce qu'il ne supporte pas, c'est que la science soit elle-même soumise aux aléas de l'histoire à travers le désir d'un homme, fût-il Albert Einstein.

Même si les succès de la relativité générale lui donnent avant tout le statut d'une théorie de la gravitation, telle n'était pas aussi simplement l'ambition, le désir d'Einstein qui y voyait d'abord une théorie des changements de repère en présence d'un champ de gravitation. Ainsi, loin d'être une discipline "verticale" basée sur la gravitation, elle tend sinon à s'imposer, du moins à se faire accepter comme une théorie "horizontale", outil telle la relativité restreinte de (presque) toute la physique. Ainsi, la discipline est-elle mieux définie avant 1960 par l'ensemble des travaux ayant trait à la théorie d'Einstein que par son objet physique, la gravitation. Et certains manuels, pourtant représentatifs de la discipline ne se recouvrent que fort peu, tant son emprise potentielle est considérable. La comparaison des sujets abordés par les ouvrages de J. Chazy "La théorie de la relativité et la mécanique céleste" (1928-1930), de R.C. Tolman "Relativity, Thermodynamics and Cosmology" (1934) et P.G. Bergmann "The theory of Relativity" (1942) est édifiante.

Quant aux préoccupations de ceux qui, avant la seconde guerre mondiale, ont

consacré une partie importante de leur temps à la théorie, elles sont à l'évidence à l'image de cette diversité. Beaucoup sont des mathématiciens derrière H. Weyl, plusieurs des astrophysiciens ou des astronomes après S. Eddington et l'on s'étonne de n'y trouver finalement qu'une petite majorité de physiciens-théoriciens dont M. von Laue, est-au-delà d'Einstein - représentatif. Rares sont pourtant ceux qui y consacreront alors tout leur temps et plus d'un s'intéressera un moment à quelque théorie alternative ce qui montre bien que leur réel attachement à la théorie trouve, face à l'austérité de la conjoncture, ses limites.

Mais, à l'inverse, il ne faudrait pas que notre optique, qui répétons-le est de tenter de comprendre le silence relatif de la théorie durant ces années, induise une image désuète des travaux menés. Bien que ce ne soit pas ici le lieu d'en faire l'inventaire ni d'en écrire l'histoire, il n'en demeure pas moins que le renouveau de la discipline dans les années soixante plonge pour partie ses racines dans un certain nombre d'études dont l'intérêt n'est pas nécessairement apparu aussitôt [51]. Aussi bien, un certain nombre de questions théoriques pendantes ont reçu alors des réponses satisfaisantes. Mais dans la mesure où aucune demande pressante n'apparaissait du côté de l'observation, où aucune expérience ne cristallisait les questions théoriques, la relativité générale a sans aucun doute subi, en tant que spécialité un blocage ; d'autant que son absence de dynamisme se traduisait institutionnellement par un manque évident de postes et de crédits induisant par un effet d'entraînement facile à comprendre un moindre intérêt et de moindres résultats.

Tous les témoignages concordent pour indiquer que l'enseignement de la relativité générale a durement subi cette conjoncture . En 1942 Einstein le regrette tandis que S. Chandrasekhar note amèrement qu'entre 1936 et 1961, aucun cours de relativité générale n'a été donné à Chicago [52]. En fait son enseignement est laissé au gré de l'intérêt personnel des universitaires. Ainsi apprend-on dans sa correspondance avec Einstein que Max Born assure un cours à Göttingen en 1929 puis en 1940 à Edinbourg. En France, quelques cours seront donnés au début des années vingt, mais aucun témoignage ne fait état - avant le milieu des années cinquante - d'un enseignement suivi de la théorie. C'est dire le peu d'intérêt qu'elle suscite au niveau institutionnel.

La description que nous a laissée Infeld de l'ambiance qui régnait alors à Princeton résume fort bien la situation :

"En tout cas, dans les années vingt, les scientifiques témoignaient du plus grand intérêt pour la discipline. Mais déjà en 1936, alors que j'étais en contact avec Einstein à Princeton, j'observai que cet intérêt avait presque totalement cessé. Le nombre de physiciens travaillant dans ce champ à Princeton pouvait se compter sur les doigts d'une main. Je me souviens que très peu d'entre nous se rencontraient dans le bureau du défunt Professeur H.P. Robertson et puis même ces rencontres cessèrent. Nous, qui travaillions dans ce champ, étions plutôt regardés de travers par les autres physiciens. Einstein lui-même me faisait souvent remarquer "A Princeton, ils me prennent pour un vieil imbécile : Sie glauben ich bin ein alter Trottel". Cette situation resta à peu près sans changement jusqu'à la mort d'Einstein. La Théorie de la Relativité

n'était pas très estimée dans "l'ouest" et mal vue dans "l'est" [53].

