

ASTRONOMIE ET PHILOSOPHIE  
EINSTEIN ET LE CONCEPT D'UN UNIVERS FINI

Lorsqu'en 1919 Einstein entreprit la rédaction de ses "Considérations Cosmologiques", Hubble n'avait pas encore découvert le "Royaume des Galaxies", le monde cosmique s'identifiait avec notre propre Galaxie et sa diversité même excluait le concept précis d'univers qui devait résulter quelques années plus tard du principe d'uniformité.

Dans ces conditions le problème cosmologique n'était pas différent, par son esprit du moins, sinon par son échelle, de n'importe quel autre problème de mécanique céleste, science triomphante de la seconde moitié du XIXème siècle.

Dans un cadre rigide et infini (l'espace euclidien de la géométrie), le mathématicien savait définir le mouvement du point matériel par rapport à un temps absolu s'écoulant d'un passé infini à un futur infini. Par exemple, sous l'action de la force de gravitation, le mouvement des planètes, assimilées à des points matériels, était prédit avec une extraordinaire précision. Etendre cette dynamique newtonnienne à toutes les étoiles du ciel, la cosmologie d'alors n'avait pas d'autres prétention. Mais on remarquera que, dans cette attitude, fondamentalement, les concepts d'espace et de temps restaient des êtres mathématiques. Ils existaient a priori comme le décor du théâtre où allait se jouer l'aventure de l'existence universelle. Par là même, le temps et l'espace étaient infinis, a priori également comme les structures mathématiques censées les représenter, (représentation de l'espace par la géométrie "ouverte" d'Euclide, donc infinie et application de l'ensemble des instants cosmiques sur l'ensemble ordonné des nombres réels de  $-\infty$  à  $+\infty$ ).

S'il est vrai que le génie ressemble à une prémonition, telle semble bien la démarche intellectuelle d'Einstein qui, près de dix ans après la preuve que devait en apporter Hubble avec les clichés du Mont Wilson, posait comme préalable à ses "Considérations Cosmologiques", que malgré sa diversité apparente, l'univers à grande échelle *devait* être uniforme, à l'image d'un gaz, dont le désordre local des molécules n'interdit nullement de définir la densité, paramètre macroscopique qui apparaît alors constant et bien défini malgré les mouvements browniens internes.

Mais cette notion de densité uniforme de l'univers, que toutes les découvertes ultérieures de l'astrophysique devaient confirmer de façon éclatante, se heurtait alors à une irréductible difficulté dans la théorie cosmologique de la dynamique newtonnienne dont nous venons de parler.

D'après cette théorie, et dans le cas d'un milieu à densité uniforme, le potentiel de gravitation est défini par une célèbre relation, l'équation de Poisson. Cette équation montre alors très simplement que si le potentiel de gravitation a, localement, la forme que nous lui connaissons bien et qui rend compte si précisément du mouvement des planètes, alors la densité de l'espace s'annule à l'infini, contrairement au principe cosmologique qui pose les propriétés du cosmos identiques à elles-mêmes en tout point de l'espace.

Devant ce dilemme, fallait-il renoncer à la théorie de Newton et au magnifique édifice de la mécanique céleste ? Il n'en était évidemment pas question. Fallait-il alors renoncer au postulat de l'uniformité de l'espace ? Pour Einstein il n'en était pas davantage question car l'uniformité cosmique n'était pas seulement pour lui une intuition de physicien mais aussi un profond attachement à l'idée de la rationalité de la nature: la raison est apte à comprendre aussi bien les phénomènes à l'échelle cosmique qu'à l'échelle locale mais pour ce faire elle a besoin d'un concept précis d'univers, basé sur la notion d'uniformité.

