

PRÉAMBULE

Le monde selon l'abbé Georges Lemaître, inventeur du Big Bang : « Il ne s'agit pas du déroulement, du décodage d'un enregistrement ; il s'agit d'une chanson dont chaque note est nouvelle et imprévisible. Le monde se fait, et il se fait au hasard ».

Si vous lisez ce livre, vous avez l'esprit curieux et vous vous posez des questions sur le cosmos et la vie : Qu'est vraiment le Big Bang ? Comment un monde aussi riche a-t-il pu se former à partir de rien ou presque ? La vie a-t-elle pu émerger d'elle-même, sans intervention divine ? Qu'est-ce qui distingue l'Homme de l'animal ? Qu'allons-nous faire de notre futur ? L'Univers a-t-il un sens ? J'aborderai toutes ces questions en racontant l'histoire naturelle du Big Bang à aujourd'hui, et en recherchant des fils conducteurs.

J'ai poursuivi cette démarche dans un esprit bien particulier, se résumant en trois phrases :

1. Rassembler les connaissances scientifiques dans des domaines aussi distincts que l'astrophysique, la mécanique quantique et la biologie.
2. Utiliser les dernières avancées de notre époque et notamment les sciences nouvelles dites *de la complexité*.
3. À travers tout cela, rechercher un sens commun, qui nous parle.

Rassembler les connaissances dans tous les domaines.

J'ai choisi une présentation chronologique : dérouler la grande saga de l'Univers et du vivant du Big Bang à nos jours. Les principaux chapitres seront l'origine du cosmos, sa structuration en galaxies, étoiles et planètes, l'apparition de la vie, l'évolution naturelle des espèces, l'hominisation, le devenir de l'humanité et enfin, le sens de l'Univers. Cette approche historique permet d'identifier les grandes caractéristiques de la nature, récurrentes dans le temps.

La science s'organise aujourd'hui autour de trois axes principaux : l'infiniment petit, l'infiniment grand et l'infiniment complexe. Dans chacun d'eux, apparaissent d'importantes limites à notre savoir. Une façon de les repousser consiste à tirer parti de tout ce que nous connaissons dans tous les domaines pour en extraire la substantifique moelle. Effectivement, en naviguant dans ces trois axes, bien qu'il s'agisse de sciences très distinctes, nous identifierons beaucoup de mécanismes communs.

En commentant chacun des axes de la connaissance, voyons ce qu'ils nous disent et ne nous disent pas.

L'infiniment petit est éclairé essentiellement par la physique des particules. Lorsque Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr et d'autres pionniers ont élaboré cette science, ils ont découvert dans les petites échelles, un monde nouveau particulièrement étrange. Ils ont ouvert un immense champ du possible. Nous leur devons tous ces appareils électroniques devenus chaque jour plus indispensables à notre vie. Cette révolution historique a déclenché une très forte accélération du changement dans la société. Le développement explosif de l'ordinateur et celui d'Internet bouleversent profondément l'activité humaine.

Cependant, en pénétrant le monde microscopique, nous sommes tombés sur un gros os : il obéit à des règles parfaitement contre-intuitives. Par exemple, Einstein le premier, a conçu qu'une particule se comporte aussi comme une onde. À ce titre, elle emplit l'espace et ne peut pas être localisée précisément. Elle est donc un objet dual ayant les propriétés d'une onde dans certaines expériences et d'un objet ponctuel dans d'autres. Ce comportement étrange, désormais amplement prouvé, ne peut malheureusement pas s'appréhender par le sens commun. Seuls des outils mathématiques très sophistiqués permettent d'en rendre compte : il faut manier les *espaces de Hilbert*, l'*opérateur hamiltonien*, les *matrices hermitiennes*, etc. Autrement dit, comprendre l'infiniment petit semble réservé à ceux qui maîtrisent les mathématiques supérieures. C'est malheureusement le prix à payer pour comprendre ce qui est contre-intuitif et très différent du monde macroscopique dont nous sommes coutumiers.

Une autre limite de la physique quantique : elle ne s'applique qu'à un tout petit nombre de particules élémentaires à la fois, ou au mieux, de petites molécules. Il ne faut pas lui demander d'aller au-delà de ce qu'elle peut apporter. Elle n'est pas faite pour expliquer des objets ou phénomènes de taille importante : un cerveau humain, une étoile, une galaxie, ... Si l'on évoque la mécanique quantique pour décrire l'Univers à grande échelle ou le monde du vivant, on s'enlise facilement dans les excès du *réductionnisme*, consistant à tout ramener aux particules. Voyez un enfant rire ou pleurer : cherchiez-vous à le comprendre à partir de la physique ? Non car il est bien plus que l'ensemble des atomes qui le composent. Il en va de même de tout phénomène macroscopique un peu complexe. Allez donc prévoir le développement d'un simple orage, avec ses vents, son électricité et ses précipitations, à partir des seules équations de la mécanique quantique !

