

Christian Magnan

Le théorème du jardin

Morceaux choisis

Nous voyons le Soleil se lever à l'est, se coucher à l'ouest, et tous les autres astres, étoiles et planètes, partager la même ronde. Cette course quotidienne d'un côté à l'autre de l'horizon donne l'illusion que le monde entier tourne autour de la Terre. Depuis toujours les hommes ont interprété cette situation en pensant que nous sommes placés au centre du monde et que la Terre est soumise à la souveraineté de dieux ou personnes mythiques dominant l'empire céleste. On peut dire que c'est sur cette croyance que les religions et plus généralement le sacré se sont construits en prenant des formes incroyablement diverses au gré des différentes civilisations. Or il n'y a que quatre siècles, donc tout récemment à l'échelle de l'histoire humaine, que nous connaissons l'explication profonde de ce mouvement de rotation quotidien : c'est la Terre qui tourne sur elle-même au milieu du ciel en vingt-quatre heures. Ce n'est pas le ciel qui tourne autour de la Terre. Mais comment se fait-il que l'humanité ait mis si longtemps dans son cheminement de pensée à distinguer le vrai de l'apparent ? Réponse : c'est la science qui nous a permis de découvrir la réalité, et cette science n'est apparue que tardivement.

C'est la science et seulement la science. Il est bon de reconnaître qu'en dehors de la science des siècles de discussions de tous ordres (religieuses, philosophiques, officielles ou privées) n'ont jamais permis de trancher les questions posées. Comme l'a écrit le philosophe rationaliste Bertrand Russell (1872-1970) dans son livre *Science et Religion* (Éditions Gallimard, 1971) : « Toute connaissance accessible doit être atteinte par des voies scientifiques ; ce que la science ne peut pas découvrir, l'humanité ne peut pas le savoir. » Encore aujourd'hui il est utile de souligner le rôle unique de la science parmi les disciplines où s'exerce la pensée et le caractère difficilement contestable de sa position exclusive dans le monde de l'intelligence. Elle seule peut connaître ce que j'aime appeler la *vérité des choses* (car c'est le mot juste).

Quel trait caractérise la vraie science ? La rencontre d'un corpus théorique puissant et de résultats expérimentaux significatifs. Cette rencontre, que je qualifierais de miraculeuse pour en souligner le caractère providentiel, s'est produite pour la première fois au moment de la révolution copernicienne, lorsque naît la science moderne. Déroulons cette période à grands traits, sans vouloir en faire un compte-rendu historique, mais plutôt pour dégager les lignes de force sur lesquelles s'est appuyée la pensée nouvelle. Suivant en ceci la tradition, en l'occurrence justifiée, et notamment la présentation de Jean-Marie Vigoureux (*Les pommes de Newton*, Albin Michel, 2003) je choisirai les quatre figures exceptionnelles de Copernic, Kepler, Galilée et Newton comme marquant les étapes les plus significatives de la révolution de pensée accomplie en ce XVII^e siècle. Cette décision ne signifie pas que d'autres personnes telles que astrologues, observateurs, techniciens, mathématiciens, que sais-je ?, n'ont pas joué leur rôle. Mais après coup il est bon de dégager, ne serait-ce que de façon symbolique et pédagogique, les étapes et le sens du cheminement ayant conduit les hommes à découvrir le monde dans sa vraie nature.

[...]

Symboliquement la science moderne est née un jour d'août 1684. Newton a 41 ans et demeure à Cambridge, où il professe dans la plus fameuse université anglaise. Il vit reclus dans un isolement quasi complet, adressant à peine la parole à ses domestiques et se refusant à recevoir qui que ce soit. Ne supportant pas la moindre critique sur ses travaux notre savant misanthrope et irascible s'est retranché dans sa solitude pour se préserver des querelles

blesantes. Un jour pourtant se présente à sa porte l'astronome anglais Edmond Halley (1656-1742), le découvreur de la fameuse comète portant son nom, jeune brillant physicien de vingt-huit ans, membre de la Royal Society depuis déjà six ans et, miracle, Newton accepte de le recevoir. Halley, prévenu des risques de sa hardiesse et inquiet à l'idée d'importuner notre ombrageux savant, s'empresse de lui indiquer le motif de sa visite :

— Monsieur, je viens vous demander quelle serait la trajectoire d'une planète si la force de gravité à laquelle elle est soumise de la part du Soleil diminuait comme l'inverse du carré de sa distance à cet astre.

Autrement dit, Halley lui pose la question de savoir si une loi d'attraction en $1/r^2$ (comme on la désigne couramment en termes techniques) permettrait de déterminer la trajectoire des planètes. Or Newton connaît la réponse car le problème soulevé par Halley se situe au cœur de ses recherches scientifiques d'il y a une vingtaine d'années :

— Monsieur, je sais : cette trajectoire serait une ellipse !

À ces mots apparaissait la science moderne. Car l'ellipse de Newton, produit théorique de la loi en $1/r^2$, rejoignait l'ellipse de Kepler, produit empirique de l'observation. La science naissait de la rencontre entre théorie et expérience, une rencontre qu'avec Einstein on peut qualifier de « miraculeuse » et mystérieuse en ce sens que nul ne sait et ne saura sans doute jamais pourquoi notre mathématique humaine peut comprendre le fonctionnement du monde matériel. Le plus fascinant dans cette conjonction entre le formel et le concret est que les deux termes de la relation sont indépendants (et, comme nous le verrons dans le chapitre consacré à la matière noire, non seulement ils le *sont* mais ils *doivent* l'être, sous peine de stérilité). Quand Kepler a trouvé « son » ellipse il n'avait pas la moindre idée de la force d'attraction gravitationnelle en $1/r^2$ entre le Soleil et les planètes. Quand Newton faisait ses recherches il ne cherchait pas à tout prix à expliquer l'ellipse observée de Kepler : il découvrait les lois de la dynamique des corps, inventait et formalisait la notion de force, d'accélération, de masse. C'est en chemin, pourrait-on dire, qu'il a trouvé son ellipse : elle ne constituait pas son but. Newton ne cherchait pas à *reproduire* la nature à travers un schéma artificiel. Son ellipse reste un objet théorique, et par conséquent non réel.

[...]

Grâce à un calcul plus précis de l'orbite de la comète tenant compte de la présence des planètes géantes Jupiter et Saturne, capables de provoquer par leur perturbation gravitationnelle retard ou avance et changement d'orbite, Clairaut en France annonce le retour de l'astre chevelu au périhélie pour le 13 avril 1759. La comète de Halley est au rendez-vous le 12 mars et son apparition signe le triomphe définitif de la théorie newtonienne de la gravitation.

Au chapitre de la petite histoire, le retour de la comète de Halley aura donné naissance à un catalogue d'objets célestes universellement connu des astronomes amateurs et professionnels : le *catalogue de Messier*. L'astronome Charles Messier (1730-1817), observateur de grande qualité, fut chargé en France de guetter le retour de la comète de 1759. Dans cette recherche il eut la mésaventure de prendre pour la comète attendue un objet nébuleux du ciel, aujourd'hui connu comme la « nébuleuse du Crabe », reliquat de l'explosion d'une supernova en 1054 observée par plusieurs astronomes d'Extrême-Orient. De dépit il décida alors d'établir la liste de tous les objets nébuleux du ciel pour éviter aux chasseurs de comètes de subir la même déconvenue en confondant ces petites taches célestes avec l'objet de leur recherche. Il ouvrit cette liste avec M1, la nébuleuse du Crabe donc, l'objet de sa méprise. C'est ainsi qu'est né le

fameux « catalogue Messier » listant 110 objets du ciel profond d'aspect diffus. Cette liste est perpétuellement utilisée par les astronomes amateurs pour désigner et repérer les objets les plus spectaculaires du ciel. Elle répertorie la plupart des amas d'étoiles, nébuleuses et galaxies les plus accessibles de notre ciel boréal et forme la base incontournable de tout programme d'observation. Nous verrons par exemple dans un chapitre ultérieur que la détermination des dimensions de notre Univers repose sur la mesure de la distance de l'objet catalogué M31, la nébuleuse d'Andromède, qui fut reconnue vers 1925 comme une galaxie à part entière, un univers-île semblable à notre propre Voie Lactée. M13 est le fameux amas globulaire d'Hercule et M44 l'amas de la Crèche.

Après les années 1750 la théorie de Newton, contestée surtout en France depuis plus d'un demi-siècle, s'affirme enfin comme une vérité scientifique inébranlable. Cette reconnaissance tardive va conduire, grâce à Voltaire, à la publication en français de l'œuvre du savant anglais. Après la parution de ses lettres philosophiques en 1734 Voltaire est en danger d'être emprisonné par le pouvoir au motif que ses écrits critiquent trop vivement les institutions françaises. Échaudé par deux précédents séjours à la Bastille et un exil en Angleterre, Voltaire préfère fuir Paris pour se réfugier au château de la marquise du Châtelet, à Cirey-sur-Blaise, en Lorraine alors indépendante (ce qui lui donne la possibilité de s'enfuir rapidement à l'étranger s'il est inquiété). Il a fait la connaissance d'Émilie du Châtelet, née Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil (1706-1749), un an plus tôt et entretient avec elle une relation amoureuse et intellectuelle féconde qui durera quinze ans. Voltaire reconnaît en elle des aptitudes scientifiques remarquables et l'encourage vivement à approfondir ses connaissances déjà grandes en physique et mathématique. Elle le fera avec passion, bénéficiant notamment des leçons des mathématiciens Maupertuis et Alexis Clairaut (1713-1765) avec lequel elle traduira les *Principia* de Newton. Que l'on me permette d'admirer la marquise du Châtelet pour avoir transmis à la postérité l'œuvre de Newton en s'étant révélée capable de comprendre, commenter et rendre accessible au public les théories du grand savant. Première femme scientifique moderne à une époque où les personnes de son sexe n'avaient pas accès à l'enseignement supérieur elle témoigne à travers son courage et sa force de caractère de la révolution qui reste encore à accomplir pour accorder aux femmes leur place dans la société (elle n'a toujours pas d'entrée dans le *Petit Larousse Illustré* 2009, mais elle est citée dans *le Petit Robert*). Elle eut trois enfants et mourut à l'âge de quarante-trois ans en accouchant d'une fille (qui ne lui survécut pas) qu'elle avait conçue avec son dernier amant le poète Jean-François de Saint-Lambert. Sentant sa fin approcher elle s'était hâté de terminer la traduction et d'en envoyer le manuscrit à la bibliothèque du roi quelques jours avant de quitter et laisser dans la peine ceux qui l'aimaient.