Frappé de ce que, devant les exigences de la loi de Newton d'une part, du principe d'homogénéité d'autre part, l'irréductible difficulté résidait seulement à l'infini, Einstein commença à douter de l'infinitude de l'espace. C'était, faut-il le rappeler, par un attitude en tout point semblable que, quelques années plus tôt, il devait renoncer

à l'"évidence" ancestrale du temps absolu pour concilier les exigences de la mécanique rationnelle avec son principe d'invariance de la vitesse de la lumière, imposé par l'expérience.

Par ailleurs, avec un sens très profond de la physique, Einstein répugnait à admettre aveuglément le concept d'un univers purement mathématique, d'un cadre, d'une géométrie préalables à tout processus physique. L'idée maîtresse de sa conception de l'univers est empruntée au principe de Mach, selon lequel la géométrie de l'espace est entièrement *déterminée* par son contenu matériel.

En dehors de la matière-énergie existante, il n'y a ni espace ni temps. L'idée de la relativité générale n'est pas autre: dans cette théorie, ce n'est plus cette mystérieuse action à distance qu'est la force d'attraction newtonnienne qui retient une planète sur son orbite, c'est la masse du Soleil qui déforme la géométrie de l'espace autour d'elle et incurve la trajectoire inertielle de la planète, à l'image de la cuvette d'une roulette qui oblige la bille à des trajectoires circulaires.

Quelle ne fut pas la surprise de retrouver alors, quantitativement, toute la théorie newtonnienne de la gravitation comme une première approximation de la relativité générale ! Quelle ne fut pas, en seconde approximation, la surprise de prédictions étonnantes de la théorie qui devaient bientôt expliquer les résidus, irréductibles en théorie newtonnienne, des avances périhéliques de Mercure et laisser entrevoir une déviation des rayons lumineux eux-mêmes au voisinage des masses, déviations que l'on a maintes fois vérifiées depuis au voisinage du Soleil, en photographiant au cours d'une éclipse totale le fond du ciel étoilé près du bord solaire. Ces éclatants succès de la relativité générale confirmaient Einstein dans la croyance au principe de Mach, en cette influence directe de la réalité matérielle sur la géométrie de l'espace. Mais alors si la gravitation n'était plus qu'un aspect géométrique de l'espace, son potentiel était aussi un être géométrique et l'équation de Poisson était une ébauche d'expression quantitative du principe de Mach puisqu'elle liait le potentiel, donc la géométrie, à la densité de matière.

Utilisant des procédés mathématiques sur lesquels nous ne pouvons pas nous étendre, Einstein établit une expression plus générale du principe de Mach, dont l'avantage par rapport à l'équation de Poisson était d'être définie indépendamment du système de référence particulier de tel ou tel observateur. Cette généralisation allait dans le sens du principe cosmologique. C'est la célèbre équation tensorielle du champ ( sous entendu du champ de gravitation).

Ainsi une grande convergence d'idées conduisait Einstein à ses "considérations cosmologiques". Pourquoi ne pas renoncer à la géométrie euclidienne comme image de l'espace cosmique puisqu'on peut, avec la relativité restreinte, renoncer avec le succès que l'on sait au cadre du temps absolu et que, localement, une géométrie, courbée par la présence des masses, explique si bien la gravitation? Pourquoi ne pas rechercher comme image de l'univers une géométrie courbe qui referme l'univers sur lui-même et lève du coup l'irréductible difficulté gravitationnelle de l'infini?

La solution résidait dans les équations du champ qu'Einstein venait d'établir et, après la géniale idée directrice, le calcul devait se dérouler sans difficulté spéciale.

Einstein montra que pour obtenir une telle géométrie fermée de l'espace, il fallait seulement adjoindre dans l'équation du champ un terme où figurait une constante qu'il appela et qu'on appelle encore aujourd'hui la constante cosmologique.

Beaucoup plus tard, le mathématicien Elie Cartan devait montrer que l'équation du champ prenait ainsi sa forme la plus générale.

Mais en 1917 Einstein se souciait seulement de construire un modèle d'univers dont l'espace se refermât sur lui-même. C'était le modèle statique d'Einstein que nous décrirons une prochaine fois.