Un témoignage qui corrobore celui de Bergmann qui confiait récemment à Abraham Pais que dans ces années-là "Vous n'aviez qu'à savoir ce que faisaient vos six meilleurs amis et vous saviez tout ce qui se passait en relativité générale" [54]. C'est là un témoignage qui souligne le peu de contacts entre les relativistes isolés dans leurs universités mais qu'il ne faut certainement pas prendre au pied de la lettre, sauf à réduire les spécialistes de la discipline aux quelques fidèles proches d'Einstein.

Peu d'ouvrages seront édités entre 1925 et 1955. Fort peu d'articles de revue paraîtront. Ainsi dans le très influent "Handbuch der Physik", la relativité générale, abordée en 1929 sera ignorée jusqu'en 1962, date à laquelle Bergmann y écrira un assez long article. Mais, plus que tout autre le fait que la première conférence internationale consacrée à la relativité générale se tienne quarante ans après la naissance de la théorie pour commémorer, au lendemain de la mort de son inventeur, le cinquantenaire de la théorie de la relativité restreinte, a valeur de symbole.

Mais ces caractéristiques spécifiques de la théorie d'Einstein ne prennent assurément tout leur sens que si on les rapporte aux conditions qui règnent tout au long de cette période dans la discipline voisine, le champ quantique. Là, la structure de production des connaissances y est bien différente : un champ expérimental explosif, un champ théorique extrêmement vivant, une dynamique incomparable. Une rude concurrence pour la relativité générale que le texte de Born [3] illustre parfaitement bien.

On ne peut ici passer sous silence la distance qu'Einstein lui-même oppose aux tenants de l'interprétation de Copenhague qui domine la physique quantique, le point le plus marquant des relations délicates qu'il entretient avec ses collègues quanticiens ; un point qui concerne d'abord bien sûr la position personnelle, l'autorité d'Einstein dans le milieu, mais qui ne sera évidemment pas sans influencer l'image de la théorie qu'il - et qui le - représente ; une prise de position symbolique d'une conception bien définie de la physique théorique.

Aussi bien la personnalité d'Einstein, sa vision du monde, l'image de la physique qu'il projette, son exigence et ses refus, sa solitude, évidemment très proches des caractéristiques de la seconde partie de son oeuvre, tout cela n'est pas sans influencer ceux qui choisissent alors, du milieu des années vingt au sortir de la seconde guerre mondiale, de travailler en relativité générale ; les rares théoriciens qui font ce choix développeront inéluctablement des travaux relativement formels aussi bien parce qu'ils partagent peu ou prou la vision globale d'Einstein, que parce que la théorie les y entraîne et que l'exiguïté de son champ empirique les y contraint.

Exigence théorique, volonté unitaire, intérêt épistémologique affirmé, caractère relativement formel de la production scientifique, refus d'une conception phénoménologique de la construction théorique, large impact de la structure mathématique face à la faiblesse des liens empiriques, caractère artisanal des structures de la recherche, tels sont alors les traits dominants de la production relativiste, des

17

caractéristiques que l'on ne retrouve pas précisément dans le champ quantique. Mais les caractéristiques extraordinairement différentes de ces champs théoriques se révèlent peut-être encore plus nettement quant à la manière de travailler des spécialistes, quant aux structures de la recherche. D'un côté, des théoriciens souvent intégrés dans des laboratoires importants, travaillant en collaboration sur des théories en constante évolution et en liaison avec des expérimentateurs nombreux au service de machines de plus en plus puissantes. De l'autre, des professeurs d'université travaillant le plus souvent isolément sur quelque aspect des équations d'Einstein.