[...]

Le moment historique majeur de la mesure du système solaire, injustement méconnu, date de 1672. Le roi Louis XIV règne en France depuis une vingtaine d'années lorsqu'en 1666 il fonde avec Jean-Baptiste Colbert l'Académie royale des sciences, laquelle décide dans sa première séance de créer l'observatoire qui deviendra l'actuel Observatoire de Paris. Le plan médian du bâtiment constituera le méridien origine des longitudes sur Terre jusqu'à ce que les français s'inclinent devant les anglais en acceptant officiellement en 1884 que le méridien de Paris soit remplacé par celui de Greenwich, la longitude de l'Observatoire de Paris devenant 2° 20' 14" Est. (Il serait malséant d'insister sur l'attitude ultérieure de nos amis de la perfide Albion : bien qu'en contrepartie ils aient promis d'adopter le système métrique ils comptent toujours les mètres en miles et les kilogrammes en livres.)

Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), astronome italien que Colbert fit venir en France, où il se fera naturaliser (pour être connu par la suite sous le prénom Jean-Dominique), devient le premier responsable de l'Observatoire de Paris. Cette institution sera d'ailleurs dirigée de père en fils pendant cent vingt-cinq ans par la dynastie Cassini. C'est le premier Cassini, Jean-Dominique, qui détermina avec Jean Richer (1630-1696), qu'il avait envoyé en mission d'observation à Cayenne, la vraie distance de la planète Mars en profitant du moment de son *opposition* de 1672. Dans cette configuration Mars est alignée avec la Terre et le Soleil et les deux planètes sont situées du même côté de l'espace (Mars étant en somme en position de Pleine Lune). Il en résulte que la Terre et Mars sont au plus près l'une de l'autre, leur distance mutuelle étant alors de $1,52 - 1 = 0,52$ (ce calcul approché néglige l'ellipticité de l'orbite de Mars). La connaissance de cette grandeur en kilomètres permit immédiatement de donner l'échelle du système solaire et de remonter à la distance Soleil-Terre. En effet en comparant les observations de Cayenne avec celles de Paris on mesura le décalage de la position de Mars sur le ciel par rapport aux étoiles voisines (c'est le phénomène de *parallaxe*, sur lequel nous reviendrons), décalage qui fournit la distance de l'astre visé. Cassini écrit en 1730 dans les *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* : « par le choix des observations les plus exactes et les plus conformes entre elles, on fixa à 15 secondes d'arc la parallaxe que fait Mars de Paris à Cayenne ». Et de s'enthousiasmer : « rien n'est plus agréable ni plus merveilleux dans les vérités mathématiques, que leur extrême fécondité. 15 secondes de parallaxe découvertes dans Mars, qui sont une grandeur presque imperceptible aux yeux et aux instruments, nous vont donner la grandeur énorme du corps du Soleil ». Avec ce chiffre les calculs mettaient le Soleil à environ 140 millions de kilomètres de la Terre, une valeur honorablement précise puisqu'elle ne diffère que de 7% de la valeur réelle. Précisons que pour mener à bien ses calculs Cassini avait besoin de connaître la distance entre les deux points de visée. Il disposait pour cela de mesures de distances terrestres effectuées notamment par l'astronome et géodésien Jean Picard (1620-1682). À ce sujet la famille Cassini a dressé la première carte générale du royaume de France à partir de points d'observations couvrant tout le pays, une carte qui a constitué un modèle pour les cartographes du monde entier. Les cartes de l'État-major et les cartes IGN dont nous nous servons de nos jours sont les descendantes de la carte de Cassini. En l'honneur de cette lignée d'arpenteurs de la Terre le sommet oriental du plateau du Mont Lozère a reçu le nom de *pic Cassini*. À 1 680 mètres d'altitude il constitue un point géodésique de tout premier ordre d'où se déploie un paysage grandiose des Alpes aux Pyrénées. De ce point on peut viser en particulier le Mont Ventoux et le Mont Aigoual et appliquer la méthode de triangulation des géodésiens, celle que les astronomes vont utiliser dans le ciel.

Le problème de la longitude

Une autre question préoccupe les savants depuis plus de seize siècles. Les hommes sont toujours incapables de déterminer la longitude d'un lieu et les navigateurs restent désemparés devant la difficulté à connaître leur position est-ouest. Le 22 octobre 1707, par une nuit d'épais brouillard, les vaisseaux commandés par l'amiral Sir Cloudisley Shovell, de retour de Gibraltar après des escarmouches avec la flotte française dont ils étaient sortis victorieux, se déchiraient sur les récifs des îles Scilly, dans le prolongement des Cornouailles. Les capitaines avaient mal estimé leur route et pensaient être beaucoup plus près des côtes françaises. Quatre vaisseaux sombrèrent et quelque deux mille marins périrent noyés. Devant l'émotion créée par le naufrage fatal, sous la pression de la marine royale mais aussi des commerçants et armateurs qui tiraient grand profit des voyages océaniques, ce gravissime accident poussa le parlement britannique à voter en 1714 une loi, connue sous le nom de *Longitude Act*, qui

engageait la Grande Bretagne à payer un prix de 20 000 livres sterling (quelques millions de nos euros actuels) à qui se montrerait capable de concevoir un moyen de déterminer la longitude à bord d'un navire de façon pratique et fiable à une précision de un demi-degré sur quarante jours de navigation (durée moyenne d'un trajet aux Antilles). Un « Bureau des Longitudes » (*Board of Longitude*) fut constitué : il était chargé non seulement de juger des résultats et d'attribuer le prix mais aussi de coordonner les recherches et d'apporter en cas de besoin une aide financière à la réalisation de projets estimés prometteurs. C'est l'artisan horloger John Harrison (1693-1776) qui réussit à construire dans les années 1760 des chronomètres de marine suffisamment précis et fidèles capables de conserver à bord l'heure du méridien de référence et qui, après plusieurs péripéties, reçut le prix recherché. Le problème des longitudes était résolu car grâce à ce garde-temps de référence il devenait possible de connaître le décalage horaire de l'heure solaire mesurée à bord du navire, un décalage qui mesure précisément l'écart de longitude. Voici comment.

[...]

Au XIX^e siècle, la détermination des longitudes s'améliore et de nouvelles techniques, telles que la photographie, apparaissent. Néanmoins, le monde scientifique ne parvient pas à se mettre d'accord sur la valeur de la distance entre la Terre et le Soleil. L'engouement pour Vénus reprend donc et une formidable collaboration de savants de tous pays, anglais, américains, russes, français, belges, se développe pour observer les transits des années 1874 et 1882. Grâce aux progrès techniques de moins en moins d'anecdotes émaillent les expéditions. Ou du moins elles changent de registre, mondialisation oblige, comme en témoigne le désastre écologique déclenché aux îles Kerguelen par les honorables astronomes anglais de Sa Majesté qui y avaient imprudemment relâché des lapins ! Avec cette débauche d'énergie on aurait pu penser que les résultats allaient être meilleurs mais en fait l'amélioration fut presque négligeable. Les mesures reposaient sur des méthodes trop anciennes pour être précises (méthode de Halley) ou trop récentes pour être fiables (la photographie). Il faut dire tout de même que les astronomes étaient de plus en plus exigeants sur la précision d'une donnée qui leur paraissait fondamentale : la distance du Soleil. L'astronome américain William Harkness (1837-1903) (qui avait repris le flambeau transmis par Simon Newcomb (1835-1909), lequel avait coordonné la campagne d'observations précédente de 1874) calcula avec l'ensemble des données du XIX^e siècle une parallaxe solaire de 8,84". Aujourd'hui nous savons que ce résultat est finalement excellent (puisqu'on s'accorde sur une valeur de 8,794") mais à l'époque on ne pouvait pas en être sûr.

Les choses en étaient là lorsqu'en 1898 l'astronome berlinois Carl Gustav Witt (1866-1946) découvrit un nouvel astéroïde, Éros. Cette découverte constituait un événement majeur car c'était la première fois qu'on était en présence d'un astéroïde aussi rapproché. De ce fait sa parallaxe était plus grande (presque trois fois celle de Mars) et son obtention s'en trouvait facilitée. De Vénus à Éros il n'y a que l'espace du même amour : du commerce de la déesse on passe à celui du dieu. Une campagne d'observations est lancée tout de suite pour exploiter l'opposition de l'astéroïde de 1900-1901 sans attendre celle plus favorable de 1931. Cette tâche formidable est coordonnée par le directeur de l'Observatoire de Paris, Maurice Lœwy (1833-1907). La synthèse finale des mesures n'est réalisée qu'après la mort brutale de ce dernier (par arrêt cardiaque en pleine séance du Conseil des observatoires) et conduit à la parallaxe de 8,806", exacte à mieux que 0,2%.

Éros n'a pas été abandonné par les astronomes, mais depuis on l'a aimé pour lui-même : une sonde spatiale a été lancée le 17 février 1996 par la NASA (sigle de *National*

Aeronautics and Space Administration) pour atteindre l'astéroïde. Entre avril et octobre 2000 cette sonde a établi une cartographie complète de sa surface nous révélant un caillou d'une quarantaine de kilomètres de long couvert de rochers, de cassures, de cratères et de ravins. La sonde s'est finalement posée (il faudrait plutôt dire écrasé doucement) le 12 février 2001 en prenant quelques clichés de la surface. Poser un engin sur un astéroïde : il faut reconnaître que l'expérience est assez stupéfiante. Est-ce à dire que le système solaire est à notre portée ? Certainement pas. Avec la mesure de la distance du Soleil, la détermination définitive de la distance des planètes, et en particulier des plus lointaines comme Uranus et Neptune (découverte en 1846), nous confronte à la vastitude d'un monde qui échappe à une exploration directe par un être humain. La sonde Voyager I, lancée le 5 septembre 1977, qui voyage à la vitesse de 17 kilomètres par seconde, a mis plus de trente ans pour atteindre la distance de 100 unités astronomiques (100 fois la distance de la Terre au Soleil), au-delà de l'orbite de Neptune, situé pour sa part à 30 unités astronomiques. Depuis Neptune un observateur (hypothétique) observant le ciel à l'œil nu ne verrait ni Mercure, ni Vénus, ni la Terre, ni Mars : toutes ces planètes seraient perdues dans l'éclat pâlichon de la lumière du Soleil. Ce dernier éclairerait comme une lampe de mille watts située à quelques mètres mais son diamètre apparent, de 30 minutes d'arc sur Terre ne serait plus que d'une minute d'arc, ce qui représente le diamètre apparent d'une pièce de un euro située à une petite centaine de mètres. Mais songez qu'un rayon lumineux parti du Soleil et voyageant à la vitesse de 300 000 kilomètres par seconde met plus de quatre heures pour atteindre Neptune. Le système solaire n'est pas à échelle humaine.