Nous verrons que la physique permet de décrire fidèlement les premières minutes ayant suivi le Big Bang. Pour comprendre la suite, à de plus grandes échelles, il nous faudra faire appel à d'autres méthodes, dont certaines sont d'invention récente.

Que dire de **l'infiniment grand** ? Là, nous abordons un domaine des sciences totalement différent, cependant nous arriverons à une conclusion similaire : une théorie brillante et précise mais abstraite et limitée.

Il s'agit de la relativité générale, l'outil permettant d'analyser le cosmos dans sa globalité. En la publiant en 1915, Albert Einstein nous a propulsés dans l'infiniment

grand. En effet, elle décrit l'une des quatre forces régissant la nature : la *gravitation*. Or c'est précisément elle qui structure l'Univers à grande échelle, en amas galactiques, galaxies, étoiles et systèmes planétaires.

Ainsi, la relativité générale, née à la même époque que la mécanique quantique, a permis l'éclosion d'une nouvelle science, la cosmologie. Grâce à elle, nous avons pu forger une image fidèle et compréhensible du cosmos à grande échelle, mais elle montre aussi des limites. Comme sa sœur quantique, la théorie d'Einstein requiert une solide formation en mathématiques : elle repose sur le *calcul tensoriel*, les *matrices*, la *géométrie Riemannienne*. En outre, il faut avoir l'esprit formé à réfléchir dans *quatre dimensions* au lieu de trois. Elle offre donc une vision très abstraite du monde. Dans la majorité des applications quotidiennes, nous utilisons toujours la mécanique newtonienne du XVII^e siècle, bien plus simple que la relativité générale. L'exactitude a un prix : la complexité du calcul.

Enfin, la relativité présente une limite fondamentale : son incompatibilité avec la mécanique quantique. Ce fait a été pressenti par Einstein dès le début. Il a rapidement pris ses distances avec cette science pour rechercher une grande théorie unificatrice qu'il ne trouvera jamais. Ce désaccord entre nos modèles de l'infiniment petit et de l'infiniment grand résiste obstinément aux théoriciens depuis près d'un siècle. Il a provoqué une véritable crise de la physique théorique. Pour expliquer les phénomènes les plus cataclysmiques tels le Big Bang et les trous noirs, il est impératif de combiner les deux théories. L'impossibilité de les unifier jette donc un voile obscur sur la nature exacte du cosmos à l'époque des hautes énergies. Cette incohérence fondamentale entre nos sciences les plus modernes et abouties, est un exemple frappant de leurs limites. Nous garderons cela à l'esprit lorsque nous entamerons la description de l'Univers.

Reste le troisième axe, celui de **l'infiniment complexe**. À l'origine, il s'agit essentiellement de l'étude du vivant : la biologie, la génétique, l'évolution. Là aussi, la science a atteint un degré de technicité très élevé : il faut dominer les concepts de *transcription des protéines*, de *code génétique* ou de *catalyse*. Ce domaine de la connaissance traite d'objets tellement divers et ramifiés à l'infini, que l'on n'a jamais pu les résumer sous forme de théories mathématiques comme pour les deux axes précédents. Dès lors, l'approche scientifique du vivant est restée très expérimentale : observer les phénomènes, les rapprocher, les classer et rechercher des liens de causalité entre eux. Même si ces sciences de la vie sont très ardues, elles ont l'avantage de toucher à des organismes bien concrets, observables au microscope, plutôt qu'à des concepts excessivement abstraits. Cette différence fondamentale entre les axes de l'infiniment petit et de l'infiniment grand d'une part, et de l'infiniment complexe d'autre part, fait que la communauté scientifique s'est divisée en physiciens d'un côté et biologistes de l'autre : deux communautés demeurant aujourd'hui encore, très séparées.

Cette situation a quelque peu évolué. Plus on en apprend sur le cosmos, plus on découvre que le monde minéral est lui aussi infiniment complexe. Il s'y développe des phénomènes très difficiles à décrire, ressemblant beaucoup à ceux de la biologie. À titre d'exemple, plus on observe les galaxies, plus elles apparaissent comme des écosystèmes faits d'un bestiaire riche et très diversifié : gaz plus ou moins chauds,

pouponnières d'étoiles, trous noirs centraux hyper-massifs, supernovas fertilisant l'espace, etc. Le mouvement incessant de cette multitude de corps célestes et les événements les affectant, rappellent beaucoup le domaine du vivant.