Mais si la spécificité relativiste s'exprime par des éléments techniques et institutionnels, elle ne s'y résume pourtant pas. Une question se pose, que nous n'avons jusqu'alors pas évoquée ; s'il y a tant de raisons, dès 1915, de choisir de travailler en physique quantique - Born nous a éclairés à ce sujet - quelles sont les motivations de ceux qui vont, malgré la logique économique que nous avons esquissée, préférer se plonger dans l'étude de la relativité générale ?

Dans la préface de son "Relativity : the General Theory", un manuel qui paraît en 1960 et qui plus que tout autre représente la somme du travail accompli tout au long de ces années, c'est cette question que Synge pose, décrivant avec beaucoup d'humour l'image qu'il a du relativiste :

"De tous les physiciens, le relativiste est le moins engagé socialement. Il est le grand spécialiste en théorie de la gravitation et la gravitation est socialement signifiante, mais il n'est pas consulté pour la construction d'une tour, d'un pont, d'un bateau, ou d'un avion et même les astronautes peuvent se débrouiller sans lui jusqu'à ce qu'ils se demandent dans quel éther voyagent leurs signaux.

Couper les cheveux en quatre dans une tour d'ivoire n'est pas du goût de tout le monde, et sans aucun doute plus d'un relativiste attend le jour où le gouvernement lui demandera son opinion sur les questions importantes. Mais que signifie "important" ? La science a un double but, comprendre la nature et conquérir la nature, mais pour ce qui concerne la vie intellectuelle de l'homme, c'est sûrement la compréhension qui est la chose la plus importante. Alors laissons le relativiste rejoindre sa tour d'ivoire où il a la paix pour chercher à comprendre la théorie d'Einstein aussi longtemps que ce monde mouvementé se satisfera de faire ses affaires sans lui" [55].

Ainsi Synge exprime-t-il ici avec beaucoup de vigueur l'opposition entre deux mondes qui n'ont que peu de points communs sinon celui de partager une même ambition et une même institution : la physique théorique. Les images et les fonctions de ces deux courants sont amplifiées pour donner à penser ; celle du relativiste vu par son collègue physicien, à n'en pas douter spécialiste de la mécanique quantique, celle du quanticien vu par le relativiste. Derrière ces deux mondes qui le plus souvent s'ignorent, derrière ces deux projets - comprendre et conquérir - qui coexistent Synge donne à voir deux cultures qui s'affrontent, deux philosophies qui se heurtent. C'est avant tout une conception artisanale, monastique même de la science et des scientifiques qu'il défend ici ; refus de la physique triomphante aussi bien que de la société aliénante qui n'est pas sans faire penser à celle d'Einstein lui-même ; scepti-

11
cisme d'un homme idéaliste qui n'espère pas grand-chose de l'évolution de la science moderne.

Mais au-delà de sa position personnelle, sont on ne peut plus clairement posées les questions qui agitent le milieu. Elles trouvent leur source dans l'articulation de la théorie avec l'expérience, la physique et les mathématiques, ainsi que nous y avons insisté plus haut, mais bien plus encore désormais dans l'organisation quasi-industrielle du monde de la physique plus que jamais lié aux pouvoirs économique, militaire, politique. Un monde auquel les relativistes ont jusqu'alors échappé mais, (qu'Einstein nous en préserve !), auquel ils sont de plus en plus confrontés à travers la proximité institutionnelle des théories quantiques dans le cadre de la physique théorique.

Ainsi ce texte de Synge marque-t-il particulièrement bien la frontière entre deux époques que la mort d'Einstein sépare symboliquement et que le congrès de Berne marquera institutionnellement ; celle que nous avons décrite où la relativité générale constitue, à l'intérieur de la physique théorique, un îlot quelque peu suranné à l'abri des grands courants qui agitent les théories quantiques et celle du renouveau que pressent Synge. Une frontière que les organisateurs d'une école d'été consacrée en 1973 aux "Astres Occlus" marquent dans la préface des comptes rendus :

"L'histoire de la transformation prodigieuse de la Relativité Générale pendant ces dix dernières années est chose connue ; d'une baie tranquille où quelques théoriciens poursuivaient leurs recherches, elle est passée aux avant-postes, en pleine effervescence, qui attirent un nombre croissant de jeunes talents, ainsi que de crédits importants destinés aux recherches expérimentales" [56].

Bref, les relativistes vont désormais pouvoir vivre de la relativité générale et non plus seulement pour la théorie d'Einstein.