[...]

Après la mesure de Bessel l'obtention de parallaxes stellaires reste difficile. Vers la fin du XIX^e siècle on dispose d'une soixantaine de mesures mais même au siècle suivant les progrès demeurent faibles. En vérité la turbulence des couches de l'atmosphère terrestre brouille les images stellaires et impose à la précision accessible depuis le sol une limite d'environ 0,1 seconde d'arc. Une parallaxe de cette valeur correspond à une distance d'une trentaine d'années de lumière. Comment mesurer la distance des étoiles au-delà, disons, de la centaine d'années de lumière ?

L'enjeu est de taille : il concerne la taille de l'Univers lui-même ! En 1920 on ne savait pas de quoi notre monde était constitué et on ne connaissait pas non plus sa dimension. Plus précisément les astronomes se demandaient encore à l'époque si notre Univers se résumait à notre Voie Lactée ou s'il existait des *univers* distincts du nôtre, entendez des répliques de notre propre galaxie, donc extérieures à la nôtre, auxquelles on donnait le nom d'*univers-îles* (un terme tombé en désuétude car l'Univers représente l'ensemble de tout ce qui existe). Tout était une question de distance. Les discussions sur ce sujet forment ce que l'on a coutume d'appeler le *Grand Débat* dont l'une des dates emblématiques est le colloque du 26 avril 1920 tenu à Washington. (Pour la grande histoire, les États-Unis ratifieront exactement quatre mois plus tard un amendement donnant aux femmes le droit de vote ; les françaises attendront encore vingt-quatre ans.) Les deux principaux protagonistes de cette conférence étaient Harlow Shapley (1885-1972) et Heber Curtis (1872-1942), qui y présentèrent un article commun, chacun ayant accepté de communiquer à l'autre, à l'avance, ses arguments. Son titre était précisément *L'échelle de l'univers* (*The scale of the universe*). Le cœur de la discussion concernait la nature et la distance des *nébuleuses spirales*, ces objets célestes observés comme de petites taches laiteuses (d'où leur nom de *nébuleuse*) mais affichant une structure spirale quand on les examinait avec un grossissement suffisant. Deux thèses s'affrontaient. Shapley défendait l'idée que l'Univers observable se résumait à notre Voie Lactée et que par

conséquent les nébuleuses spirales comme la nébuleuse d'Andromède (Messier 31 ou M31, un objet visible à l'œil nu) en faisaient partie. Curtis au contraire prétendait que les nébuleuses spirales, et particulièrement M31, étaient d'autres galaxies, distinctes de la nôtre. Qui avait tort, qui avait raison ? D'autres mesures seront nécessaires pour trancher la question. Il fallait pour cela obtenir une valeur fiable de la distance de M31. C'est Edwin Hubble qui la fournira, comme le relate un article paru dans le *New York Times* du 23 novembre 1924 :

LES NÉBULEUSES SPIRALES SONT DES AMAS D'ÉTOILES : Dr. Hubble confirme que ce sont des univers-îles semblable au nôtre.

WASHINGTON, 22 novembre. La confirmation que les nébuleuses spirales, ces objets célestes ayant la forme de tourbillons, sont en réalité de lointains amas d'étoiles vient d'être apportée par le Dr. Edwin Hubble de l'observatoire du Mont Wilson (Carnegie Institution) grâce aux recherches qu'il a menées à l'aide des puissants télescopes de l'observatoire.

C'est grâce à la clé que lui avait procurée la découverte antérieure d'une femme astronome, Henrietta Leavitt (1868-1921), alors décédée, que Hubble obtint ce résultat, en donnant raison à Curtis et tort à Shapley.

[...]

La reconnaissance par Hubble du caractère extragalactique de la nébuleuse d'Andromède M31, qui pouvait dorénavant s'enorgueillir du titre de *galaxie*, est rapidement ratifiée par tous les astronomes. Le premier janvier 1925, lors d'une réunion de l'*American Astronomical Society*, on lit une communication de Hubble annonçant la découverte de céphéides dans M31. La détermination de leur distance place cet objet à un million d'années de lumière et montre que notre univers ne se réduit pas à notre Voie Lactée mais se compose au contraire d'autres univers-îles semblables à elle (d'autres « voies lactées » en quelque sorte). C'est une grande date : après des millénaires d'ignorance, d'illusions et de légendes mythiques l'humanité connaît enfin l'échelle du monde et peut prendre conscience de la vraie nature du ciel qui l'entoure de son mystère. Mais quel chemin parcouru depuis l'époque où ce monde se limitait au système solaire ! Si la découverte de l'existence des galaxies a attendu quelque trois cents ans depuis la révolution copernicienne pour être annoncée par Hubble, je suis frappé de constater qu'elle date pour nous de moins de cent ans, ce qui est vraiment peu à l'échelle de notre civilisation : au moment où mes parents sont nés les galaxies ne faisaient pas partie du paysage cosmique. Mais alors, avons-nous vraiment assimilé les choses en un temps si court et réalisé dans quel monde nous vivons réellement ? Pouvons-nous continuer à le penser comme il y a des centaines ou des milliers d'années en ignorant les résultats des astronomes ? Dans ce nouveau cadre, inconnu auparavant, l'espèce humaine a-t-elle (encore) une place ?

Avec les étoiles nous en étions restés à des distances qui se comptaient en années ou dizaines d'années de lumière pour les plus proches et rendaient déjà de ce fait ces astres à jamais inaccessibles. Mais on trouve des étoiles bien plus lointaines. Grâce à la relation de Leavitt on a pu mesurer que notre Voie Lactée, qui rassemble des dizaines de milliards d'étoiles, s'étend sur des distances atteignant l'ordre de la centaine de milliers d'années de lumière (E5 années en notation de calculatrice). Des dizaines d'années de lumière nous passons donc aux centaines de milliers, en multipliant la profondeur d'espace par un facteur dix mille, autrement dit en franchissant quatre ordres de grandeur. Eh bien pour atteindre la galaxie d'Andromède il faut passer de E5 à l'ordre de grandeur supérieur E6 et compter maintenant en *millions d'années*

de lumière. Incidemment le fait qu'il suffise ici d'un seul facteur 10 pour passer de la taille d'une galaxie à la distance mutuelle entre galaxies indique que ce second nombre n'est pas si grand par rapport au premier, ce qui n'est pas le cas des étoiles (où le millier de kilomètres se comparait à la taille d'une orange). Le million d'années de lumière est l'échelle de distance intergalactique révélée par Hubble : c'est la véritable échelle du monde. Andromède se trouve ainsi à deux ou trois millions d'années de lumière et cela est inimaginable : la lumière que nous observons maintenant est partie de cette galaxie il y a deux ou trois millions d'années et termine aujourd'hui son voyage sur le miroir de notre télescope. En sens inverse si des êtres intelligents (pure hypothèse) regardaient la Terre depuis la galaxie d'Andromède ils verraient en ce moment des quadrupèdes s'essayant à la bipédie et n'auraient pas tort de s'inquiéter de la suite des événements. En observant Andromède nous remontons dans le temps à l'époque où l'homme apparaissait sur Terre. Pourquoi ne pas avouer que notre esprit est incapable de se représenter cette situation ?

Jusqu'où s'étend ce monde de galaxies ? La réponse complète à cette question, nous la donnerons au chapitre suivant, merci Einstein, mais les astronomes ont découvert que le nombre de galaxies se chiffrait en dizaines de milliards et que leur distance atteignait des milliards d'années de lumière. Les galaxies lointaines se situent ainsi mille fois plus loin que la plus proche, celle d'Andromède. Maintenant écoutez bien l'histoire suivante : l'observation de notre univers bute sur une limite infranchissable, au-delà de laquelle nous ne pouvons absolument rien percevoir. Cette limite porte le nom d'*horizon cosmologique* et son existence est due au caractère fini de l'âge de l'Univers, nous allons tout de suite voir pourquoi. Précisons qu'au-delà de cette limite le monde se dévoile peu à peu, l'horizon reculant d'une d'année de lumière en profondeur d'espace par année de temps écoulé (ce qui correspond très, très, grossièrement au dévoilement d'une galaxie supplémentaire). Pourquoi une limite à notre perception de l'Univers ? Comme notre Univers a un certain âge, disons quinze milliards d'années en chiffres ronds, aucune lumière n'a pu voyager pendant une durée supérieure à cet âge (je parle d'une quinzaine de milliards car donner cet âge à une précision supérieure, comme le 13,72 milliards à la mode d'aujourd'hui, est absurde, pour ne pas dire stupide, vu les incertitudes considérables de mesure). Par conséquent la lumière des galaxies trop lointaines, émise à l'époque du Big Bang au moment où elles se sont allumées et se propageant depuis, n'aura pas encore eu le temps de parvenir jusqu'à la Terre si cette lumière exige plus de quinze milliards d'années pour le faire.

[...]

La vie de la science n'est pas un long fleuve tranquille. Une grave question portant sur l'âge de la Terre agite la communauté scientifique en ce début de vingtième siècle et entretient la querelle entre géologues et physiciens. D'un côté les géologues et les paléontologues ont besoin de nettement plus d'un milliard d'années pour donner aux sédiments terrestres le temps de se déposer et aux différentes espèces animales celui d'évoluer selon la théorie proposée par Charles Darwin (1809-1882). Les premiers disposent d'observations convaincantes relatives aux hauteurs de couches sédimentaires, les seconds possèdent des preuves irréfutables de la durée de transformation des espèces grâce aux fossiles. De l'autre côté, les physiciens, forts de leurs calculs théoriques, n'accordent à la Terre et au Soleil que quelques maigres centaines de millions d'années d'existence, insuffisantes pour expliquer les observations. Qui a raison ? Les observateurs ou les théoriciens ? Les géologues ou les physiciens ?