Il devient de plus en plus difficile de décrire tous ces objets et phénomènes à partir des théories mathématiques déjà évoquées, sans tomber dans le réductionnisme. Dès lors, les méthodes scientifiques ayant réussi dans la biologie, deviennent maintenant pertinentes pour analyser plus avant toute la variété du cosmos. Nous ne pouvons comprendre profondément ce qu'est l'Univers en nous cantonnant à des théories trop abstraites. Nous devons nous montrer éclectiques et modestes : jouer sur l'ensemble des approches offertes par la science et rester conscients de leurs limites.

Utiliser les dernières avancées de notre époque.

Comment transcender ces limites de la physique quantique et de la relativité ? De nouvelles approches se développent depuis les années 1990. On parle des *sciences de la complexité* et de l'*auto-organisation*.

Ces démarches reposent sur deux vérités universelles. Selon la première, les éléments simples tendent à s'assembler spontanément en d'autres beaucoup plus complexes. Cette caractéristique majeure du monde reviendra comme un leitmotiv à travers tous les chapitres de l'histoire naturelle.

La seconde dit que les systèmes complexes émergeant ainsi, tendent à posséder leur propre logique. L'exemple le plus frappant est sans aucun doute l'être vivant. Certes, il est fait de particules obéissant aux lois de la nature, mais cela ne suffit pas pour le décrire. Il est un tout qui représente bien plus que ses parties. Une fois né, il impose ses lois aux atomes dont il est fait. Par exemple, vos gènes commandent en permanence toute la chimie de votre corps. On peut en dire autant d'une galaxie : une fois constituée, elle détermine elle-même largement le comportement de ses propres composants, astres, nuages ou trous noirs.

Ces nouvelles sciences s'intéressent aux phénomènes *émergents* : comment le simple fabrique le complexe ? Elles sont universelles et s'appliquent indifféremment aux trois axes de la connaissance déjà mentionnés. Même si elles sont encore balbutiantes, elles commencent à offrir des clés de compréhension donnant beaucoup de sens aux choses. Nous y aurons recours fréquemment. Ces clés seront amplement expliquées au fur et à mesure que nous les découvrirons et les utiliserons :

La frontière entre l'ordre et le chaos

Les états critiques auto-organisés

Les transitions de phase et les brisures de symétrie

La création d'information et les bouffées de complexité

L'émergence au sens de Christopher Langton et la causalité descendante

Le possible adjacent

L'autocatalyse

L'algorithme de la sélection naturelle

Elles apparaîtront de façon récurrente tout au long du grand voyage nous menant du Big Bang à l'Homme.

En quête de sens.

Le troisième objectif que je me suis assigné est la quête de sens. Les immenses progrès des sciences au XX^e siècle ont poussé notre compréhension du monde jusqu'à la frontière avec la métaphysique. Ignorer ces domaines, comme beaucoup de matérialistes l'ont fait, devient difficile aujourd'hui.

Newton avait expliqué comment la Lune pouvait tourner autour de la Terre sans tomber dessus. Il avouait aussi ses limites : « Je vous ai dit comment elle tourne, mais non pourquoi ». En essayant d'appliquer sa mécanique au cosmos dans sa totalité, il était tombé sur des contradictions. Aujourd'hui, les limites de la science ont été poussées bien plus loin. La relativité générale a débouché sur l'idée d'expansion, puis sur son corollaire, l'existence d'un début : le Big Bang. En s'attachant à décrire l'origine même de l'Univers, la physique côtoie désormais quotidiennement la métaphysique. Cette proximité du spirituel fait certainement partie de vos propres motivations. J'y toucherai nécessairement en recherchant le sens des choses.

Je ne partage pas l'idée du physicien Steven Weinberg, pour qui « Plus l'Univers semble compréhensible, et plus il semble absurde ». Bien au contraire, je vois un sens de plus en plus profond se dessiner au fur et à mesure que l'Homme décrypte son cadre de vie. Pour dégager clairement ce sens, il faut embrasser tous les aspects et toutes les échelles de temps et d'espace, d'une façon holistique, c'est-à-dire comme un ensemble unique. Voir le tout avant ses constituants, tel sera mon souci. Cette vue m'a poussé à englober l'astrophysique et le vivant dans une seule démarche, en déroulant la grande saga de A à Z. L'approche historique est clairement la plus signifiante. Je dirais avec Roberto M. Unger*, qu'il est temps de réinventer la *philosophie naturelle*, dans l'esprit pratiqué au XIX^e siècle. Elle est tombée en désuétude lorsque les mathématiques avancées ont envahi la physique théorique. Ressortons-la des placards.

Certes, j'évoquerai les théories abstraites quand elles seront utiles, cependant sans formules et avec le moins possible de mots techniques. Quelques paragraphes plus difficiles, destinés au lecteur de formation scientifique, seront marqués par ce symbole qui suggère une piste noire au ski :



Vous aurez tout loisir de les sauter ou de les lire en diagonale. Malgré cela, vous pourrez poursuivre la lecture de l'ouvrage sans problème.