Références

- [1] On se reportera utilement aux articles de revue contenues dans ce volume.
- [2] Je serais très reconnaissant à ceux qui voudront bien me signaler les sources - certainement nombreuses - qui ont nécessairement dû m'échapper (lettres, documents d'archives, etc.).
- [3] Born (M.), 1955. - Physics and Relativity. - Fünfzig Jahre Relativitätstheorie, Helvetica Physica Acta, Sup. IV, 1956, p. 253.
- [4] A ce sujet on se reportera utilement aux travaux suivants :
- . Chandrasekhar (S.), 1975. - Verifying the theory of relativity. - Bull. of At. Sc., 31 : 17-22.
 - . Chandrasekhar (S.), 1979. - Einstein and general relativity : historical perspectives. - Am. J. of Phys., 47(3) : 212-217.
 - . Crelinsten (J.), 1984. - W.W. Campbell and the Einstein problem. -
 - . Earman (J.), Glymour (C.), 1980. - Relativity and eclipses : the british eclipse expeditions of 1919 and their predecessors. - Hist. Stu. Phys. Sci., 11(1) : 49-85.
 - . Earman (J.), Glymour (C.), 1980. - The gravitational red-shift as a test of general relativity : history and analysis. - St. Hist. Phil. Sci., 11 : 175-214.
 - . Eisenstaedt (J.), 1982. - Histoire et Singularités de la Solution de Schwarzschild (1915-1923). - Arch. for Hist. of Ex. Sci., 27(2) : 157-198.
 - . Pais (A.), 1982. - Subtle is the Lord ... - Oxford Un. Press. N.Y.
 - . Stachel (J.), 1979. - Einstein's Odyssey. - The Sciences, March 1979 : 14-34.
 - . Stachel (J.), 1979. - The genesis of general relativity. - Einstein Symposium, Berlin : 428-442.
- [5] Popper (K.), 1935. - Logik der Forschung. - J. Springer. On sait l'influence immense d'Einstein et singulièrement de la relativité générale sur Popper.
- [6] A ce propos, il faut citer :
- . Kuhn (T.S.), 1962. - The structure of scientific revolutions. - Chicago : the University of Chicago Press.
- mais aussi :
- . Bourdieu (P.), 1976. - Le Champ Scientifique. - Actes de la Recherche en Sciences sociales, 2/3 : 88-104.
- [7] Einstein (A.), 1942. in Bergmann (P.G.), 1942. - Introduction to the Theory of Relativity. - New York, Prentice Hall. Preface.
- [8] Einstein (A.), 1915. - Zur allgemeinen Relativitätstheorie. - Sitzungber. Berlin, p. 779, 4 Nov. 1915.
- [9] Bergmann (P.G.) op. cité p. 211.
- [10] Langevin (P.), 1922. - L'aspect général de la théorie de la relativité. - Bull. Sci. des étudiants de Paris, 30 Mars 1922, p. 20.
- [11] Weyl (H.), cité par :
- Chandrasekhar (S.), 1972. - The increasing role of General Relativity in Astronomy. - Observatory, 92 : p. 160.
- [12] Lanczos (C.), 1932. - Stellungder Relativitätstheorie zu anderen physikalischen Theorien. - Naturw., 20(7) : p. 115.
- [13] C'est moi qui souligne : Bergmann (P.G.), op cité p. 211.
- [14] Einstein (A.), 1916. - Über die spezielle ... - Braunschweig, Vieweg, 1917, préface p. V.
- [15] Chandrasekhar (S.), op. cité p. 213.
- [16] cité par Chandrasekhar, ibid.
- [17] op. cité p. 216.
- [18] Born (M.), op. cité p. 244.
- [19] A ce propos, on lira par exemple l'article de Crelinsten.
- [20] Cf. Earman et Glymour, op. cité.
- [21] Weyl (H.), 1918. - Raum Zeit Materie. - 1ère éd. Berlin : Springer Verlag, p. 198.
- [22] Par exemple dans la préface au livre de Bergmann.
- [23] Il est amusant de noter que suivant les époques et les auteurs, ce quatrième test est attribué à des effets différents : l'expérience d'Oetvos, l'effet Hubble, l'effet Shapiro, P.S. R 1913+16 ...