Les premières estimations scientifiques modernes de l'âge de la Terre remontent à Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon (1707-1788), ce grand naturaliste dont les travaux ont influencé Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) et Darwin. Buffon est l'un des premiers scientifiques à évoquer ouvertement la naissance et la formation de la Terre. En s'appuyant sur l'observation des couches sédimentaires il ose reculer la création de la Terre à plus de cent mille ans, s'opposant en cela aux dogmes de l'Église et à l'âge de six mille ans établi par les textes bibliques. Tentant une théorie de la formation et de l'évolution de la Terre, Buffon part de l'hypothèse que la chaleur actuelle de notre planète est le résidu d'un puissant chauffage initial, la Terre ayant été portée à l'origine à très haute température et se refroidissant depuis lors. Il mesure alors le temps que mettent des balles de taille et substance diverses à se refroidir après avoir été chauffées à blanc. En extrapolant ses résultats à un globe de la taille de la Terre, il estime qu'une Terre initialement en fusion aurait mis quelque 36 000 ans à atteindre une température assez basse pour permettre aux composés organiques d'apparaître puis qu'environ 39 000 ans se seraient écoulés depuis cette époque. Ces premières estimations eurent beaucoup de succès et le désir de les fonder sur des bases théoriques plus solides conduisit Joseph Fourier (1768-1830) à développer sa théorie de la conduction de la chaleur (c'est dans ce but qu'il introduisit les fameuses *séries* qui portent son nom et dont l'usage en physique est universel : le traitement des images fournies par les grands télescopes se fait par *analyse de Fourier*). Sur la base de ces travaux William Thomson (1824-1907), connu sous le nom de Lord Kelvin (qui a donné son nom à l'unité de température, le kelvin), estima en 1862-1863 dans des articles restés célèbres que l'âge de la Terre et du Soleil était compris entre 100 et 500 millions d'années. Ces nombres allaient fournir matière à débat pendant près de cinquante ans.

En effet les publications de Kelvin suivaient de quelques années la première édition de *l'Origine des Espèces* de Darwin. Or bien vite se manifesta l'incompatibilité entre l'échelle de temps tirée de l'évolution des espèces et la chronologie théorique décrite par les physiciens. Après des décennies de débats passionnés la plupart des biologistes et des géologues étaient convaincus vers la fin du dix-neuvième siècle que l'échelle de temps qu'ils proposaient était la bonne, les observations fournissant des preuves irréfutables. Kelvin avait donc tort. Mais où se situait l'erreur ? De toute façon, même si on pouvait admettre de larges marges d'incertitudes sur la durée de refroidissement de la Terre (on sait aujourd'hui qu'en tenant compte des mouvements de convection du noyau terrestre on aurait pu augmenter de beaucoup la durée de la production de chaleur) et donc, en tirant sur les nombres, arriver à un âge de l'ordre du milliard d'années, restait le problème insoluble du Soleil. La seule source efficace d'énergie connue était l'énergie gravitationnelle, celle associée à la chute initiale de la matière constitutive de l'astre et celle résultant de sa contraction ultérieure. Mais une telle source ne pouvait fournir de l'énergie que pendant quelques dizaines de millions d'années, un nombre toujours bien insuffisant pour les géologues.

La controverse se poursuivit mais, autant que nous puissions en juger avec le recul, elle prit un tour nouveau en 1899 quand le géologue américain Thomas Chrowder Chamberlin (1843-1928 ; premier titulaire de la chaire de géologie à l'Université de Chicago) osa émettre face à Kelvin l'hypothèse plutôt folle qu'il existait une source d'énergie encore inconnue. Plus précisément il émet l'hypothèse que l'atome n'est pas une particule élémentaire insécable mais un assemblage d'entités plus petites et estime qu'une telle structure, par les forces de cohésion qu'elle suppose, recèle d'immenses réserves d'énergie. Il insiste aussi sur le fait que les conditions de température et de pression régnant au centre du Soleil sont suffisamment extraordinaires (les lois de la physique montraient que la température centrale du Soleil se chiffrait en millions de degrés) pour qu'apparaissent des processus physiques ignorés

susceptibles de libérer une partie de cette énergie. La seule chose que Chamberlin n'avait pas pressentie, c'est que le train des découvertes qui valideraient son point de vue était déjà en route. En 1911 Ernest Rutherford (1871-1937) découvre la structure de l'atome et montre que celui-ci est constitué d'un noyau de taille infime entouré d'électrons, formant d'ailleurs une structure essentiellement vide spatialement parlant.

[...]

Réactions nucléaires, c'est-à-dire réactions entre noyaux atomiques : à cette époque va s'ouvrir un nouveau chapitre de l'astrophysique, l'étude de la *nucléosynthèse*. Comme son nom l'indique cette discipline concerne la formation (synthèse) des noyaux (nuclei) constitutifs de la matière. Depuis longtemps on connaissait la multitude des éléments chimiques: hydrogène, oxygène, azote, calcium, carbone, fer, cuivre, argent, or, silicium, sodium, magnésium, soufre, etc. On en observe 94 sur Terre dans le milieu naturel. Mais on ignorait totalement comment ils s'étaient créés. C'est précisément l'objet de cette science nouvelle, la nucléosynthèse, d'expliquer comment les protons et les neutrons des noyaux ont réussi à se coller les uns aux autres pour former des éléments de plus en plus lourds, sachant, nous venons de le dire, que les forces de répulsion à vaincre sont prodigieusement grandes. En 1942, avec l'acceptation de l'idée que l'Univers était né dans un état extrêmement chaud et condensé, le Big Bang, le physicien et vulgarisateur de génie né en Russie impériale puis naturalisé américain George Gamow (1904-1968) émet l'hypothèse que tous les éléments auraient pu se former dans cette phase primordiale par additions successives de protons sur les noyaux. L'idée était assurément séduisante mais hélas les cosmologistes se rendent rapidement compte que l'Univers s'est refroidi trop vite pour laisser aux particules le temps de s'assembler selon ce scénario. Seuls les premiers éléments, à savoir hélium, deutérium et lithium, avaient pu se former (on parle à leur sujet de *nucléosynthèse primordiale*). Mais, qu'à cela ne tienne, l'idée naît rapidement que les éléments pouvaient se fabriquer dans les étoiles. L'hypothèse est exprimée notamment par Fred Hoyle (1915-2001), ce fameux cosmologiste britannique contestataire qui se fondant principalement sur des convictions spirituelles personnelles aura la mauvaise idée de ne jamais accepter la théorie qu'il a lui-même traitée par dérision de *Big Bang* (comme on parlerait du *Gros Pétard*, que sais-je) et à laquelle il n'a jamais pu opposer d'arguments scientifiques valables.

C'est en 1957 (ce n'est pas si vieux : nous entrons dans l'histoire contemporaine) que paraissent deux articles qui vont révolutionner l'astrophysique en apportant des éléments de compréhension de l'évolution d'une étoile et de la genèse de la matière. Après un premier papier de l'astrophysicien canadien Alistair Cameron (1925-2005) les quatre auteurs Geoffrey Burbidge (1925-2010), Margaret Burbidge (née Eleanor Margaret Peachy en 1919, l'une des femmes les plus courageuses et actives dans la lutte pour établir en astronomie l'égalité de statut et de considération entre les femmes et les hommes), William Fowler (1911-1995) et (donc) Fred Hoyle signent un second article présentant une théorie complète de la nucléosynthèse. Référence incontournable, cette publication est désignée par l'acronyme B²FH (lire B2FH). Dans un texte de plus de cent pages comportant pas moins de treize sections les auteurs brossent un panorama complet de la création des éléments en détaillant les processus permettant de les fabriquer au sein des étoiles. Nous allons voir comment se déroule cette nucléosynthèse depuis la fusion de l'hydrogène en hélium jusqu'à la synthèse explosive des noyaux les plus lourds dans les *supernovæ*.

[...]

Le fait que les éléments chimiques principaux, dont le précieux carbone, ainsi que certains éléments lourds fabriqués dans les supernovæ soient présents dans notre corps fait dire à certains astrophysiciens que nous sommes « enfants des étoiles », une formule qui plaît au public mais qui traduit une vision animiste des choses peu conforme à l'objectivité et la rationalité qui siérait au scientifique. En vérité la formation des éléments dans l'Univers heurte l'esprit car selon des critères anthropomorphiques on aurait pu imaginer plus simple et plus direct. Mais cela prouve une fois de plus que nous ne pouvons pas comprendre l'agencement de l'Univers, cela non pour des raisons immédiates et provisoires mais pour des raisons profondes liées à la nature de notre espèce, celle-ci étant « génétiquement » incapable de saisir le sens de cette débauche démesurée d'explosions et cette absence totale de planification. Nous le redirons plus loin dans la section consacrée à cette question de l'intelligibilité du monde. Le fonctionnement de l'Univers est totalement anarchique : que l'on me pardonne l'inconvenance de l'expression mais l'Univers, c'est le *foutoir intégral*. Cependant ce ne sont pas nos avis en la matière qui lui feront changer sa façon de faire. Comme le disait intelligemment Galilée dans une lettre au père jésuite Cristoforo Grienberger : « La nature n'a aucune obligation envers les hommes et n'a passé aucun contrat avec eux (*la natura non ha obbligo o convenzione alcuna con gl'huomini*) ». Je ne peux m'empêcher de remarquer également que la soi-disant *harmonie du monde*, que certains avancent avec complaisance et gourmandise, est contredite par l'immensité et la violence des énergies dépensées par la nature pour synthétiser les éléments. D'un point de vue anthropomorphique (encore une fois complètement inadapté à la situation) la nature fait preuve d'une démente caractérisée. L'harmonie et la majesté du monde vantées par ceux qui ont foi en la beauté de la nature ne sont que pures illusions d'un être humain aveuglé par ses convictions intellectuelles, spirituelles et religieuses, voire par ses émotions mystiques. Harmonie de la nature ou folie de la nature ? On comprend bien qu'il n'y a pas à trancher l'alternative. La question est humaine, le monde ne s'en soucie guère.

[...]