* *The singular Universe and the reality of time: A Proposal in Natural Philosophy.* Roberto Mangabeira Unger & Lee Smolin. 2014.

La question du sacré.

En abordant l'origine de l'Univers ou celle de la vie, on touche forcément à la métaphysique et on approche de près le sacré. Si vous êtes croyant, vous ne pourrez-vous empêcher de penser : et Dieu dans tout cela ? Il me paraît utile de préciser comment j'aborderai la question.

Tout d'abord, le cheminement de ma pensée sera fondé sur les sciences : sur des faits démontrés et non sur des croyances. Ainsi, dans tous les raisonnements réellement scientifiques que je présenterai, le Seigneur sera absent. Je rechercherai toujours des raisons factuelles aux choses matérielles et non des raisons spirituelles. Pour illustrer cela *a contrario*, seriez-vous satisfait si le chapitre sur *l'hominisation*, le passage du singe à l'Homme, se résumait à une seule phrase : « Et Dieu provoqua une étincelle dans le cerveau d'un singe en lui disant : maintenant passons aux choses sérieuses, tu vas devenir un être conscient » ?

Ainsi, je m'emploierai à traiter les domaines les plus mystérieux par la science et non en invoquant le doigt du Seigneur : les origines du cosmos, de la vie et de l'Homme. Pour autant, faut-il en déduire que j'écarte d'emblée le divin de la réflexion sur la nature ? Non, certainement pas. Si vous êtes croyant, vous rencontrerez certainement l'idée de Dieu en filigrane, même si ce n'est pas l'objet de cet ouvrage. Je donne une description scientifique des choses, sans jamais me référer explicitement à une puissance supérieure. Le fond de ma pensée est qu'il ne faut pas chercher le Seigneur là où il n'est pas ! Plus j'étudie cette grande saga, plus je suis convaincu qu'une fois le Big Bang lancé, elle s'est déroulée sans intervention divine. Là aussi, l'approche historique est particulièrement signifiante. Elle nous dit que la nature a suivi une progression vers la complexité qui s'est développée, au plan matériel au moins, sans chef d'orchestre. L'évolution obéit à quelques lois physiques et plus encore, au hasard.

Si Dieu existe, il a sa place en amont, mais pas dans la gestion du quotidien. Peut-être a-t-il conçu les règles de départ d'un univers fécond et propice à l'apparition de la complexité et d'êtres conscients ? Si tel est le cas, il semble qu'une fois ces grands principes établis, il ait laissé la nature se débrouiller toute seule. Dans cet esprit, on rapporte la conclusion d'une visite de Stephen Hawking au Vatican. Le pape Jean-Paul II lui aurait dit en le raccompagnant sur le perron : « Alors, M. Hawking, nous sommes bien d'accord : après le Big Bang, c'est vous, et avant, c'est nous ! ».

Sans aucun doute, le présent ouvrage impose une contrainte sérieuse à la conception de Dieu en reléguant son intervention à un stade primordial et lointain. Je serai amené à imposer une restriction tout aussi sévère à la pensée athée. En effet, je dirai à quel point l'Univers semble *ajusté* pour être compatible avec l'existence d'êtres complexes. Par-là, j'entends que si l'on changeait un tant soit peu les paramètres de la physique, par exemple la masse des particules ou l'intensité des forces, le monde serait tout autre et l'émergence de la vie ne serait pas envisageable. Tout naturellement, le croyant voit en cet ajustement très fin, le résultat d'une création divine. Pour l'athée, l'explication est plus difficile. Si un seul univers existe, il n'est pas crédible qu'une situation si singulière et improbable ait pu émerger toute seule par une simple chance. Le hasard tout puissant, comme envisagé jadis par Jacques Monod, ne peut en aucun

cas engendrer un univers d'une telle sophistication sur un seul coup de dés. En revanche, le hasard devient une explication plausible si l'on admet l'existence de beaucoup d'autres mondes : disons des milliards de milliards, tous différents. Alors, le nôtre pourrait représenter un tirage gagnant parmi cette multitude. J'introduirai ainsi la notion d'*univers multiples* comme la seule alternative plausible à la Création divine, à mon sens.

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

Ce livre est un remède efficace pour résoudre les questions que vous vous posez sur l'Univers, l'apparition de la vie, l'émergence de l'Homme ou son devenir. Hélas, il comporte aussi des effets indésirables : répondre à une question peut en appeler trois ou quatre nouvelles. Statistiquement, cet effet multiplicateur frappe plus d'un lecteur sur deux. L'auteur ne pourra être tenu pour responsable si vous vous posez plus de questions après avoir lu ce livre qu'avant. En poursuivant la lecture, vous reconnaissez être pleinement conscient de ce risque.