- [24] Oppenheimer (J.R.), 1956. - Einstein. - Review of Modern Physics, 28 : p.1.
- [25] Dicke (R.H.), 1961. - Mach's principle and equivalence. - Proc. E. Fermi, Varenna, XX : p. 1, Acad. Press New York.
- [26] Schild (A.), 1960. - Equivalence principle and Red-shift measurements. - Am. Journal of Physics, 28 : p. 778.
- [27] C'est moi qui souligne : Droste (J.), 1916. - Het zwaartekrachtsveld ... - Leiden : E.J. Brill éd. 1916, p. 26.
- [28] A ce propos : Cf. J. Eisenstaedt, op. cité.
- [29] Levi-Civita (T.), 1937. - Astronomical consequences of the relativistic two-body problem. - Amer. J. Math., 59 : p. 227.
- [30] Bondi (H.), 1962. - A discussion on the present state of relativity. - Proceeding of the R.S. of London (A), 270 : p. 325.
- [31] Synge (J.L.), 1950. - The gravitational field of a particle. - Proc. Roy. Irish Soc., 53 : p. 83.
- [32] Synge (J.L.), 1970. - Talking about Relativity. - North-Holland Pub., p. 16.
- [33] Nèologisme qui désigne la cosmologie dans le cadre de la relativité générale.
- [34] Bergmann (P.G.), 1957. - Review of Modern Physics, 29 : p. 352.
- [35] Synge (J.L.), 1960. - Relativity, the general theory. - Amsterdam : North-Holland Pub., p. 329.
- [36] Tolman (R.C.), 1934. - Relativity, Thermodynamics and Cosmology. - Oxford : Oxford Un. Press, p. 445.
- [37] A ce propos, on lira : J. Stachel, op. cité.
- [38] in Whitrow (G.J.), 1967. - Einstein : the man and his achievement. - British Broadcasting Corp., p. 49.
- [39] Whitrow (G.J.), op. cité, p. XII.
- [40] Whitrow (G.J.), Morduch (G.E.), 1965. - Relativistic theories of gravitation. - Vistas in Astronomy (6) : 1-67. Oxford : A. Beer ed.
- [41] Milne (E.A.), 1940. - Kinematical Relativity. - Oxford : Oxford Un. Press, p. 52. Milne qui aurait bien dû balayer devant sa propre porte, lui qui dans la conclusion de son "Kinematical Relativity" invoquera Dieu (1948, p. 233). Et l'on se demande bien de quel "atavisme" il est vraiment question ... On est en 1940.
- [42] Cité par Chandrasekhar, op. cité p. 214.
- [43] Temple (G.), 1925. - On mass and energy. - Proc. Phys. Soc., 37 : 269-281.
- [44] Car les difficultés techniques n'ont jamais empêché que soit "expliqué" quelque phénomène et vérifiée ou réfutée la théorie.
- [45] Rosen (N.), 1940. - General relativity and flat space. - Phys. Rev., 57 : 147-153.
- [46] Belinfante (F.J.), Swihart (J.C.), 1957. - Phenomenological linear theory of gravitation. - Annals of Physics, 1 : p. 168.
- [47] Lanczos (C.), 1955. - Albert Einstein and the theory of relativity. - Nuovo Cimento, 10(2), Supp. : 1193-1220.
- [48] Dicke (R.S.), 1964. - Gravitation and relativity. - New York : Chiu and Hoffmann ed., p. 1.
- [49] Dicke (R.S.), 1957. - Gravitation without a principle of equivalence. - Rev. of Mod. Phys., 29 : 363-376.
- [50] Dicke (R.S.), 1961. - Mach's principle and equivalence. - in Proceedings "Enrico Fermi", vol. 20 : p. 5. Møller (C.) ed., New York : Academic Press.
- [51] Je pense ici tout particulièrement à la cosmologie mais aussi à certains travaux d'ordre mathématique.
- [52] Chandrasekhar (S.), 1979. - op. cité p. 214.
- [53] Infeld (L.), 1962. - Proceeding on theory of gravitation (G.R.3). - Paris : Gauthier-Villars éd., 1964. p. XV.
- [54] Pais (A.), 1982, op. cité p. 268.
- [55] Synge (J.L.), 1960. - Relativity : the general theory. - Amsterdam : North-Holland.
- [56] DeWitt (C.), DeWitt (B.), 1973. - Black Holes/Les astres occlus. - New York : Gordon and Breach Sc. Pub.