En astronomie l'histoire de la courbure commence avec la forme de notre monde terrestre. L'humanité a découvert, alors que la chose n'était pas évidente à priori, que la Terre est courbe, ou ronde. Certes les générations actuelles, nées avec les fusées spatiales, vous diraient qu'il suffit d'aller dans l'espace pour le constater et le prouver. Mais Gauss nous livre une approche plus inattendue, plus profonde et plus féconde en déclarant : vous pouvez déterminer la courbure de la Terre de façon géométrique, en mesurant des angles et des distances *sur cette surface*. Il insiste : vous pouvez le faire en restant en surface, donc en interne, sans en sortir. Une image aidera à saisir le sens de l'opération. Pensons à des fourmis se déplaçant à la surface de la Terre (supposée lisse pour les besoins du raisonnement) et cherchant à déterminer sa forme. Guidées par Gauss elles peuvent le faire par des mesures effectuées au sol, sans jamais quitter celui-ci (elles sont incapables de prendre de l'altitude : c'est la raison pour laquelle je choisis ces insectes pour illustrer le concept de courbure interne). Voici comment les fourmis procèdent. (Le théorème énoncé par Gauss sur la courbure d'une surface est si génial qu'il est connu sous le nom de *theorema egregium*, ou *théorème remarquable*, littéralement hors du commun, hors du troupeau ; de *grex*, le troupeau, qui a donné grégaire.)

Sur terre une telle fourmi de démonstration est incapable de savoir que la surface sur laquelle elle se déplace est courbe. Elle va tout droit et si elle se met à changer de direction elle ira tout droit entre deux changements de direction. De même la navigatrice isolée qui ne change pas son cap ne sait pas que la Terre est courbe : elle avance tout droit, selon un trajet pour elle rectiligne. La fourmi ou la navigatrice suivent une *géodésique* de la surface sur laquelle elles se déplacent. La géodésique entre deux points du globe terrestre est le trajet le plus court, dit à *vol d'oiseau*. C'est celui qui va *tout droit*, en ce sens qu'il n'implique aucun changement de direction. Nous savons que ce trajet est l'arc du grand cercle (de rayon égal au rayon terrestre et dont le centre est le centre de la Terre) passant par les deux points considérés. Comme une telle géodésique va tout droit, on s'attend à ce qu'il soit impossible à la courbure de se manifester sur une seule d'entre elles. Bingo ! C'est vrai : sur une seule géodésique, point de courbure. Mais imaginons une expérience avec cette fois deux fourmis partant du pôle nord dans deux directions faisant entre elles un certain angle, disons de 15 degrés (l'angle dont tourne la Terre en 1 heure). Supposons qu'elles aillent chacune tout droit (ce qui est d'ailleurs contraire à leur habitude) et qu'elles soient capables de parcourir des milliers de kilomètres. Le chemin géodésique que chacune emprunte est dans ce cas un méridien terrestre. En poursuivant leur chemin elles vont donc parcourir chacune un arc de méridien. La différence de leur longitude reste égale à 15° (un écart de longitude qui se traduira par une heure de décalage en temps solaire), mais qu'en est-il de leur distance respective ? *Tout le concept de courbure est dans la réponse à cette question*. Si les fourmis se déplaçaient sur une surface plane, sans courbure, leur distance respective serait proportionnelle à la distance parcourue depuis le départ. En allant deux fois plus loin, leur distance mutuelle serait deux fois plus grande : c'est un théorème élémentaire de la géométrie d'Euclide qui le stipule. Mais sur Terre il n'en est plus ainsi : leur distance mutuelle est toujours *inférieure* à celle qui serait calculée à la Euclide et la relation de proportionnalité entre écart et distance radiale n'est pas respectée. Ainsi lorsqu'elles arrivent à l'équateur nos fourmis voyageuses auront parcouru un quart de méridien, c'est-à-dire 10 000 kilomètres et si elles étaient sur une surface plane leur distance mutuelle après un tel voyage, pour un angle de 15° entre les deux trajets, serait de 2 611 kilomètres (un calcul euclidien facile donne ce résultat). Or leur distance réelle est égale à la circonférence de la Terre de 40 000 kilomètres divisée par 24, soit 1 667 kilomètres, donc bien plus faible que la distance donnée par la formule euclidienne. L'écart entre deux géodésiques à une certaine distance du point de départ n'est pas celui que donne la géométrie d'Euclide. C'est la preuve que la Terre n'est pas plate : elle est courbe.

Il est facile de visualiser l'*effet rétrécissant* de la courbure. Coupons une orange en deux, enlevons la chair du fruit et ne conservons que la peau, que nous supposons élastique. Si nous aplatissons cette peau, on voit immédiatement qu'elle devra s'étirer pour s'appliquer sur le plan. C'est exactement cela que nous disons des fourmis sur Terre. La distance mesurée sur le plan est étirée par rapport à la réalité. Si nous coupons la Terre en deux et aplatissons sa surface, les méridiens suivis par les deux fourmis deviennent des droites, et les distances mutuelles entre ces droites sont plus grandes que les distances mutuelles réelles. Mais on comprend aussi qu'il n'y a pas besoin de couper la Terre en deux pour faire les mesures. Le calcul seul (merci Euclide) permet de calculer la distance qui existerait sur un plan entre deux directions faisant tel angle à telle distance du point de départ.

[...]

Alors, où s'arrête notre Univers ? Nous avons maintenant la réponse : il ne s'arrête nulle part car il est courbe. Cela ne signifie pas qu'il soit sphérique, nous venons de conjurer cette vision insidieusement trompeuse. Cela ne signifie pas non plus qu'il soit infini (ce terme ne signifie

rien en physique, nous l'expliquerons dans le chapitre consacré à cette question). Il ne s'arrête nulle part, comme ne s'arrête nulle part la surface de la Terre pour les fourmis qui la parcourent. Pourtant, quoique sans frontière notre Univers est fini. On peut en mesurer la taille à l'aide de son rayon, entendu comme la distance d'un centre à son anticyentre divisée par pi. Que vaut-elle pour notre Univers ? Nous ne savons pas très bien. Cependant des estimations d'ordre de grandeur, basées sur le modèle d'univers le plus simple (il s'agit de l'*univers de Friedmann* sur lequel nous allons revenir avec grand profit), sur un âge d'Univers de quelque 14 milliards d'années et sur la constatation qu'il n'est ni trop jeune ni trop vieux conduisent à un rayon actuel de l'ordre de 40 milliards d'années de lumière (correspondant à une distance de centre à anticyentre d'environ 125 milliards d'années de lumière). Même si cette estimation est fortement incertaine, le fait que la valeur obtenue soit grande devant la distance des galaxies les plus lointaines atteintes à l'heure actuelle (à savoir de l'ordre de quelques dizaines de milliards d'années de lumière) suggère, théorème du jardin oblige, que les effets de la courbure de l'Univers, mises en avant dans le texte, sont sans doute imperceptibles. Comme en outre l'imprécision dans la mesure de distance des galaxies est énorme il est dans doute impossible de détecter la courbure de notre Univers.

La courbure de l'Univers, ce serait donc une mystification, ou au moins une hypothèse gratuite, voire farfelue, puisqu'on ne peut pas la percevoir ? Non, car la science a encore en main un atout gagnant (et quel atout !) : l'expansion. En effet, en théorie de la gravitation à la Einstein la courbure n'est pas celle d'un espace seul mais bien celle de l'espace-temps. Or il se trouve que la composante temporelle de la courbure se traduit par une variation de ce fameux rayon de l'Univers avec le temps : notre Univers est en expansion (merci Friedmann), et cette expansion est observable (merci Hubble). Elle fournit la preuve que le modèle d'un univers courbe fini et sans extérieur correspond à la réalité. Voici l'histoire.

[...]

C'est à cette époque que Friedmann étudie le principe de relativité et donne dans la foulée un cours d'analyse tensorielle (les tenseurs sont l'outil majeur de la théorie de la gravitation d'Einstein). Il assimile le sujet si rapidement que dès l'année 1922 il écrit un ouvrage de vulgarisation, *L'Univers comme espace et temps*, et publie le fameux article présentant son modèle d'univers en expansion. Travaillant toujours très activement en météorologie, il est nommé directeur de l'Institut de géophysique de Saint-Petersbourg (la ville avait repris son nom en 1924) en février 1925. Mais hélas il meurt prématurément de la fièvre typhoïde en septembre de la même année, sans avoir pu développer de nouvelles recherches en météorologie théorique. Aviateur, spécialiste passionné de la physique de l'atmosphère, mathématicien de l'espace, l'air était en quelque sorte *son* élément : en juillet il avait effectué une ascension en ballon stratosphérique au cours de laquelle il bat le record d'altitude en s'élevant jusqu'à 7 400 mètres, hauteur à laquelle il reste pendant plus de dix heures. Le pilote était l'aviateur P. F. Fedosenko, qui se tuera quelques années plus tard dans une ascension analogue.

Disparu précocement à 37 ans, Friedmann meurt sans avoir connu le bonheur de voir la communauté scientifique adopter ses idées cosmologiques nouvelles, spécialement celle concernant l'expansion de l'Univers. Et devinez qui figure au premier rang des opposants à la notion d'un univers dynamique : Einstein lui-même. À la lecture du fameux article de Friedmann de 1922 présentant le modèle d'univers fini dont le rayon varie avec le temps Einstein réagit immédiatement en faisant paraître le 18 septembre une note dans le même magazine. Il soutient que Friedmann a fait une erreur de calcul, réaffirme que les modèles d'univers dynamiques sont contraires à la relativité générale et jette donc le doute sur la

validité des conclusions de Friedmann. En réalité c'est notre Einstein lui-même qui s'est trompé dans ses calculs, mais une série de circonstances va retarder la reconnaissance de cette erreur. Prenant connaissance de la note d'Einstein, Friedmann lui envoie une lettre dans laquelle il montre à nouveau que les modèles d'univers non statiques sont bien des solutions correctes des équations d'Einstein et lui demande respectueusement une réponse :

