

ASTRONOMIE ET PHILOSOPHIE  
IV - LES MODELES D'UNIVERS EN EXPANSION

Après la découverte de l'expansion de l'Univers par Hubble, de nombreux modèles mathématiques dans lesquels la géométrie de l'espace variait avec le temps furent proposés.

Précurseur méconnu, Friedman entre 1922 et 1924 avait déjà décrit les principaux types de ces modèles mais Friedman était un mathématicien qui se contentait de l'élégance de telle ou telle solution. Il lui manqua d'entrevoir que ses solutions non statiques des équations d'Einstein risquaient d'avoir un sens physique et de prédire ainsi théoriquement l'expansion de l'univers avant même qu'Hubble ne pût l'observer.

Quelques années plus tard, un autre mathématicien, Robertson, avait atteint, dans ce domaine de recherche, une maîtrise incontestée. Il établit l'existence de tous les modèles d'univers en expansion que l'on pouvait déduire des équations d'Einstein et retrouva ainsi les modèles de Friedman comme cas particuliers de son étude générale.

L'état de la question cosmologique s'établissait donc, vers les années 1930, sensiblement comme suit. Les modèles proposés pour expliquer l'Univers résultaient finalement de deux principes:

Le principe de Mach, selon lequel leur géométrie était déterminée par leur contenu matériel. C'étaient les équations du champ de gravitation établies par Einstein qui traduisaient quantitativement ce principe et les modèles de Robertson étaient bien, tous, solutions des équations d'Einstein.

Le second principe, ou principe cosmologique, posait l'homogénéité et l'isotropie de l'espace.

Alors, curieusement, le modèle le plus général de Robertson montra une nouvelle séparation de l'espace et du temps que, localement, la théorie de la relativité restreinte avait abolie. A l'échelle cosmique, le temps redevient absolu. C'est un temps cosmique, universel, qui s'identifie au temps propre de chaque galaxie et c'est par rapport à ce temps absolu cosmique que varie la géométrie de l'espace.

De très nombreux modèles particuliers sont compatibles avec ce modèle général de Robertson, mais dans les grandes lignes, disons que trois cas principaux peuvent se présenter: ou bien la courbure de l'espace referme l'univers sur lui-même. C'est encore, comme dans l'ancien modèle d'Einstein, l'image de la surface d'une sphère qui représente alors au mieux l'univers physique mais le rayon de cette sphère croît avec le temps, provoquant ainsi l'expansion de toute la géométrie spatiale.

Ou bien l'univers est euclidien, infini et en expansion, ou bien encore l'univers est, de par sa courbure particulière, encore plus ouvert que l'espace euclidien. Son espace est encore infini. Ce dernier modèle est dit hyperbolique.

On voit alors à quel point les progrès de la cosmologie reculaient la solution du problème puisqu'aussi bien des univers finis que des univers infinis apparaissent comme solution mathématique des équations d'Einstein.

Certes la courbure de l'espace apparaissait dans les équations comme directement liée à la densité de matière dans l'univers et un critère expérimental s'offrait ainsi pour déterminer le modèle d'univers. Si l'on trouvait une densité de matière suffisante, l'univers devait être refermé sur lui-même et donc fini.

Mais il est bien difficile d'effectuer une étude exhaustive des dénombrements de galaxies, et d'accéder ainsi à une bonne mesure de la densité de matière dans l'uni-

vers. Et puis il existe sans doute une matière intergalactique qu'on observe encore très mal et dont il est très difficile d'évaluer la densité.

Le problème se présente donc de la façon suivante: si l'univers est fini, fermé sur lui-même, on finira un jour par découvrir assez de densité matérielle pour prouver qu'il est fermé mais s'il est ouvert, infini, on ne sera jamais sûr de ne pas avoir oublié une quantité importante de matière, invisible à nos techniques, pour pouvoir utiliser avec certitude le critère de densité dans ce sens.

Un autre aspect de l'expansion de l'univers suggérait une origine commune à cette expansion, un état hyperdense de l'univers dans le passé, à partir duquel l'expansion aurait dilué la matière universelle afin de lui donner aujourd'hui l'aspect que nous lui connaissons.

Le taux d'expansion permet de calculer l'âge de l'univers. A l'époque des résultats de Robertson, les mesures conduisaient à un âge trop court de l'univers, incompatible avec les âges des étoiles ou même celui d'une planète comme la terre.

Il convient donc d'insister sur le grand désarroi que laissaient dans les esprits les plus enthousiastes (et Einstein était de ceux-là) la multiplicité des modèles possibles, la remise en question de la finitude ou de l'infinitude de l'espace, l'âge de l'univers.

En 1917, Einstein avait cru trouver le modèle unique, solution des équations du champ de gravitation. Cette unicité avait, en effet, à ses yeux une très haute portée philosophique.

Les équations qui traduisent les lois de la physique ont en effet un caractère local, très lié à l'observateur qui les étudie. Elles n'impliquent rien sur la géométrie du voisinage. Quelle chance avons-nous alors de connaître jamais les propriétés de ce voisinage? Voilà bien le coeur de la question philosophique sur le monde qui nous entoure. Ce voisinage se comporte-t-il par sa diversité possible, comme un "n'importe quoi" qui échappe, au hasard même de cette diversité, à notre possibilité de connaissance? Ou bien a-t-il une structure unique susceptible d'être connue? L'unicité du modèle d'Einstein avait à ses yeux valeur épistémologique. C'était un acte de foi rationaliste. Pour Einstein, au même titre que les phénomènes locaux, les phénomènes à grande échelle sont accessibles à notre raison. On peut donc découvrir un modèle de notre univers physique.

En collaboration avec De Sitter, Einstein entreprit de choisir dans la diversité des modèles de Robertson, le modèle idéal. Einstein le détermina par un processus que Merleau Ponty appelle celui de l'économie logique. Trois constantes donnaient aux modèles de Robertson leur diversité. Einstein convint de les prendre toutes trois nulles. Il renonçait ainsi à la constante cosmologique qu'il avait introduite en 1917 dans les équations du champ de gravitation pour construire son premier modèle. Annuler la seconde constante, la pression du gaz cosmique, revenait à traduire l'évidence de la ténuité de la matière universelle où les chocs entre galaxies sont inexistantes. Enfin annuler la troisième constante, celle de la courbure, revenait à choisir à nouveau un espace infini et euclidien pour une raison précise, une difficulté inhérente à la théorie de la gravitation. Cette difficulté n'était soulevée que dans le cas d'un modèle statique d'univers. Avec un univers en expansion, cette difficulté ne subsistait plus.

Le mouvement du modèle d'univers, proposé par Einstein-De Sitter en 1932, était donc infini, sans courbure comme l'espace euclidien, avec un temps cosmique absolu, et en expansion à partir d'une singularité primordiale qui fixait l'âge de l'univers.

On ne manquera pas de remarquer le caractère arbitraire de cette convention d'Einstein qui consistait à annuler a priori trois constantes pour déterminer le modèle d'univers et l'on s'étonnera moins de voir naître alors en Grande Bretagne un courant de pensée philosophique qui prétendit reconstruire la cosmologie sans l'aide des équations de la relativité générale. Il s'agissait de ce qu'on appela la cosmologie déductive.