« Au cas où vous estimeriez corrects les calculs présentés dans cette lettre, je vous prie d'être assez aimable pour en informer les éditeurs de *Zeitschrift für Physik* ; peut-être dans ce cas publierez-vous un correctif à votre note, ou donnerez-vous à cette lettre l'occasion d'être publiée. » Des semaines passent sans aucune réponse : il faut dire qu'Einstein est parti avec son épouse pour un long voyage à travers le monde, au cours duquel il apprendra qu'il a reçu le prix Nobel (il ne pourra d'ailleurs pas se rendre à Stockholm pour la cérémonie de remise du prix). Il ne regagne Berlin qu'en mars 1923 après une absence de près de six mois, avec, on peut l'imaginer, une pile de courrier à trier. Ce n'est qu'en mai qu'il prendra connaissance de la réponse de Friedmann, et ce grâce à Yuri Alexandrovitch Krutkoff, un des physiciens russes les plus cultivés de l'époque, qui est au courant du travail de son collègue et ami Friedmann. Krutkoff et Einstein se rencontrent en mai 1923 à l'Université de Leyde, en Hollande, venus tous les deux assister au dernier cours public du célèbre physicien néerlandais Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928, prix Nobel de physique en 1902). Après quelques entretiens Krutkoff sort vainqueur de la controverse et triomphe le 18 mai : « J'ai défait Einstein dans son argumentation contre Friedmann. L'honneur de Petrograd est sauf ! » Dès lors l'affaire ne traîne pas. De retour à Berlin Einstein fait amende honorable en soumettant le 21 mai sa seconde note à *Zeitschrift für Physik* :

« Dans une note antérieure j'ai critiqué le travail susmentionné. Mais - comme m'en ont convaincu M. Krutkoff en personne et également une lettre de M. Friedmann - mon objection était fondée sur une erreur de calcul. Je tiens les résultats de M. Friedmann pour justes et éclairants. Ils montrent que les équations du champ admettent pour la structure de l'espace à symétrie centrale, en plus des solutions statiques, des solutions dynamiques (c'est-à-dire variant avec la coordonnée de temps). »

Friedmann ne parviendra pas à rencontrer Einstein mais goûtera sa victoire. Il écrit en 1923 dans une lettre à Natalia Malinina (une géophysicienne qu'il épousera après s'être séparé de sa première femme Ekaterina Dorofeyeva) : « Tout le monde a été très impressionné par ma lutte avec Einstein et ma victoire finale ; cela me fait plaisir, parce qu'en ce qui concerne mes articles, je pourrai maintenant les publier plus facilement ».

[...]

La science née de la révolution copernicienne a permis à l'humanité de découvrir le monde qu'elle habitait et d'établir l'insignifiance de la place qu'elle y occupait. L'immensité cosmique dépasse tellement la mesure humaine que cette insignifiance en devient littéralement *inconcevable*. Quand l'espèce humaine s'éteindra (« s'évanouissant comme une ombre », *as it were a shadow*, comme le dit l'ode des Funérailles de la Reine Mary de Purcell), quand plus tard la Terre disparaîtra, cela ne changera pas le destin du cosmos. Celui-ci poursuivra son évolution pendant les centaines de milliards d'années restantes prévues puis s'annihilera dans son effondrement final comme si le passage fugace de l'homme sur Terre ne s'était pas produit et ne le concernait en rien. L'Univers nous a toujours ignorés et continuera à nous ignorer : nous n'avons jamais laissé aucune trace et n'en laisserons jamais aucune.

Pour preuve quand nous contons l'histoire de l'Univers nous n'y incluons pas celle de l'Homme. Pourtant, comme l'écrivait le biologiste Jacques Monod (1919-1976), dans son ouvrage marquant et courageux *Le hasard et la nécessité* (Seuil, 1970) : « Toutes les religions, presque toutes les philosophies, même une partie de la science témoignent de l'infatigable, héroïque effort de l'humanité qui nie désespérément sa contingence. » [Jacques Monod a reçu le prix Nobel de physiologie ou médecine en 1965, avec François Jacob, né en 1920, et André Lwoff (1902-1994) pour ses travaux en génétique.] Les cosmologistes ne sont pas en reste dans ce déni de la réalité et ont remis au goût du jour l'idée selon laquelle l'Univers aurait été fait pour l'Homme. L'idée rencontre indéniablement un franc succès auprès des narcissiques êtres humains que nous sommes mais elle a le fâcheux inconvénient de contredire les vérités que nous a enseignées la science. Je vais montrer que les cosmologistes ont créé un écran de fumée derrière lequel ils cachent la réalité des choses et profitent de cette opacité pour lancer des allégations dénuées de fondement.

Le réglage diaboliquement précis de l'Univers : une pure escroquerie

L'affirmation selon laquelle la création aurait été investie de la mission de donner naissance à la vie a pris chez les cosmologistes le nom ronflant et savant de *principe anthropique* (du grec *anthropos*, homme, à ne pas confondre avec le mot *entropique* dérivé de *entropie*, une notion physique en thermodynamique). Mais si le principe a fait florès auprès des personnes prêtes à y croire il n'a aucune consistance scientifique. Sous sa forme la plus technique (d'autant plus difficile à critiquer, c'est ce qui me faisait parler d'un écran de fumée) les cosmologistes affirment que les paramètres caractérisant l'univers à sa naissance (comme par exemple la densité de matière) auraient été réglés avec une exactitude diabolique de façon à permettre à l'humanité d'y naître. Les conditions à fixer au départ pour que la vie apparaisse par la suite seraient tellement spéciales (et ce à un degré inimaginable de précision comme nous allons le voir) que nous sommes invités à y voir une véritable *intention*. Selon ce raisonnement notre Univers est *unique en son genre* et doit être vu comme spécialement conçu en vue d'un but à atteindre : celui de donner vie à la vie. Cependant la thèse selon laquelle les paramètres de l'univers auraient été ajustés avec la rigueur prétendue est infondée :

- i) il y a bien dans les équations de l'univers un terme excessivement petit (et même aussi petit que l'on veut à condition de se rapprocher suffisamment de l'origine des temps) ;
- ii) cependant ce terme n'est pas un paramètre libre : une fois l'univers lancé on ne peut pas le changer, de sorte que le terme d'*ajustement* est délibérément trompeur ;
- iii) cependant encore, *tous* les univers (sans la moindre exception) présentent cette même particularité : par conséquent notre Univers n'est en rien exceptionnel ;
- iv) ergo notre Univers n'est pas extraordinairement spécial et la thèse selon laquelle il le serait est invalidée.

[...]

Le *théorème du jardin* nous fournit l'explication lumineuse des propriétés d'un univers de Friedmann dans sa prime jeunesse. *Le Petit Prince* d'Antoine de Saint-Exupéry (1900-1944), extrait [...]

Vous vous souvenez sans doute de l'illustration montrant notre enfant du ciel piocher son domaine pour en arracher les pousses de baobab. L'horizon de la planète du Petit Prince y dessine un arc de cercle et on prend conscience que notre jardinier aura tôt fait de boucler le tour de son globe. En revanche s'il était sur Terre il pourrait piocher son jardin pendant des

journées sans percevoir la courbure du sol, sans savoir qu'il se promène sur une sphère. Toute la question se situe dans le rapport entre la taille du jardin et la taille de la planète. Le théorème du jardin énonce : « *si la taille du jardin est trop petite par rapport au rayon de la planète, la courbure de cette dernière est imperceptible.* »

C'est exactement la situation qui se présente dans notre Univers. Notre Univers est courbe mais il faut que nous en explorions une partie suffisante pour le réaliser. Or, comme nous l'avons expliqué, la portion visible de l'Univers est bornée par l'horizon cosmologique, dont l'existence provient (rappelons-le) de ce que la lumière des galaxies les plus lointaines n'a pas eu le temps de parvenir jusqu'à nous dans le temps limité disponible depuis le Big Bang. Le fait que notre jardin cosmique soit circonscrit par l'horizon cosmologique implique que sa taille est donnée par l'âge de l'Univers. Regardez alors comme les choses sont simples ! Comme de son côté la taille de l'Univers est mesurée par son rayon (égal en gros au tiers de la distance à l'antcentre) le théorème du jardin se traduit ainsi : si l'âge de l'Univers est beaucoup plus petit que son rayon sa courbure sera indétectable. *Or c'est précisément la circonstance qui se produit à l'origine de tout univers de Friedmann.* Le rapport de l'âge de l'univers à son rayon tend vers zéro lorsque l'âge tend vers zéro : ce sont les formules mathématiques qui le disent. À l'origine des temps, la taille de la portion explorée de l'univers est infiniment petite par rapport à la taille de l'univers entier. On ne peut donc pas voir que l'univers est courbe. Celui-ci paraît plat, extraordinairement plat. Mais il est faux de parler d'une situation exceptionnelle : notre Univers n'est pas exceptionnellement plat puisque tous les univers de Friedmann apparaissent plats à leur naissance. Poursuivons page 743 de MTW : « Pourquoi physiquement, et non pas mathématiquement, ne peut-on pas distinguer aux tout premiers instants d'un univers entre un espace ouvert et un espace fermé ? Parce que les photons, les signaux, les pressions, les forces et les énergies ne peuvent pas aller suffisamment loin pour *sentir* [smell out] la différence entre univers fermé et univers ouvert. Les *zones d'influence* [c'est-à-dire la taille des portions visibles depuis un point] sont trop petites pour que l'on puisse ressentir une différence entre une courbure négative et une courbure positive [...] Ce n'est que plus tard dans l'évolution que le signe de cette courbure commencera à manifester son importance : lorsque le terme de courbure dû à l'expansion aura diminué de façon à atteindre le même ordre de grandeur que le terme de courbure spatiale. » Voilà la forme élaborée du théorème du jardin. (Nous allons revenir un tout petit peu plus loin sur la grave question de principe que pose l'isolement d'un point par rapport au reste de l'univers.)

[...]

L'astrophysicien franco-qubécois Hubert Reeves, à juste titre chéri du grand public pour ses talents de conteur scientifique et son génie incontestable de vulgarisateur, n'a pas eu le sens critique suffisamment aiguisé pour contester la théorie du réglage fin de l'Univers et affirme lui aussi que « l'Univers possédait il y a 15 milliards d'années exactement les propriétés très précises qu'il fallait pour que, au cours du temps, grâce au refroidissement, grâce à des milliards de phénomènes qui impliquent les étoiles, les galaxies, les lois de la physique et tout et tout, la potentialité de la matière s'actualise. » Soucieux toutefois de réserver à la mésange et à l'écureuil la même place qu'à l'homme (*anthropos*) et d'éviter de se voir reprocher d'accorder une place privilégiée à notre espèce humaine, notre célèbre astrophysicien émet des réserves sur l'usage du terme *anthropique* et préfère lui substituer celui de *complexité*. Cette idée que le vivant a été programmé dès l'origine des temps afin de surgir de façon certaine, il l'appelle donc *principe de complexité*.

Mais l'introduction de ce principe de complexité contribue encore à brouiller les pistes car il n'existe en physique aucun principe forçant la matière à se complexifier. Certes pour fabriquer notre corps le monde a bien gravi des échelons de la complexité, comme se plaisent à énoncer les défenseurs de l'idée d'une montée de la nature vers l'humain. Et de ce point de vue affirmer que l'Univers possédait les propriétés nécessaires à l'avènement de la vie est enfoncer des portes ouvertes : évidemment si les bonnes conditions n'avaient pas été remplies la vie ne serait pas apparue ! Dans la phrase de Reeves tout est dans les termes « exactement » et « très précises », qui montrent qu'il adhère à la thèse du réglage diaboliquement précis des conditions initiales. Le point litigieux est que ce genre d'affirmation veut faire croire que les conditions réunies étaient aussi suffisantes. On veut faire croire que l'Univers rassemble à l'origine des circonstances telles que la vie doit assurément y surgir, ici ou là (ce caractère de nécessité faisant d'ailleurs que la vie devrait posséder un caractère universel : point que nous discuterons plus bas). Et à ce stade, il faut y regarder de plus près.

La vie est-elle le fruit d'une nécessité ? Scientifiquement parlant, il n'existe aucune loi selon laquelle la matière devrait forcément évoluer du plus élémentaire au plus organisé, donc aucune loi selon laquelle nous aurions été forcés d'exister. On ne prétend évidemment pas ici que les processus ayant amené la matière à se complexifier auraient été contraires aux lois de la physique (puisque'ils se sont produits c'est qu'ils étaient *permis*, si on peut s'exprimer ainsi !), mais la vérité est que ces processus extrêmement compliqués (pour notre esprit), souvent imprévisibles, ne relèvent pas d'un simple principe. La difficulté que la science a eu à expliquer la formation des éléments par nucléosynthèse dans les étoiles, justement le sujet de recherche de Reeves et sa spécialité, en est la preuve. Il faut savoir qu'en physique *il n'existe pas de principe de complexité*. Un étudiant ou un chercheur qui se laisserait guider par un tel théorème pour conduire ses calculs ou ses raisonnements *ferait tout faux*. D'autres lois régissent l'évolution des systèmes physiques (loi de l'inertie, principe de relativité, égalité de l'action et de la réaction, conservation du moment cinétique, etc.) mais aucune d'entre elles n'agit dans le sens indiqué d'une complexification obligatoire. Il se trouve justement qu'à l'opposé d'un illusoire principe de complexité existe un principe, juste celui-là, stipulant que le degré de désordre (mesuré par ce que l'on nomme l'*entropie*, mot à ne pas confondre avec l'*anthropie* de philanthropie ou anthropique) d'un système isolé subissant des transformations ne peut que croître. Un système physique réel verra donc augmenter son degré de désorganisation dans sa globalité, mais en aucun cas son degré d'organisation. Dans la nature, ce qui est « normal » pour la science, c'est l'éparpillement, non la complexification. Cela prouve d'ailleurs que l'augmentation de la complexité dans une partie du système doit forcément être compensée par une désorganisation plus grande de l'autre partie. Trinh Xuan Thuan parle justement, à ce propos, des étoiles comme « des machines à fabriquer du désordre ». Ce point n'est pas non plus ignoré par Reeves. Mais invoquer une loi de complexification (ou laisser entendre qu'elle existe) et affirmer que l'évolution de l'Univers se traduit nécessairement par une montée de la complexité est une contre-vérité scientifique.

L'argument de l'avancée dans la complexité n'est pas nouveau. Dans sa vision globalisante de la place de l'Être humain dans l'Univers, Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955) fait référence à un processus cosmique d'organisation capable de regrouper de façon cohérente « l'immense succession de faits » conduisant au « phénomène humain ». À la différence près que le jésuite paléontologue fait explicitement référence à une Conscience universelle vers laquelle convergerait l'humanité pour se fondre en elle (Conscience que les cosmologistes d'aujourd'hui n'osent pas encore introduire dans leurs schémas, à ceci près qu'ils l'introduisent implicitement au Big Bang), l'idée de la croissance de toute matière vers plus de complexité est la même. La nouveauté déconcertante est la caution scientifique apportée par les cosmologistes à cette loi de complexification, devenue maintenant la nouvelle tarte à la

crème de la pensée moderne sur la place de l'Homme dans l'Univers. On parlera d'une « ascension » vers la complexité, comme si la réalité d'une marche progressive et orientée de l'évolution cosmique était avérée, et on entendra chanter pour marquer la filiation directe entre cosmos et espèce humaine que nous sommes « poussières d'étoiles ». Que les orgues cosmiques se déchaînent !

[...]

Un autre élément de hasard me fascine. La Galaxie tournant sur elle-même, le Soleil accompagné de ses planètes accomplit une ronde sans fin autour du noyau central. Toutes les étoiles en font autant, la période de leur révolution étant d'autant plus courte que l'étoile est proche du centre. Situé à environ 30 000 années de lumière du centre (le rayon de la Galaxie est de quelque 50 000 années de lumière) le Soleil effectue son tour de galaxie en 250 millions d'années environ. Cela signifie que depuis les cinq milliards d'années qu'elle est née, *la Terre a accompli une vingtaine de tours de galaxie*. Ce résultat est stupéfiant. Il invite l'esprit à envisager les événements les plus fous et les plus inattendus. Car en faisant des tours de galaxie, la Terre a sans doute vécu les situations les plus diverses, que la science ne connaîtra d'ailleurs peut-être jamais et où le hasard a joué une fois de plus son rôle de premier plan. La Galaxie ne tourne pas comme un corps solide, tant s'en faut, ce qui fait que ses différentes parties de gaz et d'étoiles s'interpénètrent avec un brassage constant de l'ensemble. Un astre change donc sans cesse d'environnement : le Soleil et la Terre ont voyagé à travers la Galaxie. L'imprévu inhérent à cette situation existait déjà d'ailleurs dans la période précédant la formation de notre Soleil, dès la constitution de la Galaxie. En effet nous avons vu dans un chapitre antérieur que les éléments plus lourds que le fer n'ont pu être synthétisés que dans des étoiles massives ayant explosé en supernovæ, les produits se retrouvant dispersés dans l'espace interstellaire. Comme notre Terre et notre Soleil contiennent de tels éléments lourds cela signifie que la matière interstellaire dont ils sont issus avait déjà été enrichie en éléments lourds. Autrement dit *notre Soleil est une étoile de deuxième ou troisième génération* et sa composition est forcément marquée par celle de son nuage protosolaire, nuage reflétant à son tour l'histoire des diverses étoiles ayant contribué à sa formation. L'histoire de ce soleil qui est le nôtre n'est pas de dimension locale. Elle est *de dimension galactique*, et à ce titre elle est constituée d'une succession d'événements incontestablement imprédictibles. Après que la Terre fut formée on peut imaginer que son environnement a subi des changements accidentels variés dont certains ont peut-être joué un rôle déterminant dans l'avènement de la vie. Combien de supernovæ ont-elles explosé, de près ou de loin, sur son chemin ? Quels nuages de poussières a-t-elle traversés ? Combien de pluies de comètes a-t-elle essuyées, déclenchées par le passage inopiné d'étoiles en son voisinage ? En particulier les chercheurs pensent que les toutes premières molécules du vivant se sont formées dans une atmosphère primitive soumise à des éclairs et autres phénomènes violents. Or ce gaz originel, dont la composition va déterminer la nature des produits chimiques formés, est le fruit de circonstances aléatoires. Le gaz interstellaire n'a nulle part la même composition dans la Galaxie (puisque'il est enrichi en éléments lourds de façon anarchique par des supernovæ) et la façon dont l'atmosphère primitive a évolué au gré des rencontres avec des composés chimiques venues de l'espace ne pouvait pas être prévue au départ. Anarchie : c'est le mot.

[...]

Contrairement à ce que l'on pourrait penser de cette discussion d'apparence plutôt technique les enjeux de la question de l'existence supposée des lois de la nature débordent largement le

plan de la science et sont pour l'être humain d'une importance primordiale. Ils ne se limitent pas à une sphère intellectuelle isolée et isolante mais concernent au premier chef la société. Dans son livre *The Tamarisk Tree* (Elek/Pemberton, London, 1975), la féministe socialement engagée Dora Russell (née Dora Black, la seconde femme de Bertrand Russell, 1894-1986) expose avec conviction l'idée que les hommes ont tendance à bâtir leur système politique selon la façon dont ils conçoivent leur Dieu (ou leurs dieux). Elle analyse notamment la révolution de pensée provoquée par l'avènement de la science moderne (je traduis) :

« Depuis Newton, la pensée religieuse a eu tendance à se nicher dans la notion de Cause Première. Dieu devient simplement un horloger ou un cinéaste tournant une manivelle : il n'est plus impliqué par la vie des individus ou concerné par leurs désirs. Il est celui qui de façon impersonnelle a édicté les lois qui régissent l'Univers. Ces lois sont strictement impartiales et n'accordent en rien à l'être humain un régime de faveur par rapport au reste de la création. Je crois que cette vision des choses est adoptée instinctivement comme une religion par le commun des esprits modernes : quoique non affirmée comme un dogme, elle domine la pensée. »

Et Dora Russell de s'indigner que l'ordre du monde, par essence inhumain, objectif et aveugle, devienne le modèle sur lequel les hommes vont vouloir bâtir une société qui, elle, concerne des individus forcément différents et animés de sentiments. Qu'une féministe militante intervienne sur la question de l'ordre moral de la société ne doit pas surprendre : les femmes en connaissent un rayon sur la situation, elles qui doivent subir la loi des hommes présentée facilement (argument commode, mais grossièrement fabriqué) comme loi « naturelle » ou divine. Le philosophe moderne Henri Bergson (1859-1941) mettait en garde contre ce danger de confusion entre loi physique et loi morale et soulignait ce risque de présenter un impératif moral comme une loi de la nature (*Les Deux Sources de la morale et de la religion*, 1932) :

« Loi physique, loi sociale ou morale, toute loi est [pour la plupart des hommes] un commandement. Il y a un certain ordre de la nature, lequel se traduit par des lois : les faits obéiraient à ces lois pour se conformer à cet ordre. Le savant lui-même peut à peine s'empêcher de croire que la loi préside aux faits et par conséquent les précède, semblable à l'Idée platonicienne sur laquelle les choses avaient à se régler. Plus il s'élève dans l'échelle des généralisations, plus il incline, bon gré mal gré, à doter les lois de ce caractère impératif : il faut vraiment lutter contre soi-même pour se représenter les principes de la mécanique autrement qu'inscrits de toute éternité sur des tables transcendantes que la science moderne serait allée chercher sur un autre Sinaï. Mais si la loi physique tend à revêtir pour notre imagination la forme d'un commandement quand elle atteint une certaine généralité, réciproquement un impératif qui s'adresse à tout le monde se présente un peu à nous comme une loi de la nature. Les deux idées, se rencontrant dans notre esprit, y font des échanges. La loi prend au commandement ce qu'il a d'impérieux ; le commandement reçoit de la loi ce qu'elle d'inéluctable. Une infraction à l'ordre social revêt ainsi un caractère antinaturel : même si elle est fréquemment répétée, elle nous fait l'effet d'une exception qui serait à la société ce qu'un monstre est à la nature. »

[...]

Les cosmologistes se sont égarés : ils tournent en rond. Je prétends que la cosmologie moderne se fourvoie dans des impasses et vit une période de complète décadence. Elle a

adopté une méthodologie dont la stérilité vient pour une bonne part de la confiance aveugle accordée à des modèles numériques trop schématiques. Elle manipule des concepts tels que l'infini, la matière noire et l'énergie noire qui, n'étant liés à aucune théorie physique, sont dénués de valeur. Elle s'isole dans une théorisation excessive sans rapport avec la réalité en se référant à des faits inobservables (le Big Bang) ou à des entités virtuelles (autres univers). Elle se laisse entraîner par l'informatique dans un productivisme effréné dont le souci de qualité a disparu. Enfin depuis une cinquantaine d'années elle n'a plus apporté aucun résultat nouveau à la connaissance du monde. L'humanité vivrait-elle la fin de son ère scientifique ?

[...]

Stupéfiant : à en croire les cosmologistes officiels le contenu d'univers présenté dans les chapitres précédents, constitué d'étoiles et d'étendues de poussières regroupées en galaxies, ne représenterait que 5% du total de ce qui existe. Les 95% restants seraient de nature inconnue, mystérieuse, quasiment indétectable : le monde serait essentiellement formé de matière noire et d'énergie noire. Inutile d'essayer de dire de quoi il s'agit puisque personne ne le sait, même pas ceux qui ont imaginé ces ectoplasmes cosmiques (*ectoplasme* : forme fantomatique émanant du corps d'un médium au cours d'une séance de spiritisme). Y croire n'engage que ceux qui sont prêts à le faire. Et on ne peut même pas dire comme Saint Thomas devant le Christ ressuscité : « je crois parce que je vois ». Il n'y a rien à voir. On a l'impression que plus le mensonge (comment appeler cette farce ?) est gros plus il a de chance de passer pour vrai. Voici ce que j'écrivais dans mes pages web (www.lacosmo.com):

« Je prétends que l'invention d'une matière de nature inconnue – dite *noire* à cause de son invisibilité – est l'une des impostures les plus désolantes de la science moderne, le dérapage étant à mon sens d'autant plus grave que l'introduction de cette notion mystérieuse est le fait de scientifiques officiels, à priori qualifiés, et non le fruit d'une lubie d'amateurs incompetents ou du discours débridé de pseudo-scientifiques. Je ne comprends pas comment des chercheurs se sont crus autorisés à faire appel à des phénomènes tirés de leur seule imagination et à ignorer de ce fait les exigences les plus élémentaires de la méthode scientifique, laquelle se nourrit de la théorie, de l'expérience, de l'observation et de la mesure, en l'occurrence toutes quatre absentes du film, puisque l'énigmatique matériau est insaisissable à tous les niveaux. »

Pourquoi l'invention de la matière noire est-elle une farce ? Réponse courte : parce que son existence n'a pas été prévue, et n'est toujours pas prévue, par une quelconque théorie. Et en science, sans théorie pour l'asseoir, une hypothèse n'a aucune valeur. Ce livre a montré comment a fonctionné la vraie science, celle qui a pu découvrir la réalité des choses. Elle a réussi dans son entreprise les deux fois où elle a su allier observation et théorie. Une première fois Newton a retrouvé dans sa théorie de la gravitation universelle l'ellipse que Kepler avait observée dans la nature. Une seconde fois Hubble observait sous la forme de la fuite des galaxies l'expansion de l'espace prévue par la théorie d'Einstein. Rien de tel pour la matière noire : les observations sont piètres, peu sûres dans leur interprétation, et la théorie est inexistante. La seule science qui vaille est celle qui se construit dans l'échange entre le réel et l'abstrait. Et ce n'est pas le cas de l'histoire de la matière noire. J'écrivais encore :

« Le propre des lois et théories physiques est de procéder à la fois à la définition des concepts et à leur maniement. Le génie de la physique réside en ce que théorie, loi, concept et mesure expérimentale jaillissent d'un même élan créateur. Il est donc exclu de pouvoir définir ou utiliser un concept en l'absence du corpus théorique convenable.

Sans cadre théorique sous-jacent, toute discussion prétendument scientifique tourne à la farce. »

[...]

Nous touchons là au cœur du mal qui mine l'astrophysique moderne. Comme le sculpteur légendaire Pygmalion était tombé amoureux de Galatée, la statue qu'il avait ciselée, priant la déesse Aphrodite de lui donner vie, les astrophysiciens en sont venus à idolâtrer leurs modèles numériques et à les prendre pour la réalité. Le mot idolâtrie est formé de « idole », du grec *eidôlon* (*image*) et du suffixe « -lâtrie », de *latreuein* (*servir, adorer*). Idolâtrer le modèle est lui vouer un véritable culte en oubliant la réalité. La maladie est grave. Elle se traduit par une quasi sacralisation de schémas numériques pourtant incapables de décrire la complexité des objets réels et auxquels les chercheurs ajoutent arbitrairement le nombre voulu de paramètres pour tenter néanmoins de *faire coller* les prévisions théoriques aux observations (et comme ils y parviennent, leur numéro d'illusionniste est réussi et ils arrivent à tromper les esprits). Les astrophysiciens n'étudient plus les étoiles, ils étudient des modèles d'étoiles. Lorsque dans un séminaire le conférencier vous parle de l'évolution d'une étoile de cinq masses solaires, il faut entendre l'évolution d'un *modèle* d'étoile dont la masse est de cinq fois la masse solaire. Il ne s'agit pas de l'évolution d'étoiles réelles. C'est l'occasion de rappeler gentiment aux théoriciens de l'espace-temps mathématique que jusqu'à nouvel ordre le monde connaissable est fait d'étoiles et que par conséquent toute la cosmologie (y compris les divagations sur la matière noire) repose sur la connaissance des étoiles : c'est pourquoi je m'attache à leur étude dans ce qui suit.

Un modèle d'étoile est déterminé par les trois paramètres fondamentaux que sont la masse, la température et le rayon, auxquels on doit adjoindre des paramètres supplémentaires comme la vitesse de turbulence, la vitesse de rotation de l'objet, la composition chimique (notamment l'abondance en éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium, désignés brièvement en astronomie sous le nom de *métaux*), etc. L'importance de ces autres paramètres est d'ailleurs déterminante pour la structure de l'étoile. Pour l'astrophysique analyser une étoile revient à déterminer ses *paramètres fondamentaux*. Un article parmi des milliers d'autres semblables s'intitulera par exemple « Détermination précise des paramètres fondamentaux de 23 étoiles brillantes de type solaire ». Mais il y a un souci : s'ils ont un sens bien défini dans le cadre du modèle ces paramètres fondamentaux perdent leur signification dans la réalité des choses.

[...]

Depuis une petite cinquantaine d'années (disons en gros depuis l'année que j'ai fixée symboliquement plus haut à 1965, celle de la découverte du fond diffus cosmologique par Penzias et Wilson, un an avant la disparition de Georges Lemaître) la science moderne (née en 1684 avec Newton moins de trois cents ans plus tôt) ne produit plus aucun savoir. Quand je parle de « science » je vise la science physique fondamentale (que j'assimile ainsi peut-être trop rapidement, et peut-être à tort, à la cosmologie et l'astrophysique, quand on les juge sur leur état de santé : je laisse à d'autres scientifiques plus compétents que moi dans les disciplines concernées, par exemple la géophysique ou la physique des particules, le soin de conforter ou au contraire de réfuter mon diagnostic sévère, en tout cas de le préciser). En écrivant ce livre et en prenant conscience de la situation désespérante de la recherche, j'en suis arrivé à me poser la question : la recherche scientifique serait-elle en train de disparaître ? Peut-elle encore progresser ? Faire d'autres découvertes ?

Je ne veux pas jouer à prévoir l'avenir, mais je ne peux pas non plus m'empêcher de juger loyalement et objectivement les potentialités de la science actuelle. Or une chose est certaine : si la science persiste dans son productivisme effréné, sa soumission sans analyse critique aux modèles, sa capitulation sans condition devant l'emprise d'un progrès d'ordre quantitatif imposé comme nécessaire et présenté dogmatiquement comme source potentielle de découvertes, elle continuera à ne rien trouver et dépérira inéluctablement. La science ne peut trouver que si elle cherche : les découvertes ne tombent pas toutes seules. Si le cerveau humain ne s'investit pas dans la création théorique, les résultats sortis des ordinateurs ne servent à rien. Or comme je l'ai dit, les chercheurs ne sont plus faits pour chercher, et éventuellement trouver. Ils sont payés pour produire des articles : pour faire du chiffre. L'informatique leur en fournissant les moyens, le cercle vicieux est bouclé. On n'a plus le loisir de critiquer ou de vérifier, cela nuirait à la production. Il est impossible de s'investir dans des sujets difficiles, sur lesquels on risquerait de n'obtenir aucun résultat dans les délais impartis, car les autorités administratives n'accepteraient pas une absence de publication. Les grands projets, de plus en plus grands, de plus en plus chers, sont là pour donner l'illusion de l'avancement de la science. Mais quand on regarde d'un peu près, on constate que les découvertes ne sont pas au rendez-vous des efforts (si on peut encore parler d'*effort* dans cette débauche de moyens attribués et déployés !).

[...]